

ISSN 2338-414X
Nomor 1/Volume 11/Agustus 2024

PROSIDING

KONFERENSI NASIONAL ENGINEERING PERHOTELAN
KNEP XIV - 2024

“REKAYASA DAN APLIKASI TEKNOLOGI
UNTUK Mendukung Pengembangan Industri Hijau”



Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Udayana

Prosiding

Konferensi Nasional Engineering Perhotelan XIV - 2024 1 - 2 Agustus, 2024

Ketua Editor : Dr. Ir. Made Suarda, M.Eng.
Editor Pelaksana : Dr. I Made Astika, ST, M.Erg., MT.
Dr. I Dewa Ngakan Putra Negara, ST., M.Sc.
Dr.Eng. I Made Gatot Karohika, ST., MT.
Dr. I Ketut Adi Atmika, ST, MT
Dr. I Made Parwata, ST., MT.
I Ketut Astawa, ST, MT
I Putu Widiarta, ST, MT.

Reviewer : Prof. I Nyoman Suprpta Winaya, ST., MA.Sc., Ph.D.
Prof. Dr. Tjokorda Gde Tirta Nindhia, ST., MT.
Ainul Ghurri, ST., MT., Ph.D.
Prof. I Dewa Gede Ary Subagia, ST., MT., Ph.D.
Prof. Ir. I Nyoman Budiarsa, MT, PhD.
Dr. Ir. I Ketut Gede Wirawan, MT.
Prof. Dr. Ir. I Gst. Bagus Wijaya Kusuma
Dr. I Gusti Ketut Puja, ST., MT.
Prof. Dr. Ir. Nasaruddin Salam, ST., MT.
Prof. Dr.Eng. Syamsul Hadi, ST., MT.



Hak Cipta @2024 oleh KNEP XIV – 2024
Program Studi Teknik Mesin dan Program Studi Magister
Teknik Mesin – Universitas Udayana. Dilarang mereproduksi
dan mendistribusi bagian dari publikasi ini dalam bentuk
maupun media apapun tanpa seijin Program Studi Teknik
Mesin – Universitas Udayana.

Dipublikasikan dan didistribusikan oleh Program Studi Teknik Mesin dan Program
Studi Magister Teknik Mesin – Universitas Udayana,
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80361, Indonesia.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas terselenggaranya acara Konferensi Engineering Perhotelan XIV (KNEP XIV) pada tanggal 1-2 Agustus 2024 di Universitas Udayana secara luring. KNEP XIV diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, dan Program Studi Magister Teknik Mesin. KNEP XIV diadakan secara luring dengan harapan kegiatan KNEP tetap menjadi forum untuk mendiseminasikan hasil-hasil studi dan penelitian yang telah dilakukan baik oleh dosen, peneliti maupun mahasiswa. KNEP XIV ini sebagaimana KNEP sebelumnya didukung oleh Badan Kerjasama Teknik Mesin (BKSTM) seluruh Indonesia.

KNEP XIV – 2024 merupakan forum untuk mendiskusikan dan mengkomunikasikan hasil-hasil penelitian terkini engineering dalam konteks perhotelan dan topik-topik pendukung lain dalam lingkup Teknik Mesin. Hasil yang diharapkan adalah meningkatnya mutu riset-riset yang akan dilakukan, meningkatnya daya kompetisi untuk mendapatkan hibah penelitian, hubungan yang baik inter akademisi dan antara akademisi dengan praktisi.

KNEP tahun 2024 ini mengelompokkan makalah dalam dua grup bidang studi:

1. Konversi Energi (KE): Energi Baru dan Terbarukan, Manajemen Energi dan Energi Harvesting, Mekanika Fluida dan Termofluid, Robotika, Artificial Intelligence dan Kontrol Otomatis, Arsitektur, Smart and Green Building, Industri Kreatif dan Pariwisata, dll.
2. Manufaktur (MF): Ergonomi, Otomatisasi Industri dan Manajemen Produksi, Desain Mekanika Terapan dan Analisis Struktur, Rekayasa Material, Biomaterial dan Material Maju, Transportasi dan Teknologi Kendaraan, dll.

Adapun jumlah makalah yang dipresentasikan dalam konferensi ini berjumlah 39 makalah yang mencakup dua topik di atas. Selanjutnya makalah-makalah tersebut sebagaimana akan dipublikasikan ke jurnal ilmiah, dan sebagian lagi ditarik karena masih memerlukan penelitian lanjutan, sehingga naskah fullpaper yang dipublikasikan dalam prosiding ini berjumlah 39 makalah.

Kami mengucapkan terima kasih kepada keynote speakers Bapak Arafat Bayu Nugroho – General Manager PT. KilangPertamina International RU V Balikpapan – dan Bapak Made Sumantra, MT. – Deputy General Manager Facility Management PT. Jakarta Setiabudi International Tbk., serta para akademisi, peneliti, mahasiswa, praktisi dan professional di bidang perhotelan yang telah mengirimkan artikelnya, serta semua pihak yang meliputi panitia pengarah, panitia pelaksana, *scientific committee*, pimpinan PSTM, PSMTM, Fakultas Teknik dan Universitas Udayana, serta pihak-pihak yang telah terlibat dan membantu terselenggaranya kegiatan ini dengan sukses.

Denpasar, 1 Agustus 2024,
Ketua Panitia KNEP XIV,

Dr. I Made Astika, ST., M.Erg., MT.

DAFTAR ISI

Sampul	i
Editor dan Reviewer	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv

Grup Makalah Manufaktur

MF-01

Pengaruh Alkalisasi Hybrid Composite Bulu Itik–Purun Tikus Terhadap Impak dan Tekan - Akhmad Syarief, Fadlyanur, Muhammad Vicco Wellson Nur Fadhillah W, Aulia Aufa Ramadhasari **1-7**

MF-02

Simulasi Analisis Jumlah Lubang Rubber Fender Tipe D Terhadap Nilai Deformasi, Regangan Dan Tegangan - Dewa Gede Oka Sastrawan, I Made Gatot Karohika, I Made Widiyarta **8-13**

MF-03

Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan Densitas Paduan MgZnCa Sebagai Implant mampu luruh - Adiman, Budiarto **14-19**

MF-04

Pengaruh Pelapisan Galvalume dan Galvanize Terhadap Ketebalan dan Struktur Mikro Baja Ringan. - Dikky Antonius, Budiarto, Surjo Abadi, Dian Persada **20-25**

MF-05

Analisa Pengaruh Media Quenching Terhadap Struktur Kristal, Kekerasan, Dan Kuat Tarik Baja S45c - Budiarto, Fedelis Rytma, Dikky Antonius, Kimar Turnip **26-31**

MF-06

Analisa Pengaruh Temper Terhadap Strukturmikro, Komposisi Kimia Dan Kekerasan Pada Baja Vcn 150 - Budiarto, Julius Nugrahadi, Kimar Turnip **32-37**

MF-07

Implementasi Support Vector Machine (Svm) Sebagai Model Prediksi Konsumsi Energi Listrik Dunia - I.N. Bima Permana, A.A.I.A. Sri Komaladewi, I.G.N. Priambadi **38-45**

MF-08	Penerapan Metode Taguchi Dalam Simulasi Model Desain Helm Bahan Material Plastik Abs Dengan Cfrp - Ida Ayu Putu Indah Komala Dewi, I Made Gatot Karohika	46-49
MF-09	Analisis Kekuatan Bending Dan Ketahanan Bakar Dengan Variasi Hardener Pada Komposit Cangkang Kepiting Dan Pati Singkong - I Gede Putu Agus Suryawan, Juan Loandruw, I Ketut Adi Atmika, I Putu Lokantara	50-53
MF-10	Simulasi Perancangan Ban Mobil Tanpa Udara Berjenis Radial Dengan Variasi Geometri - A A Ngurah Putra Damara Artha Wijaya, I Made Gatot Karohika	54-57
MF-11	Studi Pengaruh Holding Time Pemanasan Dan Temper Pada Wire CHQ 10B21 - Sesilia Novi Aryanti Sihotang, Melya Dyanasari Sembayang, Kimar Turnip	58-62
MF-12	Analisa Pengaruh Holding Time Tempering Terhadap Struktur Kristal, Kekerasan Dan Kuat Tarik Pada Material Jsh270C Dicky Antonius1, Matius Noveanto, Bantu Hotsan Manulang	63-68
MF-13	Perlakuan Serat Pandan Bali (Cordyline Australis) Sebagai Bahan Penguat Komposit Untuk Peredam Kebisingan Suara Dalam Ruang Gedung I Ketut Suarsana, I N. Budiarsa	69-74
MF-14	Analisa Metode Minimum Quantity Lubrication (MQL) Terhadap Kekasaran Permukaan Proses Pembubutan Baja St 60 - I Gusti Komang Dwijana, I Made Astika, Made Suarda, I Gusti Ketut Sukadana, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara	75-78
MF-15	Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Ketahanan Impact Pada Komposit Polyester Diperkuat Serat Praksok (Cordyline australis) - Laden Pangestu, I Putu Lokantara, I Gede Putu Agus Suryawan	79-83
MF-16	Pengaruh Variasi Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Bending Pada Komposit Polyester Berpenguat Serat Daun Praksok (Cordyline australis) - Heruansyah, I Putu Lokantara, I Gede Putu Agus Suryawan	84-88

MF-17

Karakteristik Termal Minyak Jelantah Sebagai Bio Phase Change Material - I
Made Astika, I Gusti Komang Dwijana, I Putu Lokantara **89-91**

MF-18

Pengaruh Alkalisasi Dan Fraksi Komposit Polyester-Serat Berman (Donax Canniformis) Terhadap Konduktivitas Termal Dan Struktur Makro - Rachmat
Subagyo, Adi Saputra, Mastiadi Tamjidillah, Abdul Ghofur, Apip Amrullah, Muchsin **92-99**

MF-19

Analisis Performa Pompa Sentrifugal Di Pt. Kilang Pertamina Internasional Ru-Vi Balongan - N.M.Dwidiani, Ahmad Anzor, Yossie Rico Rifki Pradana **100-104**

MF-20

Analisa Pengaruh Sambungan Dovetail Pada Badan Brone Dengan Material AISi10Mg Akibat Pembebanan Statis - Muhammad Andika Lesmana, Filza Firzana, Argenata Putri Mufana, Faraz Rifan Abdillah, Moch. Agus Choiron, Gembong Edhi Setyawan, Diva Kurnianingtyas **105-109**

MF-21

Pengaruh Bentuk Lubang pada Dinding Cage Terhadap Kekuatan Struktur Tulang dengan Simulasi Komputer - Muhammad Yogi Saputra, Moch. Agus Choiron, Andhika Yudistira **110-113**

MF-22

Pengembangan Variasi Sudut Sambungan Dovetail ada Plat Dengan Material AISi10Mg Berbasis Metode Elemen Hingga - Dzikri Amali Musyaffa, Nur Aini, Muhammad Sandro Sultan Syafiq, Syafiq Sanjaya, Moch. Agus Choiron, Gembong Edhi Setyawan, Diva Kurnianingtyas **114-119**

MF-23

Ketahanan Api (Flameability) Green Composite Serat Daun Nanas (Ananas Comosus) Dengan Matrik Sari Pati Kentang Kencanawati, C I P K, Eriko Pangrapenta Sembiring, I Made Astika **120-122**

MF-24

Pengaruh Fraksi Volume Serat Pada Green Composite Sari Pati Kentang dan Serat Bambu Terhadap Kekerasan Kencanawati, C I P K, Nanda Yobel Philip Siburian, I Putu Agus Suryawan **123-127**

MF-25

Analisis Ketahanan Pisau Mangkuk Pemotong Dengan Metode Elemen Hingga Pada Material M390 - Rizki Fauziah Nur Fadhillah, Rahmad Samosir, Priyono Atmadi **128-132**

MF-26

Model Optimum Proses Pencampuran (mixing) Pada Instalasi Pompa Pengolahan Air Bersih - Mastiadi Tamjidillah, Rachmat Subagyo, Muhammad Nizar Ramadhan, Abdul Ghofur, Rudi Siswanto, Helmy Purwanto **133-136**

MF-27

Analisi Postur Kerja Sebagai Upaya Mengurangi Keluhan Muskuloskeletal Guna Meningkatkan Produktivitas Calon Mekanik Muda Di Smkn 1 Denpasar – I G L Yoga Rafsandita, I G N Priambadi **137-140**

MF-28

Analisa Perilaku Benang Emas Lokal Dan Impor Pada Kain Songket Tenun Klungkung I Gede Biyan Mulyana, I Made Widyarta, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara **141-145**

MF-29

Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Blok Head Pada Proses Frais I Gusti Komang Dwijana, I Dewa Gede Ary Subagia, I Made Astika, Made Suarda, I Gusti Ketut Sukadana, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara **146-149**

MF-30

Analisis Cacat Dakon Pada Proses Produksi Pembuatan Roda Gigi Irwan Suriaman, Rustama Ahmad Zaelani, Choirul Anwar **150-154**

MF-31

Analisis Pengaruh Variasi Material Penjepit Untuk Mengurangi Deformasi Plastik Baja Aisi 1018 - Irwan Suriaman, Bahri Rojak, Apang Djafar Shieddique **155-157**

MF-32

Perubahan Kekerasan dan Densitas Material High Tin Bronze Akibat Penambahan Timah Hitam (Pb) - I Ketut Gede Sugita, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, I Gede Suarjaya **158-162**

Grup Makalah Konversi Energi

KE-01

Pengembangan Pengidentifikasian Panel Surya Hibah Pemerintah Yang Terhenti Sehingga Merancang Guna Penerangan Di Pulau Saibi - Mentawai – 167-169
Melya D.Sebyang, Rachmad Samosir, Williams Awola

KE-02

Analisis Pengaruh Diferensial Temperatur Di Kondenser Terhadap Cop Untuk Mengoptimalkan Performa Ac Tipe Water Cooled Chiller - I Gede Agus Aristama Putra 170-176

KE-03

Analisa Karakteristik Pembakaran Droplet Biodiesel Dengan Bioaditif Minyak Sereh Wangi - Kayu Putih - Muhammad Nizar Ramadhan, Defrihans Galang Putranto 177-181

KE-04

Analisa Kelayakan PLTMH Pada Kali Blumbang Tawangmangu Kabupaten Karanganyar - Medyawanti Pane, Rahmad Samosir 182-187

KE-05

Analisis Unjuk Kerja Kolektor Surya Plat Datar Dengan Aliran Impinging Jet dalam proses Pengeringan - Ketut Astawa, I N Suarnadwipa, I Gusti Ngurah Putu Tenaya, I G Teddy Prananda Surya 188-194

KE-06

Pengaruh Beban Kerja terhadap Stres Kerja dan Dampak Kinerja Karyawan pada Perusahaan Jasa di Kota Makassar - Dirgahayu A. Lantara, Anis Saleh, Rahmaniah Malik, Titania Nurul Latifah Hapsa 195-200

KE-07

Studi Kasus Head Pompa Hydram dengan Variasi Panjang Langkah Katup Limbah - I Putu Widiarta, Made Suarda, I Gusti Ketut Sukadana 201-204

KE-08

Uji Performansi Sistem Pirolisis Sampah Plastik Jenis Polypropylene Dengan Memvariasikan Temperatur Pirolisis I N Suarnadwipa, Ketut Astawa, Made Ricki Murti, I Wayan Bandem A, Izhar Adji Arta 205-209

KE-09

Distribusi Tekanan di Sekitar Katup Limbah Pada Variasi Panjang Spacer Cabang Tee Badan Pompa Hydram - Made Suarda, Barron Benvico Masoelili, Ainul Ghurri, I Putu Widiarta, I Gusti Komang Dwijana **210-213**

KE-10

Karakteristik Kerja Kapiler Karbon Aktif Bambu Betung Sebagai Material Pad Alternatif Hendra Wijaksana, Ketut Astawa, I Gusti Ngurah Putu Tenaya, I Gede Teddy Prananda Surya **214-218**

KE-11

Karakteristik Gaya Berat Air Bambu Betung Berpori Karbon Sebagai Material Pad Pendingin Evaporative- I Gusti Ngurah Putu Tenaya, Hendra Wijaksana, Ketut Astawa, Teddy Prananda Surya **219-225**

KE-12

Pengujian eksperimental dan simulasi numerik aliran melintasi truk dengan penambahan penutup samping kolong truk - Ainul Ghurri, AA Adhi Suryawan, Faris Reynaldi **226-230**

Pengaruh Alkalisasi *Hybrid Composite* Bulu Itik–Purun Tikus Terhadap Impak dan Tekan

Akhmad Syarief^{1)*}, Fadlyanur²⁾, Muhammad Vicco Wellson Nur Fadhillah W⁽³⁾, Aulia Aufa Ramadhasari⁴⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

Abstrak
<p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh alkalisasi hybrid composite bulu itik (<i>anas plathycus borneo</i>) - serat purun tikus (<i>eleocharis dulcis</i>) bermatrix polyester terhadap kekuan impak dan tekan. Uji Impak Menggunakan standar ASTM-D6110-10 dan uji tekan menggunakan standar ASTM D1621-00 dengan metode pembuatan Hand Lay-Up dengan komposisi 78% Polyester Resin, 2% Katalis, 20% Serat Penguat. Fraksi volume serat penguat purun tikus-bulu itik; (90%: 10%). Variabel yang diamati meliputi waktu alkalisasi perendaman serat purun tikus dan bulu itik selama 10 menit hingga 60 menit. Hasil pelitian menunjukkan bahwa perendaman alkalisasi pada waktu 10 menit dan 20 menit menunjukkan kekuatan impak tertinggi dengan rata-rata energi impak 7,09 joule dan rata-rata harga impak 0.06 joule/mm² Dan pada waktu 20 menit menunjukkan rata-rata beban maksimal 111,352 N dan rata-rata kuat tekan 115,79 Mpa. Spesimen uji impak dan tekan dengan nilai tertinggi dan terendah mengalami jenis patahan fiber pull out. Nilai yang dibatkan menyatakan bahwa dengan perendaman alkalisasi serat purun tikus dan bulu itik memperoleh ikatan yang baik antara permukaan matriks dan serat dan dapat meningkatkan kekuatan impak dan tekan, sebaliknya semakin lama perendaman alkalisasi serat purun tikus dan bulu itik akan menurunkan kekuatan impak dan tekan.</p> <p>Kata Kunci: ASTM, kekuatan impak, kekuatan tekan, waktu alkalisasi, komposit hibrida, bentuk patahan</p>
Abstract
<p>This study aims to determine the effect of alkalization of hybrid composite duck feather (<i>anas plathycus borneo</i>) - rat purun fiber (<i>eleocharis dulcis</i>) with polyester matrix on impact and compressive strength. Impact test using ASTM-D6110-10 standard and compressive test using ASTM D1621-00 standard with Hand Lay-Up manufacturing method with composition of 78% Polyester Resin, 2% Catalyst, 20% Reinforcing Fiber. Volume fraction of rat purun duck feather reinforcing fiber; (90%: 10%). The observed variables include alkalization time of rat purun and duck feather fiber soaking for 10 minutes to 60 minutes. The results showed that alkalization soaking at 10 minutes and 20 minutes showed the highest impact strength with an average impact energy of 7.09 joules and an average impact price of 0.06 joules/mm² and at 20 minutes showed an average maximum load of 111.352 N and an average compressive strength of 115.79 Mpa. The impact and compressive test specimens with the highest and lowest values experien fiber pull out fault types. The values obtained state that with alkalization soaking of rat purun fibers and duck feathers, a good bond between the surface of the matrix and the fiber is obtained and can increase the it bact and compressive strength, on the other hand, the longer the alkalization soaking of rat purun fibers and duck feathers will reduce the impact and compressive strength.</p> <p>Keywords: ASTM, impact strength, compressive strength, alkalization time, hybrid composite, fracture shape</p>

1. Pendahuluan

Serat sering digunakan sebagai penguat pada material komposit. Setara penguatan, serat menentukan sifat-sifat campuran yang diperoleh dengan distribusi dimuat ke dalam matriks. Saat ini, industri cenderung menggunakan serat alami yang semakin populer. Ramah lingkungan karena terurai secara alami dan mengorbankan serat alami. Harga serat alami lebih rendah dibandingkan serat sifis Selain itu, serut alami memiliki kepadatan yang rendah, dapat terurai secara alami, mudah didaur ulang, memerlukan sedikit energi untuk produksi, memiliki sifat mekanik yg baik dan dapat diperbarui. Selain itu, serat alam juga menjadi kandidat sebagai bahan penguat produksi. Bahan komposit ringan, kuat, ramah lingkungan dan ekonomis [1].

Itik alabio adalah bebek petelur asli Kalimantan. (*Platurynchos bomeo anas*), Itik ini sangat berbeda dengan varietas itik asli lainnya di Kalimantan Selatan karena berasal dari perkawinan itik peking dengan itik asli Kalimantan Selatan. Kalimantan Selatan memiliki bebek peking yang membuatnya berbeda dari varietas

bebek asli lainnya. Itik alabio merupakan flasma nutfah daerah Kalimantan Selatan yang berkembang di daerah Alabio Kabupaten Hulu Sungai Utara dengan populasi itikk alabio yang tercatat 436.468 ekor pada tahun 2011 [2]. Nama Alahio diberikan oleh Drh Saleh Puspo pada tahun 1950. Alabio merupakan nama salah satu kecamatan di Kabupaten Hulu Sungai Utara, Kalimantan Selatan. Itik alabio sering dimanfaatkan untuk kebutuhan pasar terutama daging dan telurnya. Namun, bagian dari bulunya tidak dimanfaatkan, bagian dari unggas yang satu ini sebenarnya dapat juga dimanfaatkan dan berpotensi dapat dijadikan sebagai serat penguat dari material komposit

Serat purun tikus (*Eleocharis Dulcis*) merupakan tumbuhan liar di rawa yang dapat dijumpai di daerah Kalimantan Selatan. Tanaman ini dikategorikan gulma dikarenakan pertumbuhannya yang cepat. Senat purun tikus dimanfaatkan sebagai kerajinan tangan untuk nimah tangan dan makun hewan kerbau [3]. Beberapa penelitian telah menggunakan purun tikus sebagai biofillier [4]. Sebagai penyerap logam berat [3], Sebagai material komposit papan semen [1]. Penelitian

sebelumnya telah mengamati bahwa prosedur alkalisasi menghilangkan konstinaet serial, khususnya hemiselulosa, lignin, dan pektin, yang kurang efisien dalam menentukan kekuatan antarmuka. Dengan mengurangi jumlah hemiselulosa, lignin, atas pektin didam matriks, kekerasan serat deingkatkan, yang mengarah pada peningkatan kekuatan antarmuka. Selain itu, ketidakteraturan permukaan ditingkatkan ketika hemiselulosa, lignin, atau pektin berkurang, yang memfasilitasi ikatan mekanis yang lebih kuat [1].

Maka, dalam penelitian ini, peneliti menggunakan limbah bulu itik dan serat purun tikus sebagai bahan baku penguat komposit, karena kedua bahan ini dapat menjadi bahan buku alternatif dan sangat berpotensi di Indonesia khususnya di Alabio, Kecamatan Sungai Pandan, Kabupaten Hulu Sungai Utara, Kalimantan Selatan. Komposisi dari penelitian ini menggunakan polyester sebesar 50% dan 20% serat. Itik kalabio sering dimanfaatkan untuk kebutuhan terutama daging dan telurnya. Namun, bagian dari bulunya tidak dimanfaatkan, bagian dari unggas yang satu ini sebenarnya dapat juga dimanfaatkan dan berputernya dapat dijadikan sebagai serat penguat dari material komposit. Pemanfaatan bulu itik masih sedikit dalam pengaplikasian material komposit dan sedikitnya referensi mengenai penelitian komposit menggunakan serat bulu itik yang dikombinasikan dengan serat purun tikus sehingga diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menjadi inovasi baru dalam perkembangan teknologi material komposit untuk dalam industri yang bisa digunakan sesuai dengan kepentingan dan tujuan dalam pengaplikasiannya. Dari latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian dengan mengusul judul penelitian pengaruh alkalisasi *hybrid composite* bulu itik-purun tikus terhadap dampak dan tekan.

Hybrid Fiber Composite

Hybrid fiber composite menggabungkan serat yang berorientasi dan tidak berorientasi. Jenis ini digunakan untuk memperbaiki kekurangan karakteristik dari kedua jenis dan untuk menggabungkan manfaatnya. Pada akhirnya untuk menciptakan material komposit dengan nilai sifat mekanik yang lebih baik namun dengan biaya pembuatan yang dapat diminimalisir komposit hybrid. Umumnya komposit hybrid terdiri dari campuran serat cacah dan serat kontinu. Untuk meningkatkan lebih lanjut sifat bahan komposit, komposit hybrid dikembangkan. Perilaku komposit hybrid tampaknya hanyalah jumlah berat komponen individu di mana ada keseimbangan yang lebih menguntungkan antara kelebihan dan kekurangan. Komposit hybrid menawarkan keunggulan dalam hal integritas struktural dan bahan berkelanjutan dalam kondisi kecelakaan dan tabrakan.

Bulu Itik

Bulu itik Kalimantan Selatan pada berbentuk discontinue sebagai serat penguat komposit. Limbah bulu mengandung ~91% protein keratin dengan demikian, potensi bulu unggas dapat dimanfaatkan menjadi senyawa atau produk bernilai tinggi karena terdiri dari protein keratin atau serat keratin. Keratin adalah protein berserat kaya sulfur yang banyak terdapat pada rambut, kuku, dan bulu. Ini dibentuk oleh pengerasan jaringan epidermis tubuh. Bentuk stama keratin yang ditemukan di alam adalah α -keratin. Keratin adalah

molekul protein yang dicirikan oleh struktur heliksnya, yang memberikan kekuatan, fleksibilitas, dan tekstur berserat pada produk yang dihasilkan. Kandungan protein fibrer yang berupa serai tersebut tentunya dapat digunakan sebagai bahan reinforced pada pembuatan material komposit [5].



Gambar 1. Limbah Bulu Itik Alabio
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Purun Tikus

Purun tikus mendiami area terbuka di lahan rawa basah, biasanya pada ketinggian antara 0-1.350 m di atas permukaan laut. Purun tikus sering dijumpai di persawahan dan lokasi dengan kondisi basah, tinggi tambahan bisa mencapai 150 cm. Batang berbentuk silindris diameternya 2-3 mm. Purun tikus dapat tumbuh baik pada suhu 30-35°C. Serat Purun tikus (*Elocharis dulcis*) merupakan salah satu material natural fiber alternative. Dalam pembuatan komposit secara ilmiah, penggunaan material komposit dengan bahan tersebut masih sedikit. Analisa kimia menunjukkan bahwa serat purun tikus memiliki kandungan selulosa yang signifikan <30%. Hal ini mengindikasikan bahwa serat ini dapat digunakan secara efektif sebagai sumber selulosa. Selain itu, dengan memeriksa dimensi dan nilai turunan dari serat, telah ditentukan bahwa purun tikus dapat berfungsi sebagai sumber serat yang layak untuk berbagai aplikasi, termasuk produksi pulp, biokomposit, serat nano dan polimer alami untuk superabsorben [6].



Gambar 2. Purun Tikus
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Perlakuan Alkalisasi

Alkalisasi adalah teknik modifikasi permukaan serat yang digunakan untuk mencapai koneksi yang kuat antara permukaan matriks dan serat. Prosedur alkalisasi menghilangkan komponen serat, seperti hemiselulosa, lignin, atau pektin, yang memiliki dampak lebih rendah pada kekuatan antarmuka. Kekerasan serat oleh matriks akan meningkat dengan berkurangnya hemiselulosa, lignin, atau pektin, yang menghasilkan peningkatan kekuatan antarmuka. Selain itu, penurunan kandungan hemiselulosa, lignin, atau pektin akan meningkatkan kekasaran permukaan, yang mengarah pada peningkatan daya rekat mekanis [1]. Sebelum dimanfaatkan sebagai serat alami, purun tikus

harus diolah dengan larutan alkali (basa) untuk mengurangi unsur hemiselulosa, lignin, pektin, sehingga hanya selulosa yang tersisa dalam serat. Perlakuan ini diharapkan mampu menghilangkan kandungan ikatan selulosa pada serat. Serat purun tikus adalah serat yang sangat hidrofi (mudah menyerap air) dan bulu itik bersifat hidrofobik atau tidak suka air. Proses modifikasi permukaan dilakukan untuk meningkatkan kompatibilitas antara serat alami dan matriks, serta bulu itik. Serat alami, yang bersifat hidrofilik, tidak cocok dengan matriks termoset, sementara bulu itik, yang bersifat hidrofobik, juga tidak cocok. Modifikasi hidrofobik dari serat alami dapat dicapai dengan menghilangkan konstituen hidrofilik seperti hemiselulosa, lignin, dan pektin, sehingga serat akan lebih kompatibel dengan resin dan bulu itik.

Uji Impak

Sangat penting untuk memiliki pengetahuan dan memperhitungkan ketahanan material terhadap beban kejut, serta berbagai elemen yang memengaruhi sifat-sifatnya. Resistensi ini merupakan karakteristik dari properti material yang dikenal sebagai kerapuhan. Ada dua pendekatan yang umum digunakan untuk pengujian impact: Charpy dan Izod. Pengujian ini dirancang untuk menilai kecenderungan material untuk patah dengan cara yang rapuh dan mengukur energi tumbukannya, yang juga dikenal sebagai ketangguhan takik. Ketangguhan takik mengukur kemampuan material untuk menahan takik dan membedakan jenis fraktur di bawah beban kejut.

Perbedaan jarak vertikal yang dicapai oleh palu godam selama ayunan berfungsi sebagai indikator jumlah energi yang diserap oleh objek yang diuji. Penyerapan energi bergantung pada keuletan material yang diuji dan dikuantifikasi dalam satuan Joule. Energi yang dibutuhkan untuk mematahkan benda uji dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$E_{impact} = m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2 \tag{1}$$

$$= m \cdot g(R - R \cos \alpha) - m \cdot g(R - R \cos \beta) \tag{2}$$

$$= m \cdot g \cdot R(\cos \beta - \cos \alpha) \tag{3}$$

E_{impact} : energi impact spesimen uji (J)

m : massa pendulum (kg)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

R : panjang pendulum (m)

h_1 : tinggi jatu pendulum (m)

h_2 : tinggi ayunan pendulum (m)

α : sudut awal ($^\circ$)

β : sudut setelah patahan ($^\circ$)

Besarnya kekuatan impact dapat dihitung dengan,

$$HI = \frac{E_{serap}}{A} \tag{4}$$

HI : harga impact (joule/ mm^2)

E_{serap} : energi impact spesimen uji (J)

A : luas penampang di bawah takikan (mm^2)

Uji Tekan

Uji tekan adalah alat uji mekanis yang digunakan untuk mengukur dan memastikan ketahanan benda terhadap gaya tekan, sehingga dapat menentukan kekuatannya. Uji tekan ini menunjukkan kinerja dan kualitas yang sangat baik dalam menilai kekuatan benda. Biasanya, uji tekan ini digunakan pada logam yang menunjukkan kerapuhan, karena alat uji tekan menunjukkan titik patah yang berbeda dan mudah diamati selama pengujian objek.

Untuk mengetahui nilai Kuat Tekan pada hybrid komposit dengan fraksi volume didapatkan dengan menggunakan rumus [7] :

$$F_c = \frac{P}{A} \tag{5}$$

F_c : kuat tekan (MPa)

P : beban max. (N)

A : luas penampang (m^2)

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di dua tempat, pembuatan spesimen dan foto makro dilakukan di Lab. Fisika dan Material Program Studi S-1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat. Pengujian impact metode Charpy dilakukan di Universitas Brwijaya. Dan Pengujian Tekan di Lab beton Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat Dimulai dari bulan Juli 2023- Agustus 2023.

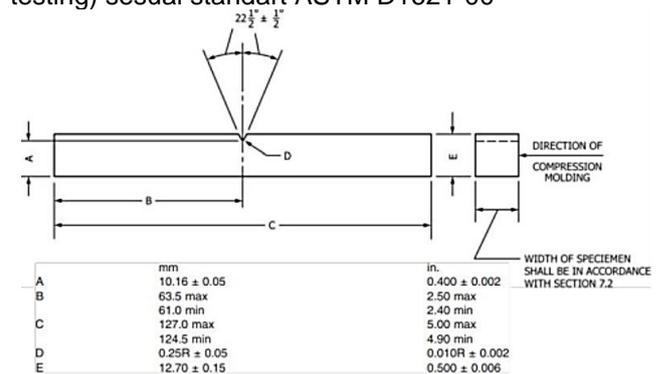
Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah cetakan spesimen yang terbuat dari kaca yang menyesuaikan ukuran standar pengujian, timbangan digital untuk menimbang komposisi material, amplas, gelas ukur, jangka sorong yang digunakan untuk mengukur spesimen, Gerinda dan gergaji untuk memotong spesimen dan alat uji impact (Impact Testing) dan alat uji tekan (compressive testing).

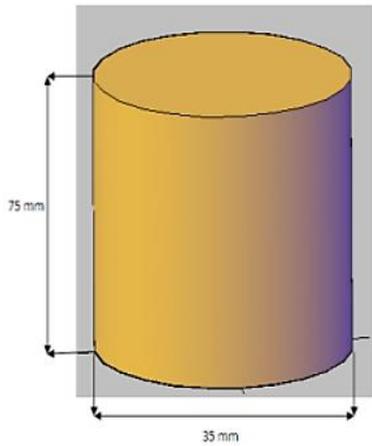
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah bulu itik yang telah dibersihkan dan dikeringkan, serat purun tikus yang telah disuir sesuai dengan ukuran cetakan kaca Resin Unsaturated Polyester Yukalac BQTN Type 157 78%, NaOH 5%, air, katalis jenis Methyl Ethyl Keton Peroksida (MEKPO) 2%, lem kaca, dan wax sebagai anti lengket pada cetakan dan pipa paralon 14".

Ukuran Cetakan Spesimen Uji Impact dan Tekan

1. Pembuatan sampel uji impact (impact testing) sesuai standart ASTM D6110-10
2. Dan pembuatan sampel uji tekan (Compressive testing) sesuai standart ASTM D1621-00



Gambar 3. Spesimen Uji Impact (Sumber : ASTM International, 2010)



Gambar 4. Spesimen Uji Tekan (Sumber : Ali & Rusman, 2017)

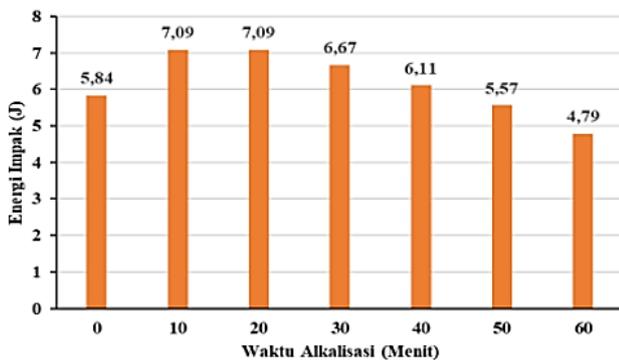
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Hasil Pengujian Impak

Tabel 1. Hasil Pengujian Impak

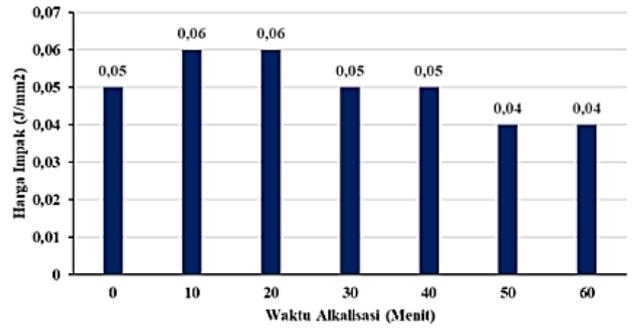
No.	Waktu Alkalisasi (Menit)	Polyester	Sudut Setelah Patah (°)		
			Spesimen A	Spesimen B	Spesimen C
1	0	80%	133	131	135
2	10		131	128	131
3	20		132	130	128
4	30		129	134	130
5	40		130	133	134
6	50		135	134	132
7	60		137	134	136

Dari Tabel 1. dapat dihitung energi impact dan harga impact spesimen menggunakan rumus (3) & (4), hasil perhitungan energi impact dan harga impact pada spesimen uji hybrid komposit dengan berbagai variasi waktu alkalisasi disajikan dalam bentuk grafik batang yang bisa dilihat dalam Gambar 5. dan Gambar 6.



Gambar 5. Hasil Rata – Rata Energi Impact

Dari gambar 5, hasil pengujian tersebut diperoleh hasil grafik rata-rata energi impact pada setiap waktu alkalisasi. Energi impact rata-rata komposit dengan waktu alkalisasi 10-20 menit, menunjukkan energi impact tertinggi dimana kekuatan impact maksimum menunjukkan nilai rata 7,09 Joule Energi impact rata-rata komposit dengan waktu alkalisasi 60 menit menunjukkan energi impact terendah dimana kekuatan impact dengan energi impact maksimum nilai rata-rata 4,79 joule.



Gambar 6. Hasil Rata – Rata Harga Impact

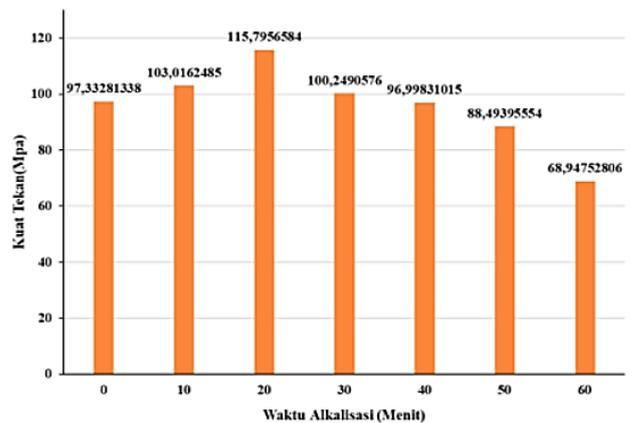
Dari gambar 6 Harga Impact dari rata-rata tertinggi diperoleh pada waktu alkalisasi 10-20 menit dengan Harga Impact maksimum pada nilai rata-rata 0,06 J/mm². Sedangkan rata-rata Harga Impact terendah diperoleh pada komposit waktu alkalisasi 60 menit dengan Harga Impact maksimum rata-rata 0,04 J/mm².

3.2 Data Hasil Pengujian Tekan

Tabel 2. Hasil Pengujian Tekan

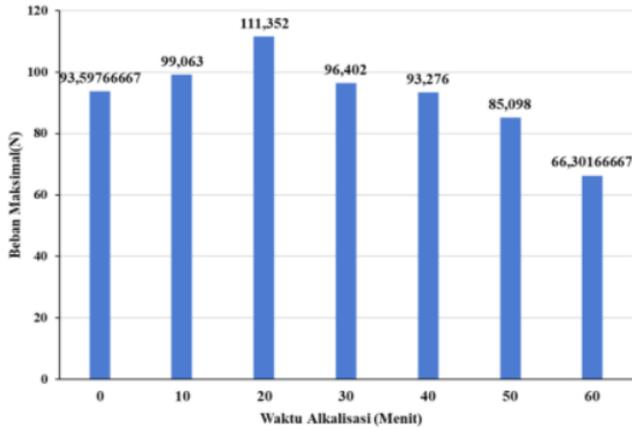
No	Fraksi Volume Serat Purun Tikus : Bulu Itik (20%)	Polyester	Waktu Alkalisasi (Menit)	Kode Spesimen	Beban Maksimal (N)	Rata-rata Beban Maksimal (N)	Kuat Tekan (Mpa)	Rata-rata Kuat Tekan (Mpa)
1	90% : 10%	80%	0	A.1.1	73.118	93,59766667	76,03627212	97,3331947
2				A.1.2	116,856		121,5199351	
3				A.1.3	90,819		94,44375117	
4			10	A.2.1	101,812	99,063	105,8755018	103,0167842
5				A.2.2	96,505		100,3566898	
6				A.2.3	93,972		102,818161	
7			20	A.3.1	120,113	111,352	124,9089279	115,7962605
8				A.3.2	106,722		110,9814688	
9				A.3.3	107,221		111,5003848	
10			30	A.4.1	97,02	96,402	100,8922443	100,2495788
11				A.4.2	95,358		99,1639109	
12				A.4.3	96,828		100,6925813	
13			40	A.5.1	100,989	93,276	105,0196543	96,9988145
14				A.5.2	89,331		92,89636239	
15				A.5.3	89,508		93,08042678	
16			50	A.5.4	84,569	85,098	87,94430232	88,49441567
17				A.5.5	89,405		92,97331586	
18				A.5.6	81,32		84,56562883	
19			60	A.5.7	65,018	66,30166667	67,61298642	68,94788655
20				A.5.8	62,21		64,69291404	
21				A.5.9	71,677		74,5377592	

Dari Tabel 2. dapat dihitung kuat tekan menggunakan rumus (5), hasil perhitungan kuat tekan pada spesimen uji hybrid komposit dengan berbagai variasi waktu alkalisasi disajikan dalam bentuk grafik batang yang bisa dilihat dalam Gambar 7. Dan beban maksimumnya pada Gambar 8.



Gambar 7. Hasil Rata – Rata Kuat Tekan

Dari Gambar 7. dapat dilihat bahwa pengaruh waktu alkalisasi terhadap nilai kuat tekan nilai tertinggi dari hasil pengujian adalah waktu alkalisasi 20 menit dengan nilai beban maksimal 115,79 MPa. Adapun untuk nilai terendah dari hasil pengujian berada pada waktu alkalisasi 60 menit dengan nilai beban maksimal 68,94 Mpa.



Gambar 8. Hasil Rata – Rata Beban Maksimum

Dari Gambar 8. dapat dilihat bahwa pengaruh waktu alkalisasi terhadap nilai hasil pengujian Nilai tertinggi dari hasil pengujian adalah waktu alkalisasi 20 menit dengan nilai beban maksimal 111,352 N.

Pada uji dampak waktu alkalisasi dengan perolehan nilai energi dan harga dampak tertinggi pada waktu 10-20 menit dan menurun secara bertahap pada waktu 30 menit hingga 60 menit dengan nilai kekuatan dampak terendah pada waktu alkalisasi 60 menit. Dan pada pengujian tekan perolehan beban maksimal dan kuat tekan tertinggi pada waktu alkalisasi 20 menit dan menurun secara bertahap pada waktu 30 menit hingga 60 menit dengan nilai terendah uji kuat tekan pada waktu alkalisasi 60 menit. Hal ini diatur oleh proses alkalisasi. yang menghilangkan komponen serat yang kurang efisien dalam menentukan kekuatan antarmuka, termasuk hesiselulosa, lignin atau pektin, dan keratin. Kekerasan serat oleh matriks akan meningkat dengan berkurangnya kandungan hemiselulosa, lignin atau pektin, dan keratin, yang menghasilkan peningkatan kekuatan antarmuka. Selain itu, meningkatkan kekasaran permukaan akan meningkatkan daya rekat mekanis.

Pada spesimen uji dampak dan tekan dengan waktu alkalisasi 60 menit memiliki kekuatan dampak dan tekan terendah. Hal ini dipengaruhi dengan lamanya perendaman waktu alkalisasi mengakibatkan selulosa, hemiselulosa, lignin atau pektin, dan keratin berkurang bahkan hilang sehingga menghasilkan ikatan antar serat semakin lemah dan rapuh. Menurut [8] [9], dengan perlakuan kimia seperti Alkali dapat melarutkan lignin sehingga kadarnya berkurang namun perlakuan alkali yang terlalu lama akan mengakibatkan serat alam rusak permanen sehingga serat menjadi rapuh.

3.3 Data Hasil Pengujian ANOVA & TUKEY
Tabel 3. Uji ANOVA 1 arah terhadap uji dampak

```
> anova.dampak <- aov(HI ~ Waktu, data = df)
```

```
> summary(anova.dampak)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Waktu	6	0.0008047	1.341e-04	3.296	0.0309 *
Residuals	14	0.0005697	4.069e-05		

Untuk pendukung hasil pengujian digunakan uji ANOVA one-way pada variasi waktu alkalisasi terhadap uji dampak dan tekan. (Friedrich S, Konietschke F, Pauly M.2023). Pada data tersebut nilai P values nya 0,0309 yaitu signifikan dari nilai yang ditetapkan yaitu 0,05. Model ini menunjukkan istilah model yang signifikan.

Sehingga waktu alkalisasi mempengaruhi dari uji dampak.

Tabel 4. Uji TUKEY terhadap uji dampak

```
> TukeyHSD(anova.dampak)
```

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

```
Fit: aov (formula = HI ~ Waktu, data = df)
```

\$waktu	diff	lwr	upr	p adj
60-10	-1.813217e-02	-0.035916379	-0.0003479621	0.0443808
60-20	-1.814882e-02	-0.035933033	-0.0003646167	0.0441276

Pada uji tukey, menunjukkan bahwa nilai dari variasi waktu alkalisasi untuk nilai p value yaitu 0,0441276 signifikan atau dibawah dari nilai ketetapan yaitu 0,05. Waktu alkalisasi 10 menit dan 20 menit memberikan pengaruh terhadap kekuatan dampak.

Tabel 5. Uji ANOVA terhadap uji tekan

```
> anova.tekan <- aov(KT ~ Waktu, data = df)
```

```
> summary(anova.tekan)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Waktu	6	3750	624.9	6.377	0.00209 ***
Residuals	14	1372	98.0		

Pada data tersebut nilai P values nya 0,0309 yaitu signifikan dari nilai yang ditetapkan yaitu 0,05. Model ini menunjukkan istilah model yang signifikan. Sehingga waktu alkalisasi mempengaruhi kekuatan tekan.

Tabel 6. Uji TUKEY terhadap uji tekan

```
> TukeyHSD(anova.tekan)
```

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

```
Fit: aov (formula = KT ~ Waktu, data = df)
```

\$waktu	diff	lwr	upr	p adj
60-20	-46.8480000	-74.448028	-19.2479716	0.0007105

Pada uji tukey, menunjukkan bahwa nilai dari variasi waktu alkalisasi untuk nilai p value yaitu 0.0007105 signifikan atau dibawah dari nilai ketetapan yaitu 0,05. Waktu alkalisasi 20 menit memberikan pengaruh terhadap kekuatan tekan. Dari kedua uji statistik tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa waktu alkalisasi selama 20 menit secara signifikan memengaruhi dampak dan kekuatan tekan material

3.4 Bentuk Patahan





Gambar 9. Foto Makroskopik & Mikroskopik perbesaran 100x untuk spesimen uji dampak dengan waktu alkalisasi 20 menit



Gambar 10. Foto Makroskopik & Mikroskopik perbesaran 100x untuk spesimen uji dampak dengan waktu alkalisasi 60 menit

Bentuk patahan komposit hybrid polyester-serat purun tikus dan bulu itik secara makroskopik dan mikroskopik dari Gambar 9. & Gambar 10. dapat disimpulkan bentuk patahan yang terjadi pada saat pengujian dampak dan tekan adalah patahan fibre pull out. Fibre pull out merupakan tercabutnya serat penguat dari matriks akibat beban. Ketika matriks mengalami retakan, maka beban akan ditransfer dari matriks menuju serat sehingga kemampuan menahan beban berpindah ke serat. Jika terjadi kegagalan matriks, serat tetap mampu menahan beban, sehingga mencegah terjadinya proses fraktur secara bersamaan [10]. Selain kegagalan pull-out, disertai dengan pengurangan kekuatan akibat pull-out pada komposit Selanjutnya, debonding diamati pada komposit setelah menerapkan berbagai perbesaran [11]. Debonding mengacu pada pemisahan serat dan matriks karena melemahnya atau hilangnya gaya ikat di antara keduanya. Debonding muncul dari adhesi yang tidak memadai antara serat dan matriks. Ketika tekanan diberikan, matriks dan serat akan terlepas [12].

4. Simpulan

1. Perlakuan alkalisasi dengan menggunakan NaOH 5% berpengaruh terhadap kekuatan komposit hybrid serat alam purun tikus dan bulu itik terhadap kekuatan dampak dan tekan pada waktu alkalisasi 20 menit menunjukkan kekuatan tertinggi pada uji dampak dan tekan. Hal ini dipengaruhi perlakuan alkalisasi

menghilangkan komponen penyusun serat yang kurang efektif dalam menentukan kekuatan antarmuka yaitu hemiselulosa, lignin atau pektin, dan keratin Sehingga meningkatkan kekasaran permukaan yang menghasilkan ikatan mekanik yang lebih baik. Pada spesimen uji dampak dan tekan dengan waktu alkalisasi 60 menit memiliki kekuatan dampak dan tekan terendah. Hal ini dipengaruhi dengan lamanya perendaman waktu alkalisasi mengakibatkan selulosa, hemiselulosa, lignin atau pektin, dan keratin berkurang bahkan hilang sehingga menghasilkan ikatan antar serat semakin lemah dan rapuh

2. Pada spesimen uji dengan waktu alkalisasi 20 menit yang memiliki kekuatan Dampak tertinggi mengalami jenis patahan Fiber pull Out. Sedangkan, spesimen uji dengan waktu alkalisasi 60 menit yang memiliki kekuatan Dampak terendah juga mengalami jenis Patahan Fibre Pull Out. Fibre pull out diidentifikasi dengan munculnya serat yang sebagian besar terdiri dari serat purun tikus. Penarikan serat terjadi ketika serat tidak mampu menahan gaya yang diberikan padanya. Jika terjadi kegagalan matriks, serat tetap mampu menahan beban, mencegah terjadinya proses patah secara bersamaan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Maryanti, B., Sonief. A. A., & Wahyudi, S. (2011). Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Rekayasa Mesin*, 2(2), 123-129.
- [2] Dinas Peternakan Provinsi Kalimantan Selatan. (2011). Laporan Tahunan. In Department of Polytechnic Education. <http://politeknik.gov.my/dokumen/files/binderFA-LaporanTahunanPoliteknik2011.pdf>
- [3] Thamrin, S. A. M. (2012). Manfaat purun tikus 6. 31(1), 35-42
- [4] Prihatini, N. S., Setyorini, A., Azizah, N., Khumeni, S., & Tri Astuti, D. (2011) POTENSI PURUN TIKUS (*Eleocharis dulcis*) SEBAGAI BIOFILTER Proceedings Environmental Talk. Toward A Better Green Liwng 2011 154-165.
- [5] Rifaldy, R. Nugraha, L. Suci, F. C., & Setiawan, R. (2022), Analisis Sifat Mekanik Pada Serat Bulu Ayam Dengan Campuran Pp Sebumi Material Komposa. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 7(1), 72-77. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v7i1.45386>
- [6] Sunardi, S. (2021). ANALISIS KANDUNGAN KIMIA DAN SIFAT SERAT TANAMAN PURUN TIKUS (*Eleocharis dulcis*) ASAL KALIMANTAN SELATAN, *Bioscientiae*, 9(2), 15. <https://doi.org/10.20527/b.v9i2.3807>
- [7] Tjokrodinuljo, Kardiyono 2007. Teknologi Beton. Biro Penerbit Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- [8] Bledzki, A. K., Reihmane, S., & Gassan, J. (1996). Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 59(8), 1329-

1336.

[https://doi.org/10.1002/\(sici\)10974628\(1996022\)59:8-1329::aid-app17-3.3.co:2-5](https://doi.org/10.1002/(sici)10974628(1996022)59:8-1329::aid-app17-3.3.co:2-5)

- [9] Cyrus, V. P., Vallo, C., Kenny, J. M., & Vázquez, A. (2004), Effect of chemical treatment on the mechanical properties of starch-based blends reinforced with sisal fibre. *Journal of Composite Materials*, 38(16), 1387-1399. <https://doi.org/10.1177/0021998304042738>
- [10] Syarief, A., Sumantri, D., Robittah, A., & Prayogi, S. (2022). Effect of Alkalization Duration and the Orientation of Fiber on Composites of Polyester Reinforced Fibre of Terap Tree (*Artocarpus Elasticus*) on Impact and Bending Strength. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, Vol.3 No.1(Vol. 3 No. 1 (2022))
- [11] Syarief, A., Basyir, A. A., & Andy Nugraha, A. N. (2021). Pengaruh Orientasi Serat Dan Waktu Alkalisasi Pada Laminates Composite Polyester-Serat Bemban (*Donax Canniformis*) Terhadap Kekuatan Bending, Impact Dan Bentuk Patahan. *Info-Teknik*, 22(2), 209. <https://doi.org/10.20527/infotek.v22i2.12387>
- [12] Syarief, A., Raliannoor, Isworo, H., & Sabitah, A. (2021). Voids analysis on polyester matrix composites reinforced with a combination of Bambusa bluemena fiber and fiber glass from tensile test results. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1034(1), 012144. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1034/1/012144>



Akhmad Syarief menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Muhammadiyah Malang pada tahun 1998. Pendidikan Magister diselesaikan di Universitas Brawijaya Malang pada tahun 2011 dengan area riset tentang material maju fiber composit.

Saat ini ia bekerja sebagai dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah material dan metallurgy.

Simulasi Analisis Jumlah Lubang Rubber Fender Tipe D Terhadap Nilai Deformasi, Regangan Dan Tegangan

Dewa Gede Oka Sastrawan^{1)*}, I Made Gatot Karohika²⁾, I Made Widiyarta³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Magister Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Denpasar Bali

Abstrak

Penelitian ini akan membahas nilai deformasi, regangan dan tegangan pada rubber fender dengan perbedaan jumlah lubang pada sisi bagian depan. Rubber fender merupakan karet peredam yang terdapat ditepi Pelabuhan, rubber fender berfungsi untuk meredam benturan pada kapal laut ketika akan bersandar di dermaga. Pemasangan rubber fender berfungsi untuk menghindari kontak secara langsung kapal laut dengan dinding dermaga untuk menghindari kerusakan. Rubber fender memiliki kemampuan penyerapan energi dan gaya reaksi yang tinggi terhadap benturan, keuntungan terbesar dari rubber fender tipe D adalah memiliki bagian belakang yang datar sehingga mempermudah proses pemasangan. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap jumlah lubang yang terdapat pada rubber fender tipe D dengan menggunakan 2 dan 3 lubang pada bagian depan. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh nilai deformasi total, regangan elastis dan tegangan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan simulasi perangkat lunak dengan menggunakan material dan kondisi batasan yang sama terhadap 2 model yang disimulasikan. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa tipe D2 memiliki nilai deformasi total yang lebih rendah sebesar 0,008 mm, tipe D1 memiliki nilai regangan elastis yang lebih rendah sebesar 0,00026 mm/mm dan tipe D1 memiliki nilai tegangan yang lebih rendah sebesar 0,00049 MPa.

kata kunci: rubber fender , deformasi total, regangan plastis, tegangan

Abstract

This research will discuss the total value of deformation, elastic strain and stress on rubber fenders with different numbers of holes on the front side. Rubber fender is a rubber damper located on the edge of the harbour, rubber fender serves to reduce the impact on the ship when it will lean on the dock. The installation of rubber fenders serves to avoid direct contact of ships with the dock wall to avoid damage. Rubber fenders have the ability to absorb energy and high reaction forces against impact, the biggest advantage of type D rubber fenders is that it has a flat back which makes the installation process easier. This research will test the number of holes contained in the type D rubber fender using 2 and 3 holes on the front. This research was conducted to obtain the value of total deformation, equivalent elastic strain and equivalent stress. The research was conducted using software simulation using the same material and boundary conditions for the 2 models to be simulation. Based on the test results that have been carried out, it is found that type D2 has a lower total deformation value of 0,008 mm type D1 has a lower equivalent elastic strain value of 0.00026 mm/mm and type D1 has a lower equivalent stress value of 0.00049 Mpa.

Keyword: rubber fender, total deformation, equivalent elastic strain, equivalent stress

1. Pendahuluan

Pada masa ini industri karet telah berkembang dengan sangat pesat, Indonesia merupakan negara penghasil karet terbesar kedua setelah Thailand [1] sejalan dengan pesatnya upaya pemerintah untuk melakukan ekspor karet dalam produk jadi. Hal ini memberikan dampak yang positif untuk memberikan nilai tambah dan dapat meningkatkan devisa negara [2]. Bantalan karet atau yang dikenal dengan sebutan

rubber fender merupakan salah satu produk berbahan dasar karet yang dibuat di Indonesia. Produk ini dibuat untuk melengkapi fasilitas yang ada di Pelabuhan. Produk rubber fender dibuat untuk menghindari terjadinya benturan secara langsung antara badan kapal dengan dinding pelabuhan, kejadian ini biasanya terjadi pada saat kapal menuju ke tepi pelabuhan, saat proses bongkar muat barang. Dengan adanya produk ini diharapkan

dapat mencegah terjadinya kerusakan yang diakibatkan oleh benturan yang terjadi antara badan kapal dengan dinding yang ada pada pelabuhan [3].

Dalam upaya memenuhi kebutuhan tersebut maka *rubber fender* yang digunakan harus memiliki sifat yang baik. Performa sifat tribology dari karet sangat penting untuk dianalisis terutama pada kapasitas kontak [4] *Rubber fender* memiliki banyak jenis berdasarkan bentuk dan ukuran yang berbeda-beda. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan eksperimen, perbandingan antara *rubber fender* tipe D dengan 2 (dua) lubang dan tipe D dengan menggunakan 3 (tiga) lubang terhadap nilai *total deformation*, *equivalent elastic strain* dan juga nilai *equivalent stress*.

Deformasi adalah perubahan bentuk dari suatu benda yang diakibatkan penerimaan gaya atau pada saat benda itu bekerja [5]. Deformasi dalam ilmu mekanika kuantum adalah perubahan benda dari kondisi semula ke kondisi terkini, makna “kondisi” dapat diartikan sebagai posisi. Tegangan adalah besaran gaya yang bekerja per satuan luas penampang bahan pada kondisi semula. Regangan adalah pertambahan panjang bahan yang diakibatkan oleh bekerja tegangan persatuan panjang bahan semula.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi, Proses pemodelan pada geometri sebagai bahan uji coba dilakukan dengan menggunakan *software computer aided design* atau yang dikenal dengan CAD. Proses pemodelan dengan menggunakan *software* sangat penting untuk dilakukan, karena proses pemodelan juga berperan sebagai tindak lanjut kedepan [6]. Kelebihan yang didapatkan melakukan penelitian dengan menggunakan simulasi *software*, yaitu dapat mengefisienkan waktu, tenaga dan juga biaya [7]. Proses simulasi yang dilakukan bertujuan dapat memberikan rekomendasi desain yang lebih optimal untuk dapat digunakan dalam proses produksi.

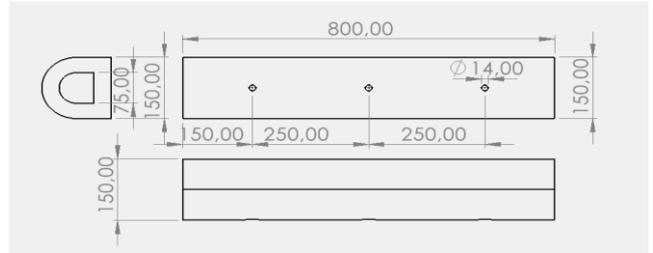
2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada dua jenis desain yang berbeda untuk mengetahui perubahan hasil yang didapat pada desain yang sudah dimodifikasi. Modifikasi yang dilakukan pada desain standar dengan perbedaan jumlah lubang yang ada pada bagian depan *rubber fender*, pada desain standar *rubber fender*, perubahan hanya dilakukan pada jumlah lubang pada bagian tengah *rubber fender*, tanpa merubah ukuran diameter maupun jarak lubang. ANSYS merupakan *software* analisis elemen hingga yang digunakan untuk dapat menyajikan analisis kondisi statis. Analisis struktur statis digunakan untuk menentukan hasil kondisi pembebanan tunak [8]

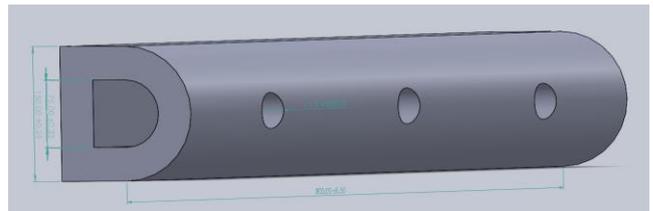
2.1 Model Geometri

Proses pemodelan yang dilakukan dengan menggunakan *Computer Aided Design* tentunya beracuan pada geometri yang telah ditentukan sebelumnya, dimensi yang ada dalam sebuah desain disesuaikan dengan kondisi yang sebenarnya sehingga proses simulasi yang dilakukan akan mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang output yang diharapkan

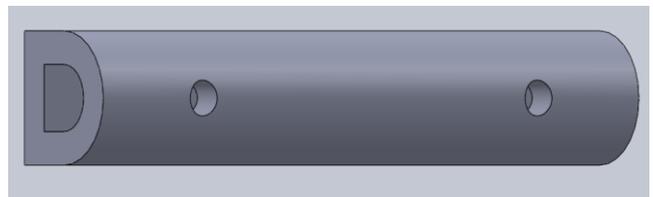
desain yang akan disimulasikan ditampilkan dalam bentuk gambar sebagai berikut.



Gambar 1. Geometri 2D *Rubber Fender Tipe D 150*



Gambar 2. Geometri 3D *Rubber Fender Tipe D 150*



Gambar 3. *Design Rubber Fedender Tipe D1 (3 Lubang)*



Gambar 4. *Design Rubber Fedender Tipe D2 (2 Lubang)*

2.3 Material

Material *Ruber Fender* tipe D ini menggunakan material yang memiliki sifat di katagori *hiperelastis* dimana sifat ini disinyalir terbaik dalam segi kelenturan terhadap penerimaan beban berat yang mengakibatkan deformasi. Dengan demikian material ini bernama *Natural Rubber Reinforced with Carbon Black* yang telah di uji coba oleh Mooney–Rivlin, model mooney-rivlin hingga saat ini banyak digunakan untuk material yang mirip dengan karet [9] sifat mekanis dari material dapat dilihat pada tabel 1. *Material Propertis*

Tabel 1. *Material Propertis*

Mooney-Rivlin		
Property	Value	Unit
Material Constant C10	0,3339	MPa
Material Constant C01	-0,000337	MPa
Inc Parameters D1	0,0015828	MPa ⁻¹

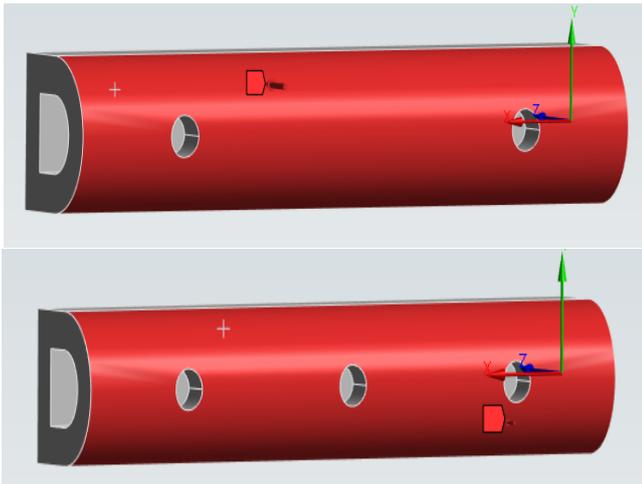
Mooney-Rivlin adalah salah satu model *hiper-elastis* yang pertamakali dikembangkan pada tahun 1940.

Saat ini masih banyak digunakan, karena memiliki akurasi yang tinggi.

dan sisi kiri. Hasil dari simulasi *rubber fender tipe D2* yang akan ditampilkan pada gambar 7.

2.4 Tekanan dan Kondisi Batas

Distribusi tekanan diaplikasikan pada model yang berasal dari beban yang diakibatkan benturan oleh kapal yang datang ke pelabuhan, pada satu arah sumbu z karena beracuan pada sumbu desain. Pada penelitian akan disimulasikan dengan tekanan bernilai z 0,042535475 MPa. Selain input data pressure yang dilakukan pada simulasi ini juga melakukan input meshing element size 20 mm dengan *average quality* 0,4 dengan kategori *skewness mesh metric very good*

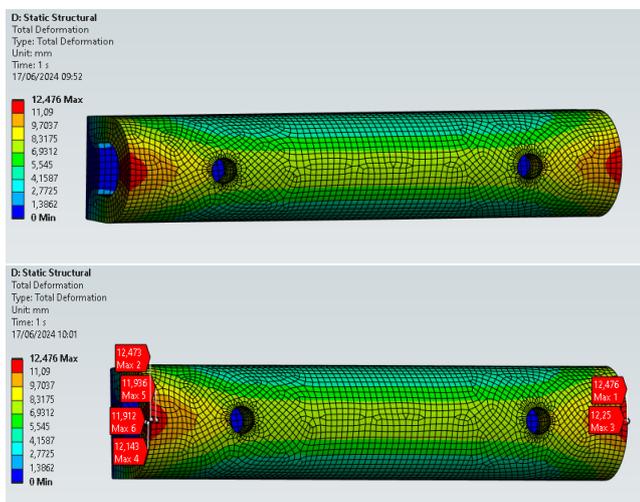


Gambar 5. Distribusi tekanan pada Rubber Fender

3. Hasil dan Pembahasan

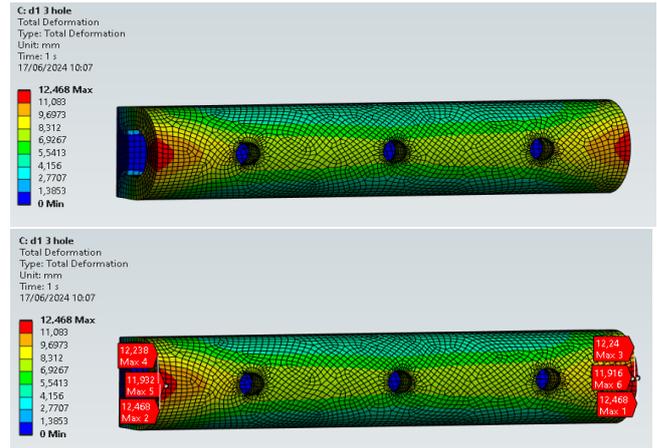
3.1 Total Deformation

Hasil Analisis *Total Deformation* pada *rubber fender tipe D1* yang menunjukkan nilai *maximum* sebesar 12,476 mm yang terletak pada bagian depan sisi kanan dan sisi kiri. Hasil dari simulasi *rubber fender tipe D1* yang akan ditampilkan pada gambar 6.



Gambar 6. Total Deformation Rubber Fender Tipe D1

Hasil Analisis *total deformation* yang diperoleh pada *rubber fender tipe D2*, menunjukkan nilai *maximum* 12,468 mm yang terletak pada bagian depan sisi kanan



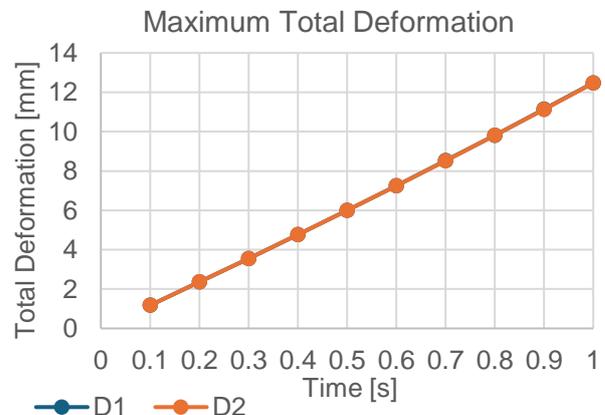
Gambar 7. Total Deformation Rubber Fender Tipe D2

Hasil simulasi *total deformation* yang telah dilakukan juga dikonversi dalam tabel 2.

Tabel 2. Hasil Maximum Total Deformation

Time [s]	Tipe D 1 [mm]	Tipe D 2 [mm]
0,1	1,1735	1,1727
0,2	2,3575	2,3558
0,3	3,5559	3,5534
0,4	4,7707	4,7673
0,5	6,0024	5,9981
0,6	7,2524	7,2474
0,7	8,5226	8,5167
0,8	9,815	9,8083
0,9	11,132	11,125
1	12,476	12,468

Berdasarkan hasil simulasi analisis yang telah dilakukan, nilai *maximum total deformasi* pada *rubber fender tipe D1* bernilai 12,476 mm dan pada *rubber fender tipe D2* bernilai 12,468 mm, perbedaan nilai *total deformation* pada desain *rubber fender tipe D1* dan *D2* sebesar 0,008 mm. *D2* memiliki nilai *total deformation* yang lebih rendah.



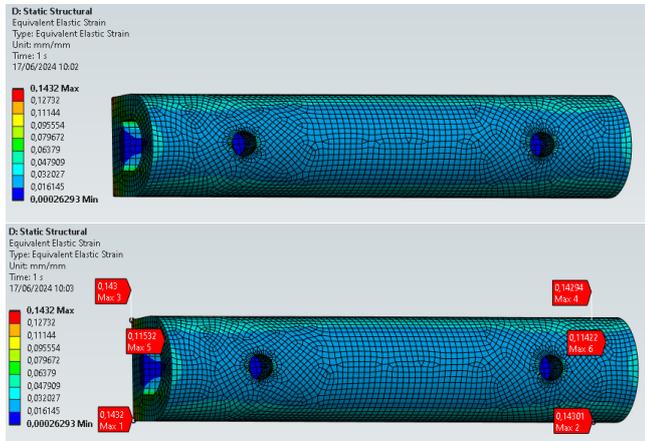
Grafik 1. Hasil Maximum Total Deformation

3.2 Equivalent Elastic Strain

Hasil Analisis *equivalent elastic strain* pada *rubber fender* tipe D1 yang menunjukkan nilai *maximum* sebesar 0,1432 mm/mm yang terletak pada bagian sudut belakang sisi kanan dan sisi kiri. Hasil dari simulasi *rubber fender tipe* D1 yang akan ditampilkan pada gambar 9.

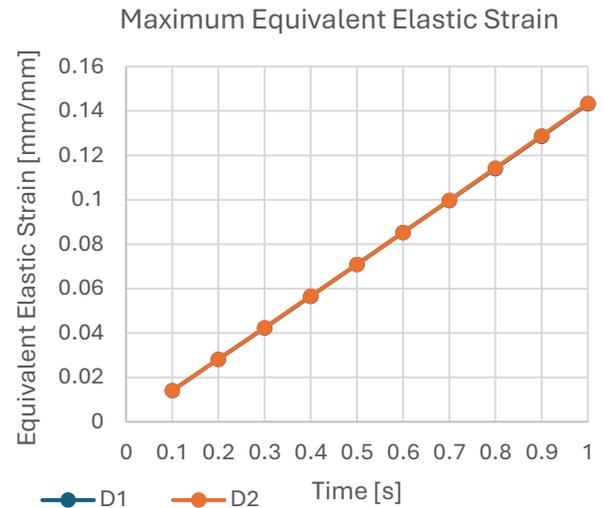
0,7	0,099628	0,099773
0,8	0,114100	0,114280
0,9	0,1286	0,12886
1	0,1432	0,14346

Berdasarkan hasil simulasi analisis yang telah dilakukan, *maximum equivalent elastic strain* pada *rubber fender* tipe D1 bernilai 0,1432 mm/mm dan pada *rubber fender tipe* D2 bernilai 0,14346 mm/mm, perbedaan nilai *maximum equivalent elastic strain* pada desain *rubber fender tipe* D1 dan D2 sebesar 0,00026 mm/mm. D1 memiliki nilai yang lebih rendah.

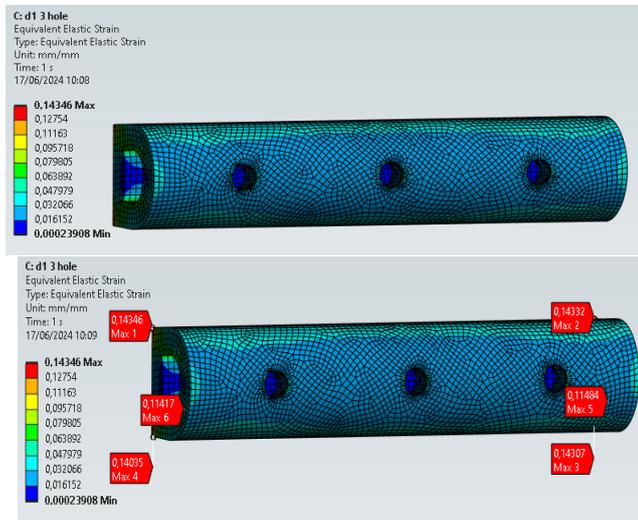


Gambar 9. *Equivalent Elastic Strain Rubber Fender Tipe* D1

Hasil Analisis *equivalent elastic strain* pada *rubber fender* tipe D2 yang menunjukkan nilai *maximum* sebesar 0,14346 mm/mm yang terletak pada bagian sudut belakang sisi kanan dan sisi kiri. Hasil dari simulasi *rubber fender tipe* D2 yang akan ditampilkan pada gambar 10.



Grafik 2. Hasil *Maximum Equivalen Elastic Strain*



Gambar 10. *Equivalent Elastic Strain Rubber Fender Tipe* D2

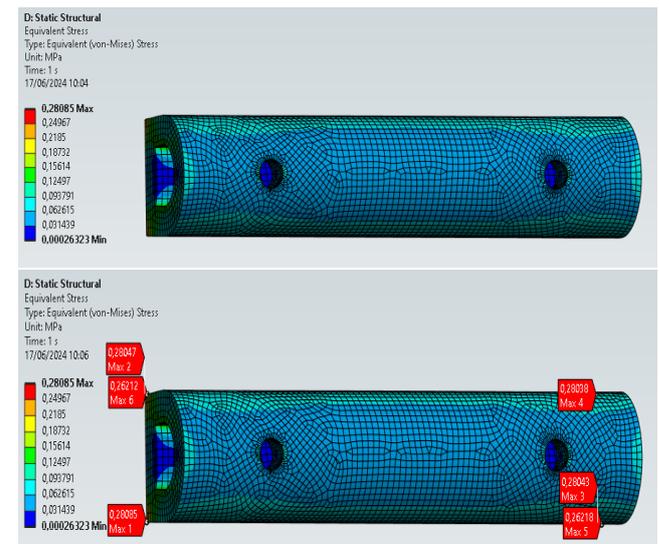
Hasil simulasi *equivalent elastic strain* yang telah dilakukan juga ditampilkan tabel 3.

Tabel 3. Hasil *Maximum Equivalent Elastic Strain*

Time [s]	Tipe D 1 [mm/mm]	Tipe D 2 [mm/mm]
0,1	0,0140370	0,0140530
0,2	0,028138	0,02817
0,3	0,042311	0,042356
0,4	0,056550	0,056608
0,5	0,070852	0,070932
0,6	0,085212	0,085320

3.3 Equivalent Stress

Hasil Analisis *equivalent stress* pada *rubber fender* tipe D1 yang menunjukkan nilai *maximum* sebesar 0,28085 MPa yang terletak pada bagian sudut belakang sisi kanan dan sisi kiri. Hasil dari simulasi *rubber fender tipe* D1 yang akan ditampilkan pada gambar 12.

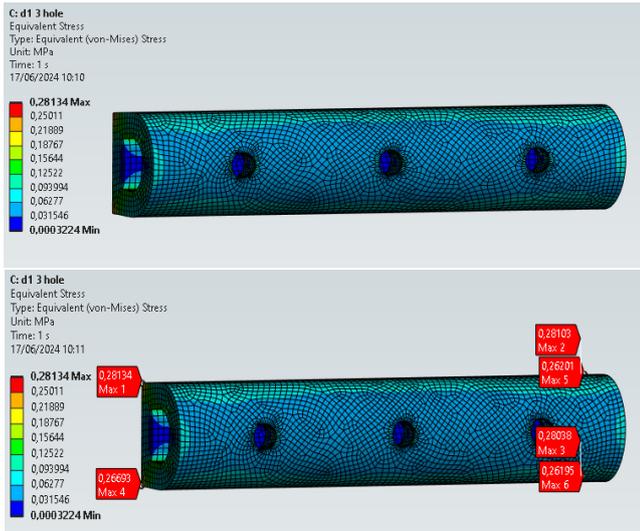


Gambar 12. *Equivalent Stress Fender* D 1

Hasil Analisis *equivalent stress* pada *rubber fender* tipe D2 yang menunjukkan nilai *maximum* sebesar 0,28134 MPa yang terletak pada bagian sudut belakang sisi

kanan dan sisi kiri. Hasil dari simulasi *rubber fender tipe D1* yang akan ditampilkan pada gambar 13.

Grafik 3. Hasil *Maximum Equivalent Stress*



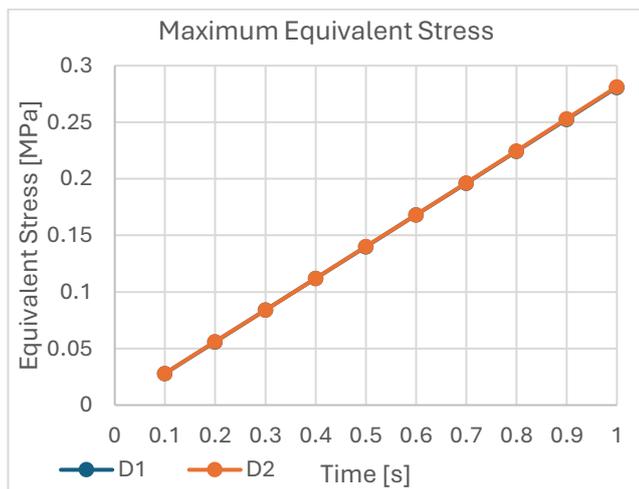
Gambar 13. Equivalent Stress Fender D2

Hasil simulasi Tegangan yang telah dilakukan juga ditampilkan dalam bentuk tabel komparasi sebagai berikut;

Tabel 4. Maximum Equivalent Stress

Time [s]	Tipe D 1 [MPa]	Tipe D 2 [MPa]
0,1	0,028011	0,02804
0,2	0,056000	0,056060
0,3	0,083994	0,084078
0,4	0,112000	0,112100
0,5	0,140030	0,140180
0,6	0,168080	0,168280
0,7	0,19618	0,19645
0,8	0,224	0,22467
0,9	0,25255	0,25299
1	0,28085	0,28134

Berdasarkan hasil simulasi analisis yang telah dilakukan, *maximum equivalent stress* pada *rubber fender tipe D1* bernilai 0,28085 MPa dan pada *rubber fender tipe D2* bernilai 0,28134 MPa, perbedaan nilai *maximum equivalent stress* pada desain *rubber fender tipe D1* dan *D2* sebesar 0,00049 MPa. *D1* memiliki nilai yang lebih rendah.



4. Simpulan

Berdasarkan simulasi analisis *static structural* yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa jumlah lubang pada bagian depan *rubber fender* berpengaruh terhadap nilai *total deformation*, *equivalent elastic strain* dan *equivalent elastic stress*, tipe *D2* memiliki nilai *total deformation* yang lebih rendah sebesar 0,008 mm tipe *D1* memiliki nilai *equivalent elastic strain* yang lebih rendah sebesar 0,00026 mm/mm dan tipe *D1* memiliki nilai *equivalent stress* yang lebih rendah sebesar 0,00049 MPa. *Rubber fender* dengan dimensi tercantum menggunakan 3 (tiga) lubang yang beredar dipasaran memiliki nilai *total deformation* yang lebih rendah, sedangkan *rubber fender* yang didesain dengan menggunakan 2 (dua) lubang memiliki *equivalent elastic strain* dan *equivalent stress* yang lebih rendah.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur kehadapan Tuhan atas anugerah yang diberikan berupa kesehatan sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih saya ucapkan kepada Bapak Dr. Eng. I Made Gatot Karohika, ST., MT. dan Bapak I Made Widiyarta, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. atas ilmu dan masukan mengenai *Structural Analisis* beserta Bapak sebagai dosen pengampu mata kuliah *Komputasi Teknik* yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam penelitian ini dan juga kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Daftar Pustaka

- [1] B. AFS, "The global NR industri: Current development and future prospects," vol. 37, no. 1, pp. 25–39, 2004.
- [2] V. Fajariyadi, M. R. Pradono, M. R. Fauzi, and ..., "Literature Review Implementasi Sistem Pakar Menggunakan Metode Certainty Factor untuk Mendiagnosa Penyakit pada Pohon Karet," *JRIIN J. Ris.*, vol. 1, no. 1, pp. 119–125, 2023, [Online]. Available: <http://jurnalmahasiswa.com/index.php/jriin/article/view/16%0Ahttps://jurnalmahasiswa.com/index.php/jriin/article/download/16/38>
- [3] B. Yu, H. Jeon, H. Bang, S. S. Yi, and J. Min, "Fender segmentation in unmanned aerial vehicle images based on densely connected receptive field block," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 14, p. 100472, 2022, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2022.100472.
- [4] B. Setiyana, "Identifikasi Sifat Tribologi dari Karet Vulkanisir dengan Menggunakan Metode Uji Pin on Disc," *Pros. SNST Ke-10*, pp. 53–58, 2019.
- [5] S. Lubis, C. A. Siregar, I. Siregar, and E. S. Hasibuan, "Kajian Eksperimen Deffoormasi Tekanan Pada Struktur Sarang Lebah Dengan

Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Statis,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.30596/rmme.v3i1.4522.

- [6] A. Belhocine and M. Bouchetara, “Investigation of temperature and thermal stress in ventilated disc brake based on 3D thermomechanical coupling model,” *Ain Shams Eng. J.*, vol. 4, no. 3, pp. 475–483, 2013, doi: 10.1016/j.asej.2012.08.005.
- [7] F. Tuakia, *Dasar-dasar CFD Menggunakan FLUENT*. Bandung: INFORMATIKA, 2008.
- [8] Munawar Alfansury and W. Septiawan, “Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 6, no. 1, pp. 137–143, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>
- [9] B. Kim *et al.*, “A comparison among Neo-Hookean model, Mooney-Rivlin model, and Ogden model for Chloroprene rubber,” *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, vol. 13, no. 5, pp. 759–764, 2012, doi: 10.1007/s12541-012-0099-y.
- [10] P. Sifat, M. Pressure, and T. Medium, “PREDIKSI SIFAT MATERIAL PRESSURE TRANSMITTING MEDIUM PADA QUASI-ISOSTATIC PRESSING MENGGUNAKAN,” pp. 155–166, 2018.

	<p>Dewa Gede Oka Sastrawan menyelesaikan Pendidikan S1 Pendidikan Teknik Mesin di Universitas Pendidikan Ganesha pada tahun 2021 dan menempuh Pendidikan S2 di Universitas Udayana pada tahun 2022 dengan area riset dibidang simulasi dengan menggunakan perangkat lunak</p>
<p>Bekerja sebagai seorang guru pada program keahlian teknik otomotif, konsentrasi keahlian teknik kendaraan ringan di Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 1 Denpasar</p>	

Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan Densitas Paduan MgZnCa Sebagai Implant mampu luruh

Adiman¹⁾, Budiarto²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknolgi Bina Tunggal, Bekasi, Jabar

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta

Abstrak
<p>aruh temperatur sintering terhadap struktur mikro, kekerasan dan densitas pada paduan MgZnCa sebagai material implant mampu luruh telah dilakukan. Diharapkan sintesa paduan MgZnCa dengan metoda metalurgi butiran ini, terbentuk struktur berpori yang memiliki potensi sebagai implan mampu luruh dengan metode metalurgi butiran dengan <i>foaming agent</i> CaCO₃. Struktur pori dan komposisi unsur kimia yang dihasilkan dalam paduan MgZnCa dikarakterisasi dengan menggunakan SEM-EDXS. Proses sinterring pada temperatur 150°C, 200 °C, dan 250°C serta waktu penahan 30 menit dan dialiri gas inert. Pengamatan struktur mikro memperlihatkan bahwa bentuk dan distribusi unsur Mg, unsur Zn, dan unsur Ca masih heterogen. Hasil identifikasi senyawa dalam paduan dengan EDXS menunjukkan komposisi unsur Mg, Zn, Ca. Kandungan Mg yang diperoleh masih relative kecil dan yang dominan adalah Ca, C, dan O. Pengujian kekerasan paduan MgZnCa memperlihatkan semakin meningkatnya temperatur sintering nilai kekerasannya meningkat. Demikian pula untuk pengujian densitas dimana nilai densitas naik bersamaan temperature sintering dinaikkan, hal ini disebabkan telah terbentuk ikatan keramik dan lebih padat.</p> <p><i>duan MgZnCa, sintering, SEM-EDXS, kekerasan</i></p>
Abstract
<p>Research on the effect of sintering temperature on the microstructure, hardness and density of the MgZnCa alloy as a decayable implant material has been carried out. It is hoped that by synthesizing the MgZnCa alloy using the granular metallurgy method, a porous structure will be formed which has the potential to be an implant capable of disintegrating using the granular metallurgy method with the foaming agent CaCO₃. The pore structure and chemical element composition produced in the MgZnCa alloy were characterized using SEM-EDXS. The sintering process was carried out at temperatures of 150°C, 200°C, and 250°C with a holding time of 30 minutes and supplied with inert gas. Microstructure observations show that the form and distribution of Mg elements, Zn elements and Ca elements are still heterogeneous. The results of identifying compounds in the alloy using EDXS show the elemental composition of Mg, Zn, Ca. The Mg content obtained is still relatively small and the dominant ones are Ca, C, and O. Hardness testing of the MgZnCa alloy shows that as the sintering temperature increases, the hardness value increases. Likewise for density testing where the density value increases at the same time as the sintering temperature is increased, this is because a ceramic bond has been formed and is denser.</p> <p>Keywords: MgZnCa alloy, sintering, SEM-EDXS, hardness</p>

1. Pendahuluan

Di dalam melakukan aktifitas kehidupan sehari - hari manusia sering mengalami kecelakaan, seperti patah tulang. Selama ini, banyak cara yang digunakan untuk memperbaiki kerusakan pada tulang. Yang lazim dilakukan, di antaranya dengan cara menggips atau memasang implant (pen). Implant merupakan istilah yang digunakan untuk logam yang ditanamkan ke dalam tubuh untuk mengatasi tulang yang rusak atau patah. Logam yang digunakan ini haruslah memiliki sifat-sifat tertentu yang dapat mendukung ketika digunakan sebagai implant ke dalam tubuh. Sifat ini disebut biokompatibilitas logam implant. Artinya logam yang diimplankan ke dalam tubuh tidak mengalami reaksi penolakan, sehingga saat bahan ini dimasukkan ke dalam tulang, maka badan tidak menganggap sebagai bahan asing. Jadi tidak semua logam yang bisa dijadikan implant karena banyak hal yang harus dipertimbangkan demi keamanannya bagi tubuh pasien. Jadi, aman atau tidak amannya logam yang digunakan untuk menyambung tulang sangat ditentukan oleh sifat tersebut. Implant merupakan salah

satu dari aplikasi biomaterial yang sedang dan akan terus dikembangkan karena dewasa ini kebutuhannya semakin meningkat. Biomaterial adalah material organik maupun anorganik, baik sintesis maupun tidak yang digunakan pada tubuh makhluk hidup (hewan dan manusia). Penggunaan bahan-bahan anorganik (terutama logam transisi) untuk sistem biologi semakin menarik perhatian karena logam-logam ini memainkan peran yang sangat penting bagi tubuh makhluk hidup. Prinsip penanganan untuk patah tulang adalah mengembalikan posisi patahan tulang ke posisi semula (reposisi) dan mempertahankan posisi itu. Penjelasan tentang korespondensi di halaman 1 kiri bawah diketik dalam format *footer*, bukan *footnote*. Isi naskah menggunakan margin atas-bawah 1,5 cm; dan kiri-kanan 1,5 cm. Badan naskah menggunakan 2 selama masa penyembuhan patah tulang (imobilisasi). Contoh penggunaan implant ini adalah untuk penanganan patah tulang paha (femur) yang sering terjadi pada anak-anak umur 6-14 tahun, digunakan paku elastis dari titanium. Rumah sakit khusus anak di AS rata-rata menerima 40-50 kasus ini tiap tahunnya. Dimulai dari tahun 1996 untuk kemudian menjadi ramai digunakan

*Korespondensi: Tel./Fax.: [No telp atau hp anda / No fax anda](tel:)

E-mail: alamat_email_anda

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2017

tahun 2000, paku elastis dari titanium ini menggantikan metode lama dengan traksi, dengan biaya yang relatif sama namun anak dapat bergerak lebih cepat. Paku elastis ini fleksibel sehingga bisa ditempatkan di antara tulang yang patah untuk menyangga selama masa penyembuhan. Paku ini mempunyai panjang 15-20 inchi dengan lebar hanya seukuran antena radio. Kadang diperlukan dua paku untuk kemudian diambil 6-9 bulan setelah operasi pertama^[1].

Ada penyelidikan terbaru dari berbagai bahan yang digunakan dalam ortopedi. Bahan-bahan tersebut termasuk dalam kelompok biomaterial yang tidak memiliki pengaruh negatif terhadap tubuh manusia. Persyaratan dasar untuk bahan ini adalah: biokompatibilitas, ketahanan korosi dan kurangnya komponen beracun seperti nikel, tembaga, vanadium, dll. karakteristik tulang secara umum mempunyai densitas 1,8-2,0 g/cm³, tensile yield strength (longitudinal=193MPa, transversal = 133 MPa), shear modulus 3,3 GPa dan Young's modulus (longitudinal =17 GPa, transversal = 11,5 Gpa).

Dari karakteristik tersebut maka dikembangkan bahan implan tulang yang terbuat dari logam, polimer dan keramik. *Metal Foam* atau logam berpori merupakan material yang mengandung porous dengan volume tertentu dan dengan matriks paduan logam atau non-logam. Material ini umumnya sangat ringan karena densitas yang rendah, namun memiliki unjuk kerja yang baik dalam hal sifat mekanik^[2]. Saat ini, metal foam juga dikembangkan untuk material medis dalam hal ini implan. Stabilitas dari implan tidak hanya dilihat dari kekuatannya, tapi juga tergantung pada fiksasi implan tersebut terhadap jaringan disekitarnya^[3]. Saat ini, fiksasi dari implan dapat ditingkatkan dengan pertumbuhan jaringan tulang melalui porous dari matriks logam, sehingga jaringan baru langsung berikatan dengan tulang dasar. Alasan lain yaitu sifat dari metal foam yang memiliki modulus elastisitas yang rendah, sehingga dapat menghindari tegangan geser pada tulang. Hal yang terpenting juga yaitu memungkinkan cairan tubuh mengalir melalui matriks berporous ini, sehingga ketika jaringan tulang mulai tumbuh dapat membentuk interkoneksi dengan jaringan lain^[3].

Dalam proses *milling*, *ceramic ball* dan *steel ball* merupakan media yang digunakan untuk membantu terjadinya proses pencampuran serbuk yang akan dipadukan. Proses *milling* digunakan untuk mendapatkan ukuran dan bentuk tertentu dari partikel serta meningkatkan luas area permukaan partikel solid yang sangat berperan penting dalam reaktivitas proses reaksi kimia, penyerapan ataupun membentuk ikatan secara mekanik. Pentingnya proses pencampuran, bukan hanya homogenisasi dari material dasar tapi juga dimungkinkan sejumlah aditif yang ditambahkan yang dapat menentukan sifat dari produk akhir^[5].

Paduan Magnesium-Kalsium-Seng (Mg-Ca-Zn) merupakan material yang sedang dikembangkan untuk aplikasi biomaterial karena sifatnya yang biodegradabel dan menyerupai tulang serta mayoritas adalah elemen-elemen yang dibutuhkan dalam tubuh manusia. Magnesium secara alami ada di dalam tubuh dan terdapat di dalam tulang. Dalam serum darah pada level normal dan magnesium pada tingkat cairan ekstraselular sekitar 0,7-1,06 mmol/l Angka ini

menunjukkan bahwa Mg merupakan elemen kedua terbanyak dalam intracellular ion dan kation ke empat terbanyak di dalam tubuh. Beberapa studi telah menunjukkan bahwa ion Mg tidak mempengaruhi jaringan ketika digunakan dalam tubuh manusia [5]. Studi in vitro padasel osteoblast manusia juga mengkonfirmasi bahwa ion Mg tidak signifikan mempengaruhi regenerasi dan viabilitas, selain itu logam Mg non toksik terhadap tubuh manusia. Magnesium merupakan logam yang ringan, dengan densitas 1,74 g/cm³, yaitu jauh lebih ringan dari Al (2.7 gr/cm³), titanium (4.4-4.5gr/cm³) serta baja (7.75-8.05 g/cm³) dan sangat dekat dengan densitas dari tulang, yaitu 1.8-2.1 gr/cm³ [6]. Magnesium sangat penting dalam metabolisme tubuh dan secara natural juga ada di dalam jaringan tulang [7].

2. Metode Penelitian

2.1 Metode Penelitian

Mempersiapkan alat-alat dan bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini. Menimbang paduan Magnesium, Zinc dan Calcium dengan menggunakan timbangan analitik yaitu Magnesium Metal Powder 44,5gram, Zinc Metal Powder 3 gram, Calcium 2,5 gram Melakukan proses pencampuran atau mixing terhadap serbuk yang telah ditimbang dengan dry mill selama 20 menit hingga homogen. Selanjutnya kita timbang paduan tersebut masing-masing sekitar 6 gram untuk dimasukkan kedalam cetakan dan kemudian di proses compaction dengan tekanan 10ton/m² selama 5 menit. Setelah menjadi pellet dilakukan Sintering dengan variasi temperatur 150°C, 200°C, 250°C di holding selama 20 menit. Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers, Pengujian densitas menggunakan autopycnometer, dan pengujian struktur mikro dan komposisi unsur kimia menggunakan Scanning Electron Microscope Energy Dispersit X-ray Spektrometer (SEM-EDXS)

2.3 Pengujian Spesimen

Pengujian struktur mikro menggunakan alat Scanning Electron Microscope (SEM). Sementara, pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kekerasan metode Vickers dengan standar ASTM E384-84 dengan persamaan sebagai berikut,

$$HV = \frac{1854,4 P}{\left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right)^2} \left(\frac{kg}{mm^2}\right) \quad (1)$$

dimana : HV = Hardness of Vickers (Kg/mm²)

P = beban yang diberikan (kgf)

d1 = panjang diagonal 1 (mm)

d2 = panjang diagonal 2 (mm)

pengujian densitas menggunakan Autopycnometer dengan rumus

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

dimana: ρ = densitas sampel (g/cm^3)

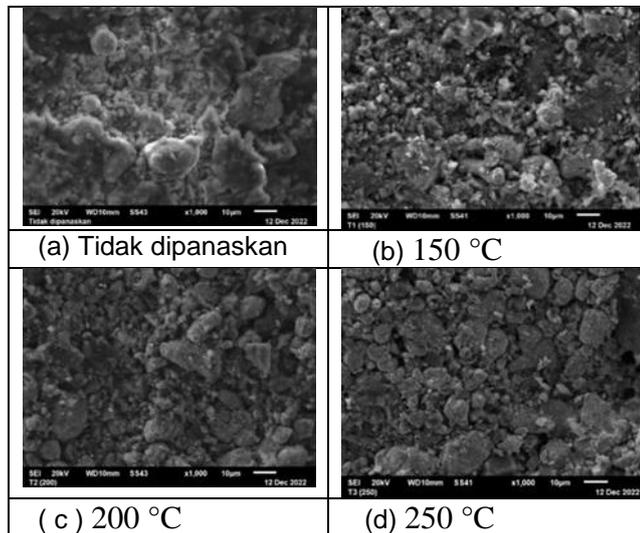
m = massa sampel (g)

v = volume dimensi sampel (m^3)

3. Hasil dan Pembahasan

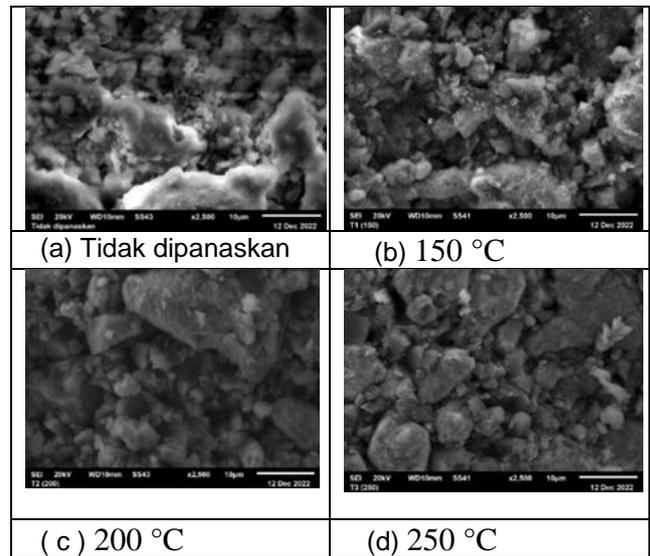
Komposisi pencampuran paduan MgZnCa dengan prosentase Magnesium 89%, Zink 6% dan Calsium 5% kita campur bahan Magnesium sebanyak 44,5 gram, Zink sebanyak 3 gram dan Calsium sebanyak 2,5 gram. Setelah dilakukan mixing dan pencetakan, dilakukan proses sintering selama 20 menit dengan variasi temperatur 150°C, 200°C, dan 250 °C. kemudian dilakukan pengujian strukturmikro dan komposisi unsur kimia dengan alat SEM-EDXS, dan Uji kekerasan serta Densitas dari Paduan MgZnCa tersebut.

3.1 Pengujian Strukturmikro SEM dan EDXS



Gambar 1 Strukturmikro dari paduan MgZnCa, variasi temperatur sinter. Pembesaran 1000x

Pada gambar 1 dan 2, menunjukkan foto strukturmikro dengan alat SEM dari paduan MgZnCa sebelum dan setelah disintering pada temperatur 150°C, 200 °C, dan 250°C selama 20 menit dengan pembesaran 1000 X dan 2500X, terlihat bahwa bentuk partikel butiran masih heterogen. Secara visual pengaruh temperatur sinter belum terlihat signifikan, namun mulai terlihat adanya porositas, hal ini diduga karena temperature sintering masih rendah, dibandingkan dengan penelitian terdahulu [17]. Untuk Hasil Energy Dispersif X-ray Spektroskopi (EDXS) di table 1, pada paduan MgZnCa menunjukkan unsur pembentuk Mg, Ca, C, O dan Zn. Terlihat kandungan Mg justru belum sesuai ekspektasi, namun yang terlihat dominan unsur Ca, C dan O sebagai unsur pembentuk CaCO_3 . Diduga penyebabnya bisa karena unsur Ca yang digunakan bukan dari Ca murni namun dari CaCO_3 , atau karena faktor pencampuran yang tidak homogen.



Gambar 2 Strukturmikro dari paduan MgZnCa variasi temperatur sinter. Pembesaran 2500x

Namun demikian efek sintering mempengaruhi factor oksidasi dimana terjadi peningkatan unsur Oksigen, kemudian terjadi peningkatan unsur Zn karena sudah mulai terbakar CaCO_3 nya.

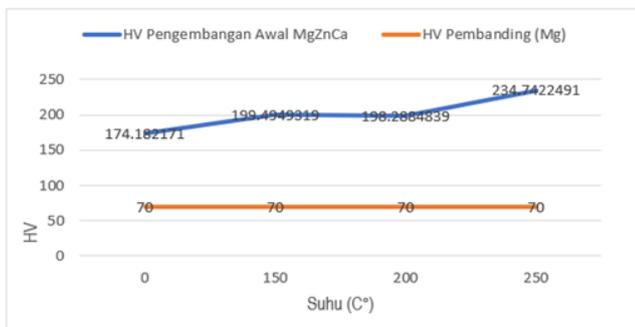
Unsur Carbon dimungkinkan terjadi karena panas geram yang terbakar. Hal ini disebabkan tidak adanya pemanasan awal untuk menghilangkan air dan pengotor seperti sisa-sisa oli bahan uji yang membuat material teroksidasi. Jika paduan magnesium tersebut digunakan sebagai material implant, material implan yang teroksidasi dapat bereaksi dengan cairan yang ada ditubuh manusia terutama air yang terkandung dalam darah sehingga menyebabkan terbentuknya gelembung hydrogen yang akan menumbuhkan kantong gas pada material implant yang berbahaya bagi kesehatan manusia^[13,14]. Selain itu, oksigen yang berikatan dengan magnesium dan membentuk fasa MgO akan meningkatkan laju korosi material Mg^[15].

Peneliti lainnya menganalisis bahwa hasil strukturmikro pada paduan Mg-Zn masih banyak terdapat porositas. Sehingga nilai compressive strengthnya rendah. Dengan peningkatan tekanan kompaksi akan meningkatkan compressive strength. Jika dibandingkan dengan nilai compressive strength natural bone sebesar 130 – 180 MPa. Hanya paduan Mg – 10% Zn yang memenuhi kriteria. Akan tetapi jika dikembalikan berdasarkan fungsinya, kebutuhan nilai compressive strength untuk implan biodegradable tidak boleh terlalu tinggi. Jika nilai compressive strength implan lebih tinggi daripada tulang, maka sifatnya akan lebih dominan daripada tulang itu sendiri. Apabila terjadi hentakan maka akan membahayakan tulang. Oleh karena itu, paduan Mg – Zn bisa di aplikasikan karena implan biodegradable hanya bersifat sementara^[24,25].

Unsur Kimia (massa %)	Tanpa Sintering (massa %)	T:150°C	T:200°C	T:250°C
Mg	7,53	6,17	22,04	6,2
Ca	7,30	18,64	11,32	16,10
C	59,96	22,64	26,06	18,19
O	19,27	33,27	26,68	28,46
Zn	4,25	16,79	11,77	26,72
Total	100	100	100	100

Tabel 1 Hasil EDXs untuk Prosentase Berat Unsur Kimia Pada Paduan MgZnCa

3.2 Pengujian Uji Kekerasan



Gambar 3 Grafik Kekerasan Pengembangan Awal Paduan MgZnCa

Tabel 2 Hasil Uji Kekerasan Pengembangan Awal Sebelum Dan Setelah Sinter

Identitas Sample	Nomor	d1	d2	d rerata	d rerata*2	HV
Tanpa Treatment	1	0,057353	0,051188	0,054271	0,002945	210,91954
	2	0,062708	0,063762	0,063235	0,003999	155,35951
	3	0,055117	0,06404	0,059578	0,00355	175,01501
	4	0,062976	0,063463	0,063219	0,003997	155,43462
		Rata-Rata				174,18217
T1	1	0,059322	0,05758	0,058451	0,003417	181,82813
	2	0,062059	0,061834	0,061946	0,003837	161,88848
	3	0,053378	0,053383	0,05338	0,002849	218,01426
	4	0,049473	0,053085	0,051279	0,00263	236,24886
		Rata-Rata				199,494
T2	1	0,056815	0,052698	0,054757	0,002998	207,192
	2	0,051084	0,052645	0,051864	0,00269	230,94506
	3	0,065156	0,06076	0,062958	0,003964	156,7284
		Rata-Rata				198,28848
T3	1	0,052294	0,046309	0,049302	0,002431	255,58028
	2	0,057011	0,059106	0,058058	0,003371	184,29677
	3	0,049565	0,047389	0,048477	0,00235	264,3497
		Rata-Rata				234,74225

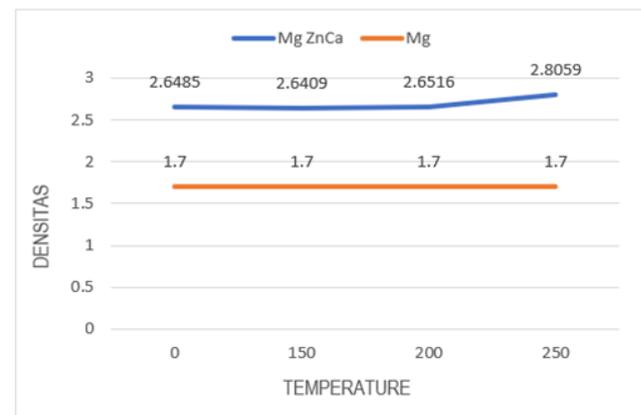
Dari Gambar 3 dan Tabel 2, menunjukkan pengaruh temperatur sinter terhadap nilai kekerasan pengembangan awal paduan MgZnCa terlihat bahwa nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan magnesium, karena dominan adalah unsur CaCO₃ yang belum terbakar. Saat diindetifikasi kemungkinan unsur foam ceramic banyak teridentifikasi sehingga kepadatan meningkat, hal ini akibat telah terbentuk

unsur-unsur C, Ca dan O yang merupakan unsur ceramic yang menyebabkan meningkatnya kekerasan pada paduan tersebut. Selain itu fasa intermetalik MgZn / Ca₂Mg₆Zn₃ dan merupakan fasa yang tidak stabil secara termal, sehingga meningkatkan sifat kekuatan, kekerasan, dan ketahanan mulur (creep). Hal ini diperkuat peneliti terdahulu mengatakan bahwa fasa Mg-Zn akan membentuk intermetalik dan akan mempengaruhi sifat mekanik paduan Mg, dimana diketahui akan meningkatkan kekerasan paduan Mg-Zn-Ca [22]. Peneliti terdahulu mengatakan bahwa paduan berbasis Mg-Zn bila memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan pada paduan Mg-Zn terdapat porositas sehingga adanya porositas dapat menurunkan kekerasan. Namun secara umum berdasarkan data yang diperoleh peningkatan konten Zn akan meningkatkan kekerasan dari paduan Mg – Zn.[24,25]

3.3 Pengujian Uji Densitas

Tabel 3 Hasil Uji Densitas Paduan MgZnCa Sebelum Dan Setelah Sinter

Kode Sampel	Rerata Densitas (gram/cm ³)	SD Densitas (gram/cm ³)	Densitas Magnesium (gram/cm ³) Sebagai Pembanding [17]	Prosentase (%)
No Heating	2,6485	0,0012	1,74	100
T 150°C	2,6409	0,0009	1,74	99,71
T 200°C	2,6516	0,0008	1,74	100,1
T 250°C	2,8059	0,0010	1,74	105



Gambar 4 Grafik Hubungan Temperatur Terhadap Densitas Paduan MgZnCa

Hasil uji densitas paduan MgZnCa sebelum dan setelah sinter pada tabel 3 dan gambar 4, memperlihatkan bahwa nilai densitas sekitar 2,6-2,8 gr/cm³ dan ini merupakan nilai berat jenis dari batu kalsit murni (CaCO₃), sedangkan untuk densitas dari Magnesium 1,74 gr/cm³, Dari grafik hubungan nilai densitas dengan berbagai temperatur sinter, memperlihatkan bahwa nilai densitas bertambah besar dari temperatur sinter 150 °C ke 250 °C, Ini terjadi karena pada saat preparasi awal bahan baku CaCO₃ menyebabkan muncul unsur Ceramic C, Ca, dan O yang menyebabkan nilai densitas menjadi sekitar 2,6-2,8 gr/cm³ dan ini merupakan nilai berat jenis dari batu

kalsit murni (CaCO_3) sebagai salah satu bahan biokeramik. Karena ada unsur CaCO_3 masih dominan dari hasil EDXS, proses sintering belum menunjukkan signifikansi terhadap perbaikan terbakarnya CO_3 , justru menyebabkan ikatan ceramic menjadi kuat, menjadi padat. Bila spesimen ini memiliki nilai uji keras tertinggi, sifat keras disebabkan karena tingginya nilai densitas dan kecilnya nilai porositas yang dimiliki bahan uji paduan MgZnCa.

4. Simpulan

Dari hasil analisa data dan pembahasan demikian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

a) Pembuatan paduan MgZnCa telah dilakukan namun hasil di dalam paduannya kandungan unsur Mg yang terbentuk hasilnya belum signifikan, namun yang dominan dari paduan tersebut adalah unsur Ca, C, dan O, hal ini diduga karena saat preparasi menggunakan bahan Ca dari CaCO_3 , dan karena factor *mixing* yang tidak homogen.

b) Pengaruh temperatur sintering terhadap nilai kekerasan paduan MgZnCa menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur sintering nilai kekerasannya meningkat lebih tinggi dibandingkan nilai kekerasan magnesium, karena unsur yang mendominasi adalah CaCO_3 .

c) Pengaruh temperature sintering terhadap densitas menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur sinter semakin tinggi nilai densitasnya. Nilai densitasnya di atas densitas Magnesium 1,7 gram/cm³ karena unsur yang dominan masih berupa CaCO_3 dengan densitas 2,6-2,8 gram/cm³.

Daftar Pustaka

- [1] Radha, R., Sreekanth, D. (2017). Insight of magnesium alloys and composites for orthopedic implant applications – a review. *Journal of Magnesium and Alloys*, 5(3), 286-312.
- [2] Sankalp, A., Curtin, J., Duffy, B., Jaiswal, S., (2016). Biodegradable magnesium alloys for orthopaedic applications: A review on corrosion, biocompatibility and surface modifications. *Journal Materials Science and Engineering C*, 68, 948-963.
- [3] Zhang, B.P., Wang, Y., Geng, L. (2011). *Biomaterials – Physics and Chemistry* (p. 187), Rijeka: InTech.
- [4] Zheng, Y.F., Gu, X.N., Witte, F. (2014). Biodegradable Metals. *Journal Material Science and Engineering F*, 77, 1-34.
- [5] Xin, Y., Huo, K., Tao, H., Tang, G., Chu, P. K. (2008). Influence of aggressive ions on the degradation behavior of biomedical magnesium alloy in physiological environment. *Acta Biomaterialia*, 4, 2008–2015.
- [6] Seyedraoufi, Z.S., Mirdamadi, Sh. (2013). Synthesis, Microstructure and Mechanical Properties of Porous Mg-Zn Scaffolds. *J Mech Behav Biomed Mater.*, 21, 1-8.
- [7] Yang, D., Chen, W., Lu, J., Hu, Z., Feng, Y., Chen, J., Jiang, J., Ma, A., Wang, L., Wang, H. (2017). Fabrication of Cellular Mg Alloy By Gas Release Reaction Via Powder Metallurgy Approach. *Metal Powder Report*, 72 (2), 124-127.
- [8] Kayhan, S.M., Tahmasebifar, A., Evis, Z., Koc, M. (2015). Effect of Manufacturing Conditions on the Mechanical and Corrosion Behavior of Microstructured AZ91D Prepared by Powder Metallurgy. 4M/ICOMM Conference, DOI :10.13140/RG.2.1.3988.8803.
- [9] Pulagara, V.N., Saini, S., Dondapati, R. S. (2015). Study of Manufacturing And Mechanical Properties of Mg – Foam Using Dolomite as the Blowing Agent: A Review. IOP Conference, DOI:10.13140/RG.2.1.4606.2243.
- [10] Gonzalez, S., Pellicer, E., Surinach, S., Baro, M.D., Sort, J. (2013). Biodegradable and Mechanical Integrity of Magnesium and Magnesium Alloys Suitable for Implants (p. 316-317). InTech. dx.doi.org/10.5772/55584.
- [11] Kennedy, A. (2012). Porous Metals and Metals Foams Made from Powder (p. 38). InTech. Manufacturing Division, University of Nottingham, Nottingham. UK. 2012.
- [12] Erryani, A., Lestari, F. P., Annur, D., Amal, M.I., Kartika, I. (2017). Microstructure and Mechanical Study of Mg Alloy Foam Based on Mg-Zn-CaCaCO System. IOP Conf. Series; Materials Science and Engineering, 202, 012028.
- [13] Andi. (2017). Pengaruh Variasi Komposisi Foaming Agent dan Temperatur Sintering Paduan MgZnCa dengan Foaming Agent CaCO untuk Aplikasi Implan Mampu Luruh. Skripsi. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [14] Li, Y., Hodgson, P. D., Wen, C. (2011). The Effect of Calcium and Yttrium Additions on the Microstructure, Mechanical Properties and Biocompatibility of Biodegradable Magnesium Alloys. *Journal of Materials Science*, 46(2), 365371.
- [15] Syafri, P., Isranuri, I., Suprianto. (2013). Studi Pengaruh Magnesium terhadap Kekuatan Impak dan Strukturmikro Aluminium Foam Menggunakan 3% CaCO sebagai Blowing Agent. *Jurnal eDinamis*, 5(1), 23-28.
- [16] Yusop, A. H., Bakir, A.A., Shaharom, N.A., Abdul Kadir, M.R., Hermawan, H. (2012). Porous Biodegradable Metals for Hard Tissue Scaffolds: A Review. *Int. J. Biomater.* Article ID 641430, 10 pages, doi:10.1155/2012/641430.
- [17] Aprilia Erryani, Novantoro, Fransisca Pramuji Lestari, Made Subekti Dwijaya, Ika Kartika (2019) “Sifa Mekanik Dan Struktur Mikro Paduan Magnesium Berpori Dengan Variasi Komposisi Agen Pengembang Dan Temperatur Sinter Untuk Implan Mampu Luruh. LIPI Serpong - Universitas Sultan Ageng Tirtayasa”.
- [18] Estu Siwi, “Penerapan Tehnik Relaksasi Nafas Dalam Pada Gangguan Pemenuhan Kebutuhan Nyaman; Nyeri Pasien Post Operasi Fumure Di RSUD Sleman Yogyakarta” (2018)
- [19] Husnah Rofiko, “Pengaruh Variasi Temperatur Sintering Pada Pembuatan Strontium Titanat Menggunakan Metode Co-Precipitation Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Dielektrik”, (September 2016).
- [20] Sugondo, Futichah. (2007) “Pengaruh Deformasi Pada Karakteristik Kristalit Dan Kekuatan Luluh Zircaloy-4”, BATAN Serpong.

- [21] Fikri Adhi Nugraha, "Pengaruh Komposisi Zn Dan Temperatur Casting Terhadap Morfologi Dan Sifat Untuk Aplikasi Biodegradeble Orthopedic Devices", (2017).
- [22] Budiarto, Edward Baringin Oloan Sihite (2022), Analisa Pengaruh Waktu Dan Temperatur Kalsinasi Terhadap Struktur Mikro, Gugus Fungsi Dan Struktur Kristal Pada Paduan LiNiO₂ Untuk Katoda Baterai Litium, UKI Jakarta.
- [23] Wida Dinar Tri Meylani, Djoni Izak R, Siswanto (2013), Sintesis Dan Karakteristik Hidroksiapatit Makropori Untuk Aplikasi Bone Filler, Unair.
- [24] Indra Bayu Kurniawan, (2017), Pengaruh Penambahan Zn dan Tekanan Kompaksi Terhadap, Struktur Mikro, Sifat Mekanik dan Laju Peluruhan Paduan Mg-Zn Untuk Aplikasi Orthopedic Devices Dengan Metode Metallurgy Serbuk, ITS.
- [25] Shuhua Cai, et al. 2012. Effect of Zn on Microstructure, Mechanical Properties and Corrosion Behaviour of Mg – Zn Alloys. Materials Science and Engineering C 32 2570 – 2577. Elsevier.
- [26] H. Nurrohman. 2016 "Pengaruh Variasi Temperatur Dan Waktu Holding Sintering Terhadap Sifat Mekanik Dan Morfologi Biodegradable Material Mg-Fe-Zn Dengan Metode Metalurgi Serbuk Untuk Aplikasi Orthopedic Devices," Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, ITS, Surabaya.
- Chen, T. Bean, M. Ishida and T. nakahara, *Adhesion between rail/wheel under water lubricated contact*, Wear 253, 75–81, 2002.



Foto close-up

Mr. Adiman menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi BinaTunggal dari Tahun 1992 sampai dengan tahun 1997. Ia menyelesaikan studi program sarjana Dengan Topik Penelitian: **Tinjauan Proses Penarikan Dalam pada Logam Ferro**

Pada Tahun 2009 sampai dengan Tahun 2014, menyelesaikan studi Program S2 di Institut Sains dan Teknologi Nasional dengan Topik **Tesis: Optimasi Waktu Overhaul Turbin Pembangkit Listrik Cirata Unit 6**

Pengaruh Pelapisan Galvalume dan Galvanize Terhadap Ketebalan dan Struktur Mikro Baja Ringan.

Dikky Antonius^{1)*}, Budiarto²⁾, Surjo Abadi³⁾ Dian Persada⁴⁾
^{1,2,3,4)}Program Studi Fakultas Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia

Abstrak
<p>Baja Lapis Galvalume dan baja lapis galvanize dikenal karena penggunaannya dalam sector konstruksi. Penulis ingin membandingkan dan mengevaluasi perbedaan hasil sifat mekanik (tensile strength, yield strength, total elongation) dari lembaran galvanis dan lembaran berlapis galvalume dengan temperature pot galvanize di 650^o C dan pot galvalume di 600^o C. Juga untuk mengevaluasi seberapa banyak pelapisan mempengaruhi sifat mekanik dari kedua lapis produk tersebut. Pengujian dilakukan melalui pengamatan struktur kristal memakai SEM , uji kekerasan dengan metode Rockwell dan kuat Tarik. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa plat galvalume(rerata nilai nya 89.89 HRB) lebih besar dari galvanize (rerata nilai nya 80.83 HRB). kuat Tarik pada Tensile Strength menunjukkan bahwa plat galvalume(rerata nilai nya 668.143 Rm) dan galvanize (rerata nilai nya 668.903). lalu pada nilai yield strength dan elongation menunjukkan bahwa galvanize lebih besar dari galvalume. SEM menunjukkan perbedaan lapisan dan komposisi yang berbeda , galvalume memiliki unsur Al dan Zn pada lapisan atas nya yang menutupi base metal (Unsur Fe dan C) . Pada galvanize memiliki unsur Zn pada lapisan atas nya yang menutupi base metal.</p> <p>Kata kunci: Baja Lapis Galvalume , Baja Lapis Galvanize , kekerasan , kuat Tarik , SEM</p>
Abstract
<p>Galvalume-coated steel and galvanized steel are well-known for their use in the construction sector. The author aims to compare and evaluate the differences in mechanical properties (tensile strength, yield strength, total elongation) of galvanized sheets and galvalume-coated sheets with the galvanizing pot temperature at 650°C and the galvalume pot at 600°C. Additionally, the study aims to evaluate how much the coating affects the mechanical properties of both coated products. The testing was conducted through the observation of crystal structures using SEM, hardness testing with the Rockwell method, and tensile strength testing. The hardness test results showed that the galvalume plate (average value of 89.89 HRB) is harder than the galvanized plate (average value of 80.83 HRB). Tensile strength testing indicated that the galvalume plate (average value of 668.143 Rm) is comparable to the galvanized plate (average value of 668.903 Rm). For yield strength and elongation, the galvanized plate showed higher values than the galvalume plate. SEM analysis revealed differences in layer and composition: the galvalume plate has Al and Zn elements in its top layer covering the base metal (Fe and C elements), while the galvanized plate has Zn in its top layer covering the base metal</p> <p>Keywords: Galvalume Coated Steel, Galvanize Steel , Hardness , Tensile Strength , SEM</p>

1. Pendahuluan

Hot-dip Zn-Al steel plate biasa di gunakan di automobile karena baja anti karat nya, karena bagus tahan dengan korosi , dapat dicat , kemampuan untuk las. Karena persyaratan kualitas permukaan plat baja Hot-dip semakin ketat[1]

Banyak Lapisan paduan berbahan dasar Zinc dan Zn-based Alloy lama digunakan untuk melindungi lembaran baja dari atmosferic corrosion. Lembaran baja galvanise dikenal karena ketahanan korosinya yang sangat baik, banyak digunakan di berbagai sector industry , terutama otomotif dan konstruksi. Perlindungan yang diberikan oleh lapisan galvanise dihasilkan dari galvanic (sacrificial) dan barrier mechanism, Bersama dengan efek penghambatan korosi pada product. Untuk meningkatkan ketahan terhadap korosi ,mengurangi ketebalan lapisan dan juga biaya material , elemen seperti Al/Mg ditambahkan ke komposisi pelapis galvanis.[2]

Kerusakan akibat korosi merupakan factor utama yang mengurangi daya tahan struktur baja di berbagai lingkungan atmosfer. Setelah proses pelapisan Hot-dip Zn, ketahanan korosi struktur baja meningkat sekitar 20-25 kali dibandingkan dengan struktur baja tanpa lapisan. Pelapisan Zn merupakan metode efektif dan ekonomis untuk melindungi korosi. Ini juga bisa memberikan perlindungan kepada baja disaat lapisan coating rusak. Zn sangat mudah terurai dengan lingkungan, dan juga tinggi nya level Zn akan mengganggu ekosistem air. Selain itu, harga Zn yang tidak stabil , terutama untuk aplikasi industry. Oleh karena itu, pelapisan berbahan dasar Al mulai menarik banyak perhatian. Pelapisan Al dapat digunakan pada lingkungan dengan anti korosi dan temperature tinggi , untuk contoh nya knalpot kendaraan bermotor dan peralatan rumah tangga. [3]

Baja lapis banyak ditemukan dalam berbagai macam bentuk mulai dari galfan, galvanneal menjadi galvalume. Diantaranya, galvanize (Zn-5%Al) dan

*Korespondensi: Tel./Fax.: **081212335941**

E-mail: dikkyantonius@uki.ac.id

galvalume (Zn-55%Al-1.6%Si) adalah Zn-Al yang paling banyak digunakan. Telah diketahui bahwa lapisan galvalume memberikan ketahanan korosi lima kali lebih baik di dibandingkan lembaran baja galvanis. Kehadiran aluminium memberikan ketahanan terhadap korosi dan Si mengendalikannya pertumbuhan lapisan paduan selama proses pencelupan. Baja ini memberikan ketahanan korosi yang lebih baik untuk pengorbanan perlindungan seng dan sifat penghalang aluminium untuk membentuk oksida untuk melindungi baja korosi. Selain itu, mereka memberikan kombinasi kemampuan las, kemampuan cetak, sifat mampu bentuk yang lebih baik, kekuatan, ketahanan panas dan oksidasi serta sifat mekanik yang ditingkatkan dibandingkan baja galvanis lembaran, yang membuatnya cocok untuk otomotif, rumah motor listrik, dan aplikasi suhu tinggi. Dalam kategori ini penggunaan lembaran baja berlapis warna modern dan pelapis poliuretan organik untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan sifat lainnya sudah diketahui. Mereka dikenal karena penggunaannya dalam sector konstruksi. Mempertimbangkan perspektif sifat mekanik, baja galvalume diketahui menunjukkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan lembaran baja galvanis karena suhu yang lebih tinggi untuk leleh paduan 55% Al-Zn pelapisan logam. Selain itu, sifat mekanik lapisan poliuretan juga penting perhatian [4]

Dari jurnal ini berjudul "Evaluation of Mechanical and Tribological Behavior of Galvanized, Galvalume and Polyurethane-coated steel sheets" meneliti mechanical properties dari galvanize, galvalume, dan polyurethane menghasilkan uji tarik menunjukkan nilai YS dan UTS yang lebih tinggi (410 MPa, 450 MPa) untuk sampel galvalume, diikuti oleh substrat (390 MPa, 447 MPa), galvanis (352 MPa, 394 MPa), dan baja berlapis warna (340 MPa, 347 MPa). Namun, daktilitas yang lebih tinggi (TEL) diamati pada sampel berlapis warna (33%), diikuti oleh substrat (19%), galvalume (16%), dan sampel galvanis (15%).

Dari jurnal ini berjudul "The Influence of Hot-Dip Galvanizing on the Mechanical Properties of High-Strength Steels" dengan hasil Penelitian telah mengkonfirmasi bahwa galvanisasi celup panas menyebabkan penurunan yang signifikan pada sifat mekanik dari jenis baja kekuatan tinggi yang dipilih.

Berdasarkan uraian diatas, beberapa penelitian belum ada yang meneliti sifat mekanik (tensile strength, yield strength, total elongation dan hardening coefficient) dan SEM untuk plat galvalume dan plat galvanize pada tebal tertentu. Maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan dan mengevaluasi perbedaan hasil sifat mekanik (tensile strength, yield strength, total elongation dan hardening coefficient) dari lembaran galvanis dan lembaran berlapis galvalume dan juga untuk mengevaluasi seberapa banyak pelapisan mempengaruhi sifat mekanik dari kedua lapis produk tersebut.

2. Metode Penelitian

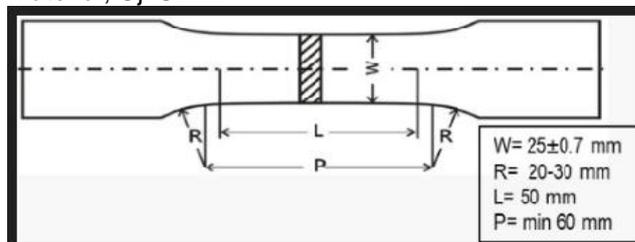
2.1. Material

Material yang digunakan untuk penelitian adalah material Plat Baja Galvalume dan material Plat Baja Galvanize dengan tebal plat masing masing adalah 0.4

, 0.6, dan 0.7 dengan G550 untuk galvalume dan G570 untuk galvanize

2.2. Metode

Material plat galvanize dan plat galvalume yang masih berbentuk plat Panjang akan di potong membentuk sampel sesuai pada gambar 1. Pengujian yang diterapkan pada specimen terdiri dari 3 macam pengujian, yaitu uji kekerasan material, uji Tarik material, Uji SEM.



Gambar 1 Sampel Uji

2.3. Spesimen Uji

Material untuk specimen uji yaitu Plat baja galvalume dan plat baja galvanize dengan tebal 0.4, 0.6, dan 0.7 pada G550 untuk galvalume dan G570 untuk galvanize

2.4. Pengujian Specimen

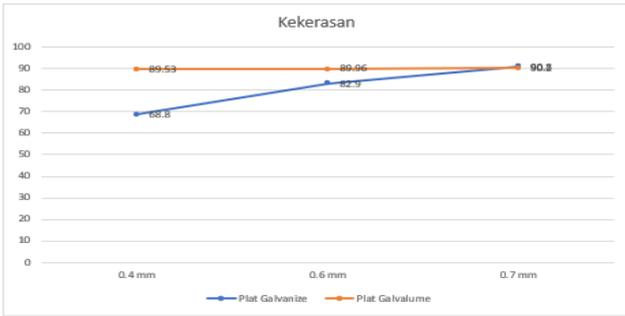
Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kekerasan, SEM, dan Uji Tarik. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan Hardness Tester metode Rockwell dengan ball 1/16 inch dan load 100 kgf, Pengujian kuat Tarik menggunakan alat uji Tarik untuk mengetahui Tensile Strength. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan menggunakan SEM. Dari pengujian kekerasan didapatkan nilai kekerasan, dari pengujian Tarik didapatkan Yield strength, Tensile Strength, elongation dan dari pengujian SEM didapat struktur mikro dan lapisan coating plat baja.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Kekerasan

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan

No	Tebal	Coating	Titik Uji Kekerasan Rockwell (HRB)			Kekerasan Rata-Rata Rockwell (HRB)
			1	2	3	
1	0.4	Galvalume	89.2	89.5	89.9	89.53
2	0.6	Galvalume	89.3	90.2	90.4	89.96
3	0.7	Galvalume	91.2	89.7	89.7	90.2
4	0.4	Galvanize	74.1	68.9	63.4	68.8
5	0.6	Galvanize	82.1	81.9	84.8	82.9
6	0.7	Galvanize	91.2	89.6	91.6	90.8



Gambar 2 Hubungan Kekerasan terhadap Ketebalan

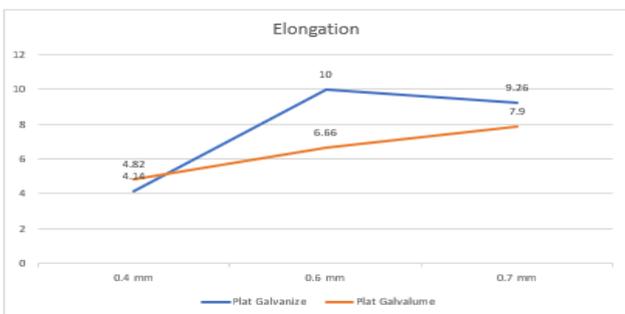
Dari hasil pengujian diatas maka didapat hasil Analisa yaitu adanya perbedaan kekerasan yang di hasilkan antara Plat Galvalume dengan Plat Galvanize . Dari Plat Galvalume terlihat bahwa nilai kekerasan tiap tebal dari 0.4 mm , 0.6 mm , dan 0.7 mm tidak mengalami perubahan yang signifikan. Bisa dilihat pada gambar 2 nilai kekerasan pada plat Galvalume pada tebal 0.4 mm di angka 89.53 HRB , untuk pada tebal 0.6 mm di angka 89.96 HRB , dan untuk tebal 0.7 mm di angka 90.2 HRB.

Pada plat baja galvanize terlihat ada perubahan kekerasan pada tiap tebal plat 0.4 mm , 0.6 mm , dan 0.7 mm . Pada 0.4 mm plat galvanize nilai kekerasannya di angka 68.8 HRB , pada 0.6 mm plat galvanize nilai kekerasannya di angka 82.9 HRB , dan pada tebal 0.7 mm nilai kekerasannya di angka 90.8 HRB.

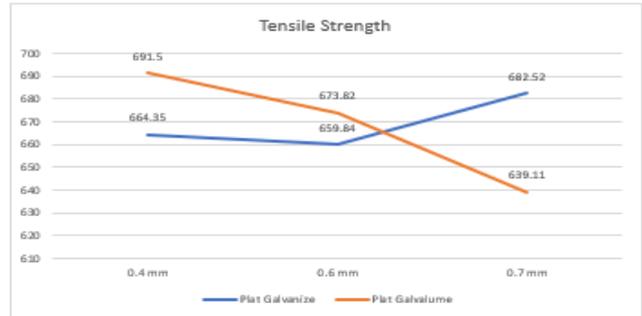
3.2. Pengujian Uji Tarik Material

Tabel 2 Hasil Pengujian Uji Tarik

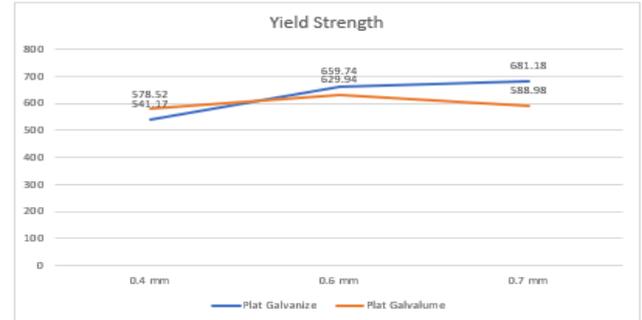
No	Tebal	Coating	Elongation (%)	Tensile Strength (Rm)	Yield Strength
1	0.4	Galvalume	4.82	691.50	578.52
2	0.6	Galvalume	6.66	673.82	629.94
3	0.7	Galvalume	7.9	639.11	588.98
4	0.4	Galvanize	4.14	664.35	541.17
5	0.6	Galvanize	10	659.84	659.74
6	0.7	Galvanize	9.26	682.52	681.18



Gambar 3 Hubungan Elongation terhadap Ketebalan



Gambar 4 Hubungan Tensile Strength terhadap Ketebalan



Gambar 5 Hubungan Yield Strength terhadap Ketebalan

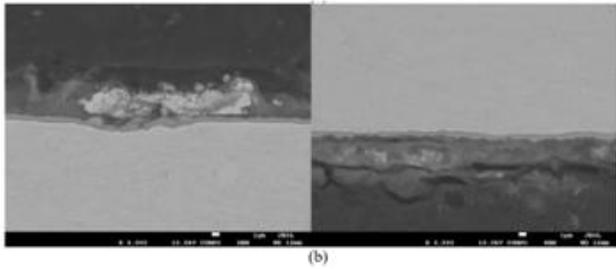
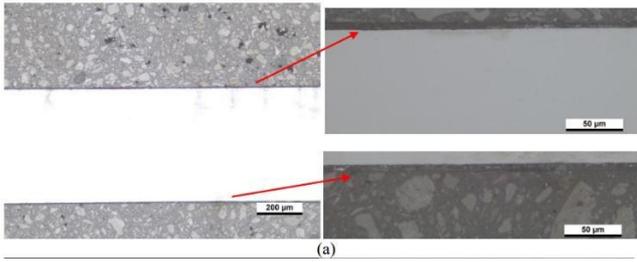
Pada gambar 3 , gambar 4 , dan gambar 5 Dari hasil pengujian diatas maka didapat hasil Analisa yaitu adanya perbedaan nilai uji tarik yang di hasilkan antara Plat Galvalume dengan Plat Galvanize . Dari Plat Galvalume terlihat bahwa nilai *elongation* tiap tebal dari 0.4 mm , 0.6 mm , dan 0.7 mm mengalami perubahan. dilihat pada gambar 3 nilai *elongation* pada plat Galvalume pada tebal 0.4 mm di angka 4.82% , pada tebal 0.6 mm di angka 6.66% , dan untuk tebal 0.7 mm di angka 7.9%. Pada plat baja galvanize terlihat ada perubahan nilai *elongation* pada tiap tebal plat 0.4 mm , 0.6 mm , dan 0.7 mm . Pada 0.4 mm plat galvanize di angka 4.14% , pada 0.6 mm plat galvanize nilai *elongation* nya di angka 10% , dan pada tebal 0.7 mm nilai kekerasannya di angka 9.26%.

Pada gambar 4 Dari Plat Galvalume terlihat bahwa nilai *Tensile Strength* tiap tebal dari 0.4 mm , 0.6 mm , dan 0.7 mm mengalami perubahan . pada 0.4 mm di nilai 691.5 , di tebal 0.6 mm di nilai 673.82 , dan pada tebal 0.7 mm di nilai 639.11. Dari Plat Galvanize juga mengalami perubahan nilai dari tiap tebal . Pada tebal 0.4 mm di nilai 664.35 , pada tebal 0.6 mm di nilai 659.84 , dan terakhir pada tebal 0.7 mm di nilai 682.52

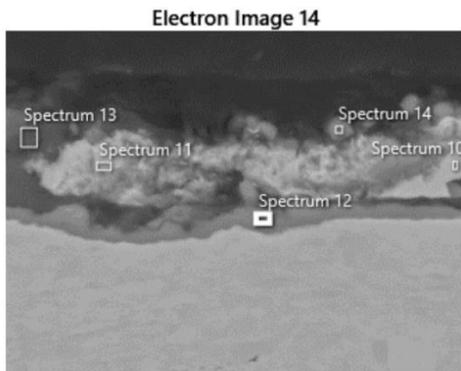
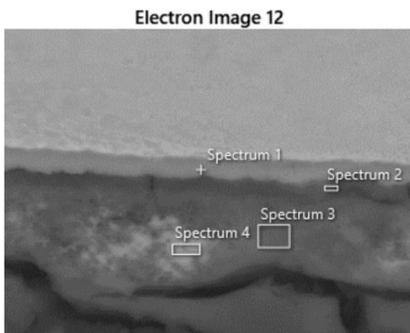
Pada grambar 5 Dari Plat Galvalume terlihat bahwa nilai *Yield Strength* tiap tebal dari 0.4 mm , 0.6 mm , dan 0.7 mm mengalami perubahan . pada 0.4 mm di nilai 578.52 , di tebal 0.6 mm di nilai 629.94 , dan pada tebal 0.7 mm di nilai 588.98. Dari Plat Galvanize juga mengalami perubahan nilai dari tiap tebal . Pada tebal 0.4 mm di nilai 541.17 , pada tebal 0.6 mm di nilai 659.74 , dan terakhir pada tebal 0.7 mm di nilai 681.18. (dijelaskan nilai atau kesimpulan dari tebal dengan nilai uji)(ketebalan pelapisan tidak mempengaruhi nilai kekerasan , tetapi untuk material uji galvalume mempengaruhi nilai kekerasan , makin tebal pelapisan nilai kekerasan meningkat , hal ini disebabkan komposisi kimia berbeda)

3.3. Pengujian SEM

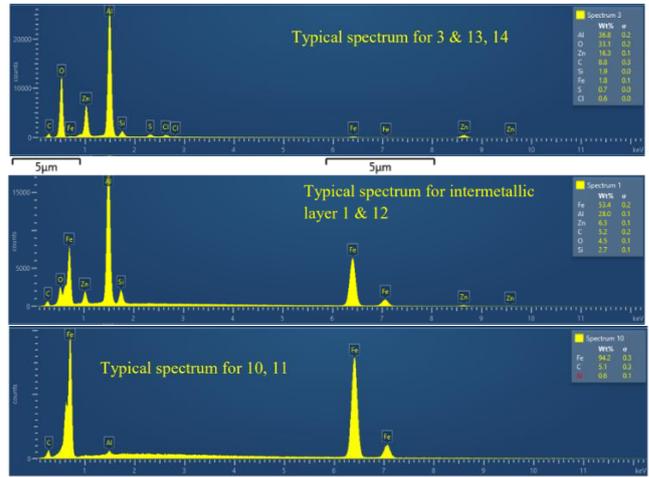
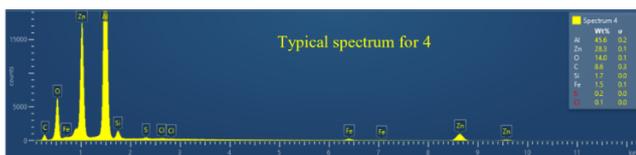
Galvalume



Gambar 6 Optical Galvalume dan SEM



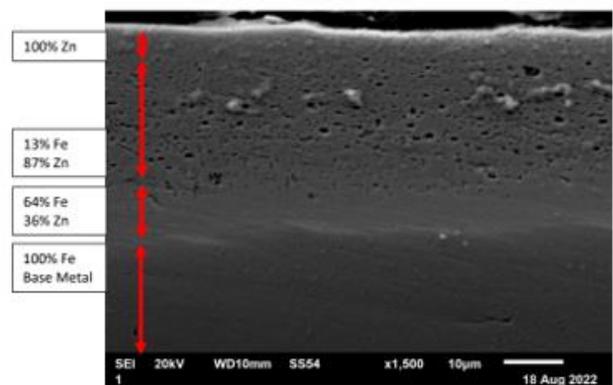
Gambar 7 Electron Image 14 dan 12 Galvalume



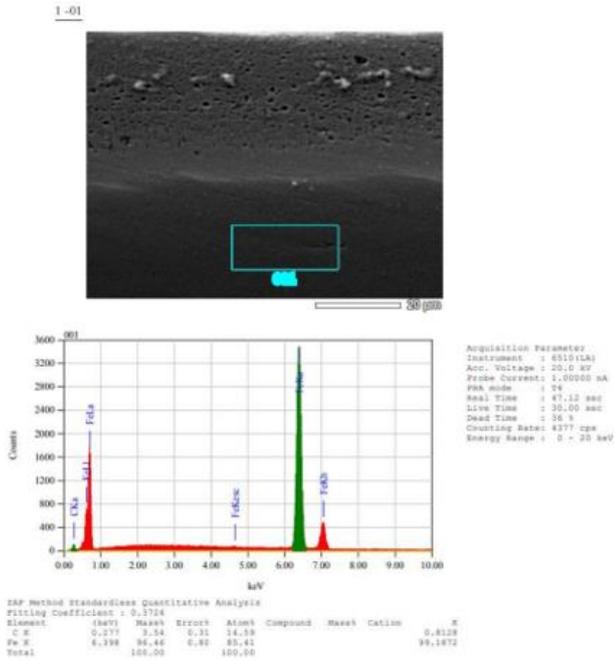
Gambar 8 Typical Spectrun Galvalume

Penjelasan mengenai Galvalume gambar 4.7 dan 4.8 Optical (a) dan SEM (b) micrographs menunjukkan gambar sampel ECO yang diambil di brightfield light dan BS mode . pada gambar 4.4xx diambil 2 gambar electron , pada 2 gambar tersebut diambil titik titik spectrum untuk mengetahui kandungan unsur pada titik tersebut . dijelaskan pada gambar 4.9 , di mulai pada spectrum 1 dan 12 menunjukkan nilai unsur Fe yang begitu tinggi , untuk detail nya yaitu Fe 53.4% , Al 28% , Zn 6.3% , C 5.2% , O 4.5% , Si 2.7%. pada spectrum 3 , spectrum 13 dan spectrum 14 menunjukkan nilai unsur Al yang tinggi , untuk detail kandungan nya yaitu Al 36.8% , O 33.1% , Zn 16.3% , C 8.8% , Si 1.9% , Fe 1.8% , S 0.7% , Cl 0.6%. Pada spectrum 4 nilai Al mulai mengalami kenaikan , dengan detail kandungan nya yaitu Al 45.6% , Zn 28.3% , O 14.0% , C 8.6% , Si 1.7% , Fe 1.5% , S 0.2 , dan Cl 0.1%. Pada spectrum 10 dan 11 nilai Fe tinggi , dengan detail unsur yaitu 94.2% , C 5.1% , dan Al 0.8%.

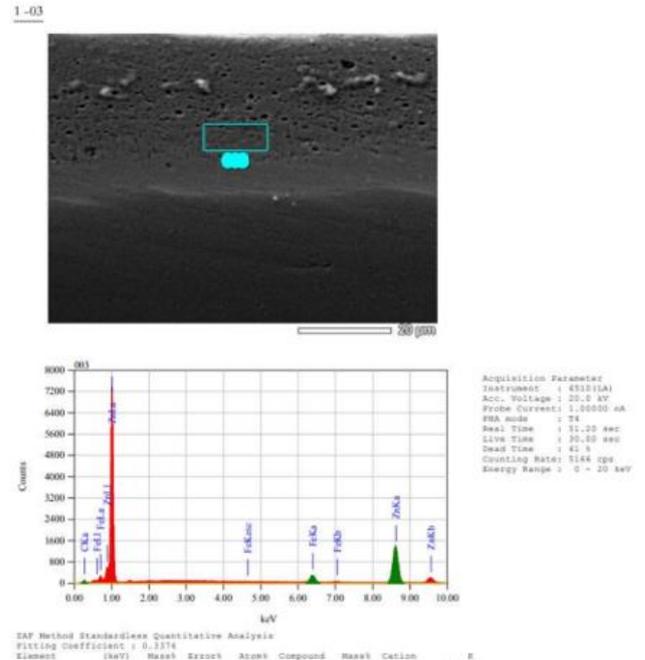
Galvanize



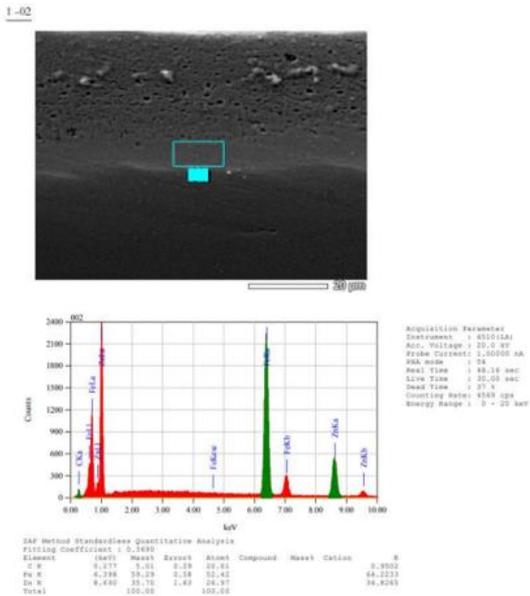
Gambar 9 Lapisan Galvanis SEM perbesaran 1500x



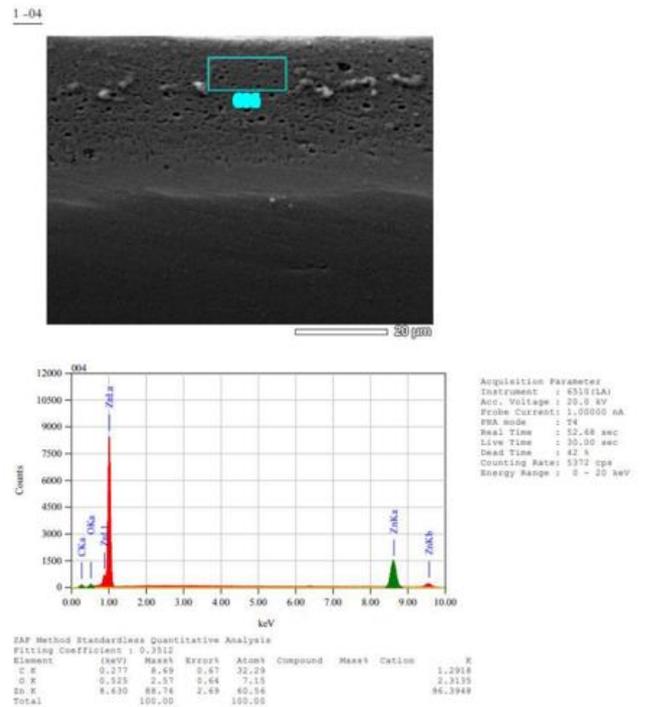
Gambar 10 Lapisan Galvanize Titik 1



Gambar 12 Lapisan Galvanize Titik 3



Gambar 11 Lapisan Galvanize Titik 2



Gambar 13 Lapisan Galvanize Titik 3

Penjelasan mengenai Galvanize Gambar 9 pada lapisan galvanize perbesaran 1500x terlihat pada lapisan pertama terdapat 100% Zn , pada lapisan kedua terdapat 13% Fe+87% Zn , pada lapisan ketiga unsur Fe menjadi 64% dan Unsur Zn berkurang menjadi 36% . Dan pada lapisan terakhir di base metal full Fe 100%. Pada gambar 10 secara detail bahwa lapisan tersebut mengandung unsur senyawa C dengan *mass* 3.54% dan juga unsur Fe dengan *mass* 96.46%. Pada gambar 11 secara detail bahwa lapisan tersebut terdapat unsur C dengan *mass* 5.01% , terdapat unsur Fe dengan *mass* 59.29% , dan juga

unsur Zn dengan *mass* 35.70%. Pada gambar 12 secara detail bahwa lapisan tersebut terdapat unsur C dengan *mass* 6.28% , terdapat unsur Fe dengan *mass* 6.29% , dan juga unsur Zn dengan *mass* 87.43%. Pada gambar 13 secara detail bahwa lapisan tersebut terdapat unsur C dengan *mass* 8.69% , terdapat unsur O dengan *mass* 2.57% , dan juga unsur Zn dengan *mass* 88.74%.

4. Simpulan

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa plat galvalume (rerata nilai nya 89.89 HRB) lebih besar dari galvanize (rerata nilai nya 80.83 HRB)

Hasil pengujian kuat Tarik pada Tensile Strength menunjukkan bahwa plat galvalume (rerata nilai nya 668.143 Rm) dan galvanize (rerata nilai nya 668.903). lalu pada nilai yield strength dan elongation menunjukkan bahwa galvanize lebih besar dari galvalume.

Pada hasil pengamatan dengan SEM menunjukkan perbedaan lapisan dan komposisi yang berbeda , galvalume memiliki unsur Al dan Zn pada lapisan atas nya yang menutupi base metal (Unsur Fe dan C) . Pada galvanize memiliki unsur Zn pada lapisan atas nya yang menutupi base metal

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala laboratorium PT.X Cikarang, Jawa Barat. yang telah berpartisipasi pengujian SEM , kekerasan , dan Uji Tarik.

Daftar Pustaka

- [1] Rensheng Chu , Zhe Wang , Ningjie Sun , Xiaoxuan Deng , Chengliang Xu and Zhancheng Guo. *The fundamental research on suspended dross in hot dip Al–Zn galvanising process*. 2024. China
- [2] Xin He , Xun Zhou , Ting Shang , Wuhua Liu , Guangrui Jiang , Chao Liu , Xuequn Cheng , Xin Zhang , Xiaogang Li. *Influencial mechanisms of elements and alloy phases on corrosion resistance of Zn-Al-Mg coated steel in atmospheric environments*. 2023. China
- [3] Yang Gao , Shigenobu Kainuma , Muye Yang , Shuji Ishihara , Daichi Inoue. *Galvanic corrosion behavior of hot-dip Al and 55Al–Zn coatings applied to steel bolted joints in atmospheric environments*. 2023. Japan
- [4] Muralidhar Yadav , Jayanta Kumar Saha and Swarup Kumar Ghosh. *Evaluation of mechanical and tribological behavior of galvanized, galvalume and polyurethane-coated steel sheets*. 2023. India
- [5] Rethwisch David G, Callister, Jr William D. *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. Book Edisi 5. 2000
- [6] Santoso Bramasta Aji, Budiarto. *Pengaruh Jenis Forming Terhadap Struktur Kristal dan Struktur Mikro pada Baja Karbon Rendah Tipe MR*. Jurnal Rekayasa energi dan Mekanika. Vol. 03 No. 02 Halaman 86-94. 2023

Analisa Pengaruh Media Quenching Terhadap Struktur Kristal, Kekerasan, Dan Kuat Tarik Baja S45C

Budiarto¹⁾, Fedelis Rytma²⁾, Dicky Antonius³⁾, Kimar Turnip⁴⁾

^{1,2,3,4)}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia

Abstrak

Baja S45C tergolong baja karbon menengah dengan kandungan karbon 0,3-0,5%. Perlakuan panas penting untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Baja ini umum digunakan dalam berbagai komponen seperti rel, roda gigi, kopling, katrol, poros, dan as. Poros biasanya diaplikasikan dengan motor 3 fasa, poros biasanya dipanaskan untuk mencegah keausan dan selip. Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh variasi media pendinginan pada kekerasan, struktur kristal (ukuran kristal, kerapatan dislokasi dan regangan kisi), kekerasan dan kuat tarik baja S45C. Perlakuan panas *hardening* dengan suhu 800°C, *Quenching* media air es, air radiator, dan air garam, serta tempering pada suhu 400°C. Hasil pengujian struktur kristal terdiri dari ukuran kristal menunjukkan bahwa ukuran kristal meningkat pada media pendingin air es dari 3,812 nm menjadi 8,147 nm, namun pada kerapatan dislokasi terjadi penurunan pada media pendingin air es dari 0,22 garis/mm² menjadi 0,08 garis/mm² dan regangan kisi juga menurun pada media pendingin air es dari 0,176 menjadi 0,165. Hasil pengujian kekerasan mengalami peningkatan setelah *quenching* di media air es dari 213,78 HB menjadi 417,14 HB, dan kuat tarik meningkat dari 737,5 MPa menjadi 1439,1 MPa. Setelah proses *quenching* dilanjutkan tempering nilai kekerasan dan kuat tarik terjadi penurunan yang signifikan. Hal ini disebabkan telah terjadi perubahan fasa dari austenite menjadi martensit dan berubah lagi membentuk bainit temper.

Kata Kunci : baja S45C, Struktur Kristal, Kekerasan, kuat tarik,

Abstract

S45C steel is classified as medium carbon steel with a carbon content of 0.3-0.5%. Heat treatment is important to increase its strength and hardness. This steel is commonly used in various components such as rails, gears, couplings, pulleys, shafts and axles. The shaft is usually applied with a 3 phase motor, the shaft is usually heated to prevent wear and slippage. This research aims to understand the effect of variations in cooling media on hardness, crystal structure (crystal size, dislocation density and lattice strain), hardness and tensile strength of S45C steel. Hardening heat treatment with a temperature of 800°C, Quenching media with ice water, radiator water and salt water, as well as tempering at a temperature of 400°C. The results of crystal structure testing consisting of crystal size show that the crystal size increased in the ice water cooling medium from 3.812 nm to 8.147 nm, but the dislocation density decreased in the ice water cooling medium from 0.22 lines/mm² to 0.08 lines/mm² and the lattice strain also decreased in the ice water cooling medium from 0.176 to 0.165. The hardness test results increased after quenching in ice water from 213.78 HB to 417.14 HB, and the tensile strength increased from 737.5 MPa to 1439.1 MPa. After the quenching process was continued with tempering, the hardness and tensile strength values decreased significantly. This was because there had been a phase change from austenite to martensite and changed again to form tempered bainite

Keywords: S45C steel, Crystal Structure, Hardness, Tensile Strength

1. Pendahuluan

Dengan berkembangnya teknologi material yang menawarkan berbagai macam kekuatan dan fleksibilitas, berbagai ilmu pengetahuan pun bermunculan untuk menjawab tantangan yang muncul. Banyak industri yang menggunakan logam sebagai bahan baku utama dalam operasi dan produksinya. Misalnya dalam pembuatan komponen kendaraan yang membutuhkan tingkat kekuatan dan fleksibilitas yang maksimal.

Baja karbon sedang sering digunakan dibidang teknik mesin dan industri khususnya komponen mesin, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang nilainya kekerasan yang lebih tinggi dan lebih kuat dari pada baja karbon rendah. Kandungan karbon yang terdapat dalam baja memungkinkan material ini dapat dikeraskan melalui perlakuan panas yang tepat. Baja karbon sedang biasanya diaplikasikan untuk pemembuatan roda gigi, kereta api, poros, baut dan rel,

Baja S45C merupakan katagori baja karbon sedang dengan kandungan kadar karbon sekitar 0,3 – 0,6%. Baja S45C ini memiliki karakteristik yang bersifat ulet dan lunak, sehingga mudah dikerjakan pada peralatan permesinan maupun perkakas dan dibentuk sesuai kebutuhan serta harga yang relatif mudah ditemukan dipasaran dibandingkan dengan jenis baja lainnya. Baja karbon ini memiliki kelenturan dan kekuatan. Untuk meningkatkan sifat mekanisnya, baja ini dapat diberi perlakuan panas (*heat treatment*) seperti quenching, annealing, normalizing, dan tempering.

Pembuatan baja sangat bergantung pada perlakuan panas untuk menghasilkan barang berkualitas tinggi. Barang yang dihasilkan akan menampilkan sifat mekanik yang khas, seperti kekerasan dan kekuatan. Maka dari itu, prosedur pendinginaan dan pemanasan yang terkontrol dengan tepat sangat penting untuk membentuk baja agar memenuhi sifat-sifat yang diinginkan tersebut. Demikian juga, untuk mencapai kekuatan dan kelenturan yang diinginkan, penting untuk

*Korespondensi: Tel./Fax.: 085719437651

E-mail: budidamaz@gmail.com

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

menerapkan metode pemanasan yang sesuai, mengatur durasi pendinginan, dan memastikan suhu pemanasan yang tepat. Selain itu, sangatlah penting untuk menganalisis sifat mekanik dan perubahan struktur mikro sebelum dan setelah pemanasan untuk memahami dampak dari perbedaan suhu pemanasan yang berbeda.

Pada penelitian yang berjudul “Pengaruh Air Garam Sebagai Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja St60” menggunakan sample material ST60 dengan perlakuan panas di suhu 800°C Selama 35 menit, Kemudian di dinginkan menggunakan 4 media pendingin (Quenching) : Air Garam (NaCl)40%, Magnesium Chloride (MgCl₂) 35%, Magnesium chloride (MgCl₂)40%, Air Garam Dapur (NaCl)35%. dari penelitian ini terdapat pengaruh setiap kenaikan % pada garam dalam media pendingin terhadap nilai kekerasan pada proses pengerasan baja St 60. Dimana semakin besar % garam dalam media pendingin, maka semakin tinggi pula nilai kekerasannya[11].

Dari penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Suhu Austenite dan Media Quenching Material S45C dan EMS45 Terhadap Kekerasan” menggunakan sample material S45C dan EMS45 dengan perlakuan panas di suhu 800°C, 820°C, 850°C, Kemudian di dinginkan menggunakan 3 media pendingin (Quenching) : Air-Oli, Oli, dan Air. Dari penelitian ini material S45C, media quenching memiliki pengaruh 81%, suhu austenite memiliki pengaruh 4,2% terhadap hasil uji kekerasan [8].

Dari penelitian yang berjudul “Analisa Perbedaan Kekerasan dan kekuatan Tarik Baja S45C Dengan Perlakuan Quenching dan Tempering Pada Media Udara, Air, dan Oli untuk Aplikasi Poros Motor Roda Tiga” menggunakan sample material S45C dengan perlakuan panas di suhu 750°C, 800°C, dan 850°C. Kemudian di dinginkan menggunakan 3 media pendingin (Quenching), Udara, Air dan Oli. Dari penelitian ini, suhu ideal untuk perlakuan panas pada poros roda sepeda motor guna mencapai nilai kekerasan tertinggi adalah 750°C dengan pendinginan oli [7].

Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh variasi media pendinginan pada kekerasan, struktur kristal (ukuran kristal, kerapatan dislokasi dan regangan kisi), dan sifat tarik baja S45C. Perlakuan panas hardening dengan suhu 800°C, Quenching media air es, air radiator, dan air garam, serta tempering pada suhu 400°C.

2. Metode Penelitian

2.1 Material

Material yang digunakan untuk penelitian adalah material baja karbon menengah S45C. Komposisi Kimia dari Baja S45C yaitu Silicon (Si) 0,15% - 0,35%, Karbon (C) 0,42% - 0,48%, Fosfor (P) 0,030% Max, Mangan (Mn) 0,6% - 0,9%, Sulphur (S) 0,035%.

Gambar 1 Alat pemanas

2.2 Metode Penelitian

Raw material baja S45C berbentuk silindris di potong menjadi 4 bagian untuk mendapatkan sampel pada setiap variasi media quenching. Perlakuan panas

berada di suhu 800°C dengan waktu penahanan 1 jam dan pada media pendingin air garam melanjutkan



proses tempering dengan suhu 400°C dengan waktu penahanan 1 jam. Pengujian yang diterapkan pada spesimen terdiri dari 3 macam, yaitu uji kekerasan material metode brinell, uji struktur kristal dengan metode XRD, dan uji Tarik dengan konversi kekerasan brinell.

2.3 Pengujian Spesimen

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kekerasan metode Brinell dengan standar ASTM E10, pengujian struktur kristal dengan alat difraktometer sinar X dan uji tarik dikonversi dari nilai kekerasan metode brinell. Pengujian struktur kristal dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction*. pengujian ini akan mendapatkan ukuran kristal, kerapatan dislokasi, dan regangan kisi. Dengan menggunakan persamaan Derby Scherrer Untuk menghitung ukuran kristal menggunakan persamaan Debye-Scherrer, yang rumusnya adalah:

$$D = \frac{K \times \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Untuk menentukan nilai kerapatan dislokasi dipakai rumus:

$$\rho = \frac{1}{D^2} \quad (2)$$

Sedangkan dalam penentuan nilai regangan kisi dipakai rumus:

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4 \tan \theta} \quad (3)$$

Keterangan:

D = Diameter.kristalit (nm)

ε = Regangan.Kisi

ρ = Kerapatan.Dislokasi (garis/mm²)

K = Faktor bentuk.dari kristal (0,9-1)

β = Nilai dari.Full Width.at Half Maximum (FWHM) (rad)

λ = Panjang gelombang dari sinar-X (1,54056 Å)

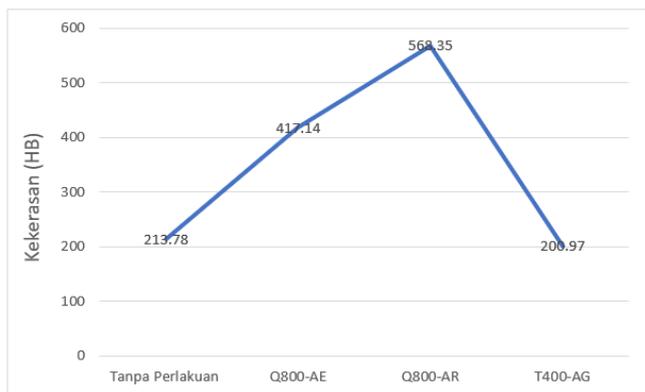
θ = Sudut difraksi (derajat)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Kekerasan Material

Tabel 1 Hasil data pengujian kekerasan

No	Kode Spesimen	Proses Heat Treatment	Titik Uji Kekerasan Brinell		Rata-Rata
			1	2	
1	Tanpa Perlakuan	Tanpa Perlakuan Panas	211.63	215.93	213,78 HB
2	Q800-AE	Quenching Media Air Es	414.16	420.12	417,14 HB
3	Q800-AR	Quenching Media Air Radiator	574.32	562.38	568,35 HB
4	T400-AG	Tempering	202.72	199.22	200,97 HB



Gambar 2 Hubungan media quenching terhadap Kekerasan

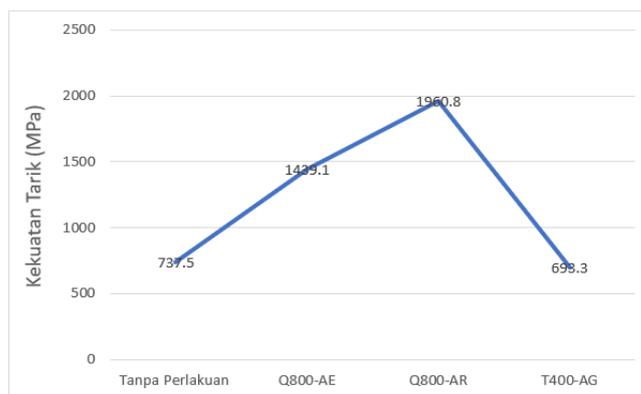
Berdasarkan hasil pengujian, analisis menunjukkan adanya perbedaan kekerasan yang dihasilkan oleh variasi media pendingin selama proses quenching. Kekerasan pada baja S45C tanpa perlakuan memiliki kekerasan sebesar 213,78 HB. Selanjutnya sample spesimen Q800-AE mealukuakn pemanasan dengan suhu 800°C (Fasa Austenit, Stuktur kristal FCC) ditahan selama 1 jam menggunakan air es sebagai media pendingin, menghasilkan kekerasan sebesar 417,14 HB dengan struktur mikro martensite. Sementara spesimen Q800-AR menggunakan air radiator sebagai media pendingin menghasilkan kekerasan sebesar 568,35 HB dengan struktur mikro martensite. Pada spesimen T400-AG yang menggunakan quenching air garam melanjutkan proses tempering dengan suhu 400°C selama 1 jam memperlihatkan hasil kekerasan sebesar 200,97 HB. Nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan spesimen lainnya, karena proses tempering setelah quenching mengalami pengurang kekerasan pada baja S45C. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan regangan kisi dan kerapatan dislokasi serta penurunan ukuran kristal. Perlakuan proses tempering berpengaruh terhadap struktur kekerasan baja S45C. Proses tempering pada baja paduan rendah S45C dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanik baja setelah proses hardening. Pendingin air garam dan penggunaan air radiator menunjukkan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan specimen asli. Hal ini disebabkan karena perubahan dari struktur austenite ke martensit yang lebih cepat dan lebih banyak, yang dapat mempengaruhi kekerasan baja. Struktur ini memiliki tingkat kekerasan yang tinggi akan tetapi juga memiliki ketangguhan yang rendah, karena martensite memiliki

struktur yang rapuh. Selain itu, struktur martensit juga memiliki kelemahan, yaitu kecenderungan terhadap kerapuhan atau getas.

3.2 Pengujian Kekuatan Tarik Material

Tabel 2 Hasil data pengujian kekuatan tarik

No	Kode Spesimen	Proses Heat Treatment	Titik Uji Kekeasan Brinell	Kekuatan Tarik (Mpa)
1	Tanpa Perlakuan	Tanpa Perlakuan Panas	213,78 HB	737.5
2	Q800-AE	Quenching Media Air Es	417,14 HB	1439.1
3	Q800-AR	Quenching Media Air Radiator	568,35 HB	1960.8
4	T400-AG	Tempering	200,97 HB	693.3



Gambar 3 Hubungan media quenching terhadap kekuatan tarik

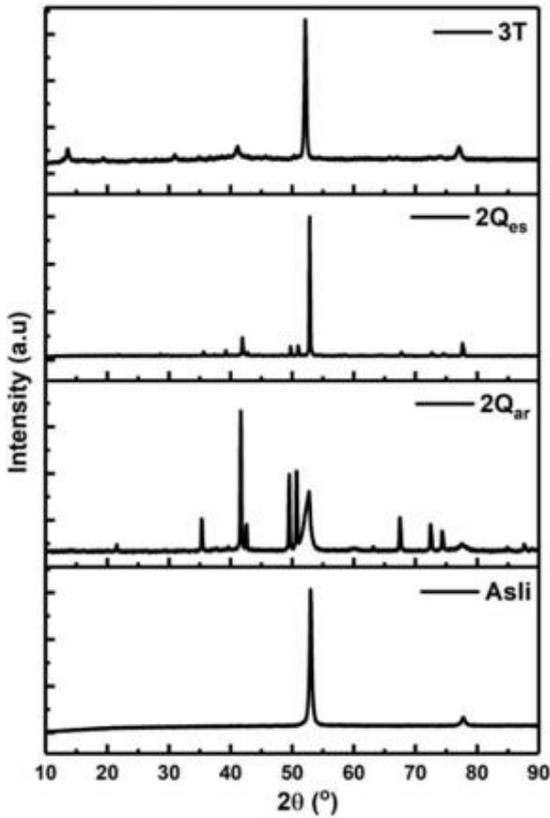
Berdasarkan hasil pengujian yang didapatkan nilai kekuatan tarik baja S45C sebesar 737,5 MPa. Kemudian, dilakukan proses hardening dengan pendinginan menggunakan air es, yang mengakibatkan peningkatan kekuatan tarik menjadi 1439,1 MPa. Selanjutnya, spesimen air radiator menunjukkan kekuatan tarik yang paling tinggi, mencapai 1960,8 MPa. Hal ini terjadi karena perubahan fasa austenit menjadi fasa martensit serta perubahan strktur kristal BCC ke BCT.

Spesimen yang didinginkan menggunakan air garam melakukan proses tempering pada suhu 400°C holding time 1 jam, menunjukan kekuatan tarik terendah bernilai 693,3 MPa. Penurunan ini diakibatkan oleh perubahan fasa martensit menjadi perlit.

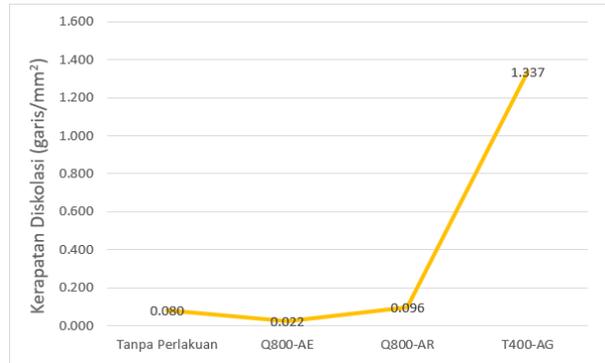
3.2 Pengujian Struktur Kristal

Tabel 3 Hasil Data Struktur Kristal

No	Kode Spesimen	D Ukuran Kristal (nm)	ε Regangan Kisi	ρ Kerapatan Diskolasi (garis/mm ²)
1	Tanpa Perlakuan	3.812	0.176	0.080
2	Q800-AE	8.147	0.110	0.022
3	Q800-AR	6.526	0.165	0.096
4	T400-AG	2.676	0.866	1.337



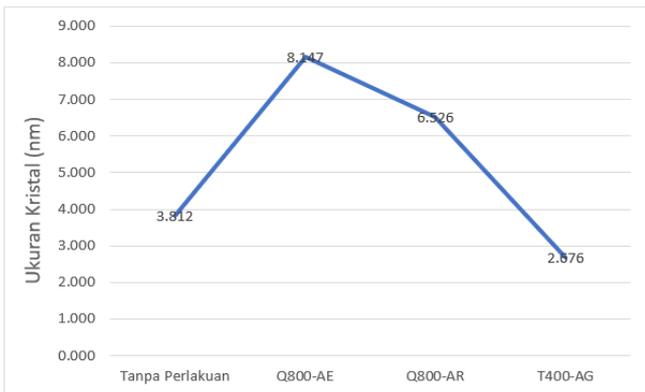
Gambar 4 Difraktogram Sinar-X dari Baja S45C dan Perlakuan Panas



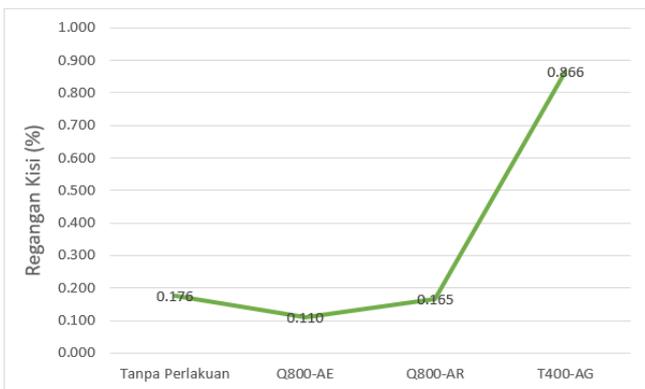
Gambar 7 Hubungan media quenching terhadap kerapatan dislokasi

1. Berdasarkan hasil pengujian yang didapat, diperoleh hasil analisis yang menunjukkan adanya perbedaan ukuran kristal yang dihasilkan oleh variasi media pendingin selama proses quenching. Q800-AE menggunakan air es sebagai media pendingin, menghasilkan ukuran kristal sebesar 8,147 nm. Sementara spesimen Q800-AR menggunakan air radiator sebagai media pendingin menghasilkan ukuran kristal sebesar 6,526 nm. Pada spesimen T400-AG yang menggunakan quenching air garam melanjutkan proses tempering dengan suhu **400°C** selama 1 jam memperlihatkan ukuran kristal sebesar 2,676 nm. Regangan kisi dan kerapatan dislokasi memiliki pergerakan grafik yang relative mirip. Q800-AE menggunakan air es sebagai media pendingin, menghasilkan regangan kisi sebesar 0,110 dengan kerapatan dislokasi sebesar 0,022 garis/mm². Sementara spesimen Q800-AR menggunakan air radiator sebagai media pendingin menghasilkan regangan kisi sebesar 0,165 dengan kerapatan dislokasi sebesar 0,096 garis/mm². Pada spesimen T400-AG yang menggunakan quenching air garam melanjutkan proses tempering dengan suhu **400°C** selama 1 jam memperlihatkan regangan kisi sebesar 0,866 dengan kerapatan dislokasi sebesar 1,337 garis/mm². Untuk besarnya nilai kerapatan dislokasi berbanding terbalik dengan nilai ukuran kristal, karena semakin tinggi sudut puncaknya akan semakin tinggi nilai kerapatan dislokasi begitu juga sebaliknya [12]

Berdasarkan uji XRD, FWHM yang lebih besar menunjukkan ukuran kristal yang lebih kecil, sedangkan nilai FWHM yang lebih kecil menunjukkan pembesaran kristal. Ukuran kristal yang berubah memengaruhi material melalui batas butir, yang menghambat pergerakan dislokasi dengan mengubah orientasi. Dislokasi memicu peristiwa tolakan, dengan dislokasi bergeser lebih jauh saat menjauhi batas butir. Akibatnya, kristal yang lebih besar dan lebih halus memperkuat kekerasan material. Regangan yang lebih tinggi memengaruhi kerapatan dislokasi, dengan kerapatan yang lebih tinggi membuat dislokasi lebih sulit bergerak, sehingga meningkatkan kekuatan atau kekerasan material.



Gambar 5 Hubungan media quenching terhadap ukuran kristal



Gambar 6 Hubungan media quenching terhadap regangan kisi

4. Simpulan

Berdasarkan data yang telah diperoleh, ukuran dan bentuk struktur kristal akan memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik sifat suatu bahan, seperti sifat kekerasan dan kuat tarik. Hal ini menunjukkan bahwa Media pendinginan secara cepat (Quenching) dapat menaikkan kekerasan dan kekuatan Tarik material yang disebabkan karena semakin besar ukuran kristal maka nilai kekerasan dan kekuatan tariknya akan meningkat. Selain ukuran kristal, regangan dan kerapatan dislokasi juga mempengaruhi ketahanan suatu material.

Nilai kerapatan dislokasi dari material tanpa perlakuan menunjukkan 0.08 garis/mm² setelah perlakuan panas dan pendinginan secara cepat (quenching) di media air es terjadi penurunan dislokasi menjadi 0.022, namun pada media air radiator nilai kerapatan mengalami kenaikan 0,096. hal ini disebabkan dislokasi makin bertambah sehingga pergerakan dislokasi semakin sulit, hal ini yang menyebabkan material semakin kuat (nilai kekerasan meningkat), selain itu disebabkan terjadinya perubahan struktur kristal dari FCC (Face center Cubic) menjadi BCT (Body Center Tetragonal) serta terjadi perubahan autenit ke martensit.

Perbedaan nilai pada setiap variasi media pendingin disebabkan oleh laju pendinginan yang berbeda, Laju pendinginan dalam proses quenching sangat penting untuk menentukan struktur kristal baja. laju pendinginan ini memungkinkan untuk memodifikasi sifat mekanik seperti kekuatan, kekerasan, dan ketangguhan pada material sambil meminimalisir risiko deformasi dan retakan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala laboratorium pusat terpadau UI Depok, Jawa Barat. yang telah berpartisipasi pengujian XRD dan kekerasan.

Daftar Pustaka

- [1] Nasution Muslih, Nasution Rini Halila. *Analisa Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI1020 Terhadap Perlakuan Caburizing Dengan Arang Batok Kelapa*. Jurnal Teknik Mesin. Volume 15, no 2, Januari 2020
- [2] Sulistyono Sulistyono, Nurwansyah M. Hasyim, Asrori. *Hasil Variasi Media Quenching terhadap Kekuatan Tarik Baja S45C*. Jurnal Rekayasa Mesin. Vol.18, No.2, Agustus 2023, hal. 137-146.
- [3] Prayitno Dody, Zulfachr Muhammad. *Pengaruh Quenching Oli Setelah Proses Karburisasi Terhadap Kekerasan Baja S45C*. Jurnal Metrik Serial Humaniora dan Sains. Volume: 4, Nomor: 1, Tahun 2023
- [4] Jatmiko Rio Nanda, Prayitno Dody. *Pengaruh Carburizint-Quenching Terhadap Kekerasan Baja S45C*. Jurnal Metrik Serial Teknologi dan Sains. Volume 2, Nomor 2, 2021
- [5] Maidefri Febro. *Pengaruh Suhu Terhadap Kekerasan Pada Baja Karbon Sedang S45C*. Jurnal Penelitian. 2023
- [6] Prabowo Aryo Aji, Sunyoto. *Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, dan Kekuatan Bending Baja AISI 1010*. Journal of Mechanical Engineering Learning. Vol 9, No 1, 2020
- [7] Rachman Mohammad Rizal Ainur, Sakti Arya Mahendra. *Analisa Perbedaan Kekerasan dan Kekuatan Tarik Baja S45C Dengan Perlakuan Quenching dan Tempering Pada Media Udara, Air, dan Oli Untuk Aplikasi Poros Motor Roda Tiga*. Jurnal Teknik Mesin. Volume 08, No 2, 2020
- [8] Setiawan Daniel Calvin, Arifin Kurniawan Sindu. *Analisa Pengaruh Suhu Austenite dan Media Quenching Material S45C dan EM45 Terhadap Kekerasan*. Jurnal ilmiah Teknik Mesin. Volume 11, No 2, Agustus 2023
- [9] Pratama Ago Edil, Sakuri, Prabowo Nugrah Rektor. *Pengaruh Variasi Tekanan Gravity Shot Peening Pada Proses Pengerasan Permukaan Terhadap Sifat Mekanis dan Morfologi Struktur Baja S45C*. Jurnal Flywheel. Volume 13, No 2, September 2022
- [10] Risal Syah, Mahadir, Suyuti Muhammad Arsyad, Nur Rusdi. *Experimental Study on the Effect of Cooling Media on Impact Strength in the Heat Treatment Process of Medium Carbon Steel S45C*. Jurnal Penelitian. Volume 9, No 2, Oktober 2022
- [11] Syaifulah Muhammad, Subhan Muhammad, Juanda. *Pengaruh Air Garam Sebagai Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja ST60*. Jurnal Syntak Admiration. Volume 2, No 8, Agustus 2021
- [12] Budiarto Djono Siswanto, *Pengaruh Suhu Artificial Age Terhadap Kekerasan, Kekuatan luluh, dan Kerapatan Dislokasi pada Paduan Al_{97,11}Mg_{1,52}Si_{0,86}Zn_{0,51}*, Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials And Energy, Vol. 5 (2) Des (2021)
- [13] Budiarto Djono Siswanto, Melya Dyanasari Sebayang, Septian Arum Fajar Maulana, *Analisa Suhu Sinter Terhadap Diameter kristallit, Kerapatan dislokasi, Regangan mikro Dan Struktur mikro Pada Material Katoda Baterai LiNi_{0,7}Fe_{0,2}Co_{0,1}O₂*, Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials And Energy, Vol. 6 (01) Juni (2022)
- [14] Mersilia Anggun, Karo Pulung, Supriyatma Yayat Iman. *Pengaruh Heat Treatment dengan Variasi Media Quenching Air Garam dan Oli Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135*. Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika. Volume 4, No 2, Juli 2016
- [15] Abdul Choliq, Nur Rohmat, Silviana Simbolon. *Metalurgi Fisik*. Teknik Mesin. Universitas Pamulang. Indonesia. 2021.

- [16] Barman Utpal Chandra, Mondal Pritish, Manir M S, Sen Sapan Kumar. *X-ray peak profile analysis of pure and Dy-doped α -MoO₃ nanobelts using Debye-Scherrer, Williamson-Hall and Halder-Wagner methods*. Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology. Vietnam Academy of Science and Technology. 2020.
- [17] Rethwisch David G, Callister, Jr William D. *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. Book Edisi 5. 2000
- [18] Santoso Bramasta Aji, Budiarto. *Pengaruh Jenis Forming Terhadap Struktur Kristal dan Struktur Mikro pada Baja Karbon Rendah Tipe MR*. Jurnal Rekayasa energi dan Mekanika. Vol. 03 No. 02 Halaman 86-94. 2023



Analisa Pengaruh Temper Terhadap Strukturmikro, Komposisi Kimia Dan Kekerasan Pada Baja Vcn 150

Budiarto^{1)*}, Julius Nugrahadi²⁾, Kimar Turnip³⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik

³⁾Universitas Kristen Indonesia, Jakarta

Abstrak

Baja karbon sedang VCN150, memiliki kekuatan sangat tinggi dan memadukan antara *hardenability* yang baik, keuletan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap *fatigue* dan *creep* yang tinggi. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh temper terhadap struktur mikro, komposisi kimia, kuat tarik, dan kekerasan. Proses perlakuan panas yang dilakukan adalah *hardening* pada temperatur 850°C kemudian *quenching* media air, dilanjutkan proses *tempering* pada temperatur yang sama yaitu 400°C dengan *holding time* yang berbeda 2 jam, 5 jam, dan 9 jam. Karakterisasi Pengujian meliputi pengujian kekerasan dengan skala Brinell, pengujian struktur mikro dengan mikroskop optik, dan komposisi unsur kimia dengan Optik Emisi Spektrometer. Hasil pengujian kekerasan material as cast 215 Hb, setelah *hardening* 850°C dan *quenching* di media air memiliki kekerasan 465 HB. Namun kekerasan berkurang sesudah di *tempering* 400°C menjadi 401 HB ke 334 HB. Untuk pengujian kuat tarik setelah *hardening* 850°C dan *quenching* memiliki kuat tarik 1604,25 MPa. Namun kuat tarik berkurang sesudah di *tempering* 400°C menjadi 1383,45 MPa ke 1152,30 MPa. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan unsur karbon mengalami penurunan yang signifikan, tetapi unsur lainnya seperti Si, Mn, Ni, Cr yang mengalami kenaikan sekitar 4-6,5%. Hasil pengamatan strukturmikro setelah di temper memperlihatkan mikrograf fasa bainit temper, fasa ferlit, dan martensit sisa. Peningkatan waktu *tempering* mengakibatkan struktur menjadi kasar dan mengakibatkan perubahan bentuk pada fasa sementit (Fe₃C). yang semula berbentuk panjang semakin cenderung menjadi bulat.

Kata Kunci : baja VCN 150, *temper*, kekerasan, struktur mikro

Abstract

VCN150 medium carbon steel, has very high strength and combines good *hardenability*, ductility, toughness, and high resistance to *fatigue* and *creep*. The aim of this research is to analyze the effect of *tempering* on microstructure, chemical composition, tensile strength and hardness. The heat treatment process carried out is *hardening* at a temperature of 850°C then *quenching* in water media, followed by the *tempering* process at the same temperature, namely 400°C with different holding times of 2 hours, 5 hours and 9 hours. Characterization testing includes hardness testing with the Brinell scale, microstructure testing with an optical microscope, and chemical element composition with an Optical Emission Spectrometer. The hardness test results of the as cast material were 215 Hb, after *hardening* at 850°C and *quenching* in water the hardness was 465 HB. However, the hardness decreases after *tempering* at 400°C to 401 HB to 334 HB. For tensile strength testing after *hardening* at 850°C and *quenching*, the tensile strength was 1604.25 MPa. However, the tensile strength decreases after *tempering* at 400°C to 1383.45 MPa to 1152.30 MPa. The results of the chemical composition test showed that the carbon element experienced a significant decrease, but other elements such as Si, Mn, Ni, Cr experienced an increase of around 4-6.5%. The results of observations of the microstructure after *tempering* show micrographs of the tempered bainite phase, ferrite phase and residual martensite. Increasing the *tempering* time causes the structure to become rough and results in changes in the shape of the cementite phase (Fe₃C). what was originally long in shape increasingly tends to become round.”

Keywords: VCN 150 steel, *temper*, hardness, microstructure

1. Pendahuluan

Baja VCN 150 memiliki baja karbon sedang pada umumnya banyak digunakan pada bidang teknik mesin industry, hal tersebut memiliki biaya sangat terjangkau. Dalam industri, baja paduan sedang digunakan sebagai bahan otomotif dalam bidang industry.

Baja karbon mampu di-*hardening* dan di-*tempering*. Pada proses pengelasan banyak terjadi proses perubahan kekerasan, kuat tarik, unsur kimia dan struktur mikro pada lokasi *hardening* karena lokasi tersebut mengalami siklus yang cepat [Setiawan & Yuli, 2006].

Proses perlakuan panas memiliki 4 bagian, yaitu *tempering*, *carbuzing*, *anealing* dan *hardening*.

Beberapa factor dapat mempengaruhi suatu kekerasan adalah *holding time*, temperatur dan media pendingin.

Media pendingin juga mempengaruhi proses laju pendinginan dan menghasilkan struktur mertensite dari perubahan struktur austenite. Struktur mertensite adalah terjadi pada penentu seberapa besar meningkatnya dari proses perlakuan panas. Proses pendinginan merupakan salah satu cara untuk meningkatkan dan juga memperbaiki sifat mekanik pada suatu material.

Perlakuan panas pada baja memiliki bermacam macam tujuan, salah satunya homoensis mikro struktur, untuk merperhalus ukuran butirnya, menaikkan kekerasan, dan menaikkan keuletan.

*Korespondensi: Tel./Fax.: 0857.1943.7651

E-mail: budidamaz@gmail.com

Pengujian mikro adalah suatu pengujian yang tidak bisa digunakan menggunakan mata telanjang, tetapi dapat dilihat dari pembesaran dengan menggunakan metalografi. Dengan menggunakan metalografi, pengujian bisa melihat dari kerusakan logam, ukuran Kristal logam, perbedaan komposisi, dan proses perlakuan panas. Metalografi bertujuan melihat struktur mikro tanpa dilihat oleh mata telanjang. Suatu proses ada beberapa tahap-tahapan melalui Proses *grinding* dan *polishing*. Sifat mekanik dan sifat teknologi dapat mempengaruhi struktur, paduan, dan komposisi kimianya. Struktur mikro dari logam dapat berubah dari berapa lama perlakuan proses *quenching-tempering* dari beberapa lama percobaan pada baja itu sendiri.

Pengamatan struktur mikro dari specimen pada baja yang mengandung mangan asutenitik dapat menggunakan teknik metalografi (ASTM E3). Untuk metode dapat dilihat dari: mikroskop (optic / electron), difraksi (sinar-X, electron dan neutron), analisis (X-ray fluorescence, electron microprobe), dan streometric metalografi.

Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui struktur mikro sebelum dan sesudah melalui tahapan *hardening* dan *tempering*, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa struktur dari baja sebelum dan sesudah *hardening*.
2. Menganalisa komposisi pada baja sebelum dan sesudah *hardening* apakah adanya perubahan pada komposisi.

2. Metode Penelitian

2.1. Struktur Mikro (Arial 10 pt)

Pada penelitian struktur mikro, harus mempersiapkan beberapa proses agar dapat diuji, persiapan meliputi:

1. Pemotongan Specimen

Untuk bisa melalui proses ini, sampel dilakukan dengan permukaan rata, agar dapat memudahkan penelitian.

2. Mounting Specimen (jika dibutuhkan)

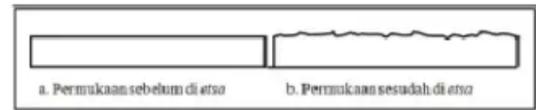
Proses ini untuk sampel kecil / tipis untuk support pegangan agar disaat pengujian, sampel tidak bergerak / dapat akurat penglihatannya.

3. *Grinding* dan *Polishing*

Tahap ini adalah tahap yang paling penting, dikarenakan permukaan pada sampel harus rata. *Grinding* dilakukan dengan cara menggosokkan pada sampel dengan cara di *grinding* yang diberi amplas kasar (grid200) sampai amplas halus. Sedangkan *polishing* dengan cara menggosokkan dengan menggunakan autosol diatas kain polish dan diberi serbuk alumina sampai mengkilap.

4. Etsa (etching)

Etsa adalah proses yang sudah rata melalui proses *grinding* dan *polishing* dikorosikan. permukaan menjadi tidak rata, specimen ini karena larutan dengan waktu yang bervariasi, sehingga permukaan akan menimbulkan orientasi sudut yang berbeda. Proses etsa dilakukan dengan cara mencelupkan specimen pada cairan etsa dimana tiap jenis logam mempunyai cairan etsa sendiri-sendiri.



Gambar 2.1 perbandingan sebelum dan sesudah diberi cairan etsa

Setelah permukaan specimen di etsa lalu diamati dibawah metalografi, hasil akan mendapatkan gambar berbeda (gelap, agak terang, terang). Kemudian jika sinar terpantul pada permukaan specimen sesuai dengan sudut permukaan. Semakin tidak rata, mata semakin sedikit intensitas sinar yang terpantul. Akibatnya permukaan yang sedikit terkorosi akan tampak bewarna terang (putih) sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut.

2.2. Pengujian Kekerasan Dengan Metode Brinell (Arial 10 pt)

Proses pengujian kekerasan ialah kemampuan pembebanan suatu bahan ketika terjadi perubahan dalam jumlah tahap, hal tersebut memiliki arti ketika terdapat suatu gaya tertentu dapat diuji terhadap suatu benda yang akan diuji dan memiliki pengaruh terhadap pembebanan kepada benda uji yang selanjutnya akan mengalami deformasi. Suatu baja bias mendapatkan kekerasan dengan menggunakan pengujian kekerasan dengan memanfaatkan mesin uji kekerasan (*hardness tester*) yang terdiri dari 3 metode/cara yang sudah untuk digunakan.

Spesifikasi untuk pengujian:

Indentor	: Bola Baja 2,5 mm
Beban Uji	: 62,5 kg
Waktu Indentasi	: 30 s

teknik *brinell* dengan memakai standart ASTM E10 tentang pengujian kekerasan *brinell*. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan melakukan penekanan pada tiga titik pada setiap variasi.

2.3. Uji Komposisi

Pengujian unsur ini untuk melihat nilai unsur penyusun dari specimen, yaitu C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo, Ni, Al, As, Cu, Co.

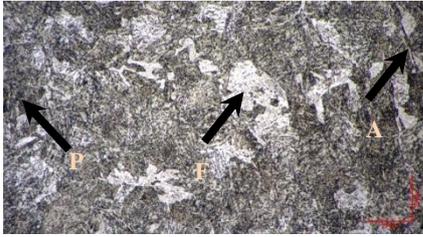
Proses pengujian komposisi material yaitu antara lain:

1. Ratakan permukaan specimen dengan amplas atau gerinda hingga halus. Karena proses ini sudah dilakukan oleh pengujian struktur mikro, maka tidak melalui proses tahapan ini.
2. Material yang telah melalui proses tahap 1, ditempatkan pada vice dan diberikan cairan elektroda untuk dibakar agar mengalami pelumeran atau rekristalisasi. Rekristalisasi berfungsi untuk mendapatkan warna dengan sensor cahaya yang terdapat pada mesin uji, kemudian diteruskan dalam computer.

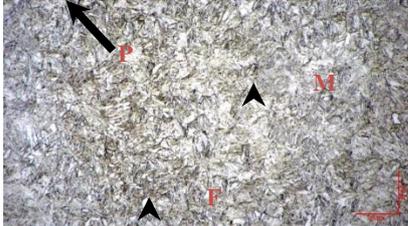
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Struktur Mikro

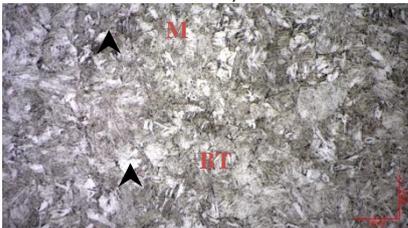
Data yang diperoleh dari hasil pengujian tanpa perlakuan ini memiliki variasi dari penglihatan mikroskop optic dengan pembesaran 1000x.



Gambar 3.1 Hasil Struktur Mikro Ast Cast P= Pearlit, F Ferrit, A= Austenite



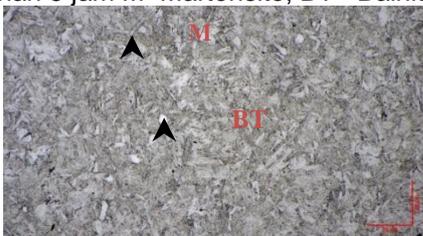
Gambar 3.2 Hasil Struktur Mikro Quenching P= Pearlit, M= Martensit, F= Ferrit



Gambar 3.3 Hasil Struktur Mikro Tempering Penahanan 2 jam M= Martensite, BT= Bainit Temper



Gambar 3.4 Hasil Struktur Mikro Tempering Penahanan 5 jam M= Martensite, BT= Bainit Temper



Gambar 3.5 Hasil Struktur Mikro Tempering Penahanan 9 jam M= Martensite, BT= Bainit Temper
3.1.1 Pengaruh Waktu Temper Terhadap Struktur Mikro Baja VCN 150

Penelitian ini untuk menganalisis pengaruh waktu *tempering* terhadap struktur mikro, unsur kimia, dan sifat mekanik VCN 150.

Spesimen melalui proses *hardening* dan *tempering*. Parameter *hardening* pada 4 spesimen dengan *tempering austenisasi* 851°C, dengan waktu tahan 1 jam lalu dicelup cepat pada media pendingin oli. Lalu pada 4 spesimen ditemper pada temperatur 400 °C dengan *holding time* bervariasi.

Pada pengamatan ini terjadi melalui proses setelah *hardening* terdiri atas Fasa Ferrit, Fasa Paerlit, Martensit, dan Bainit. Sementara hasil setelah proses *tempering* struktur berbentuk Bainit Temper. Setelah proses terbentuknya Bainit diproses menjadi Temper, akan terjadinya Bainit Temper. Martensit dan Bainit adalah terjadi disaat baja melalui proses maju

pendinginan sangat cepat. Secara teori, ketika baja didinginkan secara cepat, maka struktur terbentuk dari fasa austenite menjadi martensit. Actual dari pengujian struktur terbentuk martensit, paerlit, dan ferit.

Transformasi martensit berubah jika maju pendinginan secara cepat. Melalui proses pendinginan cepat, maka austenite tidak akan cukup waktu untuk berubah menjadi pearlit, sehingga struktur akan serupa seperti pearlit, yakni bainit. Proses transformasi austenite akan mengalami *driving force* sangat besar untuk merubah bentuk Kristal dan FCC (Face Centered Cubic) menjadi BCC (Body centered Cubic) sehingga akan menjadi Ferrit. Ferrit memiliki sifat nilai kelarutan karbon yang kecil, sehingga jika ferrit tidak mampu dilarutkan oleh karbon dan akan menjadi fasa sementit (Fe₃C). Austenite yang berubah menjadi Pearlit dan karbon berdifusi keluar membentuk carbida, menghasilkan struktur berupa bilah-bilah pearlit dan saling terhubung didalamnya terdapat partikel fasa sementit yang memanjang dengan arah yang hampir sejajar dengan sumbu pertumbuhannya. Jumlah dan continuous layer fasa sementit dipengerahui dengan karbon baja. Struktur mikro martensit yang terbentuk adalah martensit lath.

Proses pengujian pada *tempering*, pemanasan pada temperatur 400°C dengan variasi waktu penahan yaitu: 2jam, 5jam, dan 9jam. Temperatur temper akan menghilangkan batas butir diantara bilah-bilah yang memiliki ukuran kecil, menyebabkan bilah-bilah yang berdekatan saling menyatu, sehingga struktur menjadi lebih kasar. Semakin jarak waktu yang panjang *tempering*, maka semakin besar ukuran pearlit dan semakin banyak jumlah karbidah sementit. Selain itu bentuk karbidah berubah dari memanjang menjadi cenderung bulat (Sphere). Hal ini karena semakin lama *tempering* mengakibatkan defusi karbon dari ferrit jenuh, juga presipitasi karbidah dari austenite yang kaya (dekomposisi Austenit).

3.2 Unsur Kimia

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan hasil presentase dari unsur yang terkandung dalam baja karbon sedang seperti Fe, C, Mn, Si, Cu, Co, Ni, dan lain sebagainya.

Hasil data komposisi kimia bahan dalam pengujian ini.

Tabel 3.1 Perbandingan Unsur Kimia Pada Baja VCN 150

No	Unsur	Non Heat	Quenching	Tempering dengan penahan 2 jam	Tempering dengan penahan 5 jam	Tempering dengan penahan 9 jam
		Nilai %	Nilai %	Nilai %	Nilai %	Nilai %
1	C	0.429	0.342	0.233	0.231	0.233
2	Si	0.255	0.268	0.262	0.260	0.255
3	Mn	0.703	0.749	0.721	0.717	0.718
4	P	0.017	0.016	0.017	0.017	0.017
5	S	0.0085	0.010	0.0077	0.0087	0.0086
6	Cr	0.836	0.861	0.853	0.850	0.850
7	Mo	0.251	0.254	0.254	0.248	0.247
8	Ni	1.690	1.748	1.677	1.682	1.690
9	Al	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
10	As	0.013	<0.100	0.010	<0.0100	<0.0100
11	Co	0.0094	0.015	0.075	0.012	0.011
12	Cu	0.073	0.077	0.0086	0.075	0.074

Pada tabel 4.1 terlihat pada unsur kimia carbon menurun pada Ast Cast setelah terjadinya pengujian *quenching-tempering* karena carbon menjadi carbida

(fasa sementetit/Fe₃C), yang dibuktikan dengan meningkatnya nilai kekerasan dan kekuatannya. Setelah di-*quenching* maupun *tempering*, Unsur pada *quenching* naik disebabkan kekerasan dan kuat tariknya yang meningkat. Unsur karbon mengalami penurunan yang signifikan, tetapi unsur lainnya seperti Si, Mn, Ni, Cr yang mengalami kenaikan 4-6,5% yang tidak begitu signifikan. Fungsi dari unsur Si, Mn, Ni, dan Cr adalah sebagai berikut:

a. Silikon (Si)

Fungsi dari Si itu sendiri memiliki kandungan dalam sejumlah kecil pada seluruh bahan yang terbuat besi dalam kuantitas cukup besar. Tujuannya untuk dapat memberikan peningkatan nilai ketahanan pada panas dan karat, kekerasan, kekuatan, ketahanan aus, weldability, dan forgeability.

b. Mangan (Mn)

Jika unsur kurang dari 0.6% maka tidak mempengaruhi sifat baja, dengan kata lain mangan tidak memberikan pengaruh besar pada struktur baja dalam jumlah yang rendah, sehingga baja dengan adanya mangan memiliki sifat kuat dan ulet. Sifat dari mangan itu sendiri bisa menjaga jika terjadinya *hot shortness* (getas) pada suhu tinggi terutama pada saat proses melalui proses panas.

c. Cromium (Cr)

Unsur penting karena sifat pada khrom dapat tahan karat dan tahan pada asam. Peningkatan daya tahan dan kekuatan, kekerasan, tahan panas, karat dan tahan asam. Mengurangi regangan (tingkat rendah).

d. Nikel

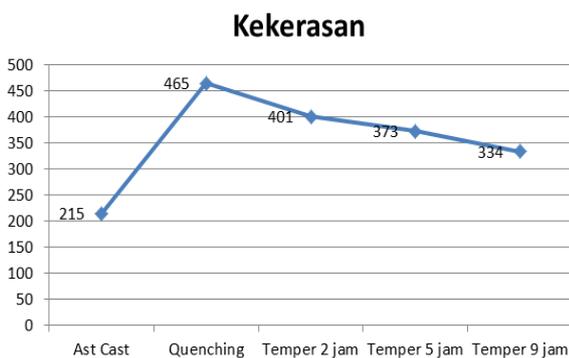
Nikel memiliki sifat seperti unsur mangan. Sifat itu sendiri untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan karat. Karena adanya unsur tersebut, akan menjadikan pelapis pada baja untuk melindungi permukaan baja itu sendiri untuk menghindari dari terjadinya korosi.

3.3 Kekerasan

Pengujian tersebut untuk mengetahui kekerasan dari suatu material dengan cara diberi beban pada specimen untuk melihat nilai kekerasannya dan uji kekerasan juga berfungsi untuk mendapatkan nilai kekerasan dari sample uji coba.

Beban yang digunakan sebesar 62,5 kg dengan diberi gaya pada specimen dengan indentor bola baja berdiameter 2,5 mm dan waktu indentasi 30 s.

Pengujian ini berdasarkan standard ASTM E10 tentang pengujian kekerasan *brinell*. Hasil pengujian terhadap suatu kekerasan material ini yang diuji sebelum dan setelah perlakuan.



Gambar 3.6 Grafik Kekerasan Dengan Menggunakan Metode Brinell

Pada gambar 4.11 terlihat pada ast cast nilai kekerasannya (215 HB), setelah proses Quenching pada media pendingin oli nilai kekerasannya meningkat tajam (465 HB), setelah proses *tempering* dengan variasi waktu *holding time* dari 2 jam, 5 jam, 9 jam terjadi nilai kekerasan menurun (401 - 334 HB).

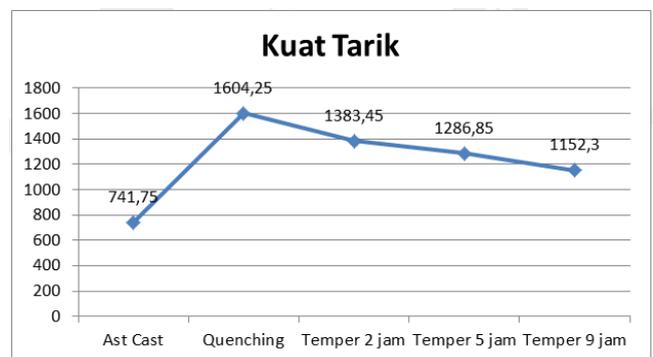
3.4 Uji Tarik

Salah satu pengujian yang dipakai untuk memperoleh sifat mekanik logam dan non logam. Uji tarik adalah metode pengujian keuletan material dengan menerapkan beban gaya dalam arah yang berlawanan. Dalam penelitian ini agat dapat mengetahui kekuatan tarik material baja VCN 150 dapat dikonversi kekerasan *brinell*. Menurut Callister(2007), nilai hasil pengujian kekerasan dalam skala *brinell* sehingga dapat dikonversikan menjadi nilai kekuatan tarik dengan rumus :

$$tensile\ strength/kuat\ tarik\ (Mpa) = 3,45 \times HB$$

Tabel 3.2 Data Konversi Kekuatan Tarik Skala Brinell

Kode Specimen	°C	Kekerasan Brinell	Koefisien	Kekuatan Tarik (MPa)
Tanpa perlakuan	-	215	3,45	741,75
Quenching	850	465	3,45	1604,25
Tempering 2 jam	400	401	3,45	1383,45
Tempering 5 jam	400	373	3,45	1286,85
Temperting 9 jam	400	334	3,45	1152,3



Komposisi kimia dan struktur Kristal yang dimiliki baja dapat mempengaruhi sifat mekanik baja tersebut. Penelitian menggunakan spesimen VCN 150 dengan melalui proses berbeda. Specimen diberikan perlakuan Ast Cast, Quenching dengan 850°C, dan *Tempering* 400°C. Pada gambar 4.12 terlihat pada ast cast pada hasil uji kuat tarik setelah di konversi uji kuat tarik

memiliki 741,75 MPa, Quenching dengan pemanasan 850°C memiliki kuat tarik 1604,25 MPa, dan tempering dengan pemanasan suhu yang sama tetapi memiliki penahanan yang berbeda, memiliki kuat tarik 1383,45 – 1152,3 MPa. Semakin tinggi waktu penahanan yang dilakukan pemanasan pada proses *tempering* maka akan menurunkan kekuatan tariknya namun material tidak menjadi getas

4. Simpulan

Berdasarkan data dari pengujian tentang analisis pengaruh waktu tempering pada struktur mikro, unsur kimia, dan kekerasan karbon sedang maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Waktu temper dapat merubah struktur mikro baja VCN 150. Tempering pada baja VCN dapat menghasilkan struktur mikro Bainit Temper. Semakin lama waktu temper akan merubah struktur menjadi kasar dan menjadikan beberapa perubahan bentuk pada fasa sementit (Fe_3C). yang sebelum berbentuk panjang semakin cenderung menjadi bulat.
2. Waktu *tempering* mempengaruhi komposisi kimia baja VCN. Semakin lama tempering menyebabkan menurunnya unsur kimia pada perubahan unsur karbon, terjadi penurunan disaat quenching dan tempering.
3. Waktu tempering mempengaruhi sifat mekanik baja VCN. Semakin lama proses tempering menyebabkan kekerasan dan kuat tarik menurun. Pada *Quenching* memiliki 1604,25 MPa dan pada baja yang melalui *Tempering* memiliki uji tarik 1383,45 – 1152,3 MPa.
4. Kekuatan dan kuat tarik, menunjukkan hasil terbaik dalam pengujian adalah temper dengan penahanan 2 jam.

Adapun saran dari penulis sampaikan dari hasil data diatas sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui struktur Kristal dari baja VCN diperlukan pengujian dengan alat defraktometer sinar-X yang berfungsi untuk menghitung ukuran Kristal, kerapatan deslokasi/cacat garis, dan regangan mikro kisi.
2. Untuk mengetahui ketangguhan/keuletan dari baja diperlukan pengujian impact dengan metode Charpy.

Ucapan Terima Kasih

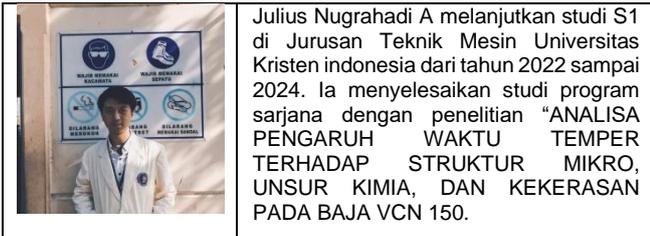
Terima kasih kepada institusi untuk diberi kepercayaan dan support untuk bisa menuliskan jurnal ini dan kepada pihak perorangan yang sudah menuliskan laporan "ANALISA PENGARUH WAKTU TEMPER TERHADAP STRUKTURMIKRO, KOMPOSISI KIMIA DAN KEKERASAN PADA BAJA VCN 150" semoga laporan dan jurnal yang sudah dituliskan dapat berguna bagi seluruh pembaca di indonesia.

Daftar Pustaka

- [1] Deviandra Ginanjar Bhakti, Gunawan Dwi Haryadi, Yusuf Umardani. 2013. "ANALISIS STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIS HASIL LAS TITIK DAN BRAZING UNTUK

INDUSTRI RUMAHAN" dalam Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol.1, No.2, Tahun 2013

- [2] [Online] Diakses dari: <https://id.scribd.com/document/215583611/LAPORAN-STRUKTUR-MIKRO> Diakses tanggal 12 April 2024
- [3] [Online] Diakses dari: <https://repo.undiksha.ac.id/7510/3/1715071005-BAB%201%20PENDAHULUAN.pdf>. Diakses tanggal 12 April 2024
- [4] [Online] Diakses dari: <https://id.scribd.com/document/436063982/pengujian-struktur-mikro> Diakses tanggal 12 April 2024
- [5] [Online] Diakses dari: <https://digilib.unila.ac.id/16570/16/BAB%20II.pdf> Diakses tanggal 13 April 2024
- [6] Amanto, H. & Daryanto, 1999, Ilmu Bahan, Bumi Aksara, Jakarta Arifin, 1977, Ilmu Logam, Ghalia Indonesia, Jakarta
- [7] Moch. Chamim, kaleb Priyanto, Dio Agusta P. 2019. "Investigasi Material Baru Sebagai Pengganti Part Dies Import" dalam Politeknosains, Vol.XVIII, No.2, September 2019. Surakarta.
- [8] [Online] Diakses dari: <https://id.scribd.com/document/506168235/Uji-Metalografi> Diakses tanggal 13 April 2024
- [9] Hanrevo Fauzi haris, Budiarto, Andreas Reky kurnia Widhi, Yulius Nanang Sutrisno. 2003. "Pengaruh Waktu Tempering Terhadap Struktur Kristal, Kekerasan, Dan Kuat Tarik Pada Baja Vcn 150" dalam Journal Of Mechanical Engineering, Manufaktures, Material and Energy, JMEMME, Vol 7 (2) Des 2023.
- [10] [Online] Diakses dari: http://eprints.undip.ac.id/41570/4/BAB_III_revisi.pdf Diakses tanggal 1 Mei 2024
- [11] Fitri, Ediman Ginting, dan Pulung Karo Karo. 2013. "Komposisi Kimia, Struktur Mikro, Holding Time dan Sifat ketangguhan Baja Karbon Medium Pada Suhu 780 C" dalam Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika, Vol. 01, No. 01, Januari 2013. Jakarta
- [12] [Online] Diakses dari: <http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/23544/H.%20BAB%20IV.pdf?sequence=8&isAllowed=y> Diakses tanggal 5 Mei 2024
- [13] Fundamental of Materials Sciense and Engineering / An Interactive e.text. William D. Callister, Jr. 2001. Department of



Implementasi *Support Vector Machine (Svm)* Sebagai Model Prediksi Konsumsi Energi Listrik Dunia

I.N. Bima Permana^{1)*}, A.A.I.A. Sri Komaladewi²⁾, I.G.N. Priambadi³⁾

¹⁾Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Sudirman Denpasar Bali.

^{2,3)}Departemen Teknik Industri Universitas Udayana, Kampus Jimbaran Bali.

Abstrak

Peningkatan konsumsi energi listrik menjadi masalah utama dalam pengaturan rencana produksi yang terjadi pada industri pembangkit. Merujuk pada *end-user* (konsumen), pengaturan ini berpengaruh terhadap keberlangsungan kegiatan masyarakat dan pembangunan ekonomi. Secara spesifik, penyediaan jumlah energi listrik yang kurang dari permintaan akan mempengaruhi pemadaman listrik. Mendukung pengembangan alternatif, suatu model prediksi permintaan energi listrik dibutuhkan untuk memantau dalam mencapai keseimbangan antara produksi dan konsumsi. Mengenai model prediksi, berbagai studi mengindikasikan model *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) memiliki kemampuan untuk meramalkan konsumsi energi listrik dengan tingkat akurasi yang tinggi. Khususnya model ARIMA hanya efektif memprediksi dalam jangka waktu relatif pendek. Mengatasi hal ini, studi ini mengajukan model *Support Vector Machine* (SVM) sebagai model prediksi konsumsi energi listrik. Model ini memberikan fleksibilitas dalam penyesuaian fungsi kernel untuk menangani pola data *time-series* yang bersifat *non-linear*, sehingga meningkatkan akurasi prediksi dalam waktu jangka panjang. Studi ini menggunakan dataset *time-series* yang mencakup informasi statistik listrik dunia dari tahun 1980 hingga 2021. Dari beberapa fitur yang dicakup, studi ini berfokus pada fitur *net consumption*. Bersesuaian konfigurasi tersebut, akurasi prediksi konsumsi energi listrik akan meningkat sehingga selisih antara prediksi dan aktualisasinya akan menurun. Performa model ditinjau sebagai tahapan evaluasi dengan menggunakan *metrics Mean Squared Error* (MSE). Nilai *metrics* paling optimal yang diperoleh sebesar 39.5112398646845 pada *window size* 11 dengan menggunakan fungsi kernel *Gaussian Radial Basis Function* (RBF). Secara keseluruhan, hasil ini mengindikasikan model memiliki performa optimal dalam memprediksi data konsumsi listrik dan layak diterapkan.

Kata kunci: prediksi, konsumsi energi listrik, *time-series*, *Support Vector Machine* (SVM)

Abstract

The increase in electrical energy consumption is a major problem in the regulation of production plans that occur in the generation industry. Referring to the *end-user* (consumer), this arrangement affects the continuity of community activities and economic development. Specifically, supplying less electrical energy than demand will affect blackouts. Supporting the development of alternatives, an electrical energy demand prediction model is needed to monitor the achievement of a balance between production and consumption. Regarding prediction models, various studies indicate the *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) model has the ability to forecast electric energy consumption with a high degree of accuracy. In particular, the ARIMA model is only effective in predicting over a relatively short period of time. To address this, this study proposes the *Support Vector Machine* (SVM) model as a prediction model for electric energy consumption. This model provides flexibility in adjusting the kernel function to handle *non-linear time-series* data patterns, thereby improving prediction accuracy in the long term. This study utilises a *time-series* dataset covering statistical information on world electricity from 1980 to 2021. Of the features covered, this study focuses on the *net consumption* feature. According to the configuration, the accuracy of electricity consumption prediction will increase so that the difference between prediction and actualisation will decrease. The model performance is reviewed as an evaluation stage using *Mean Squared Error* (MSE) metrics. The most optimal metrics value obtained was 39.5112398646845 at window size 11 using the *Gaussian Radial Basis Function* (RBF) kernel function. Overall, these results indicate that the model has optimal performance in predicting electricity consumption data and is feasible to apply.

Keywords: prediction, electricity energy consumption, *time-series*, *Support Vector Machine* (SVM).

1. Pendahuluan

Meningkatnya konsumsi energi listrik menjadi konsekuensi dari laju pembangunan yang pesat pada suatu negara di dunia. Perluasan kawasan industri, perumahan, dan sektor komersial berkontribusi terhadap peningkatan konsumsi energi listrik, sehingga mengalami lonjakan permintaan setiap tahunnya [1]. Permintaan ditandai dengan pertumbuhan populasi yang membuat

kawasan perumahan menyumbang proporsi mencapai 30-40% konsumsi energi dari total produksi energi listrik [2]. Di sisi lain, sektor industri mengalami kesulitan dalam melaksanakan produksi dan operasional akibat persediaan jumlah pasokan distribusi energi listrik. Golongan industri bertanggung jawab atas sebagian besar konsumsi listrik secara global, dengan menyumbang 53% dari penggunaan energi listrik [3].

*Korespondensi: Tel./Fax.: 081805665500

E-mail: bimapermana@student.unud.ac.id

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

Bersesuaian dengan aspek ekonomi dan bisnis, sistem pembangkit tetap berupaya dalam menyediakan pasokan energi listrik berdasarkan kebutuhan setiap sektor. Merujuk terhadap permasalahan yang menjadi perhatian, proporsi energi listrik yang dihasilkan harus lebih besar dibandingkan dengan jumlah konsumsi dari konsumen. Hal ini untuk mencegah terjadinya *overload* yang dapat mempengaruhi pemadaman listrik.

Secara komprehensif, konsumsi, produksi, dan penyediaan energi listrik merupakan bidang esensial bagi kehidupan dan pembangunan ekonomi. Rencana produksi energi listrik yang tepat dapat meminimalisasi efek kerugian dari sistem pembangkit. Kehadiran sumber daya energi terbaru menyebabkan prediksi konsumsi energi listrik atau peramalan beban menjadi fundamental. Prediksi konsumsi energi listrik merupakan faktor kunci dalam perencanaan sistem pembangkit yang efisien dengan tujuan memastikan manajemen energi optimal [4]. Perkiraan permintaan yang akurat dan tepat waktu dapat membantu mengontrol secara efektif kebutuhan energi listrik untuk mencapai keseimbangan antara produksi dan konsumsi. Permintaan akan energi listrik dapat memiliki variasi yang berbeda pada interval waktu berbeda. Mengenai variasi permintaan, konsumsi energi listrik dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, seperti suhu, harga, kebijakan dan perilaku konsumen [5]. Faktor yang bersifat tidak pasti ini menimbulkan data *time-series* konsumsi energi listrik mempunyai karakteristik kompleks dan non-linear, sehingga mengindikasikan tantangan dalam pemodelan suatu prediksi [6], [7].

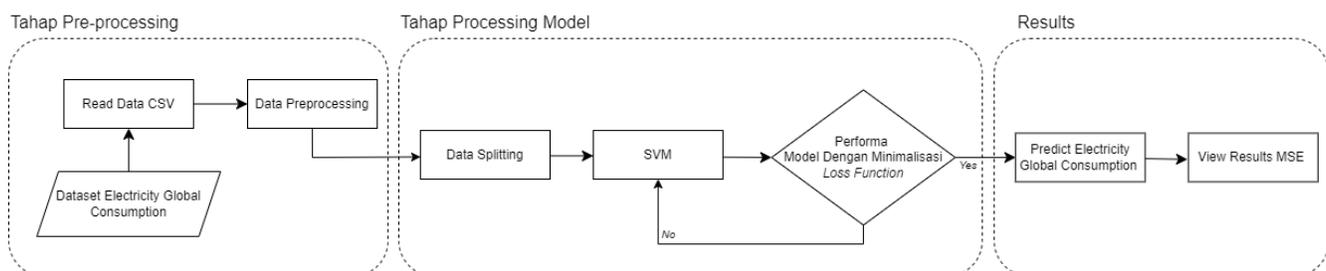
Berlandaskan pendekatan alternatif, berbagai studi telah dilakukan untuk membangun model prediksi konsumsi energi listrik berbasis *machine learning*. Dibandingkan terhadap model statistik konvensional, model *machine learning* dapat mengidentifikasi karakteristik non-linear potensial di dalam data *time-series* [8]. Studi oleh Gufron, dkk mengembangkan peramalan produksi energi listrik jangka panjang menggunakan model *Support Vector Machine* (SVM). Hasil studi mengindikasikan bahwa SVM memiliki akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan model *Multiple Linear Regression* (MLR) [9]. Apriana, dkk mengaplikasikan model SVM untuk menghasilkan prediksi beban listrik dan mendapatkan hasil error dengan nilai terendah [10]. Pengembangan model prediksi oleh Annasyah, dkk dilakukan dengan *Time-Series Regression* untuk memprediksi konsumsi energi listrik bersesuaian dengan pemakaian di sektor industri. Perbandingan

diimplementasikan dengan model ARIMA dan memperoleh kinerja peramalan prediktif lebih baik daripada model yang diusulkan. Terdapat model ARIMA memiliki kecenderungan akurasi optimal hanya dalam prediksi jangka pendek [11]. Sejalan dengan penelitian tersebut, Ilhamsyah, dkk menerapkan model *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) dalam memproyeksi kebutuhan konsumsi listrik di Indonesia pada tahun 2020 hingga 2024 dan memperoleh hasil akurasi yang optimal [12]. Penelusuran model membuktikan metode SVM dapat menjadi referensi dalam prediksi jangka panjang bersesuaian terhadap kualitas data dalam melatih model.

Merujuk hasil kajian studi, kegiatan prediksi membutuhkan pengaplikasian metode yang optimal dalam menghasilkan suatu akurasi konsumsi. Implementasi yang sesuai dapat membantu menentukan tingkat konsumsi energi listrik di masa depan dan meminimalisasi kesalahan dalam perhitungan prediksi. Apabila nilai prediksi yang tidak akurat mampu menyebabkan ketidaksesuaian dalam keputusan perencanaan dan pengendalian. Berdasarkan uraian diatas, studi ini mengusulkan penerapan metode *Support Vector Machine* (SVM) untuk memprediksi konsumsi energi listrik. Pendekatan ini dipergunakan untuk memperoleh penerapan model dengan mengukur nilai *error* dan akurasi yang dihasilkan. Mendukung validasi efektivitas, penerapan data *time-series* selama lebih dari satu dekade yang mencakup konsumsi energi listrik dunia digunakan untuk membangun model prediksi yang akurat.

2. Metode Penelitian

Time-series merupakan bentuk data yang dikumpulkan berdasarkan waktu tertentu. Secara eksplisit, ide dasar *time-series* bersumber dari pengamatan saat ini dan tergantung pada beberapa pengamatan sebelumnya. Tujuannya untuk memahami dan mendefinisikan mekanisme serta memprediksi nilai di masa depan [13]. Studi ini mengimplementasikan dataset *time-series* yang mencakup informasi statistik kelistrikan dunia (230 negara) dari tahun 1980 hingga 2021. Dataset terdiri dari beberapa fitur data, seperti jumlah pada produksi, konsumsi, import, ekspor, kapasitas terpasang, dan kerugian distribusi energi listrik. Model SVM dalam studi ini hanya difokuskan pada dataset konsumsi energi listrik dunia. Penerapan batasan dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan memiliki relevansi dengan kesesuaian terhadap tujuan.



Gambar 1. Proses model prediksi konsumsi energi listrik.

Pada skema mekanisme, keseluruhan dataset konsumsi energi listrik didistribusikan ke dalam dua bagian, yaitu data *training* dan *testing* untuk mengevaluasi kesalahan prediksi dengan menggunakan prediksi sebenarnya. Prosedur ini dapat memberikan estimasi mengenai seberapa baik dari kedua jenis data tersebut bersesuaian dengan model yang digunakan. Pada dasarnya, model diestimasi menggunakan data *training* dan data *testing* dimanfaatkan untuk validasi model. Data *testing* terdiri sekitar 20% dari keseluruhan jumlah dataset dan total 80% dialihkan ke dalam data *training*. Gambar. 1 memvisualisasikan proses model yang diusulkan dalam memprediksi.

Bersesuaian dengan Gambar. 1, pendekatan model *Support Vector Machine* (SVM) diimplementasikan untuk melakukan prediksi terhadap konsumsi energi listrik. Konsep SVM dapat direpresentasikan sebagai suatu metode *machine learning* yang beroperasi atas prinsip *Structural Risk Minimization* (SRM) dengan tujuan mencari *hyperplane* optimal untuk memisahkan antara dua *class* [14]. *Hyperplane* dapat diidentifikasi dengan melakukan pengukuran margin *hyperplane* dan mencari titik maksimal. Secara eksplisit, margin didefinisikan sebagai jarak antara *hyperplane* dengan data terdekat setiap *class* (*support vector*). Pada dataset *time-series* yang bersifat *non-linear*, penyelesaian SVM dimodifikasi dengan menggunakan fungsi kernel. Dalam SVM *non-linear*, data (\vec{x}) dipetakan oleh fungsi $\Phi(\vec{x})$ ke dalam *high dimensional space*. Proses ini membuat *hyperplane* yang memisahkan antara *class* dapat dikonstruksikan.

Ilustrasi konsep SVM dapat divisualisasikan dalam Gambar 2. Pada Gambar 2a mengindikasikan bahwa dua data *class* tidak dapat dipisahkan secara linear dalam *input space* dua dimensi. Gambar 2b memperlihatkan

fungsi Φ memetakan setiap data pada *input space* ke *high dimensional space* (tiga dimensi atau lebih), sehingga membuat kedua *class* dapat dipisahkan secara linear oleh *hyperplane* [15]. Notasi dari pemetaan ini diperoleh sebagai berikut:

$$\Phi: R^d \rightarrow R^q \quad d < q \quad (1)$$

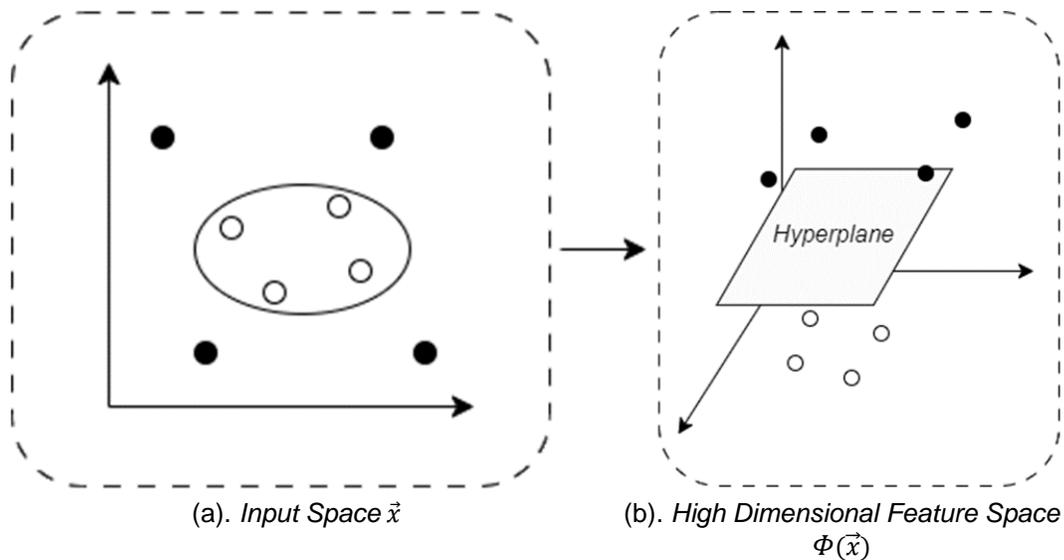
Menghasilkan konsistensi topologi data, pemetaan memastikan bahwa dua data yang berjarak sama pada *input space* akan memiliki jarak yang sama juga terhadap *feature space*. Selanjutnya, proses pembelajaran SVM untuk mengidentifikasi titik *support vector* hanya bersesuaian dengan *dot product* dari data yang telah ditransformasikan pada *high dimensional space*, yaitu $\Phi(\vec{x}) \cdot \Phi(\vec{x}_i)$. Secara eksplisit, transformasi Φ dapat dikonversi menjadi fungsi kernel dengan notasi $K(\vec{x}, \vec{x}_i)$. Perubahan tersebut dilandasi untuk meningkatkan efisiensi kinerja SVM pada *high dimensional feature space*. Hal ini disebut sebagai *Kernel Trick*, yang dirumuskan sebagai:

$$K(\vec{x}_i, \vec{x}) = \Phi(\vec{x}) \cdot \Phi(\vec{x}_i) \quad (2)$$

Bersesuaian dengan tahapan ini, proses SVM *non-linear* untuk memperoleh hasil dari data \vec{x} dapat melalui persamaan berikut [16]:

$$f(\vec{x}) = \vec{w} \cdot \Phi(\vec{x}) + b \quad (3)$$

$$= \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i K(\vec{x}, \vec{x}_i) + b \quad (4)$$



Gambar. 2 (a) dan (b) mengilustrasikan fungsi Φ memetakan data ke *high dimensional feature space*.

Persamaan diatas memberikan visual mengenai subset dari *training set* yang terpilih sebagai *support*

vector atau data \vec{x} yang berkorespondensi dalam $\alpha_i \geq 0$. Penerapan formula matematika pada persamaan

tersebut mengindikasikan dataset yang terdiri dari *input-output* (\vec{x}, y_i) dengan \vec{x} sebagai *vector* fitur masukkan dan y_i adalah label kelas terkait (± 1). Di sisi lain, berbagai notasi dijabarkan, seperti \vec{w} sebagai penimbang (*weight*) untuk menentukan orientasi *hyperplane*, b adalah nilai bias, \vec{x}_i selaku nilai dari fitur data *training* ke- i , dan fungsi α_i merupakan *lagrange* yang diperoleh menggunakan *quadratic programming*. Pada studi ini mengadopsi fungsi kernel *Gaussian Radial Basis Function* (RBF). Pemanfaatan RBF mampu memberikan performa yang optimal dibandingkan dengan fungsi kernel lainnya [17]. Persamaan fungsi kernel RBF dapat divisualisasikan sebagai berikut:

$$K(\vec{x}_i, \vec{x}) = \left(-\frac{\|\vec{x} - \vec{x}_i\|^2}{2\sigma^2} \right) \tag{5}$$

Tahapan dilanjutkan dengan melibatkan pengujian akurasi prediksi dan pengukuran tingkat *error* untuk mengevaluasi model yang diusulkan. Evaluasi model ini menerapkan metrik *Mean Squared Error* (MSE). MSE merupakan metrik evaluasi untuk mengukur kualitas prediksi dalam mengestimasi suatu model. Pada skema kerja, MSE melakukan kalkulasi rata-rata dari kuadrat perbedaan antara nilai prediksi dengan nilai sebenarnya [18]. Perolehan hasil ini mampu digunakan dalam menilai ketepatan prediksi dari model. Persamaan MSE dapat dinyatakan sebagai berikut:

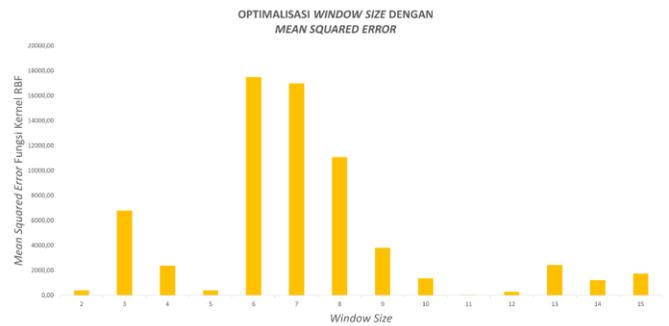
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x - x_i)^2 \tag{6}$$

3. Hasil dan Pembahasan Optimalisasi *Window Size*

Keakuratan dan kualitas prediksi konsumsi energi listrik bergantung terhadap determinasi atau ketelitian yang dibutuhkan dalam menemukan *window size* optimal. Merujuk pada hasil yang disajikan oleh Gambar. 3 dan Tabel. 1, percobaan variasi jumlah *window size* dengan menggunakan fungsi kernel RBF turut dilakukan. Konfigurasi *window size* yang berbeda digunakan untuk menguji kemampuan model dalam memahami pola data. Variasi ditetapkan untuk memperoleh *window size* yang sesuai, sehingga mampu menghasilkan prediksi terbaik. Studi ini, *window size* mengarah pada jumlah tahun yang digunakan dari dataset *time-series* untuk memprediksi konsumsi energi listrik di tahun berikutnya.

Menuju pada analisis kuantitatif, *metric* MSE dilandasi oleh pendekatan yang paling memungkinkan untuk mengevaluasi performa model prediksi melalui variasi *window size*. Secara intuitif, MSE mampu merepresentasikan nilai kesalahan pada setiap *window size*. Berdasarkan penghimpunan hasil Tabel. 1, rentangan *window size* kedua hingga kelima belas berturut-turut mengindikasikan variasi nilai MSE sebesar 17488.6446349155 - 39.5112398646845. Hasil dengan langsung menginterpretasikan bahwa nilai MSE relatif

tinggi diperoleh pada *window size* keenam. Kondisi ini membuktikan penggunaan data tahunan dengan jarak tersebut belum mampu membangun model yang akurat. Sementara itu, pada *window size* kesebelas memberikan nilai MSE yang relatif rendah dibandingkan dengan lainnya, yakni 39.5112398646845. Mewakili nilai MSE terkecil, *window size* kesebelas memberikan kemampuan yang optimal untuk menangkap pola dan tren dalam data *time-series*. Sehingga memungkinkan model menghasilkan prediksi yang mendekati nilai sebenarnya. Secara komprehensif, *window size* atau periode sebelas tahun dapat dianggap sebagai pilihan optimal untuk melakukan prediksi menggunakan metode SVM dengan fungsi kernel RBF.



Gambar. 3 Grafik hasil optimalisasi *Window Size*.

Tabel. 1 Hasil optimalisasi *Window Size*.

Window Size	Mean Squared Error
2	404.4252043864043
3	6780.538342214116
4	2380.6461901672287
5	404.20325987732735
6	17488.6446349155
7	16997.97227228041
8	11080.90020676558
9	3807.9439065208117
10	1356.85722780207
11	39.5112398646845
12	282.20102926196824
13	2427.568061668012
14	1212.8102399261925
15	1731.6868669781168

Perbandingan Fungsi Kernel

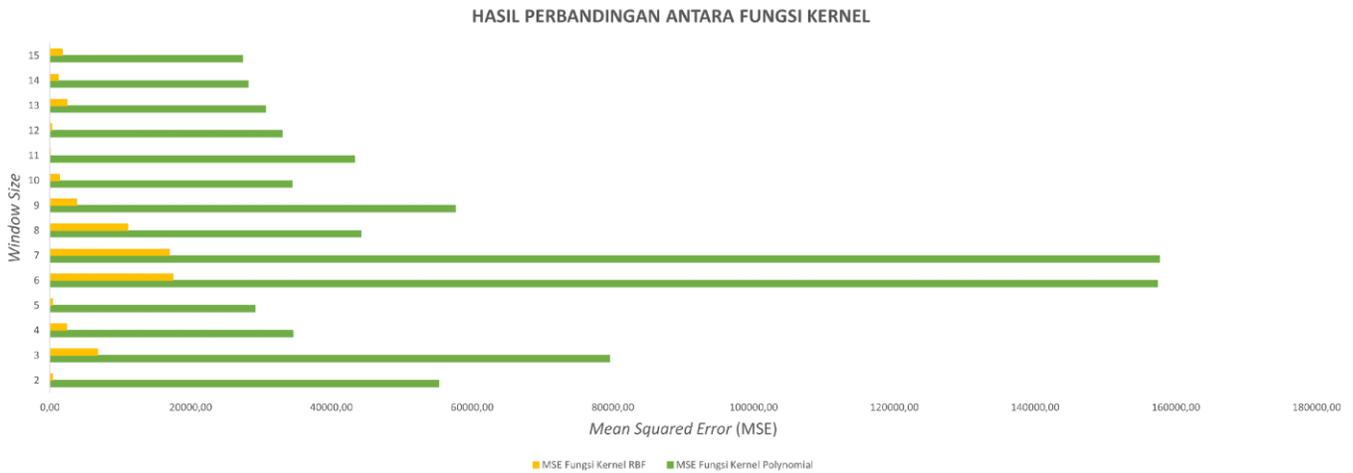
Pemilihan fungsi kernel pada model SVM mampu mempengaruhi kinerja model dalam mengidentifikasi pola dan generalisasi data. Implementasi kernel yang sesuai mengakibatkan model SVM dapat memetakan data ke *high dimensional space* lebih tinggi dengan membuat hubungan antara variabel menjadi lebih linear. Hal ini berpotensi meningkatkan akurasi prediksi dalam konsumsi energi listrik. Studi ini mengadopsi pendekatan yang mencakup pengujian dan evaluasi melalui perbandingan beberapa fungsi kernel untuk menentukan kernel yang optimal dalam model SVM.

Perbandingan performa dijalankan antara fungsi kernel Polynomial dan RBF dengan dilandasi penerapan metrik MSE untuk menilai keakuratan prediksi. Hasil evaluasi efektivitas setiap fungsi kernel dalam menangani dataset *non-linear* divisualisasikan pada Gambar. 4 dan Tabel. 2. Melalui observasi terhadap grafik, setiap interval *window size* menunjukkan fungsi kernel cenderung menghasilkan variasi nilai MSE. Merujuk pada kernel Polynomial, *window size* kelima belas menghasilkan nilai MSE yang relatif lebih rendah, yakni sebesar 27390.102866131645. Hasil ini masih tergolong tinggi apabila dibandingkan dengan nilai MSE kernel RBF terendah pada *window size* kesebelas yang mendapatkan nilai 39.5112398646845.

Sementara itu, perbedaan signifikan juga teramati, terutama dalam konteks evaluasi MSE pada interval *window size* yang sama. Secara keseluruhan, Tabel. 2 mengindikasikan bahwa nilai MSE yang diperoleh dari fungsi kernel RBF relatif lebih rendah dibandingkan

dengan kernel Polynomial. Hal ini diperkuat saat meninjau kembali nilai MSE fungsi kernel RBF tertinggi pada *window size* keenam dengan memperoleh nilai 17488.6446349155. Secara langsung, hasil ini mengisyaratkan bahwa kemampuan model SVM dengan kernel Polynomial memiliki performa kurang optimal dan tingkat kesalahan yang tinggi.

Pendekatan melalui perbandingan antara fungsi kernel telah membuktikan bahwa penerapan kernel RBF di setiap *window size* menghasilkan kinerja model SVM dengan akurasi prediksi yang optimal. Penurunan kesalahan yang terjadi merepresentasikan kontribusi positif kernel RBF dalam meningkatkan kemampuan generalisasi dan menangkap pola data. Efektivitas dalam minimalisasi error ini juga menandakan fungsi kernel memiliki peran esensial dalam memperbaiki kinerja model. Memiliki hasil terbaik, studi ini mengadopsi fungsi kernel RBF dalam dataset untuk memprediksi konsumsi energi listrik.



Gambar.4 Grafik hasil dari perbandingan antara fungsi kernel Polynomial dengan RBF.

Tabel. 2 Hasil perbandingan antara fungsi kernel Polynomial dengan RBF.

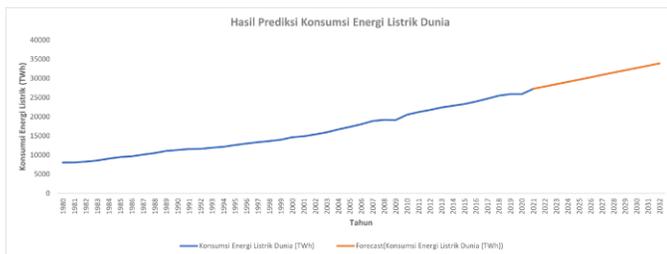
Window Size	MSE Fungsi Kernel Polynomial	MSE Fungsi Kernel RBF
2	55250.7607082618	404.425204386404
3	79542.2818267597	6780.53834221411
4	34538.4370239559	2380.64619016722
5	29171.1785861619	404.203259877327
6	157411.107297868	17488.6446349155
7	157662.770661275	16997.9722722804
8	44182.7049654087	11080.9002067655
9	57625.7111895467	3807.94390652081
10	34420.2517616597	1356.85722780207
11	43306.6169095657	39.5112398646845
12	33011.1609715342	282.201029261968
13	30645.6699674836	2427.56806166801
14	28154.672687896	1212.81023992619
15	27390.1028661316	1731.68686697811

Proyeksi Konsumsi Energi Listrik

Mengintegrasikan hasil dari *window size* dan fungsi kernel yang terbaik, prediksi energi listrik periode 2022

hingga 2032 dilakukan untuk memberikan wawasan komprehensif terhadap tren konsumsi di masa depan. Pendekatan ini memanfaatkan data *time-series* dari

setiap sebelas tahun sebelumnya untuk memprediksi nilai tahunan secara akurat. Mengamati visualisasi hasil pada Gambar. 5 dan Tabel. 3, kecenderungan konsumsi energi listrik diperkirakan akan mengalami peningkatan stabil selama dekade mendatang. Secara keseluruhan, prediksi total konsumsi energi listrik menunjukkan peningkatan nilai secara berturut-turut dari 27.895,32445 TWh di tahun 2022 dan menjadi 33.914,6921 TWh pada tahun 2032. Peningkatan konsumsi energi listrik kemungkinan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pertumbuhan populasi, pendapatan, dan adopsi teknologi baru [19], [20]. Menganalisis prediksi ini, pemanfaatan model SVM dapat memberikan landasan dalam pengambilan keputusan dan perencanaan untuk mendukung ketahanan energi dalam memenuhi permintaan yang meningkat.



Gambar. 5 Grafik Hasil Prediksi Konsumsi Energi Listrik Dunia

Tabel. 3 Nilai Prediksi Konsumsi Energi Listrik Dunia Tahun 2022 s/d 2032

Tahun	Prediksi Konsumsi Energi Listrik Dunia (TWh)
2022	27.895,32445
2023	28.497,2612
2024	29.099,19796
2025	29.701,13471
2026	30.303,071147
2027	30.905,00822
2028	31.506,94498
2029	32.108,881173
2030	32.710,81849
2031	33.312,75524
2032	33.914,6921

4. Simpulan

Model *Support Vector Machine* (SVM) dengan fungsi kernel RBF memberikan performa optimal dalam memprediksi konsumsi energi listrik dunia. Analisis terhadap *window size* menunjukkan interval kesebelas menghasilkan nilai *Mean Squared Error* (MSE) yang relatif rendah, yakni 39.5112398646845. Perolehan nilai menandakan bahwa model mampu menghasilkan prediksi yang mendekati nilai sebenarnya. Hal ini memastikan model secara efektif dapat menangkap pola dan *tren* pada data *time-series*.

Meninjau lebih ke hulu, hasil komparatif antara fungsi kernel menyatakan peningkatan kemampuan prediksi dilandasi dengan penurunan kesalahan yang terjadi.

Khususnya, fungsi kernel RBF dengan *window size* kedua hingga kelima belas menunjukkan rentang nilai MSE terendah sebesar 39.5112398646845 - 17488.6446349155. Secara eksplisit, rentang nilai MSE ini mengindikasikan model SVM memberikan kinerja optimal ketika menerapkan kernel RBF.

Berhasilnya pendekatan terbaik dari *window size* dan fungsi kernel, model SVM mampu memprediksi konsumsi energi listrik di masa depan dengan menunjukkan peningkatan yang stabil. Diperkirakan bahwa total konsumsi energi listrik akan meningkat sebesar 27.895,32445 di tahun 2022 dan menjadi 33.914,6921 TWh pada tahun 2032.

Keseluruhan hasil dari penerapan model SVM dengan kernel RBF mengindikasikan terjadinya peningkatan akurasi prediksi konsumsi energi listrik yang dibuktikan dengan penentuan interval *window size* yang sesuai.

Ucapan Terima Kasih

Diucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam studi ini. Atas bantuan dan dukungan semua pihak, studi ini dapat terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] J. S. Chou and D. S. Tran, "Forecasting energy consumption time series using machine learning techniques based on usage patterns of residential householders," *Energy*, vol. 165, pp. 709–726, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.09.144.
- [2] H. T. Haider, O. H. See, and W. Elmenreich, "A review of residential demand response of smart grid," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 166–178, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.01.016.
- [3] Luqman Assaffat, "Peramalan Beban Listrik Bulanan Sektor Industri Menggunakan Support Vector Machine Dengan Variasi Fungsi Kernel," vol. 16, no. 22, pp. 254–259, 2017.
- [4] K. Zhou, S. Yang, and Z. Shao, "Household monthly electricity consumption pattern mining: A fuzzy clustering-based model and a case study," *J. Clean. Prod.*, vol. 141, pp. 900–908, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.165.
- [5] R. Banik, P. Das, S. Ray, and A. Biswas, "Prediction of electrical energy consumption based on machine learning technique," *Electr. Eng.*, vol. 103, no. 2, pp. 909–920, 2021, doi: 10.1007/s00202-020-01126-z.
- [6] H. Son and C. Kim, "Short-term forecasting of electricity demand for the residential sector using weather and social variables," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 123, pp. 200–207, 2017, doi: 10.1016/j.resconrec.2016.01.016.
- [7] S. Guefano, J. G. Tamba, T. E. W. Azong, and L. Monkam, "Forecast of electricity consumption in the Cameroonian residential sector by Grey and vector autoregressive models," *Energy*, vol. 214, p. 118791, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2020.118791.

- [8] F. Gao, H. Chi, and X. Shao, "Forecasting residential electricity consumption using a hybrid machine learning model with online search data," *Appl. Energy*, vol. 300, no. July, p. 117393, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117393.
- [9] H. Gufron, D. Rusirawan, and L. Widyawati, "Forecasting Produksi Energi PLTS 1 kWp Menggunakan Mesin Pembelajaran Dengan Algoritma Support Vector Machine," *J. Tekno Insentif*, vol. 16, no. 2, pp. 79–91, 2022, doi: 10.36787/jti.v16i2.843.
- [10] V. Apriana and R. I. Handayani, "Analisis Algoritma Prediksi Untuk Menghasilkan Prediksi Beban Listrik Jangka Pendek," *J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Komput.*, vol. 3, no. 1, pp. 73–78, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal.nusamandiri.ac.id/ejurnal/index.php/jitk/article/view/482>
- [11] F. Annasiah and M. Prastuti, "Peramalan Konsumsi Energi Listrik untuk Sektor Industri di PT PLN (Persero) Area Gresik Menggunakan Metode Time Series Regression dan ARIMA," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.12962/j23373520.v12i1.104264.
- [12] M. Ilhamsyah Siregar, "Forecasting Konsumsi Listrik Di Indonesia," *JIM EKP) Fak. Ekon. dan Bisnis Univ. Syiah Kuala*, vol. 6, no. 3, pp. 195–204, 2021, [Online]. Available: <https://web.pln.co.id>.
- [13] T. Tarno, A. Rusgiyono, B. Warsito, S. Sudarno, and D. Ispriyanti, "Pemodelan Hybrid Arima-Anfis Untuk Data Produksi Tanaman Hortikultura Di Jawa Tengah," *Media Stat.*, vol. 11, no. 1, pp. 65–78, 2018, doi: 10.14710/medstat.11.1.65-78.
- [14] A. A. Kasim and M. Sudarsono, "Algoritma Support Vector Machine (SVM) untuk Klasifikasi Ekonomi Penduduk Penerima Bantuan Pemerintah di Kecamatan Simpang Raya Sulawesi Tengah," *Semin. Nas. APTIKOM*, pp. 568–573, 2019.
- [15] D. H. Anto Satriyo Nugroho, Arief Budi Witarto, "Support Vector Machine –Teori dan Aplikasinya dalam Bioinformatika," *Proc. 2011 Chinese Control Decis. Conf. CCDC 2011*, pp. 842–847, 2018, doi: 10.1109/CCDC.2011.5968300.
- [16] J. Moon, J. Park, E. Hwang, and S. Jun, "Forecasting power consumption for higher educational institutions based on machine learning," *J. Supercomput.*, vol. 74, no. 8, pp. 3778–3800, 2018, doi: 10.1007/s11227-017-2022-x.
- [17] J. Mase, M. T. Furqon, and B. Rahayudi, "Penerapan Algoritme Support Vector Machine (SVM) Pada Pengklasifikasian Penyakit Kucing," *J. Pengembangan Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 10, pp. 3648–3654, 2018.
- [18] Nugroho, "Penerapan Algoritma Support Vector Machine untuk Prediksi Harga Emas," *J. Inform. Upgris*, vol. 1, no. 1, pp. 10–19, 2015.
- [19] S. A. B. Mutia Rosadi and Jurusan, "FAKTOR -
- FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KONSUMSI LISTRIK DI INDONESIA," *J. Kaji. Ekon. dan Pembang.*, vol. 1, no. 2, pp. 273–286, 2019.
- [20] A. Assagaf, "Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Perusahaan Listrik Negara," *Ekuitas (Jurnal Ekon. Dan Keuangan)*, vol. 14, no. 3, pp. 330–349, 2017.



Penerapan Metode Taguchi Dalam Simulasi Model Desain Helm Bahan Material Plastik Abs Dengan Cfrp

Ida Ayu Putu Indah Komala Dewi^{1)*}, I Made Gatot Karohika²⁾

^{1,2)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Helm merupakan alat pelindung kepala yang esensial bagi pengendara sepeda motor, bertujuan mengurangi risiko cedera serius akibat benturan saat kecelakaan. Studi ini melakukan simulasi perbandingan performa helm yang terbuat dari dua jenis material: Plastik ABS (Akrilonitril-Butadiena-Stiren) dan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) dan dua jenis desain : helm lubang dan nonlubang. Plastik ABS dipilih karena ketahanannya terhadap benturan, kemudahan proses, dan biaya produksi yang rendah. Sementara itu, CFRP dikenal dengan kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang tinggi, serta bobot yang ringan. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 2023 untuk menguji stress analysis, displacement, von mises stress, dan safety factor pada model helm dari kedua material tersebut dan Minitab 18 untuk menguji data dari safety factorynya. Metode Taguchi digunakan untuk mengoptimalkan proses dan produk dengan meningkatkan kualitas dan kinerja, serta mengurangi variasi yang disebabkan oleh faktor tidak terkontrol. Penelitian ini menerapkan metode Taguchi dalam simulasi model desain helm dengan bahan material plastik ABS dan CFRP. Hasil analisis menunjukkan bahwa helm berbahan CFRP memiliki performa superior dalam hal kekuatan mekanik dan stabilitas struktural. Dengan beban 36 kg, helm CFRP desain nonlubang menunjukkan Von Mises Stress maksimum sebesar 0,607346 MPa dan displacement maksimum 0,00747587 mm, dengan safety factor mencapai 15. Sebaliknya, helm berbahan Plastik ABS nonlubang menunjukkan von mises stress maksimum 0,612134 MPa dan displacement maksimum 0,358385 mm, dengan safety factor yang sama yaitu 15. Kesimpulan dari studi ini adalah bahwa helm berbahan CFRP non lubang lebih unggul dalam hal kekuatan dan deformasi minimal, namun Plastik ABS tetap menjadi pilihan yang ekonomis dan memadai untuk penggunaan standar. Pemilihan material helm harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik dan kondisi penggunaan untuk memastikan keselamatan dan efisiensi biaya. Kata kunci: helm, Plastik ABS, CFRP, Taguchi, stress analysis, displacement, von mises stress, safety factor.

Abstract

Helmets are essential head protection equipment for motorcyclists, aimed at reducing the risk of serious injury due to impact during an accident. This study carried out a comparative simulation of the performance of helmets made from two types of materials: ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Stirene) plastic and CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) and two types of designs: perforated and non-perforated helmets. ABS plastic was chosen because of its impact resistance, ease of processing, and low production costs. Meanwhile, CFRP is known for its high tensile strength and modulus of elasticity, as well as its light weight. The analysis was carried out using Autodesk Inventor 2023 software to test stress analysis, displacement, von Mises stress, and safety factors on helmet models from these two materials and Minitab 18 to test data on safety factors. The Taguchi method is used to optimize processes and products by improving quality and performance, as well as reducing variations caused by uncontrollable factors. This research applies the Taguchi method in simulating helmet design models using ABS and CFRP plastic materials. The analysis results show that helmets made from CFRP have superior performance in terms of mechanical strength and structural stability. With a load of 36 kg, a non-perforated CFRP helmet shows a maximum Von Mises Stress of 0.607346 MPa and a maximum displacement of 0.00747587 mm, with a safety factor of 15. On the other hand, a non-perforated ABS plastic helmet shows a maximum von Mises stress of 0.612134 MPa and maximum displacement is 0.358385 mm, with the same safety factor of 15. The conclusion of this study is that helmets made from non-perforated CFRP are superior in terms of strength and minimal deformation, however ABS plastic remains an economical and adequate choice for standard use. Helmet material selection must be tailored to specific needs and conditions of use to ensure safety and cost efficiency.

Key words: helmet, ABS plastic, CFRP, Taguchi, stress analysis, displacement, von Mises stress, safety factor.

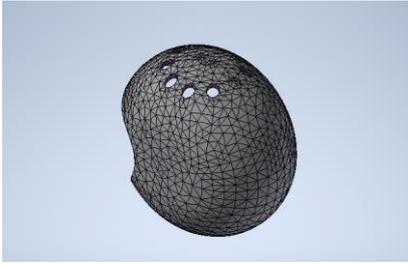
1. Pendahuluan

Metode Taguchi merupakan pendekatan sistematis untuk optimasi proses dan produk yang dikembangkan oleh Genichi Taguchi. Metode Taguchi berfokus pada meningkatkan kualitas dan kinerja produk dan mengurangi variasi yang disebabkan oleh faktor tidak terkontrol. Taguchi menggunakan array orthogonal untuk mengatur percobaan sehingga setiap faktor dapat dianalisis secara independent, namun dalam satu eksperimen banyak faktor yang diuji bersama. [1] Keunggulan metode Taguchi adalah kemampuannya untuk menghasilkan produk yang robust (tahan

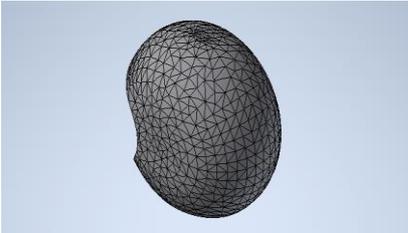
terhadap variasi eksternal) dan berkualitas tinggi tanpa memerlukan biaya yang tinggi atau waktu yang lama untuk melakukan eksperimen tradisional yang lebih luas. Metode ini sering digunakan dalam berbagai industri seperti manufaktur, elektronik, dan otomotif untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produk. Menurut [2] penggunaan helm saat berkendara sangatlah penting tidak selamanya tempurung kepala kuat dengan hantaman benda keras saat terjadi kecelakaan, efek lain yang di timbulkan dari berkendara tanpa helm saat terjadi kecelakaan pengendara bisa saja mengalami gagar otak. Hal tersebut memunculkan sebuah ide kepada penulis untuk membuat simulasi

*Korespondensi: Tel./Fax.: 087753574494
E-mail: dewi.2381911002@student.unud.ac.id
♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

helm yang perbandingan antara bahan material *Plastic Abs dan CFRP*.



Gambar 1. Desain helm lubang



Gambar 2. Desain helm nonlubang

2. Metode Penelitian

2.1. Metode Taguchi

Metode penelitian dalam penelitian ini menggunakan metode Taguchi untuk mengoptimalkan desain helm dengan membandingkan dua jenis material: plastik ABS dan CFRP. [3] Metode Taguchi dikenal sebagai pengendalian kualitas *off-line* yang efektif dalam meningkatkan kualitas dan mengurangi biaya.

Menurut [4] beberapa keunggulan dalam metode Taguchi adalah sebagai berikut:

1. Tingkat efisiensi rancangan percobaan lebih tinggi karena dapat melakukan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan level.

2. Memperoleh suatu proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh terhadap gangguan yaitu faktor yang tidak dapat dikontrol.

Metode ini menggunakan desain percobaan fraksional faktorial dan Array Ortogonal (OA) untuk mengoptimalkan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas produk material helm.[5]

2.2 Orthogonal Array

Menurut [4] orthogonal array adalah matriks dari sejumlah baris dan kolom. Setiap kolom merepresentasikan faktor atau kondisi tertentu yang dapat berubah dari suatu percobaan ke percobaan lainnya, dan baris mewakili level dari faktor pada percobaan yang dilakukan. Orthogonal Array (OA) adalah tabel yang digunakan untuk mengatur eksperimen secara efisien. OA L4(2²) digunakan untuk 2 faktor dengan 2 taraf masing-masing, mengurangi jumlah eksperimen dari 32 menjadi 4.

Menurut [6] Pertimbangan rancangan alat uji penetrasi adalah: fungsi, material, kemudahan manufaktur dan kekuatan struktur rancangan. Sedangkan indentor alat uji dirancang sesuai dengan standar snell, yaitu berbentuk kerucut dengan volume total 344 cm² dan massa 3.6 kg. Untuk massa yang peneliti gunakan disini yaitu 36 kg / 353,04 N dikarenakan berpatokan dari jurnal diatas yaitu menggunakan 3,6 kg sehingga peneliti kalikan 10 menjadi 36 kg.

Menurut [7] material yang baik dalam penelitian simulasi distribusi tegangan pada helm industry adalah material HDPE (*High Desity Polyethylene*), PC (*Polycarbonate*), dan ABS (*Acrylonitriee Butadiene Styrene*).

Penelitian ini terdiri faktor yang diuji dalam simulasi desain helm, antara lain:

1. Material: Ada dua jenis material yang diuji yaitu ABS dan CFRP (*Carbon Fiber Reinforcement Polymer*).
2. Desain Helm: Perbedaan desain helm yang diuji, termasuk modifikasi dengan menambahkan lubang pada bagian atas batok helm.

2.3 Karakteristik Kualitas dan Signal to Ratios

Larger is Better digunakan dalam penelitian ini, karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. SN Ratio untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$SN\ Ratio = -10 \log[MSD_s] = -10 \log[x_i(j)^2]$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Data Hasil dan Pembahasan

Suatu proses perancangan diduga dipengaruhi oleh 2 faktor (Material dan Desain) Masing-masing faktor terdiri dari 2 level. diperoleh hasil data awal sebagai berikut:

Faktor		Taraf		
		1	2	
A	Material	ABS	CFRP	
B	Desain	Lubang	Nonlubang	
	↓	C1-T	C2-T	C3
		Material	Desain	Safety Factor
1	ABS	Lubang		0,4636
2	ABS	Nonlubang		15,0000
3	CFRP	Lubang		6,9653
4	CFRP	Nonlubang		15,0000

Gambar 3. Analisis data awal Minitab 18

	Material	Desain	Safety Factor	SNRA2	MEAN2
1	ABS	Lubang	0,4636	-6,6773	0,4636
2	ABS	Nonlubang	15,0000	23,5218	15,0000
3	CFRP	Lubang	6,9653	16,8588	6,9653
4	CFRP	Nonlubang	15,0000	23,5218	15,0000

Gambar 4. Analisis Data Safety Factor Minitab 18

Response Table for Signal to Noise Ratios
Larger is better

Level	Material	Desain
1	8,422	5,091
2	20,190	23,522
Delta	11,768	18,431
Rank	2	1

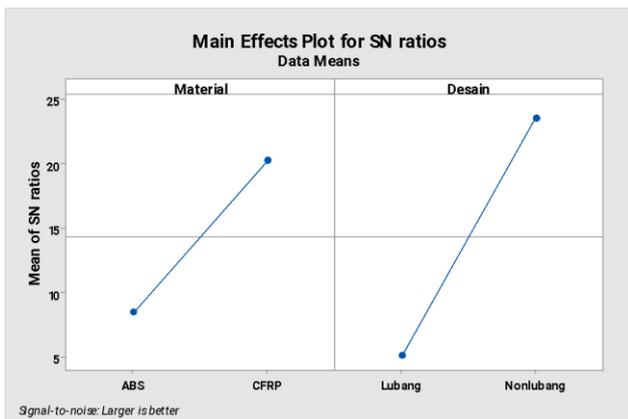
Gambar 5. Tabel Respon Signal to Noise Ratios

Efek Faktor Material

Taraf 1 mempunyai nilai S/NR yaitu 8,422, dan taraf 2 mempunyai nilai S/NR yaitu 20,190, dari hasil terlihat bahwa taraf 2 memberikan nilai S/NR paling besar, itu berarti bahwa taraf 2 memberikan pengaruh terhadap paling tinggi untuk safety factor.

Efek Faktor Desain

Taraf 1 mempunyai nilai S/NR yaitu 5,091, dan taraf 2 mempunyai nilai S/NR yaitu 23,522, dari hasil terlihat bahwa taraf 2 memberikan nilai S/NR paling besar, itu berarti bahwa taraf 2 memberikan pengaruh terhadap paling tinggi untuk safety factor.



Gambar 6. Grafik Tabel Signal to Noise Ratios

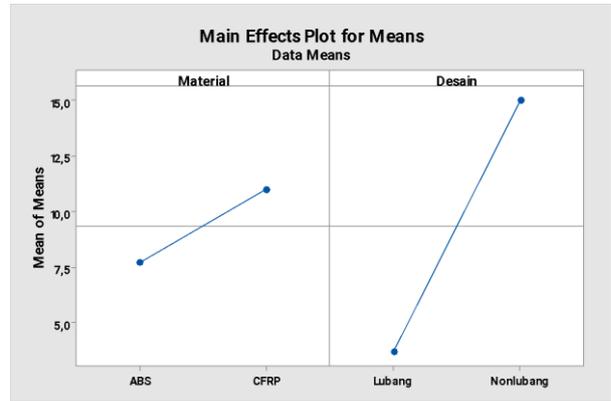
Dari Grafik S/NR tersebut dapat dilihat bahwa pada efek A2 dan B2 memberikan pengaruh paling tinggi terhadap safety factor.

Selain dari Tabel S/NR, untuk melihat efek utama yang memberikan efek paling tinggi adalah menggunakan Grafik Tabel Main Effect untuk Data Rata-rata.

Response Table for Means

Level	Material	Desain
1	7,732	3,714
2	10,983	15,000
Delta	3,251	11,286
Rank	2	1

Gambar 7. Tabel Respons Main Effect



Gambar 8. Grafik Tabel Main Effect

Terlihat bahwa pada efek faktor taraf 1 dan taraf 2 mempunyai perbedaan nilai yang cukup signifikan terlihat dari panjang garis. Dari Kedua faktor memiliki perbedaan yang cukup signifikan, terlihat dengan panjang garis antar faktor.

Efek faktor Material

Perbandingan dari setiap pasangan taraf faktor A Material disajikan sebagai berikut:

A1	A2
7,732	10,983

Faktor A (Material) taraf tinggi (A2) mempunyai efek menghasilkan safety factor paling tinggi yaitu 10,983, dan secara statistik berbeda dengan efek faktor lainnya.

Efek faktor Desain

B1	B2
3,714	15,000

Faktor B (Desain) taraf tinggi (B2) mempunyai efek menghasilkan safety factor paling tinggi yaitu 15.000, dan secara statistik jauh berbeda dengan efek factor B1.

4. Simpulan

Helm dengan material CFRP memiliki performa yang lebih unggul dibandingkan helm dengan material ABS dalam hal ketahanan terhadap tegangan dan deformasi.

Penggunaan metode Taguchi efektif dalam mengoptimalkan desain helm untuk mencapai performa dan kualitas yang lebih baik.

Berdasarkan Analisis, maka rancangan usulan yang akan memberikan hasil optimum untuk safety factor untuk rancangan material dari produk helm adalah A2 dan B2.

Faktor	Taraf	
	1	2
A Material	ABS	CFRP
B Desain	Lubang	Nonlubang

Analisis menunjukkan bahwa pemilihan material CFRP lebih menguntungkan untuk desain helm karena memberikan ketahanan yang lebih baik dan keamanan yang lebih tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh Staf Dosen dan Civitas akademika Program Magister Teknik

Mesin Universitas Udayana dan seluruh pihak yang sudah membantu dalam penulisan artikel ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Daftar Pustaka

- [1] K. Krishniah, P. Shahabudeen, K. Krishnaiah, and P. Shahabudeen, *Applied design of experiments and Taguchi methods*, no. June. 2012. [Online]. Available:
<https://books.google.com/books?id=hju9JYVhfV8C&pgis=1>
- [2] Salim, *Manajemen transportasi / Drs. H.A. Abbas Salim, S.E., M.A.*, Edisi 1, C. Jakarta: Rajawali Pers, 2016, 2016.
- [3] A. A. Wulandari, T. Wuryandari, and D. Ispriyanti, "PENERAPAN METODE TAGUCHI UNTUK KASUS MULTIRESPON MENGGUNAKAN PENDEKATAN GREY RELATIONAL ANALYSIS DAN PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (Studi Kasus Proses Freis Komposit GFRP)," *J. Gaussian*, vol. 5, no. 4, pp. 791–800, 2016, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/gaussin>
- [4] S. IRWAN, *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2009.
- [5] T. Wuryandari, T. Widiharih, and S. D. Anggraini, "Metode Taguchi Untuk Optimalisasi Produk Pada Rancangan Faktorial," *Media Stat.*, vol. 2, no. 2, pp. 81–92, 2012, doi: 10.14710/medstat.2.2.81-92.
- [6] I Made Londen, "Rancang Bangun Alat Uji Penetrasi Helm," *Ironmak. Steelmak.*, vol. 46, no. 9, pp. 855–864, 2019.
- [7] G. I Made Gatot Karohika, I Made Dwi Budiana Penindra, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, "Analisa Distribusi Tegangan Pada Helm Indutri Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga," vol. 2, 2014.



Ida Ayu Putu Indah Komala Dewi menyelesaikan pendidikan S1 Pendidikan Teknik Mesin di Universitas Pendidikan Ganesha pada tahun 2022. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Analysis Of Feasibility Level Of Electric Vehicle Prototype Ganesha Disabilities (E-Gadis). Saat ini ia bekerja sebagai guru di SMK Negeri 1 Denpasar. Program Keahlian yang digeluti adalah jurusan Teknik Kendaraan Ringan Otomotif.

Analisis Kekuatan Bending Dan Ketahanan Bakar Dengan Variasi Hardener Pada Komposit Cangkang Kepiting Dan Pati Singkong

I Gede Putu Agus Suryawan ^{1)*}, Juan Loandruw ²⁾, I Ketut Adi Atmika ³⁾, I Putu Lokantara ⁴⁾

^{1,2,3,4)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Saat ini material komposit sangat populer di industri dan telah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Studi ini melakukan penelitian tentang komposit yang terdiri dari cangkang kepiting dan pati singkong dengan variasi penambahan hardener: 1%, 3%, dan 5%. Matrik dan penguat yang terdiri dari pati singkong dan cangkang kepiting memiliki perbandingan 90% dan 10% berdasarkan fraksi volume. Cangkang kepiting di haluskan dengan menggunakan grinder yang kemudian disaring dengan menggunakan mesh 60. Pembuatan komposit dilakukan menggunakan alat *hotplate magnetic stirrer* untuk proses pencampuran serta pengadukan. Pengadukan dilakukan selama 20 menit dengan temperatur 120°C. Penambahan hardener dilakukan saat diaduk dengan *hotplate magnetic stirrer*. Setelah proses pencampuran komposit kemudian dilakukan proses pencetakan dan pengeringan. Proses pengeringan dengan oven pada temperatur 100°C selama 45 menit setelah itu didiamkan di suhu ruangan selama 3 hari. Setelah itu dilakukan uji bending dan uji ketahanan bakar. Hasil uji bending terbaik didapatkan pada variasi hardener 1% yaitu dengan nilai tegangan rata-rata 11,614 MPa, regangan 0,961%, dan modulus elastisitas rata-rata 0,0484 GPa. Untuk nilai ketahanan bakar terbaik juga didapat pada variasi hardener 1% yaitu mendapat nilai rata-rata waktu penyalaan (TTI) terlama yaitu 13,44 detik.

Kata kunci: cangkang kepiting, pati singkong, hardener MEKPO, uji bending, uji ketahanan bakar

Abstract

Composite materials are currently very popular in industry and have undergone rapid development. This study conducts research on composites consisting of crab shells and cassava starch with variations in hardener addition: 1%, 3%, and 5%. The matrix and reinforcement consisting of cassava starch and crab shells have a ratio of 90% and 10% by volume fraction. The crab shells were ground using a grinder which was then filtered using mesh 60. The composite was made using a hotplate magnetic stirrer for the mixing and stirring process. Stirring is carried out for 20 minutes with a temperature of 120 °C. The addition of hardener is done while stirring with a hotplate magnetic stirrer. After the composite mixing process, the molding and drying process is then carried out. The process of drying with an oven at 100 °C for 45 minutes after that it is allowed to stand at room temperature for 3 days. After that, the bending test and burn resistance test were carried out. The best bending test results were obtained in the 1% hardener variation with an average stress value of 11.614 MPa, 0.961% strain, and an average elastic modulus of 0.0484 GPa. The best combustion resistance value was also obtained in the 1% hardener variation, which got the longest average time to ignition (TTI) value of 13.44 seconds.

Keywords: crab shell, cassava starch, MEKPO hardener, bending test, combustion resistance test

1. Pendahuluan

Saat ini material komposit mengalami perkembangan yang sangat pesat. Di Indonesia banyak penelitian dan pengembangan komposit dari industri dan perguruan tinggi. Perkembangan inovasi pada material komposit dikarenakan meningkatnya permintaan pasar dan bertambahnya penelitian untuk mendapatkan material komposit yang baru.

Indonesia adalah negara maritim dengan banyak potensi perikanan yang belum dimanfaatkan [1]. Cangkang kepiting mengandung senyawa kitin yang sangat berharga, kepiting adalah salah satu sumber laut yang menarik di Indonesia [2]. Cangkang kepiting mengandung 71% kitin [3]. Pada eksoskeleton krustasea, kitin adalah komponen karbohidrat utama yang berfungsi sebagai penyokong dan pelindung [4]. Kitin yang telah dideasetilasi akan menjadi kitosan, senyawa serbaguna yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan material. Kitosan adalah jenis biomassa dengan struktur kimia yang mirip dengan

selulosa. Kitosan memiliki sifat biodegradable, antibakteri, dan tidak beracun [5].

Pada penelitian ini, pati singkong digunakan sebagai matrik. Singkong merupakan salah satu hasil perkebunan terbesar di Indonesia. singkong dapat diolah menjadi tepung, biasa disebut tepung tapioka. Tepung tapioka adalah pati murni yang dibuat dari ekstraksi singkong [6]. Tapioka memiliki kadar amilopektin yang tinggi, yang menyebabkan produk yang dibuat dari tepung tapioka memiliki tekstur yang renyah dan larut dalam air. Produk ini biasanya digunakan sebagai pengisi dan pengikat untuk membuat tekstur yang plastis [7].

Dalam pembuatan komposit juga diperlukan Hardener. Hardener adalah bahan kimia atau campuran kimia yang digunakan untuk mengubah sifat-sifat material atau mengeraskan suatu produk seperti komposit. Penelitian kali ini menggunakan katalis Methyl Ethyl Keton Peroxide (MEKPO). Semakin banyak katalis yang ditambahkan ke cairan matriks akan mempercepat proses pengeringan, tetapi terlalu

*Korespondensi: Tel./Fax.: 081382791345

E-mail: jloandruw@gmail.com

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

banyak katalis akan membuat komposit menjadi getas. Semakin sedikit katalis yang digunakan, proses pengeringan akan menjadi lebih lama, yang dapat menyebabkan komposit tidak kering secara menyeluruh. Penggunaan katalis harus disesuaikan dengan kebutuhannya. [8].

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian *bending* dan ketahanan bakar. Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui batas material yang dapat menahan beban tekuk terbesar. Pengujian ketahanan bakar dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat ketahanan bakar dari sebuah material, seperti kemampuan menghambat penyebaran api, kehilangan massa, dan pelelehan, serta untuk mengetahui pengaruh penambahan hardener terhadap ketahanan bakar komposit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan variasi penambahan hardener terbaik pada komposit cangkang kepiting dan pati singkong.

2. Metode Penelitian

2.1. Alat-alat Penelitian

Cetakan spesimen terbuat dari kaca saat pencetakan dibagian bawah ditambahkan gliserin agar mudah dalam melepaskan spesimen. Alat Ukur seperti; gelas ukur, timbangan digital dan jangka sorong. Alat penunjang seperti; *mesh 60*, *hotplate magnetic stirrer*, *oven*, dan *grinder*.

2.2. Bahan-bahan Penelitian

1. Cangkang Kepiting
2. Pati Singkong
3. *Hardener* MEKPO

2.3. Prosedur Penelitian

Prosedur pembuatan material komposit dilakukan dengan cara mencampurkan pati singkong dan cangkang kepiting, kemudian dilanjutkan dengan proses pengadukan menggunakan *hotplate magnetic stirrer* selama 10 menit sekaligus dipanaskan sampai mencapai suhu 120°C, ketika cangkang kepiting dan pati singkong sudah tercampur rata tahap selanjutnya adalah menambahkan hardener lalu diaduk kembali selama 10 menit. Ketika semua sudah tercampur secara homogen maka dilakukan proses pencetakan dan pengeringan spesimen. Proses pengeringan dibantu menggunakan oven selama 45 menit dengan suhu 100°C, setelah itu di diamkan di suhu ruangan selama 3 hari agar komposit dapat mengeras dengan baik.



Gambar 1. Spesimen Uji Bending

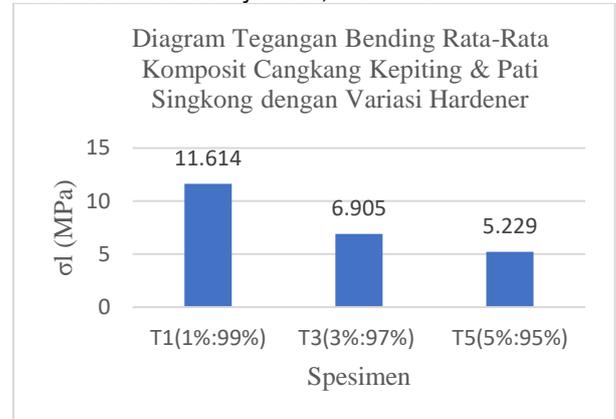


Gambar 2. Spesimen uji ketahanan bakar

3. Hasil dan Pembahasan

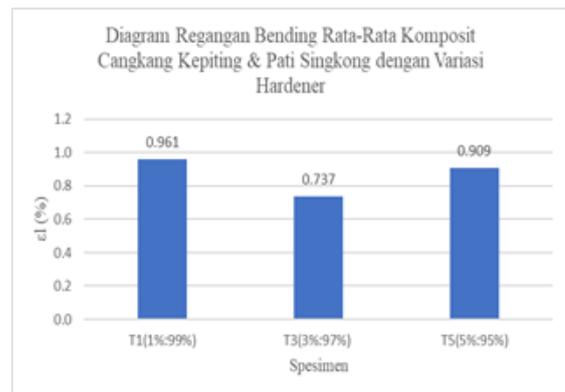
3.1. Uji Bending

Berdasarkan dari hasil pengujian tersebut didapatkan data seperti pada gambar 1, dimana pada variasi 1%:99% artinya 1% hardener dan 99% (pati singkong dan cangkang kepiting) memiliki nilai tegangan rata-rata tertinggi yaitu 11,614 MPa, pada variasi 3%:97% memiliki nilai tegangan rata-rata sebesar 6,905 MPa, dan pada variasi 5%:95% memiliki nilai rata-rata terendah yaitu 5,229 MPa.



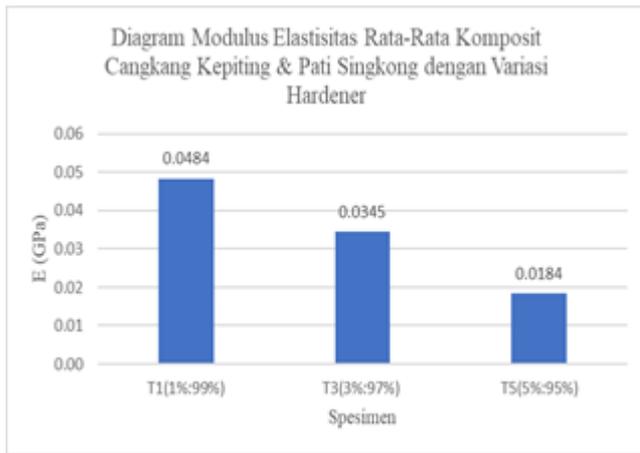
Gambar 3. Tegangan *Bending* Rata-rata

Pada gambar tersebut dapat dilihat terjadi penurunan tegangan pada spesimen seiring meningkatnya hardener. Hal ini membuktikan bahwa semakin banyak hardener yang dicampurkan mengakibatkan komposit menjadi semakin getas [8].



Gambar 4. Regangan *Bending* Rata-rata

Pada gambar 4 menunjukkan variasi 1%:99% memiliki nilai rata-rata regangan tertinggi yaitu 0,961%, kemudian pada variasi 3%:97% memiliki nilai rata-rata regangan terendah yaitu 0,737%, dan pada variasi 5%:95% memiliki nilai rata-rata regangan yaitu 0,909%. Peningkatan dapat terjadi karena daya adhesi yang kuat antara penguat dan matriks, selain itu penurunan bisa saja diakibatkan karena ketidakhomogenan antara penguat partikel dan matriks [13].



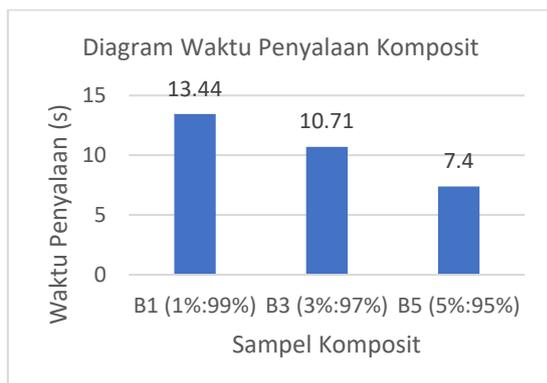
Gambar 5. Diagram Modulus Elastisitas Rata-rata

Pada gambar 5 menunjukkan nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi terjadi pada variasi 1%:99% yaitu dengan nilai 0,0484 GPa, kemudian nilai rata-rata modulus elastisitas pada variasi 3%:97% yaitu 0,0345 GPa, dan nilai rata-rata modulus elastisitas terendah terjadi pada variasi 5%:95% yaitu dengan nilai 0,0184 GPa.

Semakin banyak hardener yang digunakan, semakin rendah modulus elastisitas bahan. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas bahan, semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi saat diberi gaya. Oleh karena itu, semakin tinggi nilai modulus elastisitas bahan, semakin sedikit regangan elastis atau kekakuan yang terjadi. [14]

3.2. Uji Ketahanan Bakar.

Hasil pengujian ketahanan bakar pada gambar 6. menunjukkan komposit cangkang kepiting dan pati singkong dengan variasi *hardener* 1% memiliki rata-rata nilai waktu penyalaan terlama yaitu selama 13,44 detik. Sedangkan pada variasi *hardener* 5% mendapat waktu rata-rata penyalaan tercepat yaitu 7,40 detik. Pada variasi *hardener* 3% mendapat waktu rata-rata penyalaan selama 10,71 detik.



Gambar 6. Lama Waktu Penyalaan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan mendapatkan hasil bahwa dengan penambahan hardener dapat mempengaruhi waktu pembakaran. Pada komposit dengan variasi campuran hardener 5% memperoleh nilai waktu penyalaan (TTI) tercepat. Nilai waktu penyalaan (TTI) tercepat menunjukkan komposit tersebut dapat terbakar dengan mudah. Semakin banyak penambahan hardener maka komposit tersebut akan semakin cepat terbakar [12] sehingga memperlihatkan diagram waktu penyalaan (TTI) yang lebih singkat. Campuran variasi yang paling baik untuk

diaplikasikan pada interior mobil yaitu variasi 1%, karena memiliki waktu penyalaan yang paling lama.

4. Simpulan

Pada pengujian bending, spesimen dengan penambahan hardener 1% mendapat nilai rata-rata tegangan, regangan, dan modulus elastisitas tertinggi masing-masing 11,614 MPa, 0,961%, dan 0,0484 GPa. Sedangkan nilai rata-rata tegangan terendah yaitu pada variasi hardener 5% dengan nilai 5,229 MPa. Untuk nilai regangan rata-rata terendah didapat pada variasi hardener 3% yaitu 0,737%. Lalu nilai modulus elastisitas terendah ada pada variasi hardener 5% yaitu 0,0184 GPa.

Ketahanan bakar komposit cangkang kepiting dan pati singkong dengan variasi hardener, didapatkan hasil terbaik pada variasi hardener 1% dengan hasil rata-rata nilai waktu penyalaan terlama yaitu 13,44 detik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada LPPM Unud dan semua pihak yang telah membantu keberlangsungan dan kelancaran serta telah memberikan dukungan pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Meliala, A. C. (2016). Potensi Laut Indonesia Belum Dimanfaatkan Secara Optimal. <https://www.pikiranrakyat.com/nasional/pr01258003/potensi-lautindonesia-belum-dimanfaatkansecara-optimal-371905>. (Diakses: 3 Oktober 2023, 16.22).
- [2] Asni, N., Saadilah., M Arif and Saleh., Djonaedi. (2014). Optimalisasi Sintesis Kitosan Dari Cangkang Kepiting Sebagai Adsorben Logam Berat Pb (II). *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 15(1), 18-25.
- [3] Harianingsih. (2010). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kepiting Menjadi Kitosan Sebagai Bahan Pelapis (Coater) Pada Buah Stroberi. Tesis Program Magister Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [4] Hahn, T., Tafi, E., Paul, A., Salvia, R., Falabella, P., & Zibek, S. (2020). Current state of chitin purification and chitosan production from insects. In *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* (Vol. 95, Issue 11, pp. 2775–2795). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/jctb.6533>.
- [5] Ambaye, T. G., Vaccari, M., Prasad, S., van Hullebusch, E. D., & Rtimi, S. (2022). Preparation and applications of chitosan and cellulose composite materials. *Journal of Environmental Management*, 301. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113850>
- [6] Indrianti, N., Kumalasari, R., Ekafitri, R., & Andy Darmajana Balai Besar Pengembangan Teknologi Tepat Guna, D. (2013). The Effect of Canna Starch, Tapioca, and MoCaf as Substitution Ingredients on Physical Characteristics of Corn Instant Noodle. *Agritech* (Vol. 33, Issue 4).
- [7] S. Sovyani, J. E. A. Kandou, M. F. Sumual, M. Program, S. T. Pangan, and D. Program, "Pengaruh Penambahan Tepung Tapioka Dalam Pembuatan Biskuit Berbahan Baku Tepung Ubi Banggai (*Dioscorea alata* L.) Effects of Addition of Tapioca Flour in Biscuits Made from Banggai

- Yam Flour (*Dioscorea alata* L.),” *Jurnal Teknologi Pertanian*, vol. 10, 2019.
- [8] Novarini Eva, Wahyudi T. (2011). Sintesis Nanopartikel Seng Oksida (Zno) Menggunakan Surfaktan Sebagai Stabilisator Dan Aplikasinya Pada Pembuatan Tekstil Anti Bakteri. *Arena Tekstil*, 26(2), 61–120.
- [9] Zulfikar, A. J. (2020). The Flexural Strength of Artificial Laminate Composite Boards made from Banana Stems. *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx)Journal*, 2(3), 234–340. <https://doi.org/10.33258/birex.v2i3.1070>
- [10] Setiani, W., Sudiarti, T., & Rahmidar, L. (2013). Preparasi Dan Karakterisasi Edible Film Dari Poliblend Pati Sukun-Kitosan. *Valensi*, 3(2), 100–109. www.kemenperin.go.id
- [11] Zarkasie, I. M., Prihandini, W. W., Gunawan, S., & Aparmarta, H. W. (2017). Pembuatan Tepung Singkong Termodifikasi Dengan Kapasitas 300.000 Ton/Tahun. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 2337–3520.
- [12] Liyanage, I. K., Navinan, M. R., Pathirana, A. C. A., Herath, H. R. I. S., Yudhishdran, J., Fernandopulle, N., & Kulatunga, A. (2015). A case of methyl ethyl ketone peroxide poisoning and a review of complications and their management. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s12995-015-0071-8>
- [13] Bolasodun, B., Durowaye, S., Rufai, I., & Lawal, G. (2021). Effects of Crab Shell and Charcoal Reinforcements on The Mechanical Properties of Polyester Matrix Composites. *Kufa Journal of Engineering*, 11(1), 65–78. <https://doi.org/10.30572/2018/kje/110105>
- [14] Hau, R. R. H., Masturi, M., Yulianti, I., Hau, S. K., & Talu, S. D. (2016). Modulus elastisitas bambu betung dengan variabel panjang. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* (Vol. 5, pp. SNF2016-CIP). <https://doi.org/10.21009/0305020108>



Simulasi Perancangan Ban Mobil Tanpa Udara Berjenis Radial Dengan Variasi Geometri

A A Ngurah Putra Damara Artha Wijaya^{1)*}, I Made Gatot Karohika²⁾

^{1,2)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Ban merupakan salah satu bagian penting dari sebuah kendaraan yang terdiri dari satu atau lebih lapisan material elastis yang melapisi bagian velg roda. Ban berfungsi untuk melindungi roda dari aus dan kerusakan, mengurangi getaran yang disebabkan kontur permukaan jalan, serta memberikan kestabilan dan traksi antara kendaraan dengan aspal. Selain itu ban mobil konvensional yang juga dikenal sebagai ban pneumatik memiliki beberapa kelemahan diantaranya; membutuhkan penambahan tekanan udara secara berkala, resiko ban bocor jika terkena benda tajam, resiko ban meledak jika tidak mampu menahan tekanan udara dari dalam ban ataupun beban kejut yang terjadi. Pada studi ini dilakukan perancangan geometri dan simulasi beban statis pada ban mobil tanpa udara atau *airless tire*. Perancangan geometri menggunakan *software Autodesk Inventor* sedangkan simulasi menggunakan *software Ansys Workbench*. Simulasi dilakukan pada dua buah model *airless tire* bertipe jari-jari radial dengan variasi geometri pada bagian jari-jari atau *spoke*. Tujuan simulasi adalah untuk mengetahui besaran *total deformation*, *equivalent* atau *von-mises stress*, *maximum principal stress*, dan *safety factor* yang terjadi ketika ban diberikan beban statis sebesar 2.660,96 N. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *total deformation* tipe A sebesar 1,21 mm dan tipe B sebesar 3,22 mm, *equivalent* atau *von-mises stress* tipe A sebesar 80,637 MPa dan tipe B sebesar 109,63 MPa, *maximum principal stress* tipe A sebesar 84,4 MPa dan tipe B sebesar 124,4 MPa, serta *safety factor* tipe A sebesar 5,9526 dan tipe B sebesar 4,3784. Berdasarkan analisis hasil simulasi yang digunakan pada perancangan geometri, dimensi, serta material, menyatakan bahwa *airless tire* tipe A lebih unggul dan aman untuk digunakan dibandingkan dengan tipe B.

Kata kunci: *Airless Tire*, *Autodesk Inventor*, *Ansys Workbench*, *Total Deformation*, *Von-Mises Stress*, *Maximum Principal Stress*, dan *Safety Factor*

Abstract

Tires are an important component of a vehicle, comprising one or more layers of elastic material that cover the wheels. Their functions include protecting the wheels from wear and damage, reducing vibrations from road surface irregularities, and ensuring stability and traction between the vehicle and the asphalt. However, conventional car tires, also known as pneumatic tires, have several disadvantages. These include the need for regular air pressure maintenance, the risk of punctures from sharp objects, and the potential for bursting if the tire cannot withstand internal air pressure or sudden shock loads. In this study, the geometry design and static load simulation of an airless tire were conducted. The geometry design was created using Autodesk Inventor software, while the simulations were performed using Ansys Workbench software. The simulations were carried out on two radial radius type airless tire models with variations in spoke geometry. The purpose of the simulation is to determine the total deformation, equivalent or von Mises stress, maximum principal stress, and safety factor when the tire is subjected to a static load of 2,660.96 N. The simulation results indicate that the total deformation for type A is 1.21 mm and for type B is 3.22 mm. The equivalent or von Mises stress for type A is 80.637 MPa, while for type B it is 109.63 MPa. The maximum principal stress for type A is 84.4 MPa compared to 124.4 MPa for type B. The safety factor for type A is 5.9526, whereas for type B it is 4.3784. Based on the analysis of these simulation results using the specified geometry, dimensions, and materials, it can be concluded that the type A airless tire is superior and safer to use compared to type B.

Keywords: *Airless Tire*, *Autodesk Inventor*, *Ansys Workbench*, *Total Deformation*, *Von-Mises Stress*, *Maximum Principal Stress*, and *Safety Factor*

1. Pendahuluan

Ban merupakan salah satu bagian penting dari sebuah kendaraan yang terdiri dari satu atau lebih lapisan material elastis yang melapisi bagian velg roda. Ban berfungsi untuk melindungi roda dari aus dan kerusakan, mengurangi getaran yang disebabkan kontur permukaan jalan, serta memberikan kestabilan dan traksi antara kendaraan dengan aspal. Selain itu ban mobil konvensional yang juga dikenal sebagai ban pneumatik memiliki beberapa kelemahan diantaranya; membutuhkan penambahan tekanan udara secara berkala, resiko ban bocor jika terkena benda tajam, resiko ban meledak jika tidak mampu menahan tekanan udara dari dalam ban ataupun beban kejut yang terjadi.

Kelemahan pada ban mobil konvensional tersebut dapat diatasi dengan mengganti ban mobil konvensional dengan ban mobil tanpa udara atau *airless tire*. Ban ini memiliki beberapa keunggulan, termasuk tidak pernah kempes dan tidak memerlukan tekanan udara. [2]

Ban tanpa udara, yang juga dikenal sebagai *airless tire*, adalah jenis ban yang menggunakan polimer sebagai pengganti tekanan udara. Ban ini umumnya digunakan pada kendaraan kecil seperti mesin pemotong rumput dan mobil golf. Selain itu, ban tanpa udara sering digunakan pada alat berat yang beroperasi di lokasi konstruksi atau pembongkaran, di mana risiko tusukan ban sangat tinggi. Salah satu contoh ban tanpa udara

*Korespondensi: Tel./Fax.: 085792786329

E-mail: putradamara.pd@gmail.com

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

ini adalah The Tweel, yang diproduksi oleh pabrikan ban Michelin. [4] Namun, *airless tire* tersebut masih sangat baru dalam dunia otomotif, sehingga masih sangat jarang ditemukan dipasaran dan banyak produsen ban yang berlomba-lomba untuk mengembangkan *airless tire* tersebut. Berdasarkan kondisi tersebut, maka penulis memiliki ide untuk melakukan simulasi pembebanan statis pada *airless tire* dengan perbandingan dua jenis geometri spoke.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi elemen hingga eksperimental. Dimana proses perancangan geometri *airless tire* menggunakan *software* Autodesk Inventor 2022 dan proses simulasi *airless tire* menggunakan *software* Ansys Workbench 2021 R2.

2.1 Metode Elemen Hingga

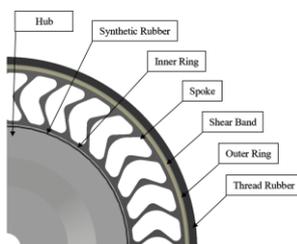
Metode elemen hingga adalah teknik matematis yang digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan diferensial parsial atau integral. Dalam bidang rekayasa, metode ini digunakan untuk memecah struktur kompleks menjadi bagian-bagian kecil yang teratur agar mendekati kondisi asli dari struktur tersebut. [5]

2.2 Perancangan Struktur Airless Tire

Ketika mobil beroperasi, *airless tire* menerima beban statis dan dinamis secara berulang-ulang. Sehingga, pada saat perancangan harus dipastikan bahwa *airless tire* tersebut mampu menahan beban tersebut, namun tetap mempertimbangkan estetika, kenyamanan, dan biaya produksi.

Misalnya, bagian spoke memiliki peran utama dalam *airless tire* sebagai pengganti tekanan udara pada ban konvensional yang berfungsi sebagai peredam getaran yang disebabkan oleh kontur permukaan jalan yang tidak rata. *Spoke* adalah jari-jari dari sebuah ban kendaraan yang tidak diisi dengan udara, melainkan digantikan oleh jari-jari yang didesain dalam pola radial dan terbuat dari karet sintesis yang elastis. [1]

Airless tire terdiri dari beberapa bagian yang masing-masing memiliki fungsi berbeda. Berikut adalah gambar dari bagian-bagian pada *airless tire*.

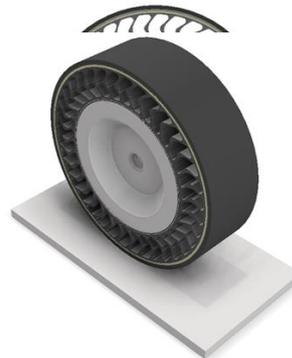


Gambar 1. Struktur Penyusun *Airless Tire*.

Airless tire pada penelitian ini menggunakan *spoke* dengan tipe radial dan dirancang untuk menggantikan ban konvensional dengan ukuran 185/85 R16, yang dimana ban tersebut biasanya digunakan pada mobil Suzuki Jimny.

2.3 Visualisasi 3D

Autodesk Inventor merupakan salah satu *engineering software* yang digunakan untuk menggambar desain mekanikal suatu produk, mesin, konstruksi, maupun keperluan lainnya pada bidang teknik. Autodesk Inventor merupakan program pemodelan berbasis fasis parametrik, dimana semua objek dan hubungan antar geometri dapat diubah kembali. Autodesk Inventor dapat menggambar sebuah model dalam bentuk 3D maupun 2D. Gambar dibawah merupakan hasil perancangan *airless tire* yang digunakan dalam penelitian ini.



) *Airless Tire* tipe A (kiri) dan tipe b (kanan).

Structural merupakan simulasi yang dilakukan pada ban tetap atau statis pada *airless tire* untuk mengetahui respon atau perilaku *airless tire* di bawah beban statis. simulasi ini bertujuan untuk mengetahui besaran *total deformation*, *equivalent stress*, *von-mises stress*, *maximum principal stress*, dan *safety factor*. Hal tersebut penting dilakukan karena hasil dari simulasi ini dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dan optimasi suatu rancangan sebelum dilanjutkan ke proses produksi.

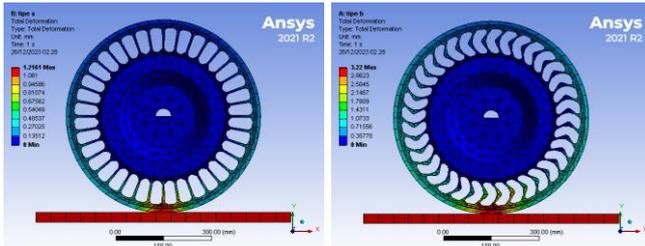
Respon suatu objek terhadap beban statis yang diterima sangat dipengaruhi oleh properties material penyusun objek tersebut. Dalam penelitian ini, properties material yang digunakan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Data properties material *Airless Tire*.

Part	Hub	Synthetic Rubber	Inner Ring	Spoke	Shear Band	Outer Ring	Thread Rubber
Material	UNS A97075	Synthetic Rubber	AISI 4140	Polyurethane	Polyurethane	AISI 4140	Synthetic Rubber
Yield Strength (Mpa)	503	182	480	145	145	480	182
Elastic Modulus, E (Mpa)	75.000	14	210.000	35	35	210.000	14
Poisson's Ratio, Y	0,33	0,48	0,3	0,48	0,48	0,3	0,48
Density, P (Kg/m ³)	2.180	1.050	7.810	1.210	1.210	7.810	1.050
Shear Modulus, G (Mpa)	32.000	3,5	80.000	11,18	11,18	80.000	3,5

3. Hasil dan Pembahasan

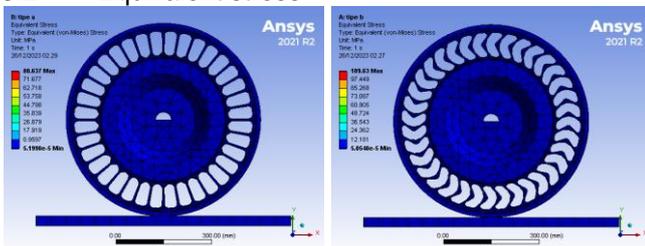
3.1 Total Deformation



Gambar 3. Hasil *total deformation* *airless tire* tipe A (kiri) dan *airless tire* tipe B (kanan).

Total deformasi merupakan perubahan semua bentuk dan ukuran suatu benda sehingga bentuk yang dihasilkan berbeda dari sebelumnya. Hasil simulasi total deformasi menunjukkan terdapat perbedaan total deformasi maksimal antara Airless Tire tipe A dengan Airless tire tipe B. Untuk Airless Tire tipe A total deformasi maksimalnya sebesar 1,21 mm, sedangkan Airless Tire tipe B sebesar 3,22 mm. Total deformasi maksimum terjadi di bagian permukaan Airless Tire yang bersentuhan dengan permukaan jalan. Hal tersebut menunjukkan bagian Airless Tire pada posisi tersebut yang akan meredam getaran saat mobil melaju di permukaan jalan. Hasil total deformasi pada kedua tipe Airless Tire tersebut dapat berbeda karena dipengaruhi dari geometri struktur spoke Airless Tire tersebut.

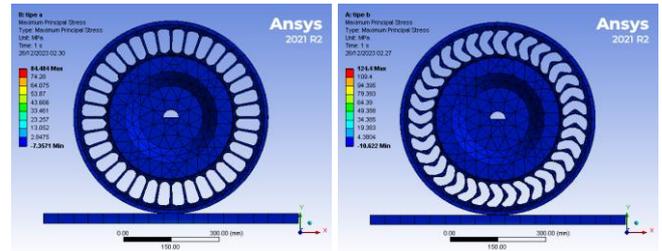
3.2 Equivalent stress



Gambar 4. Hasil *equivalent stress* *airless tire* tipe A (kiri) dan *airless tire* tipe B (kanan).

Equivalent (Von-Mises) Stress merupakan nilai tegangan scalar yang dapat dihitung dari tensor tegangan, dalam hal ini material dapat dikatakan mulai luluh ketika tegangan von-mises mencapai nilai kritis yang diketahui sebagai yield strength. Hasil equivalent stress maksimal Airless Tire tipe A sebesar 80,637 MPa, sedangkan Airless Tire tipe B sebesar 109,63 MPa. Equivalent stress maksimum terjadi di bagian permukaan Airless Tire yang bersentuhan dengan permukaan jalan. Hal tersebut menunjukkan bagian Airless Tire pada posisi tersebut yang akan menerima beban saat mobil melaju di permukaan jalan. Hasil equivalent stress pada kedua tipe Airless Tire tersebut dapat berbeda karena dipengaruhi dari geometri struktur spoke Airless Tire tersebut. Namun angka tersebut masih jauh dibawah yield strength dari material, jadi masih dikatakan dalam kondisi aman

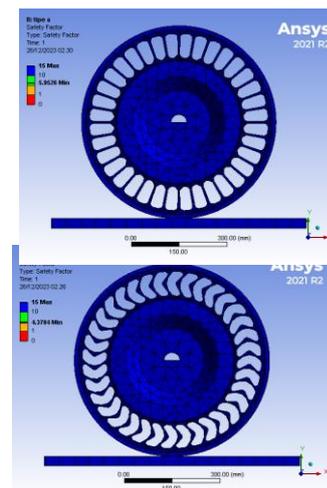
3.3 Maximum principal stress



Gambar 5. Hasil *maximum principal stress* *airless tire* tipe A (kiri) dan *airless tire* tipe B (kanan).

Tegangan utama (principal stress) merupakan tegangan normal yang terjadi pada set sumbu koordinat baru setelah transformasi yang menghasilkan tegangan lainnya nol. Maximum principal stress adalah komponen tegangan ketika dasar dari tensor tegangan lainnya adalah nol dan mendefinisikan tegangan yang terkonsentrasi pada daerah tertentu. Hasil maximum principal stress Airless Tire tipe A sebesar 84,4 MPa dan Airless Tire tipe B sebesar 124,4 MPa. Hasil maksimum terjadi pada sebagian kecil area bawah Airless Tire, tepatnya antara lapisan rubber grip dengan lapisan shear band.

3.4 Safety factor



Gambar 6. Hasil *safety factor* *airless tire* tipe A (kiri) dan *airless tire* tipe B (kanan).

Faktor keamanan (*safety factor*) merupakan faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen mesin terjamin keamanannya dengan dimensi minimum. Dalam proses desain mesin, standar faktor keamanan tegangan yakni penentuan faktor keamanan berdasarkan yield strength. Nilai safety factor yang kurang dari satu menandakan bahwa terjadinya tegangan yang melebihi dari kemampuan materialnya, sehingga rancangan model tersebut bisa dikatakan tidak aman. Penentuan standar safety factor dapat beragam antara 1 – 5. Pada umumnya jika mesin atau rancangan model tersebut berkaitan atau berinteraksi dengan manusia maka digunakan safety factor yang tinggi. Pada Airless Tire tipe A didapatkan nilai safety factor sebesar 5,9526 dan Airless Tire tipe B sebesar 4,3784. Angka safety factor minimum dari kedua model tersebut dapat dikategorikan aman, karena tegangan yang terjadi masih cukup jauh dibawah yield strength dari masing-masing material.

4. Simpulan

Dari Analisa hasil simulasi *Airless Tire* tipe A dan *Airless Tire* tipe B yang meliputi *total deformation*, *equivalent stress*, *maximum principal stress*, dan *safety factor* dengan menggunakan geometri, dimensi, dan material tersebut, dapat disimpulkan bahwa *Airless Tire* tipe A lebih unggul dan aman digunakan. Model *Airless Tire* tipe A sangat cocok untuk dilakukan pengembangan produk lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dan dapat direalisasikan untuk kedepannya.

Daftar Pustaka

- [1] Agus. M., dkk, 2018, Rancang Bangun Roda Tanpa Udara (*Airless Tyre*) Untuk Beban Maksimal Kendaraan 40.000 N, Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro, Vol. 7, No. 2.
- [2] Chaerul. Q. A. M., dkk, 2023, Perbandingan Performa Ban *Airless* Dengan Ban Pneumatik Pada Skuter Elektrik, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, *Majamecha*, Vol. 5, No. 2.
- [3] Sandberg, U., 2020. *The Airless Tire: Will this revolutionary Concept be the Tire of the Future. Modern Concept in Material Science.*
- [4] Wisnu. A. P., 2018, Analisis Kekuatan Struktur Ban Tanpa Udara (*Airless Tire*) Dengan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Analysis*), Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- [5] Yusuf. K., 2023, *Static Structural Analysis* Pada Chassis Semi-Monocoque, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Tidar.



Studi Pengaruh Holding Time Pemanasan dan Temper pada Wire CHQ 10B21

Sesilia Novi Aryanti Sihotang^{1)*}, Melya Dyanasari Sembayang²⁾, Kimar Turnip³⁾

¹⁾ Mahasiswa Prodi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia

^{2,3)} Dosen Prodi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia

Abstrak

Studi ini menyelidiki pengaruh waktu penahanan selama pemanasan dan durasi temper terhadap kekerasan dan struktur mikro material wire CHQ 10B21, dengan fokus pada signifikansinya bagi industri fastener. Melalui eksperimen terkontrol yang pada variasi waktu penahanan 30 menit, 45 menit, 60 menit dan durasi temper selama 60 menit dan 75 menit, penelitian ini menganalisis sifat mekanis dan perubahan struktur mikro pada kawat CHQ 10B21. Penelitian dilakukan pada produk fastener yang diproduksi dari raw material wire CHQ 10B21 yang kemudian dipanaskan pada temperatur 870°C selama variasi waktu tertentu kemudian diquenching pada oli dan dilakukan tempering pada 480°C selama variasi waktu tertentu. Temuan penelitian menunjukkan adanya korelasi langsung antara waktu penahanan, durasi temper, kekerasan, dan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada waktu tahan pemanasan lebih lama meningkatkan kekerasan dimana dengan pemanasan selama 60 menit menghasilkan kekerasan paling tinggi yaitu dari raw material sebelum pemanasan 14.0 HRC meningkat menjadi 29.0 HRC. Pula pada waktu tahan temper lebih lama akan meningkatkan keuletan material dimana dengan waktu tahan hardening 60 menit dan waktu temper 75 menit didapatkan nilai kuat tarik sebesar 891.91482 N/mm². Untuk struktur mikro yang terbentuk pada semua perlakuan panas adalah martensite temper dan pada bagian ulir terlihat perbedaan morfologi pada area surface dan core. Penelitian ini memberikan wawasan berharga untuk mengoptimalkan proses perlakuan panas dan strategi pemilihan material dalam industri fastener, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan kinerja dan efisiensi produk.

Kata kunci: CHQ 10B21, perlakuan panas, waktu tahan hardening, waktu temper, fastener

Abstract

This study investigates the influence of holding time during heating and tempering duration on the hardness and microstructure of CHQ 10B21 wire material, emphasizing its significance for the fastener industry. Through controlled experiments with varying holding times of 30 minutes, 45 minutes, and 60 minutes, and tempering durations of 60 minutes and 75 minutes, this research analyzes the mechanical properties and microstructural changes in CHQ 10B21 wire. The study was conducted on fastener products manufactured from CHQ 10B21 raw wire, which were then heated at 870°C for specific durations, quenched in oil, and tempered at 480°C for varying periods. The findings indicate a direct correlation between holding time, tempering duration, hardness, and microstructure. Results showed that longer heating holding times increased hardness, with a 60-minute heating duration resulting in the highest hardness increase from 14.0 HRC in the raw material to 29.0 HRC. Additionally, longer tempering durations enhanced material ductility, with a holding time of 60 minutes and a tempering duration of 75 minutes yielding a tensile strength of 891.91482 N/mm². The microstructure formed in all heat treatments was tempered martensite, with morphological differences observed between the surface and core areas of the threads. This study provides valuable insights for optimizing heat treatment processes and material selection strategies in the fastener industry, ultimately contributing to enhanced product performance and efficiency.

Keywords: CHQ 10B21, heat treatment, hardening holding time, tempering duration, fastener.

1. Pendahuluan

Permintaan produksi otomotif terus meningkat seiring inovasi teknologi, yang mendorong kebutuhan komponen kendaraan seperti baut. Baut merupakan elemen penting dalam kendaraan bermotor, dan penggunaannya yang tidak sesuai dapat menyebabkan kegagalan struktural, berdampak negatif pada keselamatan dan kinerja kendaraan.

Baut pada kendaraan otomotif berfungsi untuk menggabungkan atau menyambung dua atau lebih bagian.[1] Pada penggunaannya sebagai penggabung dua bagian, baut harus dapat menahan beban tanpa mengalami deformasi. Sehingga baut harus memiliki sifat keras dan kuat. Selain itu baut harus memiliki

ketahanan terhadap aus terutama di bagian ulir, ketahanan terhadap keletihan dan ketahanan terhadap korosi.

Untuk memastikan komponen otomotif berkualitas tinggi, pemilihan material yang tepat dan optimasi proses produksi sangat diperlukan.

Salah satu material unggulan untuk pembuatan baut adalah baja cold heading quality (CHQ) seperti SWRCH35K, SAE 10B21, dan SAE 10B28.

Material dengan paduan boron seperti SAE 10B21 menunjukkan peningkatan kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan material terhadap retak rapuh, abrasi, dan korosi [2] sehingga cocok menjadi raw material proses pembuatan baut otomotif karena memiliki sifat keras dan kuat. Namun karena memiliki presentasi karbon yang rendah, material SAE 10B21 memiliki

*Korespondensi: Tel./Fax.: 087804022168

E-mail: sesilianaryanti@gmail.com

♥Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia 2024

keterbatasan konsistensi sehingga optimalisasi proses perlu dilakukan.[3,5]

Kekuatan baja paduan rendah karbon dapat ditingkatkan melalui precipitation-strengthening dan grain-strengthening. Para engineer dan para peneliti banyak berfokus pada cara untuk memaksimalkan ketangguhan tanpa mengurangi kekuatan.[4]

Martensit adalah salah satu fase utama pada baja yang memiliki kekuatan tinggi dengan presentase karbon rendah. Perlakuan panas hardening kemudian proses quenching mengakibatkan terjadinya dislokasi dengan kepadatan tinggi di dalam laths martensit yang dapat berkontribusi pada penguatan batas butir, penguatan presipitasi, dan penguatan solid-solution.[6,7] Pada penelitian Yang & Wang didapatkan bahwa kondisi pemanasan sferoidisasi berbeda menghasilkan variasi signifikan terhadap sifat mekanik baut seperti kekuatan tarik, ductility, dan kekerasan dimana temperatur anealing pada 680°C, waktu tahan pemanasan selama 5 jam menghasilkan tensile strength dan ductility terbaik.[8] Namun, martensit menjadi sangat keras dan rapuh setelah proses quenching yang disebabkan penguatan solid-solution karbon. Oleh karena itu, diperlukan proses tempering setelah quenching untuk meningkatkan ketangguhannya. [9]

Penelitian yang mengamati pengaruh parameter perlakuan panas hardening dan tempering oleh Zheng et.al didapatkan bahwa suhu hardening dan waktu tempering berpengaruh pada struktur mikro, kandungan austenit sisa, dan konsentrasi karbon akhir. [10,11,12] Pengaruh tempering pada suhu dan waktu berbeda oleh Dong et al. menunjukkan variasi terhadap kekuatan baja dan perpanjangan dan penyusutan baja.[13]

Penelitian ini fokus pada pengaruh waktu tahan pemanasan dan waktu tempering pada baja CHQ 10B21 untuk mengoptimalkan sifat mekanis material. Hasilnya diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan kinerja produk baut, serta memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan teknologi perlakuan panas baja 10B21.

2. Metode Penelitian

2.1. Material

Sampel pengujian seperti ditunjukkan pada Gambar 1 adalah baut M10 x 48 DR yang dibuat dari raw material SAE 10B21 sebelum heat treatment



Gambar 1 BOLT M10 x 48 DR SAE 10B21

Adapun dengan komposisi kimia yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia SAE 10B21

Komposisi Kimia (%)							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	B
0.212	0.203	0.758	0.0069	0.0038	0.151	0.013	0.0017
							AVERAGE HARDNESS

Sampel baut dilakukan perlakuan panas pada oven pada temperatur hardening 870°C selama variasi waktu 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Setelah hardening sampel akan di quenching dalam media oli selama 10 menit setelah itu sampel di panaskan kembali pada temperatur tempering 480°C selama variasi waktu tempering 60 menit dan 75 menit. Sampel yang sudah dilakukan perlakuan panas kemudian diuji.

2.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan adalah metode pengujian Rockwell. Pengujian Rockwell menentukan kekerasan dengan menekan penetrator ke dalam benda kerja menggunakan beban tertentu. Nilai kekerasan dihitung berdasarkan perbedaan kedalaman indentasi antara beban besar dan kecil. Pengujian Rockwell C menggunakan penetrator Spheroidal Diamond dengan sudut puncak 102°, beban minor 10 kg, dan beban mayor 150 kg. Pengujian ini cepat dan langsung mengukur kekerasan, ideal untuk benda kerja yang telah mengalami pengerasan.

2.3 Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik sampel yang telah mengalami perlakuan panas, memastikan produksi baut memenuhi standar HES D3211-99. Sampel uji dipasang pada jig yang sesuai sehingga sekitar 6 P (P = pitch) ulir tetap ada di sisi kepala baut berulir eksternal. Beban tarik ditambahkan perlahan-lahan dalam arah aksial untuk memeriksa kekuatan tarik dan bagian yang patah selama pengujian. Bagian pegangan produk uji harus self-aligning untuk menghindari gaya horizontal, dan kecepatan kepala silang tanpa beban tidak boleh melebihi 25 mm/menit.

2.4 Pengujian Mikrostruktur

Mikroskop optik digunakan dalam uji metalografi untuk mengamati struktur mikroskopis material. Mikroskop optik yang dipakai adalah Olympus BX51M dengan pembesaran dilakukan 500x untuk bagian body sampel dan 50x untuk ulir.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kekerasan

Kekerasan tiap sampel yang sudah diuji ditunjukkan pada Gambar 2.



tH = waktu hardening
tT = waktu tempering

Gambar 2 Grafik kekerasan material pada berbagai perlakuan panas

Terlihat pada Gambar 2 dimana proses hardening dengan waktu tahan lebih lama didapatkan nilai kekerasan yang meningkat. Nilai kekerasan tertinggi dihasilkan pada waktu tahan 60 menit yaitu sekitar 29.0 HRC dari raw material dengan nilai kekerasan 14.0 HRC.

3.2. Kuat Tarik

Nilai kuat tarik dari pengujian ditunjukkan pada Gambar 3

tH = waktu hardening
tT = waktu tempering

Gambar 3 Grafik nilai kuat tarik pada berbagai perlakuan panas

Terlihat pada Gambar 3 dengan perbedaan waktu tahan tempering pada material dihasilkan sifat yang berbeda. Perlakuan tempering dapat meningkatkan keuletan material dimana terlihat dengan proses tempering nilai kekuatan tarik material meningkat. Dimana kekuatan tarik terbesar adalah pada material dengan waktu tahan pemanasan 60 menit dan tempering 75 menit yaitu sekitar 891.915 N/mm²

Untuk mengetahui pengaruh dari hardening dan tempering pada berbagai perlakuan panas terlihat pada Gambar 4.

tH = waktu hardening
tT = waktu tempering

Gambar 4 Grafik Gabungan Kekerasan dan Kuat Tarik pada Berbagai Perlakuan Panas

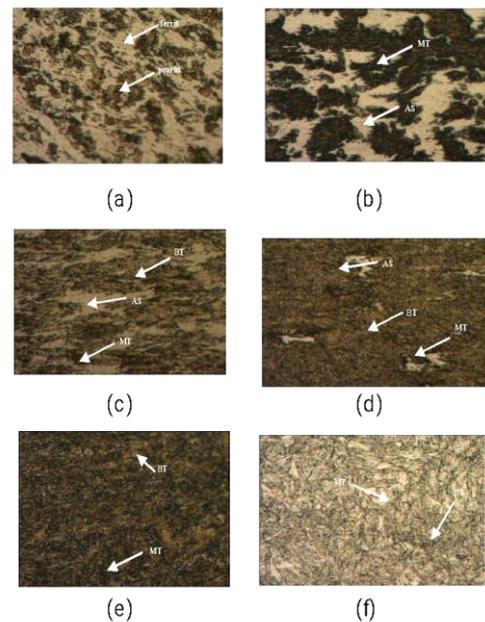
Perbedaan waktu tahan tempering selama 75 menit dibandingkan dengan 60 menit menghasilkan tempering yang lebih menyeluruh. Ini mengurangi

tegangan internal, sedikit meningkatkan keuletan, dan sedikit menurunkan kekerasan. Waktu tempering yang lebih lama memungkinkan lebih banyak presipitasi karbida dan stabilisasi martensit, meningkatkan keuletan dan mengurangi kerapuhan. Pada Gambar 4.8, terlihat bahwa pada perlakuan hardening selama 45 menit, kekerasan menurun dari 24.6 HRC pada tempering 60 menit menjadi 24.0 HRC pada 75 menit. Namun, kekuatan tarik lebih besar pada 75 menit dibandingkan 60 menit.

Sebaliknya, pada sampel dengan waktu pemanasan 30 menit, kekerasan meningkat dari 16.6 HRC pada tempering 60 menit menjadi 18.0 HRC pada 75 menit, dan kekuatan tarik naik dari 598.038 N/mm² menjadi 673.416 N/mm². Hal ini disebabkan oleh perubahan mikrostruktur selama tempering, di mana martensit berubah menjadi martensit temper dan mengendapkan karbida. Waktu tempering yang lebih lama memungkinkan pembentukan karbida yang lebih stabil, meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik. Kehadiran elemen paduan seperti boron, karbon, dan mangan dalam baja 10B21 mendukung transformasi ini dan berkontribusi pada sifat mekanik yang dihasilkan.

3.4. Mikrostruktur

Perubahan struktur material wire CHQ 10B21 diamati dengan mikroskop optik pada perbesaran 500x, seperti terlihat pada Gambar 5.



tH = waktu hardening
tT = waktu tempering

Gambar 4.9 Foto Mikrostruktur material CHQ 10B21 pada berbagai perlakuan panas (a) Raw Material (b) tH : 30'; tT : 60' (c) tH : 30'; tT : 75' (d) tH : 45'; tT : 60' (e) tH : 45'; tT : 75' (f) tH : 60'; tT : 75'

Pada pemanasan hingga 870°C, struktur mikro (ferrite dan pearlite) berubah menjadi austenite yang mampu melarutkan lebih banyak karbon. Setelah austenisasi, material didinginkan cepat di oli (quenching),

membentuk martensit yang keras tetapi rapuh. Tempering pada 480°C mengurangi kekerasan martensit dan meningkatkan ketangguhan dengan merelaksasi tegangan internal dan membentuk tempered martensite, campuran ferrite dan karbida halus.

Mikrostruktur raw material CHQ 10B21 sebelum perlakuan panas didominasi oleh ferrit dan pearlite, seperti terlihat pada Gambar 5(a). Setelah hardening selama 30 menit dan tempering selama 60 menit, terbentuk martensit temper dan austenit sisa, seperti pada Gambar 5(b). Pada tempering selama 75 menit, terjadi pengurangan tegangan internal, peningkatan keuletan, dan penurunan kekerasan dengan lebih banyak presipitasi karbida, seperti terlihat pada Gambar 5(c). Sampel dengan hardening selama 45 menit dan tempering selama 60 dan 75 menit menunjukkan struktur martensite temper dan bainite temper yang lebih homogen pada Gambar 5(d) dan (e). Struktur homogen ini memberikan kekerasan dan kekuatan yang lebih baik. Material dengan hardening selama 60 menit dan tempering selama 75 menit menghasilkan struktur paling homogen dan sifat mekanik terbaik, dengan bainite temper dan martensit temper yang jelas terlihat pada Gambar 5(f).

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data, kesimpulan studi perlakuan panas pada material CHQ 10B21 adalah sebagai berikut:

1. Perlakuan panas dengan hardening diikuti tempering signifikan mengubah struktur mikro dan sifat mekanis material. Kekerasan meningkat dari 14 HRC awal menjadi 29 HRC setelah hardening 60 menit.
2. Proses tempering menghasilkan tempered martensite yang meningkatkan kekuatan tarik hingga mencapai 891.915 N/mm² dengan tempering 75 menit.
3. Material CHQ 10B21 setelah perlakuan panas ini cocok untuk aplikasi dengan beban tinggi seperti pada ulir baut, dengan waktu hardening 60 menit dan tempering 75 menit sebagai kondisi optimal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada semua pihak yang sudah membantu dalam penulisan jurnal ini.

Daftar Pustaka

- [1] H Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (2001). *Mechanical Engineering Design* (7th ed.). McGraw-Hill.
- [2] Simcoe, C. R., Elseo, A. R., & Manning, G. K. (1955). Study of the Effect of Boron on The Decomposition of Austenite. *JOURNAL OF METALS TRANSACTION AIME*, 193–199.
- [3] Madhuri, V., Gobinath, R., & Balachandran, G. (2019). Effect of Carbon on the Microstructure and Mechanical Properties in Wire Rods Used for the Manufacture of Cold Heading Quality Steels. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 72(1), 155–166. <https://doi.org/10.1007/s12666-018-1470-1>

[4] Hutchinson, B., Hagström, J., Karlsson, O., Lindell, D., Tornberg, M., Lindberg, F., & Thuvander, M. (2011). Microstructures and hardness of as-quenched martensites (0.1-0.5%C). *Acta Materialia*, 59(14), 5845–5858.

<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2011.05.061>

[5] Ning, D., Dai, C. R., Wu, J. L., Wang, Y. D., Wang, Y. Q., Jing, Y., & Sun, J. (2021). Carbide precipitation and coarsening kinetics in low carbon and low alloy steel during quenching and subsequently tempering. *Materials Characterization*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2021.111111>

[6] Yahyai, M., Nasir, K., Rezaeian, A., Kodur, V. R., Eslami, M., Kodur, V., & Poormohamadi, A. (2016). Post-Fire Mechanical Properties of High Strength Grade 8.8 Steel Bolts. <https://www.researchgate.net/publication/310325398>

[7] Inoue, J., Sadeghi, A., & Koseki, T. (2018). Slip Band Formation at Free Surface of Lath Martensite in Low Carbon Steel. *Acta Materialia*. doi:10.1016/j.actamat.2018.11.026

[8] Yang, C. C., & Wang, S. T. (2018). Improvement of mechanical properties of spheroidized 10B21 steel coil using Taguchi method of robust design. *Sensors and Materials*, 30(3), 503–514. <https://doi.org/10.18494/SAM.2018.1755>

[9] Yen, H. W., Chiang, M. H., Lin, Y. C., Chen, D., Huang, C. Y., & Lin, H. C. (2017). High-temperature tempered martensite embrittlement in quenched-and-tempered offshore steels. *Metals*, 7(7). <https://doi.org/10.3390/met7070253>

[10] Chen, K. J., Hung, F. Y., Lui, T. S., & Tseng, C. H. (2018). Effects of tempered microstructure and hydrogen concentration on hydrogen-induced embrittlement susceptibility of 10B21 screws at low temperature. *Materials Transactions*, 59(7), 1124–1129. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2017342>

[11] Zheng, H., Wu, K. M., Isayev, O., Hress, O., Yershov, S., & Tsepelev, V. (2019). Effect of heat treatment parameters on the microstructure of quenching–partitioning–tempering steel. *Heat Treatment and Surface Engineering*, 1(1–2), 83–86. <https://doi.org/10.1080/25787616.2018.1560168>

[12] Chen, X., & Hou, Y. (2023). Effect of heat treatment on microstructure and properties of 10B21 cold-heading steel for fasteners. *Vibroengineering Procedia*, 50, 213–217. <https://doi.org/10.21595/vp.2023.23479>

[13] Dong, Q., Lu, H., Wang, Y., Yang, X., Zhang, L., & Dong, H. (2024). The Influence of Strain Aging at Different Temperatures on the Mechanical Properties of Cold-Drawn 10B21 Steel Combined with an Electron Microscope Study of the Structures. *Materials*, 17(4). <https://doi.org/10.3390/ma17040826>



Sesilia Novi Aryanti Sihotang
menempuh pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Kristen Indonesia. Saat ini ia bekerja di salah satu pabrik komponen otomotif sehingga topik penelitian berkaitan dengan improvement di industri menjadi concern utama.

Analisa Pengaruh *Holding Time Tempering* Terhadap Struktur Kristal, Kekerasan Dan Kuat Tarik Pada Material JSH270C

Dikky Antonius^{1)*}, Matus Noveanto²⁾, Bantu Hotsan Manulang³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia, Cawang, Jakarta Timur.

Abstrak
<p>JSH270C (SPHC) merupakan jenis baja yang dikenal dengan kekuatan yang sangat tinggi, kemampuan pengerasan yang baik, ketangguhan, keuletan, dan daya tahan yang tinggi. Pada tugas akhir ini, penulis meneliti pengaruh waktu penahanan selama proses <i>tempering</i> pada temperatur konstan terhadap baja karbon rendah JSH270C (SPHC). Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif, dengan menggabungkan pendekatan deskriptif dan studi eksperimental. Pengujian yang dilakukan meliputi pengamatan struktur kristal menggunakan difraktometer sinar-X, dan melakukan uji kekerasan dan uji tarik dengan metode <i>Brinell</i>. Hasilnya menunjukkan bahwa kekerasan material meningkat dari 96,99 HB menjadi 116,27 HB setelah proses quenching dengan oli, tetapi menurun secara signifikan menjadi 86,21 HB setelah temper pada suhu 400°C selama 1 jam. Ukuran kristal berkurang dari 11,721 nm menjadi 9,877 nm setelah 3 jam <i>tempering</i>. Selain itu, kerapatan dislokasi meningkat dari 0,048 garis/mm² menjadi 0,339 garis/mm² setelah 3 jam <i>tempering</i>, dan regangan kisi meningkat dari 0,024 ε menjadi 0,065 ε setelah 1 jam <i>tempering</i>.</p> <p><i>JSH270C(SPHC), tempering, kekerasan, struktur kristal, quenching</i></p>
Abstract
<p>JSH270C (SPHC) is a type of steel known for its very high strength, good hardenability, toughness, ductility, and high durability. In this final project, the author examines the effect of holding time during the tempering process at a constant temperature on JSH270C (SPHC) low carbon steel. This study employs quantitative research methods, combining descriptive approaches and experimental studies. The tests include observing the crystal structure using an X-ray diffractometer, and conducting hardness and tensile tests using the Brinell method. The results show that the hardness of the material increased from 96.99 HB to 116.27 HB after the quenching process with oil, but significantly decreased to 86.21 HB after tempering at 400°C for 1 hour. The crystal size reduced from 11.721 nm to 9.877 nm after 3 hours of tempering. Additionally, the dislocation density increased from 0.048 lines/mm² to 0.339 lines/mm² after 3 hours of tempering, and the lattice strain rose from 0.024 ε to 0.065 ε after 1 hour of tempering.</p> <p>Keywords: JSH270C (SPHC), tempering, hardness, crystal structure, quenching.</p>

1. Pendahuluan

Kemajuan dunia teknologi saat ini tergolong sudah sangat pesat, terutama dari segi kualitas material pembentuk suatu komponen dari teknologi yang diciptakan. Dunia industri otomotif yang berfokus pada pembuatan komponen kendaraan roda dua contohnya, banyak perusahaan yang bergerak dibidang ini yang berlomba-lomba dalam menciptakan barang atau komponen yang dapat bersaing dalam segi kualitas agar dapat memuaskan keinginan dari para pelanggan. Untuk menciptakan barang yang berkualitas, salah satu unsur penunjangnya adalah penggunaan material yang tepat baik itu dari segi fungsi maupun lama pakai (*lifetime*).

Salah satu komponen yang ada pada kendaraan roda yaitu *joint exhaust comp*, dimana komponen ini berfungsi untuk menyambungkan antara *exhaust comp* dengan *block cylinder* pada. Material yang digunakan dalam pembuatan komponen ini yaitu JSH270C(SPHC), dimana karakteristik dari material ini memiliki daya tarik tinggi juga daya tahan yang bagus terhadap deformasi sehingga cocok untuk komponen yang memerlukan kestabilan dan ketahanan terhadap tekanan.

Baja SPHC ini memiliki kandungan karbon maksimum 0,15%, dimana baja karbon ini termasuk kedalam baja karbon rendah. Baja karbon ini tidak sesuai untuk pengaplikasian yang membutuhkan ketahanan terhadap suhu tinggi, kekuatan yang tinggi serta ketahanan terhadap korosi yang tinggi. Maka dari itu diperlukan perlakuan khusus seperti perlakuan panas (*heat treatment*). Proses pengerjaan baja sangat bergantung pada perlakuan panas untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan sifat mekanis yang diinginkan, seperti kekerasan. Untuk mencapai sifat-sifat ini, diperlukan metode pemanasan dan pendinginan yang tepat. Untuk mencapai kelenturan dan keuletan yang diperlukan, penting untuk mengontrol suhu pemanasan dan waktu penahanan selama temper. Selain itu, membandingkan sifat mekanik dan struktur kristal sebelum dan sesudah pemanasan, yang dipengaruhi oleh waktu penahanan, sangatlah penting.

Pada penelitian yang berjudul "*Analisa Pengaruh Holding Time Tempering Terhadap Kekerasan, Keuletan, Ketangguhan dan Struktur Kristal Pada Baja ST 70*" menggunakan sampel baja ST 70 diketahui kekerasan, kekuatan tarik,

*Korespondensi: Tel./Fax.: 085712003295
E-mail: noveanto.nugroho@gmail.com

ketangguhan impact, dan perubahan struktur kristal baja karbon sedang ST 70 dinilai setelah perlakuan panas temper untuk aplikasi praktis. Prosedurnya meliputi pendinginan baja pada suhu 800°C selama 30 menit, diikuti dengan temper pada suhu 450°C selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Temuan menunjukkan bahwa baja ST 70 yang ditempering selama 1 jam memiliki nilai kekerasan tertinggi, menunjukkan peningkatan 25,85% dibandingkan dengan baja ST 70 yang tidak ditempering. Kekuatan tarik maksimum diamati pada baja ST 70 yang dikeraskan selama 3 jam, dengan peningkatan 38,60% dibandingkan dengan baja yang tidak diberi perlakuan. Ketangguhan impact tertinggi ditemukan pada baja ST 70 yang dikeraskan selama 2 jam, meskipun ada penurunan 45,01% dalam nilai impact dibandingkan dengan baja yang tidak diberi perlakuan.[1]

Dalam penelitian yang berjudul "Pengaruh Variasi Temperatur pada Proses *Self Tempering* dan Variasi Waktu Penahanan pada Proses *Tempering* terhadap Sifat Mekanik Baja AISI 4140", material awalnya dipanaskan hingga 800°C dan ditahan selama 14 dan 28 menit, dengan menggunakan oli SAE 20 sebagai media pendingin. Selama proses *tempering*, baja dipanaskan hingga 200°C dan ditahan selama 30 dan 120 menit. Sebaliknya, untuk proses *self-tempering*, baja dipanaskan hingga 800°C dengan waktu penahanan selama 14 dan 28 menit, diikuti dengan pendinginan hingga temperatur 200°C, 450°C, dan 600°C. Nilai kekerasan tertinggi yang tercatat selama tempering adalah 50,1 HRC dengan waktu penahanan 120 menit, sedangkan selama self-tempering, kekerasan maksimum yang dicapai adalah 29,68 HRC pada suhu 200°C. Ketangguhan puncak yang diamati selama temper mencapai 0,341 J/mm² dengan waktu penahanan 120 menit, sedangkan *self-tempering* menghasilkan ketangguhan tertinggi 0,375 J/mm² pada suhu 600°C. Mengenai laju korosi, yang tertinggi yang tercatat selama temper adalah 0,055 mpy dengan waktu penahanan 30 menit, sedangkan selama *self-tempering*, laju korosi maksimum adalah 0,0388 mpy pada suhu 450°C.[3]

Penelitian yang berjudul "Pengaruh Proses *Quenching* dan *Tempering* dengan Variasi Waktu Penahanan 10, 30, dan 60 Menit terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Kristal Baja Karbon Sedang" ini mengeksplorasi pengaruh tempering pada suhu 350°C dengan waktu penahanan 10, 30, dan 60 menit terhadap nilai kekerasan dan struktur kristal baja karbon sedang yang telah melalui proses *quenching* dengan pendinginan air. *Tempering* biasanya digunakan untuk meningkatkan keuletan baja. Dalam penelitian ini, sampel baja karbon sedang berukuran 30 mm x 30 mm dengan ketebalan 5 mm digunakan. Nilai kekerasan yang tercatat adalah 26,1 HRC, 30,4 HRC, dan 26,9 HRC untuk waktu penahanan 10, 30, dan 60 menit. Awalnya, bahan baku menunjukkan kekerasan 42,5 HRC, yang menurun menjadi 39,3 HRC setelah pendinginan. Temuan ini menunjukkan bahwa *tempering* mengubah fasa martensit yang terbentuk selama *quenching*

menjadi martensit temper, yang memiliki kekerasan lebih rendah.[5]

Penelitian ini dibuat dengan tujuan untuk mengetahui struktur kristal, kekerasan dan kuat Tarik pada material SPHC terhadap variasi *holding time tempering*. Untuk alur prosesnya yaitu diawali dengan proses *hardening* dengan suhu 800°C dengan waktu 1 jam dan dilanjutkan dengan proses *tempering*. Variasi waktu tahan yang digunakan yaitu 1 jam, 2 jam dan 3 jam dengan suhu tempering 450°C.

2. Metode Penelitian

2.1 Material

Material yang digunakan untuk penelitian adalah material baja karbon menengah JSH270C (SPHC). Komposisi Kimia dari Baja JSH270 (SPHC) berdasarkan standar JIS G3131 yaitu Karbon (C) 0,15% Max, Fosfor (P) 0,05% Max, Mangan (Mn) 0,6% Max, Sulphur (S) 0,05% Max.



Gambar 2.1 Alat pemanas

2.2 Metode Penelitian

Raw material baja JSH270 (SPHC) berbentuk *sheet* di potong menjadi 8 bagian untuk mendapatkan sampel pada setiap variasi *holding time tempering*. Perlakuan panas berada di suhu 800°C dengan waktu penahanan 1 jam, 2 jam dan 3 jam dengan media pendingin yaitu oli. Pengujian yang diterapkan pada spesimen terdiri dari 3 macam, yaitu uji struktur kristal dengan alat uji XRD, uji kekerasan dengan metode *Brinell* dan uji kuat Tarik dengan konversi dari nilai kekerasan.

2.3 Pengujian Spesimen

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kekerasan metode *Brinell* dengan standar ASTM E10, pengujian struktur kristal dengan alat difraktometer sinar X dan uji tarik dikonversi dari nilai kekerasan metode *brinell*. Pengujian struktur kristal dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction*. Pengujian ini akan mendapatkan ukuran kristal, kerapatan dislokasi, dan regangan kisi. Dengan menggunakan persamaan *Derby Scherrer* Untuk menghitung ukuran kristal menggunakan persamaan *Debye-Scherrer*, yang rumusnya adalah:

$$D = \frac{K \times \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Untuk menentukan nilai kerapatan dislokasi dipakai rumus:

$$\rho = \frac{1}{D^2} \quad (2)$$

Sedangkan dalam penentuan nilai regangan kisi dipakai rumus:

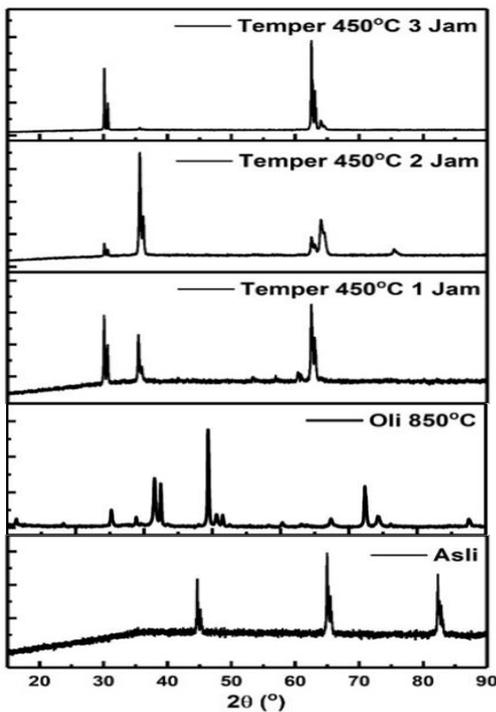
$$\epsilon = \frac{\beta}{4 \tan \theta} \quad (3)$$

Keterangan:

- D = Diameter.kristalit (nm)
- ϵ = Regangan.Kisi
- ρ = Kerapatan.Dislokasi (garis/mm²)
- K = Faktor bentuk.dari kristal (0,9-1)
- β = Nilai dari.Full Width.at Half Maximum (FWHM) (rad)
- λ = Panjang gelombang dari sinar-X (1,54056 Å)
- θ = Sudut difraksi (derajat)

3. Hasil dan Pembahasan

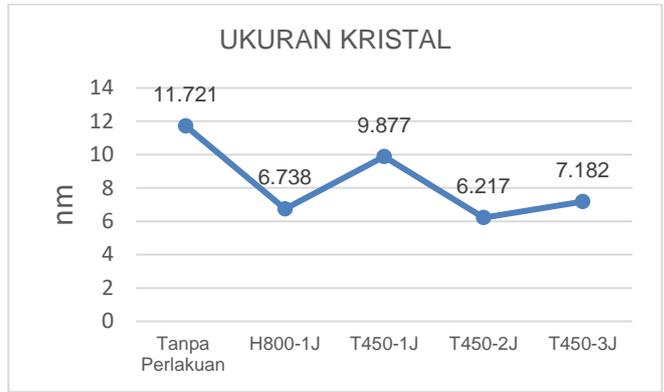
3.1. Pengujian Struktur Kristal



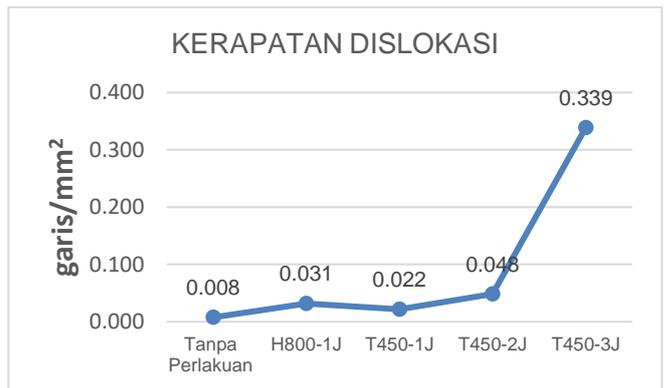
Gambar 3.1 Difraktogram Sinar-X dari Baja S45C dan Perlakuan Panas

Tabel 3.1 Nilai rata-rata dari 5 Spesimen

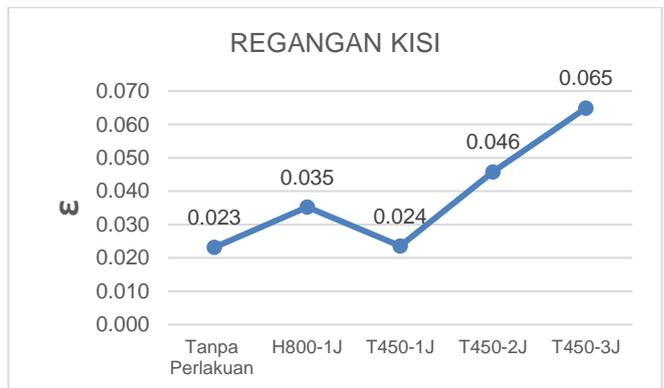
No	Kode Spesimen	D Ukuran Kristal(nm)	ϵ Regangan Kisi	ρ Kerapatan Diskolasi (garis/mm ²)
1	Tanpa Perlakuan	11,721	0,023	0,008
2	H800-1J	6,738	0,035	0,031
3	T450-1J	9,877	0,024	0,022
4	T450-2J	6,217	0,046	0,048
5	T450-3J	7,182	0,065	0,339



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Ukuran Kristal Terhadap Quenching dan Holding Time Tempering



Gambar 3.3 Grafik Hubungan Kerapatan Dislokasi Terhadap Quenching dan Holding Time Tempering



Gambar 3.4 Grafik Hubungan Regangan Kisi Terhadap Quenching dan Holding Time Tempering

Berdasarkan data tersebut, perubahan ukuran kristal sebelum dan sesudah perlakuan panas dapat diamati. Gambar 3.2 menunjukkan adanya penurunan ukuran kristal setelah baja karbon rendah JSH270C (SPHC) mengalami proses *quenching* pada temperatur 800°C selama 1 jam dengan menggunakan oli sebagai media pendingin. Perubahan ini disebabkan oleh regangan mikro kisi dan deformasi plastis baja paduan rendah JSH270C (SPHC), yang terutama terjadi melalui proses dislokasi kembar dan slip. Selain itu, proses *quenching* pada baja JSH270C (SPHC) tidak menyebabkan regangan butir melainkan mengubah rotasi kisi kristal. Kristalit dapat terbentuk dari pergeseran kisi kristal, karena perlakuan panas *quenching* menyebabkan difusi atom pada batas butir, yang menyebabkan peningkatan ukuran kristal.

Regangan kisi dan kerapatan dislokasi menunjukkan pola perubahan yang serupa, terus

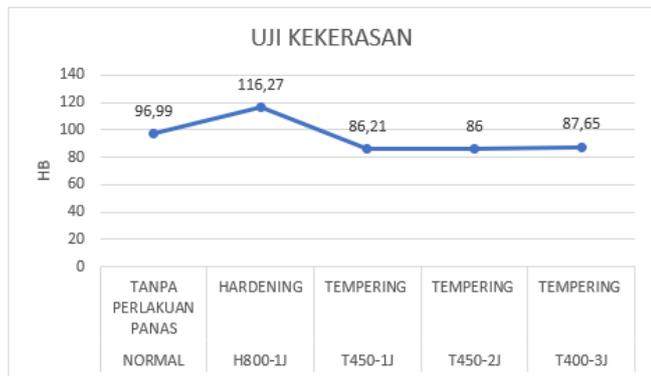
meningkat sebelum dan sesudah proses temper. Perubahan ini menunjukkan bahwa nilai regangan kisi dan kerapatan dislokasi dapat berlipat ganda.

Gambar 3.2, 3.3 dan 3.4 mengilustrasikan grafik yang menunjukkan bahwa peningkatan waktu penahanan selama perlakuan panas temper menghasilkan penyempitan puncak difraksi, yang mengindikasikan penurunan nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pertumbuhan butir pada baja dapat diamati, dengan waktu penahanan yang lebih lama yang sesuai dengan peningkatan kerapatan dislokasi. Kepadatan dislokasi yang meningkat ini dapat menyebabkan peningkatan tegangan sisa, yang kemudian meningkatkan kekuatan luluh dan menimbulkan lebih banyak cacat garis.

3.2 Pengujian Kekerasan

Tabel 3.2 Nilai hasil Uji Kekerasan 5 Spesimen dengan Skala *Brinell*

No	Kode Spesimen	Proses Heat Treatment	Titik Uji Kekerasan Brinell		Rata-Rata
			1	2	
1	Tanpa Perlakuan	Tanpa Perlakuan Panas	96,53	97,45	96,99 HB
2	H800-1J	<i>Hardening</i>	115,23	117,31	116,27 HB
3	T450-1J	<i>Tempering</i>	85,00	87,42	86,21 HB
4	T450-2J	<i>Tempering</i>	86,10	85,90	86,00 HB
5	T450-3J	<i>Tempering</i>	88,62	85,90	86,00 HB



Gambar 3.5 Grafik Variasi Waktu Tahan *Tempering* Terhadap Nilai Kekerasan

Gambar 3.5 mengilustrasikan hasil analisis yang menyoroti perbedaan kekerasan akibat variasi media pendingin selama *quenching*. Sebagai contoh, pada H800-1J, *quenching oil* digunakan sebagai media pendingin, menghasilkan kekerasan 116,27 HB dan pembentukan struktur mikro martensit. Teksturnya menunjukkan butiran dan serat yang sangat halus, yang mengindikasikan kekerasan tinggi dan ketangguhan rendah, khas struktur martensit. Namun demikian, struktur *martensit* rentan terhadap kerapuhan, sehingga menghadirkan kelemahan.

Gambar 3.5 menampilkan hasil uji kekerasan untuk rata-rata yang berbeda dari sampel baja paduan rendah JSH270C (SPHC) yang ditempering pada suhu konstan 450°C dengan waktu yang bervariasi yaitu 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Data menunjukkan bahwa memperpanjang waktu temper hingga 3 jam menyebabkan peningkatan kekerasan kecil (dari 405 HB menjadi 324 HB). Namun, ada penurunan kekerasan yang mencolok dibandingkan dengan

sampel baja paduan rendah JSH270C (SPHC) setelah pendinginan dalam oli. Penurunan kekerasan ini terjadi karena *tempering* setelah *quenching* secara umum menurunkan kekerasan baja JSH270C (SPHC). Efek ini terlihat dari perbandingan ukuran kristal yang lebih kecil dan peningkatan kerapatan perubahan warna dan regangan kisi. Perlakuan ini mengubah struktur kekerasan baja JSH270C (SPHC). Proses perlakuan panas *tempering* baja paduan rendah JSH270C (SPHC) dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanik setelah *hardening*. (Okta Kurniawan, 2020)

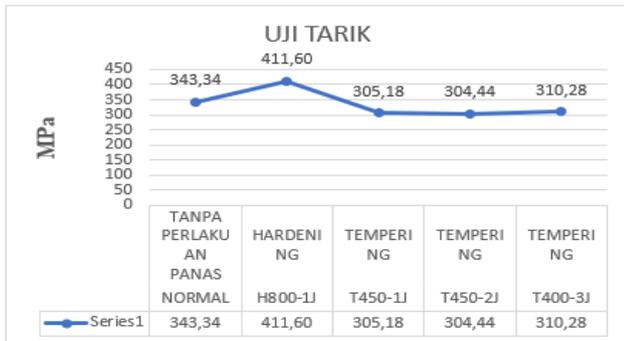
Tempering pada suhu yang konsisten 450°C selama 1 jam mengurangi kekerasan hingga 86,21 HB karena transformasi martensit menjadi bainit atas. Perpanjangan waktu hingga 2 jam semakin menurunkan kekerasan hingga 86 HB karena butiran pada fase bainit atas menjadi kasar. Namun, dengan periode temper 3 jam, kekerasan sedikit meningkat menjadi 87,65 HB karena perlit dan ferit terbentuk, menghasilkan campuran ferit-perlit dan fase bainit atas. Perlakuan panas secara signifikan mempengaruhi kekerasan material. Elemen paduan meningkatkan kemampuan pengerasan baja dan mencegah pengurangan kekerasan selama temper, terutama pada suhu yang lebih tinggi. Elemen paduan *kromium* (Cr) dan *molibdenum* (Mo) meningkatkan kekerasan dan menangkalkan kehilangan kekerasan dengan mengendapkan karbida.

Unsur paduan nikel (Ni) dan mangan (Mn) dapat meningkatkan kekerasan melalui pengerasan larutan padat ferrit. Namun, peningkatan ini tidak begitu signifikan dibandingkan dengan elemen paduan yang membentuk karbida (Ditri Mahbegi, 2016). Pada temperatur tempering yang tinggi dan waktu penahanan yang lama, pelarutan kembali elemen paduan mengurangi efek penguatannya. Selain itu, rendahnya persentase elemen paduan dalam spesimen baja berkontribusi pada penurunan kekerasan yang substansial selama proses temper, yang secara konsisten terus menurun dengan bertambahnya waktu temper.

3.3 Pengujian Kuat Tarik

Tabel 3.3 Data Hasil Konversi Kekuatan Tarik Skala *Brinell*

No	Kode Spesimen	Heat Treatment	Suhu (°C)	Waktu Penahanan (Jam)	Nilai Kekerasan (HB)	Koefisien	Kekuatan Tarik
1	Tanpa Perlakuan	Tanpa Perlakuan	-	-	96,99	3,54	343,34
2	H800-1J	<i>Quenching Oli</i>	800	1	116,27	3,54	411,60
3	T450-1J	<i>Tempering</i>	450	1	86,21	3,54	305,18
4	T450-2J	<i>Tempering</i>	450	2	86	3,54	304,44
5	T450-3J	<i>Tempering</i>	450	3	87,65	3,54	310,28



Gambar 3.6 Grafik Pengaruh *Holding Time Tempering Terhadap Kekuatan Tarik*

Sifat mekanik baja sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia dan struktur kristalnya. Penelitian ini menggunakan spesimen dengan komposisi kimia yang identik tetapi mengalami perlakuan panas yang bervariasi. Perlakuan ini meliputi pengerasan, pendinginan, dan temper pada suhu 800°C dan 450°C. Perlakuan panas yang berbeda menghasilkan struktur kristal yang berbeda, sehingga menyebabkan variasi dalam sifat mekanik spesimen.

Perlakuan panas tempering baja paduan rendah JSH270C (SPHC) dilakukan untuk meningkatkan sifat mekaniknya setelah pengerasan. Proses pengerasan melibatkan pendinginan oli, yang meningkatkan kekuatan tarik hingga 411,6 MPa. Saat *tempering* pada suhu 450°C selama 1 jam, kekuatan tarik menurun menjadi 305,18 MPa karena transformasi fase martensit menjadi bainit atas. Memperpanjang waktu temper hingga 2 jam semakin mengurangi kekuatan tarik menjadi 304,44 MPa, karena butiran fase bainit atas menjadi lebih kasar. Namun, dengan waktu temper 3 jam, kekuatan tarik meningkat menjadi 310,28 MPa. Peningkatan kekuatan tarik disebabkan oleh pembentukan ferit dan perlit, menghasilkan perpaduan fase bainit atas dan ferit-perlit. Perlakuan panas mengubah kekuatan tarik masing-masing spesimen. Biasanya, waktu penahanan yang lebih lama selama temper akan menurunkan kekuatan tarik, namun material tetap tahan terhadap kerapuhan.

4. Simpulan

Pada proses *tempering* terjadi perubahan sifat fisik dan sifat mekanik pada material baja JSH270C (SPHC) serta pada kekerasan dan kekuatan tarik pada baja mengalami penurunan kekerasan terbesar pada proses *tempering* 2 jam yaitu 86 HB dan kekuatan tarik juga terjadi penurunan terbesar pada proses *tempering* 2 jam 304,44 Mpa.

Pada struktur kristal, setelah proses *tempering* terjadi penurunan ukuran kristal terbesar pada proses *tempering* 2 jam 6,217 nm. Sebaliknya, pada kerapatan dislokasi nilainya mengalami kenaikan terbesar setelah proses *tempering* 3 jam dengan nilai 0,339 garis/mm². Demikian pula dengan regangan kisi mengalami kenaikan terbesar dengan nilai 0,065 pada *tempering* 3 jam.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan banyak terimakasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas Berkat-Nya juga kepada orang tua, kerabat-kerabat penulis, dosen pembimbing dan kepada seluruh pihak pendukung yaitu laboratorium Universitas Kristen Indonesia dan Universitas Indonesia yang telah menyediakan laboratorium untuk proses pemanasan dan pengujian mekanik sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Purnomo, D. J., Jokosisworo, S., & Budiarto, U. (2019). *Analisa Pengaruh Holding Time Tempering Terhadap Kekerasan, Keuletan, Ketangguhan dan Struktur Mikro Pada Baja ST 70*. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(1).
- [2] PURNOMO, P. (2023). *PENGARUH PERLAKUAN PANAS MULTI AUSTEMPERING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4140* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS LAMPUNG).
- [3] Sunardi, S., Fawaid, M., & HN, D. H. D. (2016). Pengaruh Variasi Suhu pada Proses Self Tempering dan Variasi Waktu Tahan pada Proses Tempering Terhadap Sifat Mekanis Baja AISI 4140. *VANOS Journal of Mechanical Engineering Education*, 1(1).
- [4] Ekasurya S, D. (2014). *Pengaruh Heat Treatment Tempering Dengan Variasi Holding Time Terhadap Sifat Mekanik Baja AAR M201 Grade B+*.
- [5] Alfianto, R. P. (2021). *Pengaruh Proses Quenching dan Tempering Dengan Variasi Holding Time 10, 30 dan 60 menit Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Sedang* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- [6] Abdul Choliq, Nur Rohmat, Silviana Simbolon. *Metalurgi Fisik*. Teknik Mesin. Universitas Pamulang. Indonesia. 2021.
- [7] Rasyad, A., & Budiarto, B. (2018). *Analisis Pengaruh Temperatur, Waktu, dan Kuat Arus Proses Elektroplating terhadap Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah*. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(3), 173-182.
- [8] Zayadi, A., & Setyawan, E. (2022). *Pengaruh Waktu Tempering terhadap Karakter Baja s45c Pasca Quenching pada 950oc dan Tempering 500 C*. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 7(1).
- [9] HD, A. N. S., & Widodo, S. (2018). *Peningkatan Sifat Mekanis Besi Cor Kelabu Melalui Proses Tempering*. *Journal of Mechanical Engineering*, 2(2), 8-17.

- [10] Harmaji, A., Korda, A. A., Ramadhan, R., & Pambudi, S. (2023). *Effect of Quenching Medium and Tempering Temperature on Microstructure and Hardness of JIS SUP 9 Steel: Pengaruh Media Pendingin dan Temperatur Tempering pada Mikrostruktur dan Kekerasan Baja JIS SUP 9*. *Journal of Renewable Energy and Mechanics*, 6(01).
- [11] Jourdy Praditya, *Analisis Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Pada Proses Hardening Material 4340 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Untuk Komponen Axle Shaft*, Tugas Akhir S.T, Jurusan Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2018
- [12] Aryo Aji Prabowo, *Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, Dan Kekuatan Bending Baja Aisi 1010*, Skripsi S.T, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang, Indonesia, 2019
- [13] Budiarto Djono Siswanto, Melya Dyanasari Sebayang, Septian Arum Fajar Maulana, *Analisa Temperatur Sinter Terhadap Diameter kristallit, Kerapatan dislokasi, Regangan mikro Dan Struktur mikro Pada Material Katoda Baterai $\text{LiNi}_{0,7}\text{Fe}_{0,2}\text{Co}_{0,1}\text{O}_2$* , *Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials And Energy*, Vol. 6 (01) Juni (2022)
- [14] Sutrisno Sutrisno, Azmal Azmal, Dwi Handoko. "Analisa pengaruh Temperatur Pemanasan Pada Proses Normalizing Dan Hardening Quenching Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Baut ST-60" , Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 2021
- [15] Nugroho Tri Atmoko, Moch Chamim, Subiyati Subiyati, Bambang Hari Priyambodo. "Efek Perlakuan Panas (Heat Treatment) pada Besi Cor Kelabu terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro" , *Creative Research in Engineering*, 2021



Dikky Antonius menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Kristen Indonesia pada tahun 2010. Pendidikan magister Teknik Mesin diselesaikan di Taiwan University of Science and Technology, Taipe pada tahun 2014 dengan area riset tentang Ceramic Coating Technology.

Perlakuan Serat Pandan Bali (*Cordyline Australis*) Sebagai Bahan Penguat Komposit Untuk Peredam Kebisingan Suara Dalam Ruang Gedung

I Ketut Suarsana ^{1)*}, I N. Budiarsa ²⁾

^{1,2)} Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Teknologi pembuatan komposit perkembangannya sangat pesat dan berkaitan dengan peningkatan sifat fisik, mekanik serta karakterisasi sifat material yang baik, seperti aplikasi material yang ringan tetapi sangat kuat, mampu meredam suara, tahan panas atau rambatan api, tahan serapan udara, tahan aus dan sifat kekerasan. Ketersediaan material konvensional yang kuantitas dan kualitasnya terbatas, memunculkan pemikiran untuk pengembangan material terbarukan melalui proses pembuatan material komposit dengan cara penambahan material penguat serat pandan bali (*cordyline australis*) dan wetting agen untuk memperkuat ikatan antar atom penyusun dengan matrik. Metode yang digunakan dalam pembuatan material komposit dengan matrik resin epoxy dan penguat serat padan bali melalui proses tekan (*hand lay-up*). Cara ini dilakukan dengan mencampur matrik dan penguat lalu dilakukan pemadatan menjadi bentuk yang diinginkan sehingga serat dengan resin epoxy menyatu melalui mekanisme ikatan fasa padat. Parameter yang diteliti adalah campuran komposisi: 30% serat dan 70% matrik; 20% serat dan 80% matrik; 10% serat dan 90% matrik, dengan perlakuan kimia NaOH pada konsentrasi lingkungan 9%, lama perendaman serat pandan bali: 15, 30 dan 45 menit. Adapun keunggulan dari metode teknik *hand lay-up* ini adalah dapat menggabungkan berbagai sifat material yang memiliki karakteristik berbeda dalam fase yang berbeda pula. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan air tertinggi dari komposisi serat pandan bali (*cordyline australis*) sebagai penguat dengan resin epoxy sebagai matrik adalah pada komposisi III (30% : 70%) dan lama perendaman pada NaOH selama 45 menit sebesar 3,95%. Sedangkan kemampuan penyerapan suara tertinggi pada komposisi III (10% : 70%) dan lama perendaman 45 menit, dengan koefisien serap suara sebesar 0,78 pada frekuensi 500 Hz.

Kata kunci: *epoxy, resin, serat pandan bali.*

Abstract

Composite manufacturing technology is developing very rapidly and is related to improving physical, mechanical properties and good characterization of material properties, such as the application of materials that are light but very strong, able to reduce sound, resist heat or spread of fire, resist air absorption, wear resistance and hardness properties. The availability of conventional materials, which are limited in quantity and quality, has given rise to the idea of developing renewable materials through the process of making composite materials by adding balinese pandan fiber (*cordyline australis*) reinforcing material and wetting agents to strengthen the bonds between the constituent atoms and the matrix. The method used in making composite materials with an epoxy resin matrix and balinese padan fiber reinforcement is through a press process hand lay-up. This method is done by mixing the matrix and reinforcement and then solidifying it into the desired shape so that the fibers and epoxy resin are fused through a solid phase bonding mechanism. The parameters studied were a mixture of composition: 30% fiber and 70% matrix; 20% fiber and 80% matrix; 10% fiber and 90% matrix, with NaOH chemical treatment at an environmental concentration of 9%, soaking time for balinese pandan fiber: 15, 30 and 45 minutes. The advantage of this hand lay-up technique is that it can combine various material properties that have different characteristics in different phases. The research results showed that the highest water absorption capacity of the composition of Balinese pandan fiber (*cordyline australis*) as reinforcement with epoxy resin as the matrix was composition III (30% : 70%) and the soaking time in NaOH for 45 minutes was 3.95%. Meanwhile, the highest sound absorption capacity was in composition III (10% : 70%) and the soaking time was 45 minutes, with a sound absorption coefficient of 0.78 at a frequency of 500 Hz.

Key words: *epoxy, resin, Balinese pandan fiber.*

1. Pendahuluan

Material komposit memiliki potensi tinggi di banyak aplikasi teknik karena memiliki sifat mekanis beragam dan mudah dibuat sesuai dengan kebutuhan perancangan (Nugroho & Wantogia, 2019). Sifat mekanis material komposit polimer didapatkan dari berbagai pemilihan serat dan matriks hingga metode manufaktur yang digunakan. Industri manufaktur mulai menggunakan serat alam pada produknya untuk mengurangi pemakaian serat gelas yang merupakan produk dengan bahan sintesis. Keunggulan serat alam

antara lain mudah diekstraksi, ringan, sumber daya alam yang dapat diperbaharui, dan terurai di lingkungan (Lokantara & Suardana, 2019). Serat alam memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan serat sintesis seperti modulus spesifik tinggi, biaya rendah, ringan, dapat didaur ulang, biodegradabilitas, tidak adanya bahaya kesehatan dan sifat nonabrasif dan banyak ketersediaannya di alam misalnya serat goni, daun nanas, serat ijuk, serat sabut kelapa, dan lain-lain (Habibie dkk., 2021). Oleh karena itu salah satu serat alam yang dapat dipertimbangkan adalah serat daun pandan bali, dikarenakan di Indonesia

*Korespondensi: Tel./Fax.: 081338606307

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2021

tanaman tersebut sudah banyak dibudidayakan, terutama di pulau Bali. Selama ini tanaman pandan bali hanya dimanfaatkan untuk kerajinan seni barong saja sebagai bulunya. Pemanfaatan serat daun pandan bali pada bahan komposit polimer merupakan alternatif dalam pembuatan komposit polimer, karena serat ini telah dikenal akan kekuatannya. Penelitian tentang penggunaan serat alam sebagai penguat dalam komposit matriks polimer untuk menggantikan serat sintetis telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti (Senthamarai kankan dkk., 2016). Kebutuhan komposit serat alam yang semakin meningkat, sehingga sangat diperlukan penelitian serat alam sebagai bahan penguat untuk digunakan pada berbagai aplikasi dan juga sebagai komposit hybrid. Serat alam dari tanaman yang diekstraksi umumnya tumbuh di daerah dan lingkungan yang bervariasi (Pujilestari, 2016). Kondisi tanah, iklim, umur, bagian tanaman seperti akar, batang, daun, buah, menentukan kandungan unsur kimia dan sifat penting lainnya dari serat (Maepa dkk., 2015).

Pengendalian kebisingan dapat memanfaatkan material komposit berserat alam, karena serat alam pada umumnya memiliki kemampuan menyerap suara khususnya dalam mengurangi kebisingan (Eriningsih dkk., 2014). Permasalahan utama yang diangkat pada penelitian kali ini adalah bagaimana pengaruh penggunaan material komposit dengan matriks resin epoksi dan serat daun pandan bali sebagai penguatnya yang ramah lingkungan, mampu menyerap suara dan hubungannya dengan porositas. Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai komposit penyerapan suara dari serat bambu sebagai penguatnya dengan matriks yang berbeda seperti: (Mutia dkk., 2016) meneliti potensi serat dan pulp bambu sebagai penyerap suara dengan resin epoksi sebagai matriksnya, (Purna Irawan & Wayan Sukania, 2013) meneliti tentang kekuatan tekan dan *flexural* pada komposit serat bambu epoksi. Penelitian yang dilakukan memiliki perbedaan yaitu pada serat yang digunakan dan pengujiannya dengan menggunakan serat daun pandan bali sebagai bahan penguatnya pada komposit yang ramah lingkungan (*Green composite*).

Dengan demikian pengaruh fraksi volume pada penggunaan serat daun pandan bali sebagai penguat dalam *green composite* untuk pengendalian kebisingan (peredam suara) adalah subjek penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengatasi masalah kebisingan ruangan dalam gedung yang biasa digunakan dalam pertemuan ilmiah maupun dalam pertunjukan kesenian yang disebabkan oleh suara yang bergema atau pantulan suara yang timbul. Dengan memvariasikan fraksi volume dari serat diharapkan agar mendapatkan komposisi terbaik dari kombinasi material komposit yang akan menyerap suara dengan baik. Komposit dibuat menggunakan serat pandan bali ditambahkan pada Resin epoxy. Metode pembuatan dilakukan dengan proses press tekan (*hand lay-up*), selanjutnya di uji nilai penyerapan suara dan rambatan api. Hasil Penelitian diharapkan akan menghasilkan cara baru untuk mengurangi kebisingan dan menjaga kesehatan lingkungan dalam ruangan.

2. Material dan Metode

2.1 Serat Pandan bali (*cordyline australis*)

Serat Pandan bali (*cordyline australis*) merupakan tumbuhan endemik dari asal mula Selandia Baru (Arif Sutrisno dkk., 2022). Tumbuhan ini memiliki satu batang inti dan cabang-cabang yang gemuk. Tumbuhan ini memiliki daun yang panjang berkisar antara 30-100 cm. Daun-daun ini yang digunakan dan diekrak menjadi serat yang digunakan sebagai penguat komposit. Di Indonesia khususnya di Bali tanaman pandan bali digunakan sebagai tanaman hias dan banyak ditanam di pinggir jalan maupun di dekat pantai. Serat pandan bali juga banyak digunakan sebagai kerajinan seperti, bulu barong, rambut ogoh-ogoh dan lain sebagainya.

2.2 Natrium hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida merupakan larutan alkali atau basa kuat yang dapat terionisasi dengan sempurna (Ginting & Maulida, 2019). Natrium hidroksida bersifat lembab cair dan dapat menyerap karbon dioksida dari udara bebas secara spontan, saat dilarutkan dengan etanol dan metanol dapat melepaskan panas, dan panas yang dihasilkan dapat membakar benda yang mudah terbakar. Perlakuan NaOH terhadap pandan bali (*cordyline australis*) untuk meningkatkan sifat adhesi pada komposit dikarenakan serat alam memiliki lapisan lilin, lignin, dan hemiselulosa sehingga dilakukan perlakuan NaOH agar serat menjadi lebih kasar. Permukaan yang lebih kasar pada serat yang akan mengikat matriks lebih kuat (Astika dkk., 2013). Selain itu ikatan adhesi yang kuat akan mengurangi terjadinya *delamination* yaitu robeknya lapisan pada saat di bebani.

2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian dimulai dengan pemilihan bahan hybrid komposit yang terdiri dari Resin epoxy, serat pandan bali (*cordyline australis*) dan wetting agen.

Perendaman spesimen serat pandan bali (*cordyline australis*) dilakukan sebagai berikut:

- Rendam serat pandan bali (*cordyline australis*) kedalam larutan NaOH dengan lama perendaman serat pandan bali: 15, 30 dan 45 menit.
- Keringkan serat menggunakan oven
- Pengolesan cetakan dengan wax mirroglas agar mudah lepas cetakan dengan hasil spesimen uji.
- Pencampuran resin epoxy dengan serat pandan bali ditambah katalis untuk dapat terjadi katan yang lebih kuat.
- Penuangan campuran komposit pada cetakan sesuai dengan standar ASTM D 635-03.
- Kemudian Pengeringan komposit pada tempratur ruangan sekitar 25°C
- Pelepasan komposit spesimen uji dari cetakan.

Masing-masing bahan komposit diteliti sesuai dengan komposisi I, II dan III, kemudian dimasukkan dalam cetakan dengan metode tekan tekan (*hand lay-up*). Rancangan penelitian adalah variabel-variabel yang diamati pada penelitian ini ada tiga jenis variabel yaitu variabel terikat, variabel bebas, dan kontrol. Adapun variabel bebas yang ditentukan dalam penelitian ini

adalah: nilai uji penyerapan suara dan penyerapan air. Sedangkan variabel bebas yang ditentukan dalam penelitian ini adalah: komposisi matriks dan serat meliputi komposisi I (90%:10%); komposisi II (80% : 20%); komposisi III (70% : 30%). Lama perendaman serat dengan larutan NaOH: 15 menit, 30 menit dan 45 menit. Variabel kontrol yang ditentukan dalam penelitian ini adalah: perlakuan NaOH konsentrasi 9% dan proses pencetakan terbuka.

2.4 Uji Serap Suara (*Sound Adsorption Test*)

Uji penyerapan suara bertujuan untuk mengetahui efektivitas material komposit dalam penyerapan suara. Penelitian ini menguji penyerapan suara dari komposit yang terdiri dari dua komponen yaitu resin epoksi sebagai matriks dan serat daun pandan bali sebagai penguatnya dengan menggunakan metode tabung impedansi yang sesuai dengan standar ASTM E 1050-98.

2.5 Koefisien Serap Suara

Perbandingan antara energi suara yang diserap oleh suatu bahan dengan energi suara yang datang pada permukaan bahan tersebut disebut sebagai koefisien serap suara (α). Koefisien serap suara memiliki nilai diantara 0-1. Nilai koefisien absorpsi 0 menyatakan material tidak menyerap bunyi dan nilai koefisien serapan 1 menyatakan material menyerap bunyi dengan sempurna (Prakoso dkk., 2017). Koefisien penyerapan suara bervariasi dari satu material ke material lainnya. Koefisien serapan suatu bahan pun akan berubah jika bahan tersebut diberikan perlakuan yang berbeda (Rusmawati, 2010). Koefisien serap suara suatu bahan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara energi suara yang diserap oleh bahan dengan energi suara yang datang ke arah bahan, atau:

$$(1) \quad \alpha = \left[\frac{w_i}{w_b} \right]$$

Keterangan:

α = Koefisien Serap Suara

w_i = Energi Suara yang diserap (J)

w_b = Energi Suara yang datang (J)

2.6 Uji Daya Serap Air

Uji daya serap air dalam biokomposit merupakan kemampuan biokomposit dalam menyerap air dalam waktu tertentu. Daya serap air (*water absorption*) padabiokomposit serat daun nanas merupakan uji fisik untuk mengetahui kemampuan biokomposit serat daun pandan bali menyerap air. Pengujian disini dilakukan dengan cara mengukur selisih berat sebelum dan sesudah perendaman di dalam air selama 2 minggu dan ditimbang setiap 24 jam.

Daya serap air (*water absorption*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sesuai standar ASTM D570-98 sebagai berikut:

$$\text{Wabs} = (W_a - W_o) / W_o \times 100 \% \quad (2)$$

Keterangan:

Wabs = Daya serap air (%)

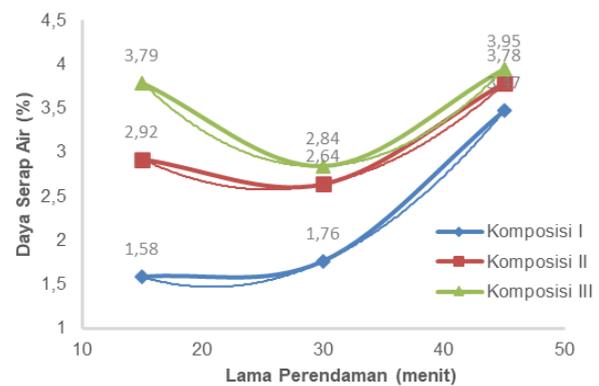
W_a = Massa basah spesimen (gr)

W_o = Massa kering spesimen (gr)

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Uji Daya Serap Air

Pengujian daya serap air (*water absorption*) dilakukan untuk melihat seberapa besar spesimen bisa menyerap air dalam kurun waktu 24 Jam. Pengujian dilakukan dengan cara merendam spesimen selama 24 jam dengan aquades dan menimbang massa sebelum dan sesudah di rendam. Pengujian ini memakai 3 spesimen pada setiap variasi massa.

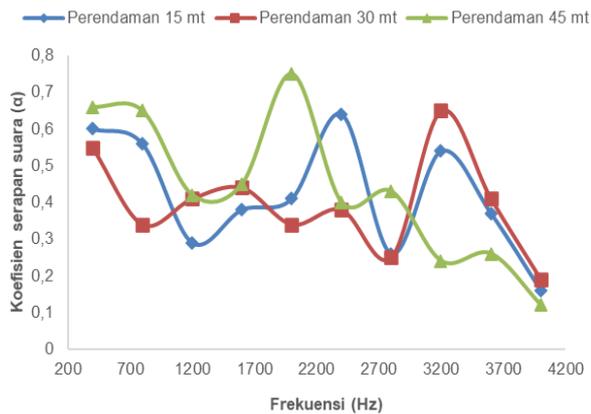


Gambar 1. Pengujian daya serap air

Berdasarkan grafik pada gambar 1, komposit serat pandan bali dengan fraksi volume (10% : 90%) memiliki rata-rata daya serap air 2,27 %. Untuk fraksi volume (20% : 80%) memiliki rata-rata daya serap air 3,11 %. Untuk fraksi volume (30% : 70%) memiliki rata-rata daya serap air 3,53 %. Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa pada hybrid komposit dengan fraksi volume 30% : 70% memiliki nilai rata-rata penyerapan air tertinggi. Nilai daya serap air dipengaruhi oleh banyaknya serat pada matriks, semakin banyak serat semakin banyak air yang dapat terserap oleh spesimen. Sebaliknya semakin sedikit serat pada matriks mengisi rongga yang mengakibatkan tingkat kerapatannya semakin tinggi, semakin tinggi kerapatannya semakin sulit air bisa teresap ke dalam spesimen.

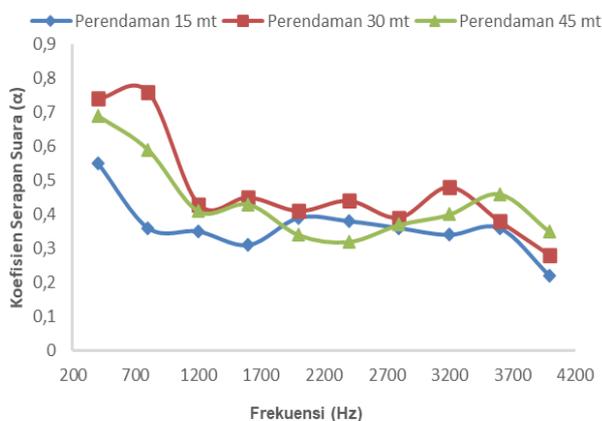
3.2 Pengujian Serap Suara

Dalam pengujian serap suara, alat yang digunakan adalah tabung impedansi dua mikrofon. Komponen pada tabung impedansi yang digunakan meliputi satu *speaker* yang berfungsi untuk memancarkan frekuensi gelombang suara dengan satuan (Hz), sedangkan dua mikrofon masing-masing berfungsi untuk menangkap gelombang suara yang datang dan dipantulkan. Laptop pertama yang terhubung pada *speaker* berisi aplikasi *NCH Tone Generator* sebagai aplikasi yang menjadi sumber frekuensi gelombang suara. Laptop kedua dan ketiga masing-masing berisi aplikasi *Audacity* yang berfungsi untuk merekam suara yang masuk dari mic 1 dan mic 2.



Gambar 2. Pengujian daya serap suara pada komposisi III dengan fraksi volume (30%:70%)

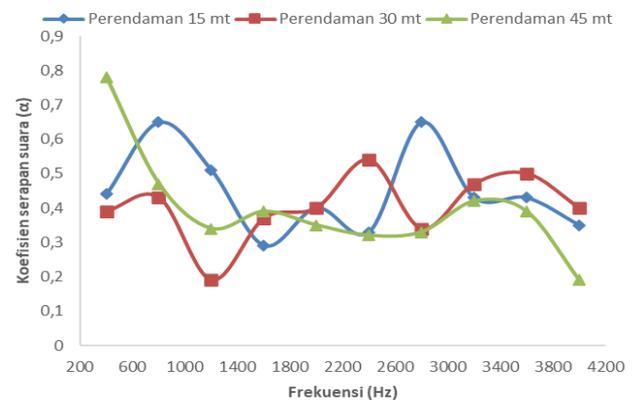
Pada gambar 2 grafik hubungan frekuensi dan koefisien serap suara memiliki satu perbedaan mencolok apabila dibandingkan dengan dua spesimen lainnya yakni pada rentang frekuensi 1200 Hz hingga 3200 Hz memiliki kemampuan tingkat penyerapan suara yang stabil. Kemampuan penyerapan suara yang stabil berhubungan dengan sifat gelombang, material berserat menyerap energi suara melalui rambatan suatu media yaitu distribusi antar serat. Hal ini menunjukkan perambatan suara dalam suatu medium pada satu dimensi (Howard & Angus, 2009).



Gambar 3. Pengujian daya serap suara pada komposisi II dengan fraksi volume (20%:80%)

Gambar 3 menampilkan data grafik hubungan frekuensi dan koefisien serap suara, spesimen dengan fraksi volume serat 20% ini memiliki tren penurunan yang sama apabila dibandingkan dengan spesimen sebelumnya, yakni memiliki titik terendah pada frekuensi 4000 Hz sebesar $\alpha = 0,22$. Walaupun penurunan pada frekuensi tertentu dapat dikatakan cukup rendah tetapi nilai koefisien pada material penyerap suara masih dapat dikategorikan penyerap suara yang baik dikarenakan nilainya masih memenuhi standar ISO 11654 (Setia Putra, 2020). Penurunan tingkat koefisien serap paling drastis terlihat pada perendaman 45 menit frekuensi 4000 Hz dan serupa dengan spesimen dengan perendaman yang 15 dan 30 menit, hal ini disebabkan oleh sifat material akustik

yang cenderung resesif dimana spesimen mengalami penurunan koefisien penyerapan suara pada frekuensi tertentu seperti pada frekuensi 4000 Hz yang merupakan nilai optimum, pada nilai tersebut terjadi pembuangan energi oleh spesimen yang mengakibatkan terjadinya penurunan koefisien absorpsi bunyi (Ridhola & Elvaswer, 2015).



Gambar 4. Pengujian daya serap suara pada komposisi I dengan fraksi volume (10%:90%)

Pada grafik hubungan frekuensi dan serapan suara yang ditunjukkan pada gambar 4, bahwa setiap perlakuan perendaman serat variasi serat dengan komposisi matrik pada spesimen tidak memiliki dampak signifikan terhadap kemampuan spesimen dalam penyerapan suara, terbukti pada grafik diatas spesimen dengan fraksi volume serat 10% serta perlakuan peredaman serat 45 menit, memiliki penyerapan suara lebih baik apabila dibandingkan dengan perendaman serat 15 menit. Namun, penambahan serat pada spesimen berpengaruh terhadap tingkat kestabilan dalam penyerapan suara dibuktikan dengan grafik yang melandai pada fraksi volume serat 10% rentang frekuensi 1200 Hz hingga 3600 Hz. Pada pengujian serap suara, spesimen dengan fraksi volume serat 10% memiliki rata-rata tingkat penyerapan suara paling tinggi, tepatnya pada frekuensi yaitu 400 Hz dengan $\alpha = 0,78$. Sedangkan spesimen uji dengan rata-rata tingkat penyerapan suara paling rendah yaitu spesimen pada volume serat 10% pada frekuensi 4000 Hz. Hasil ini memenuhi standar akustik ISO 11654 yang menyebutkan bahwa penyerapan dari sampel yang dibuat, dikategorikan sebagai penyerap suara yang baik ketika nilai $\alpha > 0,15$. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, kemampuan spesimen yang baik dalam menyerap suara pada frekuensi rendah dikarenakan jenis material yang digunakan adalah material penyerap *resonant*. Bahan spesimen tersebut memiliki kemiripan seperti panel kayu yang bahannya terbuat dari alam, dimana mampu menyerap energi suara dengan cara mengubah energi suara yang datang menjadi getaran, yang kemudian diubah menjadi energi gesek oleh material berpori yang ada di dalamnya misal oleh udara, atau material berpori (Pambudi dkk., 2017).

Penurunan jumlah serat pada komposisi III (30%:70%) sampai komposisi I fraksi volume (10%:90%) menunjukkan tidak adanya perubahan yang signifikan apabila dibandingkan dengan dua variasi spesimen uji

lainnya yaitu penyerapan tertinggi pada 400 Hz dan terendah yaitu 4000 Hz.

4. Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien serapan air tertinggi pada komposisi III sebesar 3,95%, Serapan suara tertinggi pada komposisi III, peredaman NaOH selama 45 menit, dalam frekuensi 500 Hz sebesar $\alpha = 0,78\%$. Serapan suara tertinggi pada komposisi II, peredaman 45 menit dengan NaOH, dalam frekuensi 800 Hz sebesar $\alpha = 0,76\%$. Serapan suara tertinggi pada komposisi I, peredaman 45 menit dengan NaOH, dalam frekuensi 2000 Hz sebesar 0,75%. Jadi dapat disimpulkan bahwa perlakuan perendaman dan variasi komposisi serat dapat memberikan pengaruh terhadap serapan air dan serapan udara secara bersamaan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prodi Teknik Mesin, Kepala Laboratorium Metalurgi dan Laboratorium Proses Produksi serta Laboratorium Fenomena Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Ketua LPPM Universitas Udayana, dan Kepala Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang atas fasilitas yang diberikan.

Daftar Pustaka

- [1] Arif Sutrisno, T., Arta, Ik. D. kisma arta, Astana Widi, I. K., & Febritasari, R. (2022). Pengaruh Variasi Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Tarik Matrik Resin Epoxy Berpenguat Serat Praksok Dengan Perlakuan Alkalisasi NaOH. *Prosiding SENIATI*, 6(4), 817–823. <https://doi.org/10.36040/seniati.v6i4.4980>
- [2] Astika, I., Lokantara, I., & Gatot Karohika, I. (2013). Sifat Mekanis Komposit Polyester dengan Penguat Serat Sabut Kelapa. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 6(2).
- [3] Eriningasih, R., Widodo, M., & Marlina, R. (2014). Pembuatan Dan Karakterisasi Peredam Suara Dari Bahan Baku Serat Alami. *Arena Tekstil*, 29(1), 1–8.
- [4] Ginting, R., & Maulida. (2019). Pengaruh Komposisi Pengisi Serta Tekanan Hot Press Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Poliester Berpengisi Nano Partikel Zinc Oxide (ZnO). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 8(1), 32–36. <https://doi.org/10.32734/jtk.v8i1.1603>
- [5] Habibie, S., Suhendra, N., Roseno, S., Setawan, B. A., Anggaravida, M., Rohman, S., Tasomara, R., & Muntarto, A. (2021). Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan, Suatu Kajian Pustaka. *Jurnal Inovasi dan Teknologi Material*, 2(2). <https://doi.org/10.30595/civeng.v5i1.17879>
- [6] Howard, D. M., & Angus, A. S. (2009). *Acoustics and Psychoacoustics 4th Edition*. Oxford United Kingdom : Focal press is an imprint of Elsevier.
- [7] Lokantara, I. P., & Suardana, N. P. G. (2019). Biokomposit Limbah Plastik Polypropylene Berpenguat Serat Lidah Mertua: Proses Ekstraksi dan Kekuatan Mekanis. *Jurnal METTEK*, 5(2), 128. <https://doi.org/10.24843/mettek.2019.v05.i02.p10>
- [8] Maepa, C. E., Jayaramudu, J., Okonkwo, J. O., Ray, S. S., Sadiku, E. R., & Ramontja, J. (2015).

Extraction and Characterization of Natural Cellulose Fibers from Maize Tassel. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 20(2), 99–109. <https://doi.org/10.1080/1023666X.2014.961118>

- [9] Mutia, T., Sugesty, S., Hardiani, H., Kardiansyah, T., & Risdianto, H. (2016). Potensi Serat Dan Pulp Bambu Untuk Komposit Peredam Suara. *Jurnal Selulosa*, 4(01). <https://doi.org/10.25269/jssel.v4i01.54>
- [10] Nugroho, G., & Wantogia, M. S. R. R. (2019). Proses Fabrikasi dan Sifat Mekanik Komposit Polimer dengan Metode Bladder Compression Moulding. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 1(2), 95. <https://doi.org/10.22146/jmdt.53047>
- [11] Pambudi, A., Farid, M., & Nurdiansah, H. (2017). Analisis Morfologi dan Spektroskopi Infra Merah Serat Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Hasil Proses Alkalisasi Sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. 6(2), 441–444.
- [12] Prakoso, A. E., Farachniamala, A., Andayani, P., Effendi, O. M., Yuniyanto, M., & Sabrina, M. (2017). Pembuatan Alat Impedance Tube dan Simulasi Pengukuran Koefisien Serap Menggunakan Software MATLAB R2013A. *Positron*, 7(1), 8–11. <https://doi.org/10.26418/positron7.1.2>
- [13] Pujilestari, T. (2016). Review: Sumber dan Pemanfaatan Zat Warna Alam untuk Keperluan Industri. *Dinamika Kerajinan dan Batik: Majalah Ilmiah*, 32(2), 93. <https://doi.org/10.22322/dkb.v32i2.1365>
- [14] Purna Irawan, A., & Wayan Sukania, dan I. (2013). Kekuatan Tekan dan Flexural Material Komposit Serat Bambu Epoksi. *Jurnal Teknik Mesin*, 14(2), 59–63. <https://doi.org/10.9744/jtm.14.2.59-63>
- [15] Ridhola, F., & Elvaswer, E. (2015). Pengukuran Koefisien Absorpsi Material Akustik dari Serat Alam Ampas Tebu Sebagai Pengendali Kebisingan. *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, 7(1), 1–6. <https://doi.org/10.25077/jif.7.1.1-6.2015>
- [16] Rasmawati, E. (2010). *Penentuan Koefisien Absorpsi dengan Metode Dua Mikrofon pada Tabung Impedansi*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- [17] Senthamaraiannan, P., Saravanakumar, S. S., Arthanarieswaran, V. P., & Sugumaran, P. (2016). Physico-chemical properties of new cellulosic fibers from the bark of Acacia planifrons. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 21(3), 207–213. <https://doi.org/10.1080/1023666X.2016.1133138>
- [18] Setia Putra, A. (2020). Penentuan Koefisien Serap Bunyi Papan Partikel Dari Limbah Pelepeh Kelapa Sawit. *Jurnal Surya Teknik*, 7(2), 182–185. <https://doi.org/10.37859/jst.v7i2.2386>

**Kt. Suarsana**

menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 1991. **Judul skripsi** Perancangan Mesin diesel sebagai pembangkit generator untuk penggerak Pompa. Pendidikan magister Teknik Mesin diselesaikan di ITS Surabaya pada tahun 2000 dengan area riset tentang **Tesis** Laju perambatan retak material AL 2024-T3 pada Amplitude Konstan.

Pada tahun 2014 menyelesaikan pendidikan doktoral di Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia. **Judul Disertasi** Karakteristik Composite Matrik Aluminium *Fine Powder* Diperkuat SiC Whisker dan Alumina dengan Proses powder Metalurgi. Saat ini ia bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah Material maju, Composit, Korosi, dan Teknik Pelapisan.

Analisa Metode Minimum Quantity Lubrication (MQL) Terhadap Kekasaran Permukaan Proses Pembubutan Baja St 60

**I Gusti Komang Dwijana^{1)*}, I Made Astika²⁾, Made Suarda³⁾, I Gusti Ketut Sukadana⁴⁾,
Dewa Ngakan Ketut Putra Negara⁵⁾.**

^{1,2,3,4,5)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pemotongan logam merupakan tahapan yang paling penting dalam proses pembentukan logam, dalam perkembangan teknologi industri seperti saat ini proses pemotongan logam sudah lebih baik dibandingkan dimasa lalu. Pemotongan logam menjadi hal yang penting sekaligus berpengaruh pada hasil produk. Proses pemotongan logam kebanyakan dilakukan dengan mengatur parameter pemesinan seperti halnya mengatur, kedalaman pemakanan, dan kecepatan pemakanan, namun beberapa operator juga menambahkan cairan pendingin atau yang biasa disebut *Metal Working Fluid (MWF)* untuk mengurangi gesekan, menghilangkan gram bekas pemotongan, menjaga suhu mata potong beberapa metode pendinginan dilakukan seperti. *Minimum Quantity Lubrication (MQL)* atau *Small Quantity Lubrication (SQL)* merupakan metode yang dipertimbangkan untuk meningkatkan efektifitas cairan pendingin

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kedalaman potong (a) dan gerak pemakana (f), dimana nilai kedalaman potong yang diambil adalah 0,2 mm, 0,4 mm, 0,6 mm, 0,8 mm, dan 1,0 mm. gerak makan yg di gunakan adalah 0,2 ;, 0,4 ;, 0,6 ;, dan 0,8 mm/putaran Variabel terikatnya adalah tingkat kekasaran permukaan,. Pengujian kekasaran menggunakan surface roughness tester (Mitutoyo Surfesst SJ 210). Data yang telah diperoleh kemudian di buat dalam bentuk tabel dan grafik dan dianalisis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap tingkat kekasaran permukaannya.

Dari hasil pengujian kekasaran permukaan pada proses pembubutan aluminium terlihat kekasaran permukaan yang paling kecil terjadi pada gerak makan 0,2 mm/gigi pada kedalaman potong 0,2 mm sebesar 2,297 µm hal ini di sebabkan karena kedalaman pemotongan dan gerak makan sangat kecil, sehingga getaran yg terjadi selama proses belum terlalu besar, dan suara pada saat proses belum terlalu bising dan yang paling kasar terjadi pada gerak makan 0,8 mm/putaran pada kedalaman potong 1,0 mm sebesar 4,342 µm Ini di sebabkan karena kontak antara mata potong pahat dengan benda kerja sangat besar, gesekan yg terjadi semakin besar juga.

Persentase peningkatan kekasaran terkecil terjadi pada gerak makan 0,2 mm / putaran pada kedalaman potong 0,2 mm sebesar 0,5 %, hal ini di sebabkan karena kedalaman pemotongan dan gerak makan yang dinggunakan masih kecil dan peningkatan persentase kekasaran terbesar terjadi pada gerak makan 0,8 mm / putaran pada kedalaman potong 0,8 mm sebesar 35,32 %, ini terjadi karena kedalaman pemotongan yg sangat besar

Kata Kunci: *Minimum Quantity Lubrication (MQL)*, Proses bubut, kedalaman potong, gerak makan, kekasaran

Abstract

Metal cutting is the most important stage in the metal forming process, in the development of industrial technology, currently the metal cutting process is better than in the past. Cutting metal is important and has an impact on product results. The metal cutting process is mostly carried out by adjusting machining parameters such as settings, feed depth, and feed speed, but some operators also add coolant or what is usually called *Metal Working Fluid (MWF)* to reduce the occurrence, remove cutting marks, maintain the temperature of the cutting edge. several cooling methods are used such as. *Minimum Quantity Lubrication (MQL)* or *Small Quantity Lubrication (SQL)* is a method considered to increase the effectiveness of the coolant

The method used in this research is the experimental method. The independent variables in this study were variations in depth of cut (a) and feed motion (f), where the depth of cut values taken were 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm, 0.8 mm, and 1.0 mm. feedback used is 0.2; 0.4; 0.6; and 0.8 mm/rev. The attachment variable is the level of surface roughness. Roughness testing uses a surface roughness test tool (Mitutoyo Surfesst SJ 210). The data that has been obtained is then made into tables and graphs and analyzed to determine its effect on the level of surface roughness.

From the results of surface roughness testing in the aluminum turning process, it can be seen that the smallest surface roughness occurs at a feed motion of 0.2 mm/tooth at a cutting depth of 0.2 mm of 2.297 µm. This is because the cutting depth and feed motion are very small, so the vibrations are very small. occurs during the process is not too large, and the sound during the process is not too noisy and the roughest occurs at a feed motion of 0.8 mm/revolution at a cutting depth of 1.0 mm of 4.342 µm. This is caused by contact between the cutting edge of the chisel and the workpiece very rough, the friction that occurs is even greater.

The smallest percentage increase in roughness occurred in a feed motion of 0.2 mm/revolution at a cutting depth of 0.2 mm of 0.5%, this was because the cutting depth and feed motion used were still small and the largest percentage increase in roughness occurred in the feed motion. feed 0.8 mm / revolution at a cutting depth of 0.8 mm is 35.32%, this occurs because the cutting depth is very large

Keywords: *Minimum Quantity Lubrication (MQL)*, turning process, depth of cut, feed motion, surface roughness

*Korespondensi: Tel./Fax.: 085101772000

E-mail: dwijanaigst@gmail.com

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

1. Pendahuluan

Pemotongan logam merupakan tahapan yang paling penting dalam proses pembentukan logam, dalam perkembangan teknologi industri seperti saat ini proses pemotongan logam sudah lebih baik dibandingkan dimasa lalu. Pemotongan logam menjadi hal yang penting sekaligus berpengaruh pada hasil produk. Proses pemotongan logam kebanyakan dilakukan dengan mengatur parameter pemesinan seperti halnya mengatur kecepatan mesin, kedalaman pemakanan, dan kecepatan pemakanan, namun beberapa operator juga melakukan penambahan cairan pendingin atau yang biasa disebut *Metal Working Fluid (MWF)* untuk mengurangi gesekan, menghilangkan gram bekas pemotongan, menjaga suhu mata potong. Beberapa metode pendinginan dilakukan untuk dapat mengurangi penggunaan minyak bumi sebagai cairan pendingin dan juga mengurangi limbah dari cairan pendingin yang dihasilkan. *Minimum Quantity Lubrication (MQL)* atau *Small Quantity Lubrication (SQL)* merupakan salah satu metode yang dipertimbangkan untuk meningkatkan efektifitas cairan pendingin dan juga sekaligus mengurangi penggunaan minyak bumi sebagai cairan pendingin (Guntreddi and Ghosh, 2020), dimana pada daerah pemotongan sejumlah cairan kecil disemprotkan dengan bantuan udara bertekanan dengan laju berkisar 10-100ml/jam

Karakteristik geometrik kekasaran permukaan, dapat dicapai dengan langkah-langkah pengerjaan yang tepat, mesin yang digunakan, jenis pahat, kondisi pemotongan dan cairan pendingin (cutting fluid). Setiap proses pemesinan mempunyai ciri tertentu atas kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan. Karakteristik geometri memegang peranan penting dalam perencanaan mesin, yaitu hubungan dengan gesekan, keausan, pelumasan dan tahan kelelahan (Taufiq Rochim; 2001;53)

Bedasarkan hal diatas, penulis ingin mengetahui pengaruh kedalaman potong (a) dan gerak pemakanan (f) terhadap kekasaran permukaan (*Surface roughness*) pada proses pembubutan konvensional material Baja St 60 dengan menggunakan pahat potong standar

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan secara eksperimental atau percobaan untuk mencapai tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh yang disebabkan oleh peningkatan kedalaman potong dan gerak makan terhadap kekasaran permukaan hasil proses pembubutan. Studi eksperimental bersifat sistematis dan logis sehingga hasil dari penelitian ini memiliki kemampuan pembuktian yang lebih akurat. Hasil penelitian diperoleh melalui besarnya kekasaran permukaan pada setiap perbedaan besarnya kedalaman potong dan gerak makan yang digunakan.

2.1 Mesin Bubut

Mesin bubut merupakan salah satu mesin produksi untuk membentuk benda kerja terutama dari logam menjadi komponen dari mesin, yang pada umumnya terbuat dari bahan logam. Mesin ini telah melalui modifikasi dan pengembangan dalam berbagai bentuk, dari yang sederhana sampai pada yang dikendalikan

dengan sistem komputer. Benda kerja yang dihasilkan pada umumnya berbentuk silinder atau bentuk-bentuk yang diinginkan, pada proses pembubutan ini menggunakan pahat pada umumnya satu mata potong untuk membuang material dari permukaan benda kerja yang berputar

2.2 Parameter Pemotongan

Parameter pemotongan pada proses bubut adalah informasi berupa dasar-dasar perhitungan, rumus dan tabel-tabel yang mendasari proses pemotongan pada proses bubut, parameter pemotongan pada mesin bubut meliputi: kecepatan pemotongan, kecepatan pemakanan, kecepatan putaran mesin, kedalaman pemotongan dan waktu proses pemesinannya.

2.2.1 Kecepatan Pemakanan (Feeding)

Kecepatan pemakanan merupakan gerak maju dari pahat bubut pada benda kerja yang dibubut dalam satuan millimeter per menit atau feet per menit, Pada gerak putar, kecepatan pemakanan, f adalah gerak maju pahat potong dalam n putaran benda kerja permenit (Widarto, 2008:146). Feeding merupakan salah satu parameter yang berperan penting terhadap tingkat kekasaran permukaan (Bordin, 2014:219) dalam penelitian ini besarnya gerak makan yg di gunakan sesuai dengan tabel yg ada di mesin yg digunakan dan juga berdasarkan pengalaman peneliti dilapangan sebesar 0,2.; 0,4.; 0,6.; dan 0,8 mm/putaran.

2.2.2 kedalaman pemotongan (Dept Of Cut)

Kedalaman pemotongan merupakan tebal geram yg terpotong/terbuang dari benda kerja yang dibubut atau jarak antara permukaan benda sebelum di bubut dengan bagian yang sudah dibubut, apabila kita masukan pahat kedalam benda kerja sedalam a mm maka diameter benda kerja akan berkurang sebesar 2 mm, dalam perhitungan kedalaman pemotongan merupakan setengah dari diameter awal benda kerja dikurangi diameter benda kerja setelah di proses pemesinan. Dalam penelitian ini kedalaman potong yg digunakan sebesar 0,2 mm.; 0,4 mm.; 0,6 mm.; 0,8 mm dan 1,0 mm.

2.3 Material

Baja ST 60

Baja ST-60 termasuk baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,5012 %. Baja karbon rendah mempunyai struktur *body center cubic*. Selain itu baja ST-60 mempunyai sifat yang khas yaitu:

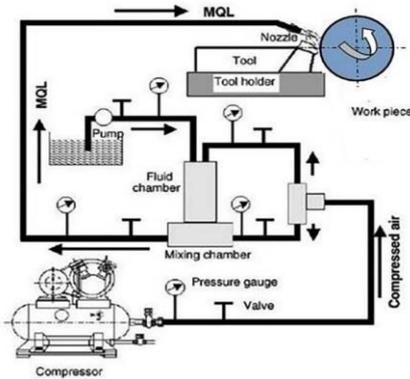
- ✓ Keuletan
 - ✓ Mempunyai kekuatan Tarik yg besar
 - ✓ Mampu dikerjakan di semua mesin perkakas
- Baja karbon ST-60 merupakan paduan besi dan karbon (Fe-C) yang mengandung karbon (C) 0,5012%, Fe 98,23 % dan sedikit unsur lainnya seperti mangan (Mn) 0,0754 %, fosfor (P) 0,01 %, Sulfur 0,001 %. Sifat baja karbon tergantung pada jumlah carbon yang terkandung didalamnya, sehingga baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja ST-60 dapat dikeraskan serta ketahanan aus permukaan yang cukup tinggi. Baja ini banyak sekali digunakan dalam dunia manufaktur sebagai rangka

kendaraan, mur baut, pipa tangki dan lain-lain yang memerlukan kekuatan serta ketangguhan yang tinggi

2.4 Minimum Quantity Lubrication (MQL)

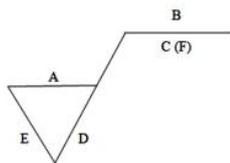
Banyak teknologi pelumasan pemotongan ramah lingkungan telah diusulkan beberapa tahun terakhir berdasarkan konsep manufaktur berkelanjutan dan dari perspektif perlindungan ekologis dan pengendalian biaya. Ini termasuk pemotongan kering, pelumasan kuantitas minimum (MQL)

Kuantitas pendingin yang sangat kecil tidak hanya mengurangi polusi limbah, tetapi juga mengalami beberapa keuntungan ekologis dan biologis lainnya: pengurangan jumlah pendingin yang digunakan serta dapat menghemat waktu dan uang untuk tujuan daur ulang chip



2.5 Penunjukan Konfigurasi Permukaan

Adapun gambar teknik yang menyatakan kehalusan suatu permukaan benda dilambangkan dengan sebuah segitiga sama sisi yang satu ujungnya menempel pada permukaan benda yg akan di ukur kehalusannya. Pada segitiga ini terdapat simbol berupa hurup yang memiliki beberapa arti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Keterangan :

A : Nilai Kekasaran Permukaan (R_a)

B : Cara Pengerjaan Produksi

C : Panjang Sample

D : Arah Pengerjaan

E : Kelebihan ukuran yang dikehendaki

F : Nilai kekasaran lain jika diperlukan

Untuk mengukur kekasaran permukaan digunakan alat ukur kekasaran permukaan tipe Mitutoyo Surf test SJ-201. Alat ukur kekasaran permukaan ini mengikuti beberapa standar industry antara lain : JIS (JIS-B0601-2001, JIS-B0601-1994, JIS B0601-1982), VDA, ISO-1997 dan ANSI.



Gambar 2.1 Mitutoyo Surf test SJ-201

2.6 Pahat Potong

Jenis material pahat harus dipilih sesuai dengan jenis material benda kerja, material pahat dan kondisi pemotongan agar proses pemotongan dapat seperti yang diharapkan diantaranya tingginya umur pahat, rendahnya gaya, daya pemotongan, ketelitian geometri produk. dan besarnya kehalusan permukaan benda yang hendak dicapai. Pahat mata potong tunggal hanya memiliki satu bidang potong,

3 . Hasil dan Pembahasan

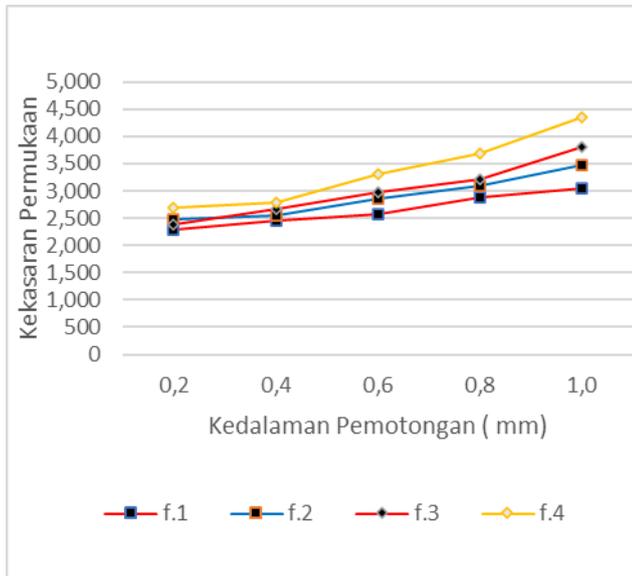
Dari hasil penelitian didapat hasil nilai kekasaran rata-rata pada masing-masing besaran variabel yang telah ditentukan dengan melakukan pengulangan pengukuran sebanyak tiga kali pada sisi yang berbeda. Alat yang digunakan adalah Surf test Roughness Tester Mitutoyo SJ-210. Untuk mengetahui kekasaran permukaan akibat pengaruh kedalaman potong dan gerak makan pada proses bubut

Tabel dibawah ini merupakan data hasil pengujian kekasaran permukaan rata-rata pada kedalaman potong (a) dan gerak makan (f) yg telah ditentukan.

Tabel 2.1 Hasil pengukuran kekasaran permukaan

Gerak makan (mm/put)	Kekasaran permukaan rata-rata (μm)				
	a = 0,2 (mm)	a = 0,4 (mm)	a = 0,6 (mm)	a = 0,8 (mm)	a = 1,0 (mm)
f.1 = 0,2	2,279	2,456	2,572	2,882	3,055
f.2 = 0,4	2,483	2,552	2,850	3,083	3,483
f.3= 0,6	2,388	2,667	2,968	3,214	3,802
f.4= 0,8	3,055	3,431	3,647	3,802	4,342

Dari tabel di atas di buat gambar grafik yang menunjukkan besarnya kekasaran permukaan hasil proses pembubutan dengan kedalaman potong dan gerak makan yang telah di tentukan dalam penelian ini.



Gambar 2.4 Grafik kekasaran permukaan rata-rata. Dari Gambar grafik di atas dapat diketahui bahwa dari proses pemesinan benda kerja aluminium dengan menggunakan proses bubut menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan pada tiap permukaan benda kerja meningkat seiring dengan meningkatnya gerak makan dan kedalaman pemotongan. Dengan meningkatnya kecepatan pemakanan serpihan geram terbentuk semakin besar. Hal ini terjadi dikarenakan ketika peningkatan kecepatan pemakanan yang meningkat menyebabkan terjadinya gesekan pada permukaan benda kerja yang menimbulkan goresan-goresan halus bertambah besar pada permukaan benda kerja tersebut. geram yang tebal juga mengakibatkan gaya potong semakin besar sehingga getaran yang timbul selama proses pemotongan menjadi besar sehingga menyebabkan tingkat kekasarnya semakin tinggi juga.

Dari grafik terlihat kekasaran permukaan yang paling kecil terjadi pada gerak makan 0,2 mm/put pada kedalaman potong 0,2 mm sebesar 2,279 μm hal ini disebabkan karena kedalaman pemotongan dan gerak makan sangat kecil untuk ke dua jenis pahat yg digunakan, sehingga getaran yg terjadi selama proses belum terlalu besar, dan suara pada saat proses belum terlalu bising dan yang paling kasar terjadi pada gerak makan 0,8 mm/gigi pada kedalaman potong 1,0 mm sebesar 4,442 μm

Persentase peningkatan kekasaran terkecil terjadi pada gerak makan 0,2 mm / putaran pada kedalaman potong 0,2 mm sebesar 0,5 %, hal ini disebabkan karena kedalaman pemotongan dan gerak makan yang digunakan masih kecil..dan peningkatan persentase kekasaran terbesar terjadi pada gerak makan 0,8 mm / putaran pada kedalaman potong 0,8 mm sebesar 35,32 %, ini terjadi karena kedalaman pemotongan yg sangat besar,

4. Simpulan

Setelah dilakukan analisis terhadap data yang diperoleh maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Gerak makan dan kedalaman potong memberi pengaruh terhadap perubahan nilai kekasaran permukaan benda kerja logam, semakin tinggi gerak

makan dan kedalaman potong yang digunakan maka nilai kekasaran permukaan akan semakin besar artinya permukaan benda kerja menjadi semakin kasar.

2. Kekasaran permukaan yang paling kecil terjadi pada gerak makan 0,2 mm/put pada kedalaman potong 0,2 mm sebesar 2,297 μm dan yang paling kasar didapat pada gerak makan 0,8 mm/put pada kedalaman potong 1,0 mm sebesar 4,342 μm

3. Persentase peningkatan kekasaran terkecil terjadi pada gerak makan 0,2 mm / putaran pada kedalaman potong 0,2 mm sebesar 0,5 %, hal ini disebabkan karena kedalaman pemotongan dan gerak makan yang digunakan masih kecil..dan peningkatan persentase kekasaran terbesar terjadi pada gerak makan 0,8 mm / putaran pada kedalaman potong 0,8 mm sebesar 35,32 %, ini terjadi karena kedalaman pemotongan yg sangat besar,

Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan terima kasih kepada tim peneliti dan lab. Produksi yang telah mendukung terwujudnya penelitian ini sehingga penelitian ini dapat dipresentasikan pada Konferensi Nasional Engineering Perhotelan tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rochim, Taufiq, *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. Bandung: ITB 1993
- [2] Rochim, Taufiq, *Spesifikasi, Metrologi dan Control Kualitas Geometrik*. Bandung: ITB 2001
- [3] De Garmo, Paul. E. et al. (1997). *Material and Process in Manufacturing*. New York 10002, Mac Milan Publishing Company 866 Third Avenue, New York.
- [4] Kalpakjian, Serape. (1995). *Manufacturing and Engineering Technology*. Third Edition. Chicago: Addison-Wesley Publishing Company Inc.
- [5] Huang, Luke, Dr. Joseph C. *A Systematic Approach For Identifying Optimum Surface Roughness Performance In End Milling Operation*. *Jurnal Of Industrial Technology*: Volume 17. 2001
- [6] Sharma, PC, *A text book of Engineering*. New Delhi: S. Chand & Company Ltd 2001
- [7] Surdia Tata dan Saito Shinroku, *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita 1999
- [8] Ranganath, B.J. *Metal cutting end tool Design*. Vikas publishing House Pvt Ltd
- [9]. Bimbing, *Standar Kekasaran Permukaan Bidang Pada yoke flange Menurut ISO R. 1302 dan DIN 4768 dengan memperhatikan nilai ketidakpastian*



I Gusti Komang Dwijana menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 1997. Pendidikan Magister Teknik Mesin di selesaikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2000 dengan area riset tentang manufaktur saat ini bekerja sebagai dosen di jurusan teknik mesin Universitas Udayana. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah system manufaktur.

Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Ketahanan *Impact* Pada Komposit Polyester Diperkuat Serat Praksok (*Cordyline australis*)

Laden Pangestu¹, I Putu Lokantara^{2*}, I Gede Putu Agus Suryawan³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Karakteristik logam yang berat dan mahal mendorong pengembangan bahan non-logam, terutama bahan yang diperkuat serat alami, yang lebih ringan, *fleksibel*, tahan terhadap karat, dan lebih ekonomis. Bahan ini juga dapat bersaing dengan bahan serat buatan, seperti komposit serat organik. Komposit serat alam banyak di manfaatkan, serat daun praksok (*Cordyline australis*) sebagai salah satu bahan yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fraksi volume terhadap ketahanan *impact* pada komposit yang diperkuat dengan serat daun praksok (*Cordyline australis*). Pada penelitian ini menggunakan serat daun praksok. Serat direndam dengan NaOH 10% selama 2 jam. Menggunakan resin *polyester* Yucalac BQTN-EX 157. Komposit dibuat dengan menggunakan serat daun praksok yang dipotong sepanjang 1 cm dan disusun secara *random* melalui metode pelapisan manual, dengan serat sebesar 15%, 20%, 25%. Komposit pengujian *impact* menggunakan standar ASTM-D 6110. Setelah dilakukan pengujian maka didapatkan hasil dari uji *impact* paling tinggi pada variasi 20% dengan nilai *impact* rata rata sebesar (0,094 J/mm²). Peningkatan fraksi volume menyebabkan berkurangnya *matrix flow* oleh karena itu kekuatan komposit akan bertambah dan meningkatkan kontribusi serat dalam menahan beban *impact*.

Kata kunci: Uji *Impact*, Fraksi volume, Serat daun praksok (*Cordyline australis*), serat alam, *Polyester*

Abstract

The heavy and expensive characteristics of metals encourage the development of non-metallic materials, especially natural fiber-reinforced materials, which are lighter, flexible, resistant to rust, and more economical. These materials can also compete with man-made fiber materials, such as organic fiber composites. Natural fiber composites are widely used, praksok leaf fiber (*Cordyline australis*) as one of the materials used. This study aims to determine the volume fraction on impact resistance in composites reinforced with praksok leaf fiber (*Cordyline australis*). In this study using praksok leaf fiber. The fiber was soaked with 10% NaOH for 2 hours. Using polyester resin Yucalac BQTN-EX 157. Composites are made using praksok leaf fibers which are cut along 1 cm and arranged randomly through the manual coating method, with fibers of 15%, 20%, 25%. Impact testing composites using ASTM-D 6110 standards. After testing, the results of the impact test were highest in the 20% variation with an average impact value of (0.094 J/mm²). Increasing the volume fraction causes a reduction in matrix flow, therefore the composite strength will increase and increase the fiber contribution in resisting impact loads.

Keywords: *Impact* test, volume fraction, praksok leaf fiber (*Cordyline australis*), natural fiber, *Polyester*

1. Pendahuluan

Karakteristik logam yang berat dan mahal mendorong pengembangan bahan non-logam, terutama bahan yang diperkuat serat alami, yang lebih ringan, fleksibel, tahan karat, murah dan dapat bersaing dengan bahan serat sintesis salah satunya komposit serat alam[1]. Komposit yang diperkuat serat alam 40% lebih ringan dibandingkan komposit *fiberglass*. Komposit dengan serat alam memiliki keuntungan berupa biaya yang relatif rendah dan sifat yang ramah lingkungan. Karena alasan tersebut, komposit serat alami bisa menjadi pilihan alternatif untuk menggantikan komposit serat buatan [2]. Komponen penyusun komposit yang dapat menentukan kekuatan, kekerasan serta sifat-sifat lainnya pada material komposit adalah serat alam, Contoh serat alam yang dapat digunakan dalam komposit adalah serat daun praksok (*Cordyline australis*)

Pohon praksok, atau *Cordyline australis*, adalah tanaman yang berasal dari Selandia Baru dan banyak ditemukan di wilayah Indonesia timur. Di wilayah Bali Tanaman ini kerap dimanfaatkan sebagai hiasan di pekarangan rumah. dan serat daun praksok digunakan sebagai hiasan penjor, bulu rangda dan bulu barong.

Untuk mendapatkan campuran serat Untuk mencapai kekuatan tarik optimal, serat perlu menjalani proses alkalisasi. Proses alkalisasi ini bertujuan menghilangkan komponen-komponen serat yang tidak berguna, sehingga serat menjadi bersih dari kotoran seperti pektin, lemak, dan lignin. Alkalisasi dengan Naoh merupakan metode yang paling sering digunakan. Sebagai pengikat serat, pelindung serat, dan mentransfer beban dari satu serat ke serat lainnya membutuhkan matriks yaitu resin.

*Korespondensi: Tel./Fax.: No telp atau hp anda / No fax anda
E-mail: [alamat email anda](#)

Resin polyester adalah bahan polimer kondensasi yang terbentuk berdasarkan reaksi antara gugus polyol, yang merupakan kombinasi organik dengan beberapa gugus fungsi alkohol atau hidroksi, dan polikarboksilat yang mengandung ikatan rangkap[3]. Yukalac 157 BQTN-EX merupakan salah satu jenis resin yang paling sering digunakan untuk membuat komposit.

Untuk menghasilkan material komposit serat alam dengan sifat mekanik yang baik, perlu mengetahui faktor yang mempengaruhi proses pembuatan material komposit. Volume fraksi serat merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap ketahanan komposit. [4].

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kekuatan *impact* optimal dari komposit yang diperkuat serat daun praksok. Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah pengaruh fraksi volume terhadap ketahanan *impact* pada komposit yang diperkuat dengan serat praksok (*Cordyline australis*). Untuk memperoleh hasil yang diinginkan dan mengatasi luasnya permasalahan, diperlukan pembatasan, antara lain:

1. Serat daun Praksok didapat sekitar lingkungan kampus teknik mesin Universitas Udayana, Jimbaran, Bali.
2. Tanaman praksok berumur kurang lebih 2 tahun.
3. Menggunakan daun yang ke 3 sampai ke 5 dari bawah.
4. Panjang serat daun praksok 1 cm dengan orientasi acak (*random*).
5. Fraksi volume serat pada komposit 15%, 20%,25%.
6. Menggunakan resin *polyester* Yukalac 157 BQTN-EX sebagai matriks
7. Pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay-up*.
8. Uji *impact* dilakukan menggunakan standar ASTM D-6110.
9. Perlakuan perendaman serat menggunakan alkalisasi (NaOH) 10% selama 2 jam.

2. Metode Penelitian

2.1 Pembuatan Serat Praksok

Serat Praksok adalah serat alam yang di peroleh dari tanaman Praksok dengan nama latin (*Cordyline australis*). Tanaman ini berasal dari Selandia Baru dan banyak di temui di wilayah Indonesia timur khususnya pulau Bali. Tanamn ini biasa digunakan untuk tanaman hias, serat daun praksok yang biasa digunakan sebagai bulu rangda, barong dan tali. Pada penelitian ini Serat daun praksok digunakan sebagai *reinforcement* pada komposit *polyester* [5]. Daun praksok yang digunakan, daun ketiga sampai kelima dari bawah dengan pohon berumur kurang lebih 3-5 tahun, karena daun ini tidak tua maupun muda, akan sangat baik bila diambil seratnya. Untuk pengambilan serat daun praksok dibutuhkan proses *watter retting* atau perendaman agar lebih mudah untuk diambil seratnya, *watter retting* dilakukan selama enam hari agar hasilnya lebih baik, karena jika terlalu lama

proses *watter retting* maka akan mengakibatkan kerusakan pada serat, dan serat akan lebih getas serta mudah putus.

Gambar 1. Proses pembuatan serat daun praksok Setelah serat praksok jadi langkah selanjutnya



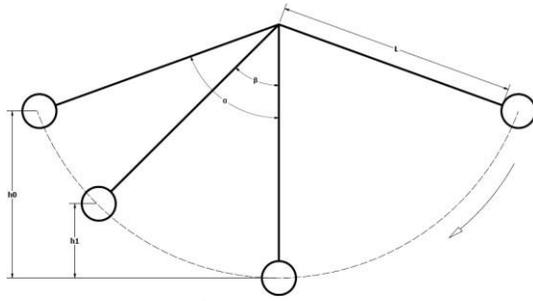
yaitu proses alkalisasi, salah satu cara modifikasi serat alam untuk meningkatkan antar muka matriks dan serat dengan proses alkalisasi. Proses alkalisasi menghilangkan hemiselulosa, lignin atau pectin komponen penyusun serat ini kurang efektif dalam menentukan kekuatan antar muka. Metode alkalisasi serat alam telah diterapkan untuk menghasilkan serat dengan kualitas tinggi.. Proses alkalisasi dengan cara merendam serat kedalam larutan basa alkali. NaOH adalah larutan basa yang mudah larut dalam air dan termasuk basa kuat yang dapat terionisasi secara sempurna [6]. Maka dari itu dalam penelitian ini proses alkalisasi menggunakan larutan NaOH. Serta penulis melakukan perendaman serat pada NaOH 10% selama 2 jam dikarenakan jika terlalu lama dapat mengurangi kekuatan pada serat, dikarenakan dapat merusak kandungan selulosa pada serat yang dapat mengurangi kualitasnya.



Gambar 2. Proses alkalisasi Serat daun praksok

2.2 Rumus kekuatan *Impact*

Pengujian impak merupakan salah satu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan material menyerap energi yang diberikan.



Gambar 3. Skema Uji Impact

- Energi awal (E_0)
 $= W \cdot h_0$
 $= W \cdot (L - L \cos \alpha)$ (1)
- Energi Akhir (E_1)
 $= W \cdot h_1$
 $= W \cdot (L - L \cos \beta)$ (2)
- Energi yang diserap (ΔE)
 $= E_0 - E_1$
 $= W \cdot h_0 - W \cdot h_1$
 $= W \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha)$ (3)

Untuk menentukan kekuatan impact yang diterima oleh suatu material, dapat dihitung menggunakan rumus berikut.:

$$I_s = \frac{\Delta E}{A} \quad (4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Gambar, Tabel dan Grafik

Fraksi Volume Serat	Kode Spesimen	Panjang (mm)	Tebal (mm)	Tinggi Daerah Takikan (mm)	A = Tebal x Tinggi (mm ²)	
Resin Polyester Tanpa Penguat	I	a	127	5	10,15	50,75
		b	127	5,2	10,15	52,78
		c	127	5	10,15	50,75
15% Serat Daun Praksok	II	a	127	5,1	10,15	51,76
		b	127	5	10,15	50,75
		c	127	5	10,15	50,75
20% Serat Daun Praksok	III	a	127	5	10,15	50,75
		b	127	5	10,15	50,75
		c	127	5	10,15	50,75
25% Serat Daun Praksok	IV	a	127	5,3	10,15	53,79
		b	127	5	10,15	50,75
		c	127	5	10,15	50,75

Tabel 3.1 Data Hasil Pengukuran Spesimen



Gambar 4. Komposit Dengan 20% Serat Daun Praksok

Fraksi Volume Serat	Kode Spesimen	β (°)	α (°)	W (Newton)	L (m)	
Resin Polyester Tanpa Penguat	I	a	89	90	81,34	0,6
		b	88,9			
		c	89			
15% Serat Daun Praksok	II	a	86			
		b	87			
		c	86			
20% Serat Daun Praksok	III	a	84			
		b	84			
		c	85			
25% Serat Daun Praksok	IV	a	84			
		b	88,6			
		c	88			

Tabel 3.2 Data Hasil Pengujian

Impact Diketahui :

- W = 81,34 N
- L = 0,6 m
- α = 90°
- β = 89°

Ditanya

- Energi awal (E_0)
- Energi Akhir (E_1)
- Energi yang Diserap (ΔE)

Penyelesaian :

- Energi awal (E_0)

$$E_0 = W \times h_0$$

$$= W \times L (1 - \cos \alpha)$$

$$= 81,34 \times 0,6 (1 - \cos 90^\circ)$$

$$= \mathbf{48,804 \text{ Joule}}$$

- Energi Akhir (E_1)

$$E_1 = W \times h_1$$

$$= W \times L (1 - \cos \beta)$$

$$= 81,34 \times 0,6 (1 - \cos 89^\circ)$$

$$= 48,804 \times 0,983$$

$$= \mathbf{47,974 \text{ Joule}}$$

- Energi yang Diserap (ΔE)

$$\Delta E = E_0 - E_1$$

$$= 48,804 - 47,974$$

$$= \mathbf{0,83 \text{ Joule}}$$

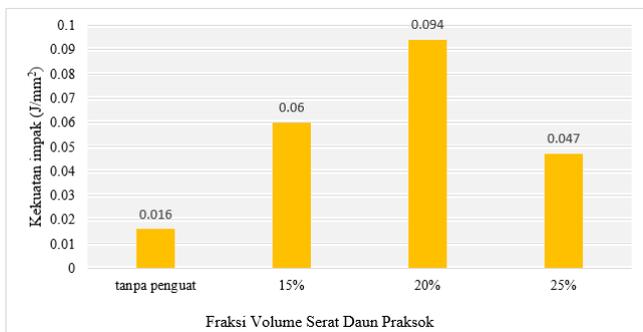
Fraksi Volume Serat	Kode Spesimen	E_0 (Joule)	E_1 (Joule)	$\Delta E = E_0 - E_1$ (Joule)	
Resin Polyester Tanpa Penguat	I	a	48,804	47,974	0,83
		b	48,804	47,876	0,928
		c	48,804	47,974	0,83
15% Serat Daun Praksok	II	a	48,804	45,436	3,368
		b	48,804	46,266	2,538
		c	48,804	45,436	3,368
20% Serat Daun Praksok	III	a	48,804	43,728	5,076
		b	48,804	43,728	5,076
		c	48,804	44,558	4,246
25% Serat Daun Praksok	IV	a	48,804	43,728	5,076
		b	48,804	47,632	1,172
		c	48,804	47,144	1,264

Tabel 3.3 Data Hasil Perhitungan Energi Yang Diserap

Setelah energi yang diserap (ΔE) dan luas penampang (A) sudah diketahui pada semua spesimen komposit, maka kekuatan *impact* dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$I_s = \frac{\Delta E}{A} = \mathbf{0,016 \text{ Joule} / \text{mm}^2}$$

Fraksi Volume Serat	Kode Spesimen	ΔE	A	$I_s = \Delta E/A$
Resin <i>polyester</i> tanpa penguat	I.a	0,83	50,75	0,016
	I.b	0,928	52,78	0,017
	I.c	0,83	50,75	0,016
	Rata-rata			0,016
15% serat daun praksok	II.a	3,368	51,76	0,065
	II.b	2,538	50,75	0,050
	II.c	3,368	50,75	0,066
	Rata-rata			0,060
20% serat daun praksok	II.a	5,076	50,75	0,100
	II.b	5,076	50,75	0,100
	II.c	4,246	50,75	0,083
	Rata-rata			0,094
25% serat daun praksok	II.a	5,076	53,79	0,094
	II.b	1,172	50,75	0,023
	II.c	1,264	50,75	0,024
	Rata-rata			0,047

Tabel 3.4 Data Hasil Perhitungan Uji *Impact*Gambar 5. Grafik Pengaruh Variasi Volume Fraksi terhadap Kekuatan *Impact* pada Komposit *Polyester* yang Diperkuat Serat Daun Praksok

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa nilai rata-rata resin *polyester* tanpa penguat memiliki nilai ketahanan *impact* mencapai (0,016 J/mm²), sedangkan nilai rata-rata dari spesimen dengan variasi fraksi volume 15% memiliki kekuatan *impact* mencapai (0,060 J/mm²), kemudian nilai kekuatan *impact* pada variasi fraksi volume 20% sebesar (0,094 J/mm²), dan ketahanan *impact* dari variasi 25% yaitu sebesar (0,047J/mm²). Pada variasi fraksi volume 20% memiliki nilai *impact* paling tinggi dikarenakan peningkatan fraksi volume menyebabkan berkurangnya *matrix flow* sehingga kekuatan komposit akan meningkat dan meningkatkan kontribusi serat dalam menahan beban *impact* [7]. Tetapi, pada variasi serat sebesar 25%, ketahanan *impact* mulai menurun. Hal ini disebabkan oleh distribusi resin yang tidak optimal pada permukaan serat, yang tidak dapat mengisi seluruh lekukan permukaan serat, sehingga menyebabkan adanya rongga berlebihan dalam komposit. Kekosongan ini menimbulkan rongga pada beberapa bagian komposit sehingga serat tidak mengikat secara optimal pada fraksi volume serat 25% [8].

4. Simpulan

Penambahan fraksi volume serat pada komposit *polyester* diperkuat serat daun praksok (*Cordyline australis*) memberikan pengaruh pada peningkatan nilai *impact* dibandingkan dengan tanpa penambahan serat daun praksok. Nilai *impact* tertinggi pada variasi fraksi volume 20% dengan nilai kekuatan *impact* sebesar 0,094 J/mm², namun pada variasi fraksi 25% spesimen mengalami penurunan kekuatan nilai *impact*

yaitu menjadi 0,047 J/mm² dan nilai ini menjadi yang terendah pada variasi fraksi volume yang lainnya.

Daftar Pustaka

- [1] Septiyanto, R. F., & Abdullah, A. H. D. (2015). *Perbandingan komposit serat alam dan serat sintesis melalui uji tarik dengan bahan serat jute dan e-glass*. Gravity : Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Fisika, 1(1), 1–4. <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/Gravity/article/view/2536%0Ahttp://jurnal.untirta.ac.id/index.php/Gravity/article/view/912>.
- [2] Hastuti, S., Budiono, H. S., Ivadiyanto, D. I., & Nahar, M. N. (2021). *Peningkatan Sifat Mekanik Komposit Serat Alam Limbah Sabut Kelapa (Cocofiber) yang Biodegradable*. Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia, 6(1), 30–37. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2257>
- [3] Sinaga, B., Manurung, C. S. P., Napitupulu, R. A. M., Tampubolon, M., & Sihombing, S. (2022). *Analisa Kekuatan Tarik dan Kekerasan Komposit Resin Polyester yang Diperkuat dengan Serat Pohon Aren (Ijuk) dengan Variasi Acak, Lurus dan Terputus- Putus Pendek*. Citra Saind Teknologi, 1(2), 50–58.
- [4] Siregar, A. H., Setyawan, B. A., & Marasabessy, A. (2017). *Komposit Fiber Reinforced Plastic Sebagai Material Bodi Kapal Berbasis Fiberglass Tahan Api*. Bina Teknika, 12(2), 261. <https://doi.org/10.54378/bt.v12i2.82>.
- [5] Bagus Putu Purwadnyana, I., Gde Tirta Nindhia, T., & Wayan Surata, I. (2020). *Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Poliester Berpenguat Serat Cordyline Australis (Daun Praksok) Dengan Perlakuan Air Laut*. Prosiding Seminar Nasional Teknoka, 5(2502), 274–282. <https://doi.org/10.22236/teknoka.v5i.344>
- [6] Nurfajri, & Arwizet, K. (2019). *Analisis Kekuatan Tarik Komposit Serabut Kelapa Dan Ijuk Dengan Perlakuan Alkali (NaOH)*. Journal of Multidisciplinary Research and Development, 1(4), 791–797.
- [7] I Putu Lokantara. (2012). *Analisis Kekuatan Impact Komposit Polyester-Serat Tapis Kelapa Dengan Variasi Panjang Dan Fraksi Volume Serat Yang Diberi Perlakuan NaOH*. In Dinamika Teknik Mesin (Vol. 2, Issue 1).
- [8] Aprianto, G., Nyoman, I., Nugraha, P., & Dantes, K. R. (2016). *Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Mekanis Komposit Matriks Polimer Polyester Diperkuat Serat Agave Sisal*. In Jurnal Jurusan Pendidikan Teknik Mesin (JJPTM) (Vol. 5, Issue 2).

	<p>Laden Pangestu menyelesaikan pendidikan SMA di SMAN 1 Tegaldlimo pada tahun 2020, kemudian mengambil S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 2020. Pada tugas akhir ia riset mengenai daun praksok dengan judul skripsi “pengaruh variasi fraksi volume terhadap kekuatan impak pada komposit <i>polyester</i> berpenguat serat daun praksok (<i>Cordyline australis</i>)”.</p>
---	---

Pengaruh Variasi Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Bending Pada Komposit Polyester Berpenguat Serat Daun Praksok (*Cordyline australis*)

Heruansyah¹⁾, I Putu Lokantara^{2)*}, I Gede Putu Agus Suryawan³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Salah satu serat alam yang dapat dieksplorasi menjadi bahan baku untuk komposit adalah serat praksok (*Cordyline australis*). Serat praksok memiliki nilai ekonomis yang tinggi yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti serat sintetis. Matriks yang digunakan adalah polimer berbentuk resin, dimana ada beberapa jenis resin yang beredar di pasaran yaitu polyester, vinil ester dan epoksi, Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisa kekuatan bending komposit serat alam (serat praksok) polyester dengan perbedaan variasi fraksi volume serat dan perendaman NaOH 10% selama 2 jam yang akan mempengaruhi ketangguhan, arah serat acak 1 cm sering dipilih dalam produksi massal karena biaya manufaktur yang lebih ekonomis, pengujian bending dengan ASTM D790-03 diberikan pada sebuah material untuk mengetahui sejauh mana sifat ulet (ductility) maupun getas. Setelah dilakukan pengujian maka didapatkan hasil dari uji Bending dengan komposit *polyester* berpenguat serat daun praksok (*Cordyline australis*), untuk hasil yang didapat berupa nilai tegangan, regangan, dan modulus elastisitas. Nilai tegangan pada variasi fraksi volume 0% rata-rata 20,804 MPa, pada variasi 15% memiliki rata-rata 22,833 MPa, variasi 20% rata-rata 25,964 MPa, dan variasi 25% rata-rata 19,764 MPa. Nilai regangan pada variasi 0% 1,926%, variasi 15% 5,487%, variasi 20% 5,680%, variasi 25% 2,238%. dan untuk modulus elastisitas pada variasi 0% sebesar 1,31 GPa, variasi 15% sebesar 1,04 GPa, variasi 20% sebesar 0,94 GPa, variasi 25% sebesar 0,79 GPa. Secara keseluruhan, analisis data menunjukkan bahwa fraksi massa serat 20% menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam hal tegangan, regangan, dan modulus elastisitas dibandingkan dengan variasi fraksi massa serat lainnya.

Kata Kunci : Serat Alam, Komposit, Serat Daun Praksok, Arah Serat, Polyester, Uji Bending

Abstract

One of the natural fibers that can be explored as a raw material for composites is praksok fiber (*Cordyline australis*). Praksok fiber has high economic value and can be used as a substitute for synthetic fibers. The matrix used is a polymer in the form of resin, of which there are several types of resin on the market, namely polyester, vinyl ester and epoxy. The aim of this research is to analyze the bending strength of polyester natural fiber composites (practised fiber) with different variations in fiber volume fraction and NaOH immersion. 10% for 2 hours which will affect toughness, 1 cm random fiber direction is often chosen in mass production because manufacturing costs are more economical, bending testing with ASTM D790-03 is given to a material to determine the extent of its ductility and brittleness. After testing, the results were obtained from the bending test with a polyester composite reinforced with praksok leaf fiber (*Cordyline australis*), the results obtained were in the form of stress, strain and elastic modulus values. The stress value at a 0% volume fraction variation has an average of 20.804 MPa, at a 15% variation an average of 22.833 MPa, a 20% variation has an average of 25.964 MPa, and a 25% variation has an average of 19.764 MPa. The strain value at 0% variation is 1.926%, 15% variation is 5.487%, 20% variation is 5.680%, 25% variation is 2.238%. And for the elastic modulus at 0% variation it is 1.31 GPa, 15% variation is 1.04 GPa, 20% variation is 0.94 GPa, 25% variation is 0.79 GPa. Overall, data analysis shows that a fiber mass fraction of 20% shows better performance in terms of stress, strain and elastic modulus compared to other fiber mass fraction variations.

Keywords: Natural Fiber, Composite, *Cordyline australis* Fiber, Fiber Direction, Polyester, Bending Test

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi komposit di Indonesia mempunyai prospek yang sangat menjanjikan karena sumber daya alam yang tersedia antara lain hasil pertanian dan limbah diperoleh sepanjang tahun. Serat alam digunakan dalam komposit karena sifatnya yang ramah lingkungan serta memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, ringan, dan biaya produksinya relatif rendah.

Tumbuhan Indonesia dapat dimanfaatkan untuk memperoleh serat untuk komposit, seperti serat daun praksok (*Cordyline australis*)[1]

Salah satu serat alam yang dapat diteliti

sebagai bahan baku material komposit adalah serat daun praksok (*Cordyline australis*). Keuntungan menggunakan serat praksok adalah tahan air, mudah didapat, dan lebih kuat dibandingkan serat rami. Serat praksok juga di pakai sebagai alternatif serat sintetis yang dapat digunakan pada bodi kendaraan.

Matriks adalah komponen dominan dalam komposit yang memiliki fraksi massa terbesar. Mempunyai penguat yang berperan sebagai bagian utama yang menanggung beban utama dalam komposit. Polyester berbentuk thermoset cair dengan viskositas relative rendah, bahan ini merupakan bagian dasar atau pengikat pada material komposit.[2] Larutan NaOH digunakan sebagai

*Korespondensi: Tel/Fax : No telp atau hp anda/No fax anda

E-mail: alamat email anda

©Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

perlakuan larutan alkalisasi dengan ujuan untuk menetralsir asam yang ada pada serat dan dapat membersihkan serat dari berbagai macam partikel yang masih menempel pada bahan serat alami dengan varisasi perendaman. Alkalisasi dilakukan dengan cara

pengadukan dalam larutan NaOH dengan konsentrasi yang bervariasi, seperti NaOH 2%, 5%, 6%, 10%, dan 15%, pada penelitian ini digunakan alkalisasi 10% karena hasil uji Tarik serat tunggal terbaik dengan alkalisasi

didapatkan variasi 10%. Lidah mertua adalah tanaman hias yang cukup populer untuk menghias bagian dalam rumah karena dapat tumbuh dalam kondisi sedikit air dan cahaya matahari adalah lidah mertua. Tanaman ini mulai dikenal di Indonesia sekitar tahun 1980 -an dengan varietas laurentii dan trifasciata. Keberadaannya semakin dikenal luas berkat penelitian NASA pada tahun 1999 yang menemukan bahwa lidah mertua, dengan kandungan pregnan glikosida, mampu menyerap 107 unsur yang terdapat dalam polusi udara. [3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan bending pada komposit polyester berpenguat serat daun praksok. Permasalahan yang diambil dari penelitian ini adalah Bagaimana pengaruh variasi fraksi volume terhadap kekuatan bending pada komposit berpenguat serat daun praksok (*Cordyline australis*). Untuk mencapai hasil yang diinginkan dari beragam permasalahan yang ada, penting untuk melakukan pengaturan yang mencakup beberapa pembatasan antara lain:

1. Serat daun Praksok didapat sekitar lingkungan kampus teknik mesin Universitas Udayana, Jimbaran, Bali.
2. Tanaman praksok berumur kurang lebih 2 tahun.
3. Menggunakan daun yang ke 3 sampai ke 5 dari bawah.
4. Panjang serat daun praksok 1 cm dengan orientasi acak (*random*).
5. Fraksi volume serat pada komposit 15%, 20%, 25%.
6. Menggunakan resin polyester Yucalac 157 BQTN-EX sebagai matriks
7. Pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay-up*.
8. Pengujian yang dilakukan adalah uji Bending dengan ASTM D790-03.
9. Perlakuan perendaman serat menggunakan alkalisasi (NaOH) 10% selama 2 jam.

2. Metode Penelitian

2.1 Pembuatan Serat Daun Praksok

Serat dari *Cordyline australis* memiliki morfologi berbentuk memanjang dan melintang, dengan permukaan yang kasar karena mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kekuatan tariknya per bundle serat yang diikat mencapai 2,5 gf/den, dengan perpanjangan serat sebesar 13,15%. Hal ini menunjukkan bahwa serat alami dari daun *Cordyline australis* dapat menjadi bahan alternatif untuk tekstil [4]. Daun praksok yang paling ideal untuk diambil seratnya adalah dari bagian pohon yang berada di posisi ketiga

hingga kelima dari bawah, pada pohon yang berusia sekitar 3-5 tahun. Daun-daun ini dipilih karena tidak terlalu tua maupun terlalu muda, sehingga seratnya dapat diambil dengan baik. Untuk mendapatkan seratnya, daun praksok perlu direndam dalam air selama enam hari menggunakan metode water retting. Durasi perendaman ini dipilih agar serat yang dihasilkan tetap berkualitas tinggi; perendaman yang terlalu lama dapat merusak serat dan membuatnya lebih rapuh serta mudah putus.



Gambar 1. Proses pembuatan serat daun parasok

Setelah serat praksok jadi langkah selanjutnya yaitu proses alkalisasi, Salah satu teknik untuk memodifikasi serat alam guna meningkatkan kualitas matriks dan serat adalah dengan melakukan alkalisasi. perlakuan larutan alkalisasi dengan maksud untuk mengimbangi keasaman dan membersihkan serat alami dari berbagai partikel yang menempel, menggunakan berbagai variasi perendaman. Penggunaan larutan NaOH pada alkilasi komposit polimer alam yang diperkuat merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kompatibilitas matriks dan serat. Dengan perlakuan alkilasi dengan NaOH maka kandungan selulosa pada serat dapat meningkat [5]. Maka dari itu dalam penelitian ini proses alkalisasi menggunakan larutan NaOH. Serta penulis melakukan perendaman serat pada NaOH 10% selama 2 jam dikarenakan jika terlalu lama dapat mengurangi kekuatan pada serat, dikarenakan dapat merusak kandungan selulosa pada serat yang dapat mengurangi kualitasnya.



Gambar 2. Proses alkalisasi Serat daun praksok

Setelah serat siap dilanjutkan dengan pencetakan spesimen dengan takaran yang sudah diperhitungkan untuk perbandingan serat dan resin, setelah serat dan resin sudah disatukan pada cetakan,

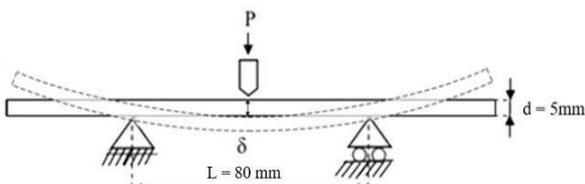
cetakan lalu di press atau diberi tekanan selama 1x24 jam, lalu komposit siap dipotong dan dilakukan pengujian



Gambar 3. Cetakan komposit

2.2 Rumus kekuatan Bending

Pengujian bending adalah jenis pengujian yang bertujuan untuk mengukur kekuatan terhadap pembengkokan, di mana digunakan metode three point bending dengan tumpuan bebas. Pada pengujian ini, spesimen akan mengalami tekanan di bagian atas dan tarikan di bagian bawahnya, sehingga akan dihasilkan beban maksimum sebelum terjadinya patah.



Gambar 4. Skema Uji Bending

Tegangan Bending

$$\sigma = 3PL/2bd^2 \tag{1}$$

Regangan Bending

$$\epsilon = (6\delta.d)/L^2 \tag{2}$$

Modulus Elastisitas

$$E = (L^3.m)/(4b.d^3) \tag{3}$$

3. Hasil dan Pembahasan



Gambar 5. Komposit Dengan 20% Serat Daun Praksok

Perbandingan Fraksi Volume (0%)	Data Hasil Perhitungan			
	No	Tegangan σ (MPa)	Regangan εl (%)	Modulus Elastisitas E (GPa)
100% : 0%	A1	20,656	1,403	1,58
	A2	22,734	2,617	1,091
	A3	19,021	1,758	1,272
	Rata-rata	20,804	1,926	1,314

Tabel 3.1 Data Hasil Rata-rata Uji Bending serat 0% Diketahui:

m = 19,596

b = 12,7 mm d = 3 mm
 δ = 2,9927 mm P = 54,653 mm
 L = 80 mm

a. Tegangan Bending

$$\sigma = 3PL/2bd^2$$

$$\sigma = 3 \times (54,653N) \times (80mm) / 2 \times (12,7mm) \times (5mm)^2$$

$$= 20,656 \text{ MPa}$$

b. Regangan Bending

$$\epsilon = (6\delta.d)/L^2$$

$$\epsilon = (6 \times (2,9927) \times 5mm)/80^2$$

$$= 0,01403 \times 100\%$$

$$= 1,40\%$$

c. Modulus elastisitas

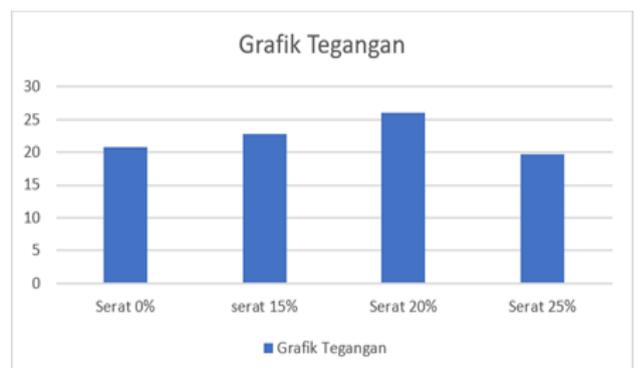
$$E = (L^3.m) / (4b.d^3)$$

$$E = (80)^3 \times (19,596) / (4 \times 12,7 \times (5)^3)$$

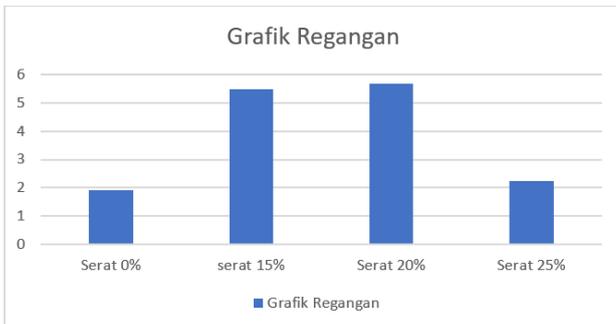
$$= 1,580 \text{ GPa}$$

Pengujian Bending			
Fraksi Serat 0% (A)			
No.	σl (MPa)	εl (%)	E(MPa)
A1	20,656	1,403	1,58
A2	22,734	2,617	1,091
A3	19,021	1,758	1,272
Rata- Rata	20,804	1,926	1,314
Fraksi Serat 15% (B)			
No.	σl (MPa)	εl (%)	E(MPa)
B1	23,435	5,001	1,173
B2	20,949	6,113	1,039
B3	24,115	5,347	0,911
Rata- Rata	22,833	5,487	1,041
Fraksi Serat 20% (C)			
No.	σl (MPa)	εl (%)	E(MPa)
C1	35,156	7,561	0,984
C2	17,026	4,720	0,842
C3	25,709	4,758	1,014
Rata- Rata	25,964	5,680	0,947
Fraksi Serat 25% (D)			
No.	σl (MPa)	εl (%)	E(MPa)
D1	18,151	1,889	0,914
D2	20,570	2,412	0,736
D3	20,570	2,412	0,736
Rata- Rata	19,764	2,238	0,795

Tabel 3.2 Data Hasil Perhitungan Rata-rata pengujian

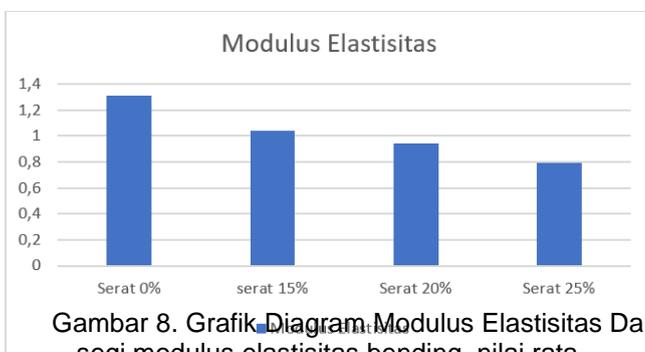


Berdasarkan grafik tersebut, dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi fraksi massa serat, tegangan bending cenderung meningkat. Misalnya, pada fraksi massa serat 20%, rata-rata tegangan bending mencapai 25,964 MPa, yang lebih tinggi dibandingkan dengan fraksi massa serat 0% yang mencapai 20,804 MPa. Fraksi massa 15% memiliki rata-rata tegangan 22,833 MPa, sementara fraksi massa 25% memiliki rata-rata tegangan 19,764 MPa.



Gambar 7. Grafik Diagram Regangan

Grafik regangan bending menunjukkan bahwa biokomposit dengan fraksi massa serat 20% memiliki nilai regangan tertinggi, dengan rata-rata regangan mencapai 5,680%. Di sisi lain, fraksi massa serat 0% memiliki regangan terendah dengan rata-rata 1,926%. Fraksi massa 15% memiliki rata-rata regangan 5,487%, sedangkan fraksi massa 25% memiliki rata-rata regangan 2,238%. Selama ikatan antara matriks dan serat tetap kuat, komposit mampu menahan beban hingga mencapai batas maksimumnya. Namun, jika fraksi volume serat melebihi 20%, kekuatan lentur komposit dapat menurun. Penurunan ini terjadi karena jumlah matriks yang mengikat serat menjadi lebih sedikit, sehingga kemampuannya dalam menahan gaya berkurang [6].



Gambar 8. Grafik Diagram Modulus Elastisitas Dari segi modulus elastisitas bending, nilai rata-rata menunjukkan bahwa biokomposit dengan fraksi massa 0% serat memiliki modulus elastisitas sekitar 1,31 GPa. Fraksi massa 15% serat memiliki modulus elastisitas sekitar 1,04 GPa, fraksi massa 20% serat memiliki modulus elastisitas sekitar 0,94 GPa, dan fraksi massa 25% serat memiliki modulus elastisitas sekitar 0,79 GPa. Modulus elastis mengalami penurunan seiring dengan bertambah banyaknya persentase serat yang digunakan. Semakin besar

persentase serat yang diberikan maka semakin kecil nilai modulus elastis yang didapatkan

4. Simpulan

Penambahan fraksi volume serat pada komposit polyester yang diperkuat dengan serat daun praksok (*Cordyline australis*) telah meningkatkan nilai bending dibandingkan dengan komposit yang tidak menggunakan serat daun praksok. Secara keseluruhan, analisis data menunjukkan bahwa fraksi massa serat 20% menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam hal tegangan, regangan, dan modulus elastisitas dibandingkan dengan variasi fraksi massa serat lainnya. Karna Memiliki tegangan bending rata-rata tertinggi, yaitu 25,964 MPa, menunjukkan kemampuan yang baik dalam menahan beban lentur, dan mempunyai regangan bending tertinggi dengan nilai rata-rata 5,680%, menunjukkan fleksibilitas yang baik sebelum mencapai batas patah, Meskipun modulus elastisitasnya lebih rendah (0,94 GPa), masih memberikan kekakuan yang cukup untuk banyak aplikasi.

Daftar Pustaka

- [1] Wona, Hendrikus, Kristomus B., Erich U. K. Maliwemu. (2015). *Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Bending dan Impak Komposit Polyester Berpenguat Serat Agave Cantula*, Jurnal Teknik Mesin, LJTMU: Vol. 02, No. 01.
- [2] Billmeyer. (1984). *Text Book of Polymer Science*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., Singapore.
- [3] Adhi Setiawan, Vivin Setiani, Fitri Hardiyanti, dan Devina Puspitasari. (2019). *Pengaruh Treatment Alkali Terhadap Karakteristik Fiber Sabut Kelapa Sawit dan Pelepeh Pisang Sebagai Bahan Komposit Polimer*. Journal of Research and Technology, Vol. 5 No.2 E-ISSN: 2477- 6165, 117-127
- [4] I. Bagus Putu Purwadnyana, T. Gde Tirta Nindhia, and I. Wayan Surata. (2020). *Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Polyester Berpenguat Serat Cordyline Australis (Daun Praksok) Dengan Perlakuan Air Laut*. Pros. Semin. Nas. Teknoka, vol. 5..
- [5] K. Witono, Y. Surya Irawan, R. Soenoko, and H. Suryanto. (2013). *Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) Terhadap Morfologi dan Kekuatan Tarik Serat Mendong*, J. Rekayasa Mesin, vol. 4, no. 3.
- [6] Rahman, M.B.N., Suwanda, T., Diharjo, K., *Studi Optimasi Peningkatan Kekuatan Bending Komposit Berpenguat Serat Nanas-Nanasan (Bromeliaceae) Kontinu Searah*, Jurnal Semesta Teknika, Vol. 11, No. 22, pp. 207-2017, 2008.



Heruansyah menyelesaikan pendidikan SMA di SMKS AL-HADIID 1 Cileungsi pada tahun 2020, kemudian mengambil S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 2020. Pada tugas akhir ia riset mengenai serat daun praksok dengan judul skripsi “pengaruh variasi fraksi volume terhadap kekuatan bending pada komposit *polyester* berpenguat serat daun praksok (*Cordyline australis*)”.

Karakteristik Termal Minyak Jelantah Sebagai Bio Phase Change Material

I Made Astika^{1)*}, I Gusti Komang Dwijana²⁾, I Putu Lokantara³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Minyak jelantah merupakan minyak goreng yang telah digunakan berkali-kali. Minyak jelantah memiliki potensi yang besar namun belum banyak dieksplorasi. Minyak jelantah seringkali terbuang di saluran drainase dan tanah yang selanjutnya berdampak negatif terhadap ekosistem. Minyak jelantah memiliki potensi untuk diaplikasikan sebagai system penyerap dan penyimpan panas sehingga perlu dilakukan penentuan sifat termalnya. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap minyak jelantah antara lain penentuan temperatur perubahan fase dan panas laten menggunakan metode T-History dan konduktivitas termal dengan TCi Thermal Conductivity Analyzer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak jelantah memiliki panas laten sebesar 97,7 kJ/kg dan konduktivitas termal sebesar 0,155 W/m.K. sangat menarik untuk dikembangkan sebagai penyimpan energi termal mengingat kemiripannya dengan minyak kelapa murni. Minyak jelantah sangat menarik untuk dikembangkan sebagai penyimpan energi termal mengingat kemiripannya dengan minyak kelapa murni yang merupakan PCM yang dapat digunakan sebagai system penyimpanan panas pada bangunan.

Kata kunci: Minyak jelantah, material berubah fase, sifat termal

Abstract

Waste cooking oil is a cooking oil that has been used many times. Waste cooking oil has great potential but has not been widely explored. Waste cooking oil is often disposed of in drainage channels and soil, which then has a negative impact on the ecosystem. Waste cooking oil has the potential to be applied as a heat absorber and storage system so that its thermal properties need to be determined. In this study, tests were carried out on waste cooking oil, including determining the phase change temperature and latent heat using the T-History method and thermal conductivity with the Thermal Conductivity Analyzer. The results showed that used cooking oil has a latent heat of 97.7 kJ/kg and a thermal conductivity of 0.155 W/m.K., which is very interesting to be developed as thermal energy storage considering its similarity to virgin coconut oil. Used cooking oil is very interesting to be developed as thermal energy storage considering its similarity to virgin coconut oil, which is a PCM that can be used as a heat storage system in buildings.

Keywords: Waste cooking oil, phase change material, thermal characteristics

1. Pendahuluan

Minyak jelantah (waste cooking oil, WCO) merupakan minyak goreng yang telah digunakan berkali-kali untuk menggoreng dan dianggap tidak layak untuk digunakan lagi karena berdampak buruk bagi kesehatan manusia. Minyak jelantah juga berpotensi menimbulkan kerusakan pada tanah, air, dan saluran air apabila dibuang ke lingkungan [1]. Hal ini ditunjukkan oleh hasil penelitian Fujita et al., (2015) yang menunjukkan bahwa 51% rumah tangga membuang minyak jelantah ke saluran drainase, 17% ke tanah, 15% ke pembantu rumah tangga, dan 11% ke program daur ulang kota [2]. Sisa minyak tersebut menyebabkan kerak di sekitar permukaan dalam pipa, sehingga mengakibatkan berkurangnya luas penampang saluran, berkurangnya aliran air limbah, dan percepatan terjadinya penyumbatan. Selain itu, kualitas air menurun yang selanjutnya menyebabkan kematian ekosistem perairan seperti ikan serta hewan dan tumbuhan lainnya. Minyak jelantah menyebabkan pemadatan tanah, mengurangi tingkat penyerapan tanah, membunuh cacing dan mikroba yang dibutuhkan dalam kesuburan tanah, dan memperlambat perkecambahan. Minyak tersebut juga mempengaruhi morfologi dan kandungan racun tanaman.

Badan Pusat Statistik 2021 yang menunjukkan bahwa rata-rata konsumsi minyak goreng per kapita per tahun sebesar 11,58 L/kapita/tahun atau meningkat 12,1% dibandingkan tahun 2015 sebesar 10,33 L/kapita/tahun. Dari beberapa negara dengan konsumsi minyak goreng terbesar, seperti: Tiongkok, Malaysia, Amerika Serikat, Eropa, Taiwan, Kanada, Jepang, dan lain-lain, telah menghasilkan minyak jelantah sebesar 16,54 juta ton (Mt) setiap tahunnya, dengan dua sumber utama yaitu: minyak jelantah komersial dari hotel, restoran, dan catering, serta minyak jelantah domestik dari rumah tangga [3]. Perlu diketahui bahwa minyak goreng bekas dapat menghasilkan 40%–60% minyak jelantah dengan hanya 18,5% yang dapat diambil kembali. Upaya pemanfaatan minyak goreng bekas telah banyak dilakukan oleh para peneliti, seperti: diolah menjadi sabun [4], pelunakan aspal tua [5], dan diolah menjadi biodiesel [6–9]. Beberapa penelitian yang dilakukan terhadap minyak goreng telah membuahkan hasil, bahwa minyak goreng, khususnya minyak kelapa, berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai penyimpan energi termal untuk pendinginan ruangan. Berdasarkan hal tersebut, minyak jelantah juga berpotensi untuk menyimpan energi termal untuk digunakan dalam pendinginan ruangan, namun penelitian mengenai hal tersebut masih sangat sedikit, seperti mengekstraksi

*Korespondensi: 08164748992

E-mail: made_astika@unud.ac.id

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

asam laurat yang terkandung dalam minyak jelantah dan dimanfaatkan sebagai penyimpan energi termal [10]. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan memanfaatkan minyak goreng sebagai Phase Change Material (PCM) dengan fokus pada sifat fisik dan termal serta kandungan asam lemak [11–14], karakteristik perpindahan panas pada proses pembekuan [15], karakteristik perpindahan panas pada proses peleburan [16], dan aplikasi dinding untuk pendinginan ruangan [17]. energi panas dan ini berarti pemanfaatannya sebagai penyimpan energi termal (TES) harus disesuaikan dengan aplikasinya [18]. Sementara itu, penentuan kelayakan pemanfaatan minyak goreng bekas sebagai penyimpan energi termal memerlukan kajian sifat termalnya dan hal ini menjadi fokus penelitian ini.

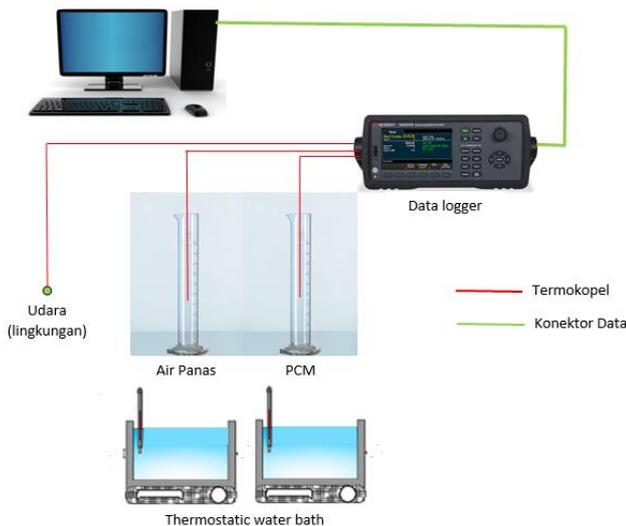
2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan kajian eksperimental terkait dengan upaya pemanfaatan minyak jelantah sebagai penyimpan energi termal dalam system pendinginan ruangan. Fokus penelitian diarahkan ke kajian sifat termal minyak jelantah.

Bahan penelitian ini adalah minyak jelantah dari minyak kelapa dan minyak kelapa murni. Pengujian dilakukan dengan metode T history untuk mendapatkan karakteristik termal dari minyak tersebut dan Thermal Conductivity Analyzer untuk mendapatkan konduktivitas termalnya.

2.1 Metode T-history

Proses pembekuan dan pencairan pada sampel PCM ditentukan secara visual menggunakan metode T-History. Metode ini meliputi pencatatan suhu awal dan akhir serta pengamatan visual terhadap perubahan pembekuan dan pencairan PCM. Skematik dari pengujian dengan metode T history disajikan pada gambar 1.



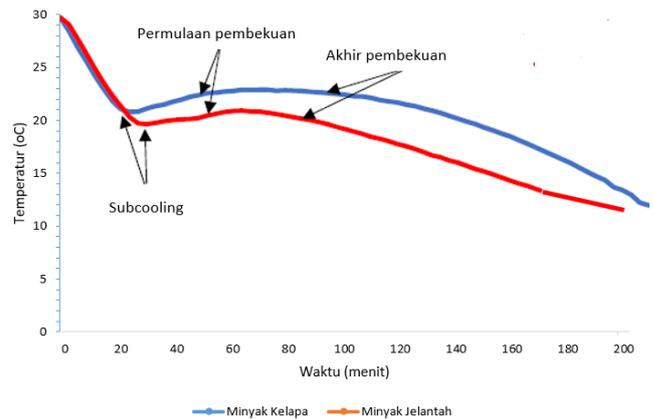
Gambar 1. Skematik metode T history

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian eksperimental ini dilakukan untuk mengetahui sifat termal minyak kelapa dan minyak goreng bekas atau minyak jelantah yang dinilai penting untuk dimanfaatkan sebagai penyimpan energi termal dalam pendinginan ruangan.

3.1 Hasil Uji T-history

Uji T-History untuk proses pembekuan minyak kelapa dan minyak jelantah menghasilkan grafik yang menunjukkan penurunan suhu yang diikuti oleh awal dan akhir pembekuan sebagaimana disajikan secara visual pada Gambar 2. Minyak kelapa ditemukan telah mencapai super cooling pada suhu 19 °C dan meningkat hingga 20 °C di mana ia mulai membeku sementara minyak jelantah mengalami subpendinginan pada suhu 18 °C dan mulai membeku pada suhu 19 °C. Ditemukan bahwa suhu beku minyak jelantah sedikit lebih rendah dan ini dikaitkan dengan perubahan komposisi dan jenis senyawa asam lemak dalam bahan.



Gambar 2. Hasil pengujian dengan T history

Dari pengujian Thermal Conductivity Analyzer didapatkan konduktivitas termal dari minyak jelantah sebesar 0,155 W/mK.

Dengan temperatur perubahan fase sekitar 20 °C, minyak jelantah dapat digunakan sebagai bahan penyerap dan penyimpan panas untuk aplikasi yang berhubungan dengan kenyamanan termal. Panas laten dari minyak jelantah sebesar 97,7 kJ/kgi mengindikasikan bahwa bahan tersebut dapat berfungsi sebagai penyerap dan penyimpan panas. Kekurangan dari minyak jelantah ini apabila digunakan sebagai penyerap dan penyimpan energi panas adalah nilai konduktivitas termal yang rendah, sehingga mengindikasikan perlunya pengolahan untuk meningkatkan nilai tersebut. Disamping itu rentang suhu perubahan fasa yang cukup besar dan adanya subcooling. Apabila diaplikasikan perlu diantisipasi sistem tambahan untuk proses pembekuannya karena temperatur perubahan fasenya terjadi di bawah temperatur kamar (27 °C)

4. Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak kelapa dan minyak jelantah memiliki potensi untuk digunakan sebagai penyimpan energi termal untuk mendinginkan ruangan berdasarkan sifat termalnya, terutama suhu perubahan fasa. Minyak jelantah merupakan material yang sangat menarik untuk dikembangkan mengingat kesamaan sifat termalnya dengan minyak kelapa seperti panas laten peleburan sebesar 97,7 kJ/kg dan konduktivitas termal sebesar 0,155 W/m.K.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Universitas Udayana yang telah memberikan dana dalam skema Penelitian Unggulan Program Studi (PUPS) dengan No Kontrak: B/255.120/UN14.4.A/PT.01.03/2024

Daftar Pustaka

- [1] M.R. Chirani, E. Kowsari, T. Teymourian, S. Ramakrishna, Environmental impact of increased soap consumption during COVID-19 pandemic: biodegradable soap production and sustainable packaging, *Sci. Total Environ.* 796 (2021), 149013, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149013>.
- [2] H. Fujita, W. Iijima, K. Nakano, J. Prayitno, H. Tsubaki, G. Kitagawa, A Comparative Study of Waste Cooking Oil Recycling Programs in Bogor and Niigata Cities and GHG Emission Reduction by Recycling, Atlantis Press, 2015, pp. 169–172. Retrieved from, <https://www.atlantis-press.com/proceedings/cas-15/22974>.
- [3] M.I. Loizides, X.I. Loizidou, D.L. Orthodoxou, D. Petsa, Circular bioeconomy in action: collection and recycling of domestic used cooking oil through a social, reverse logistics system, *Recycling* 4 (2) (2019), <https://doi.org/10.3390/recycling4020016>.
- [4] S.N.K. Azme, N.S.I.M. Yusoff, L.Y. Chin, Y. Mohd, R.D. Hamid, M.N. Jalil, H. M. Zaki, S.H. Saleh, N. Ahmat, M.A.F.A. Manan, N. Yury, N.N.F. Hum, F.A. Latif, Z. M. Zain, Recycling waste cooking oil into soap: knowledge transfer through community service learning, *Clea. Waste Syst.* 4 (2023), 100084, <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100084>.
- [5] A.K. Banerji, D. Chakraborty, A. Mudi, P. Chauhan, Characterization of waste cooking oil and waste engine oil on physical properties of aged bitumen, *Mater. Today: Proc.* 59 (Part 3) (2022) 1694–1699, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.401>.
- [6] A.N. Amenaghawon, K. Obahiagbon, V. Isesele, F. Usman, Optimized biodiesel production from waste cooking oil using a functionalized bio-based heterogeneous catalyst, *Clean. Eng. Technol.* 8 (2022) 1–11, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100501>, 100501.
- [7] S.N. Gopan, A.V. Rajan, B.R. Krishnan, Review of Bio-diesel production from waste cooking oil and analyze the IC engine performance, *Mater. Today: Proc.* 37 (Part 2) (2021) 1208–1211, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.373>.
- [8] K. Sharma, S.S. Toor, J. Brandao, T.H. Pedersen, L.A. Rosendahl, Optimized conversion of waste cooking oil into ecofriendly bio-based polymeric surfactant- A solution for enhanced oil recovery and green fuel compatibility, *J. Clean. Prod.* 294 (2021), 126214, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126214>.
- [9] I. Simbi, U.O. Aigbe, O. Oyekola, O.A. Osibote, Optimization of biodiesel produced from waste sunflower cooking oil over bi-functional catalyst, *Res. Eng.* 13 (2022), 100374, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100374>.
- [10] P.Y.L. De Silos, A.A. Ocampo, A.M.E. Remarim, Thermal energy storage using phase change material

- derived from waste cooking oil: a case study, *Int. J. Innovat. Stud. Sci. Eng. Technol.* 5 (4) (2019) 129–138, <https://doi.org/10.20469/ijtes.5.10004-4>.
- [11] A.O. Silalahi, N. Sukmawati, I.M. Sutjahja, D. Kurnia, S. Wonorahardjo, Thermophysical parameters of organic PCM coconut oil from T-history method and its potential as thermal energy storage in Indonesia, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 214 (2017), 012034.
- [12] L. Safira, N. Putra, T. Trisnadewi, E. Kusri, T.M.I. Mahlia, Thermal properties of sonicated graphene in coconut oil as a phase change material for energy storage in building applications, *Int. J. Low Carbon Technol.* 15 (No. 4) (2020) 629–636.
- [13] Y. Tochitani, M. Fujimoto, Measurement of specific heat capacity of vegetable oils, *Netsu Bussei* 15 (No. 4) (2001) 230–236.
- [14] E.S. Mettawee, E.I. Eid, S.A.M. Amin, Experimental study on space cooling with PCM thermal storage, *J. Appl. Sci. Res.* 8 (No. 7) (2012) 3424–3432.
- [15] M. Irsyad, A. Amrizal, M.D. Susila, A. Amrul, T.M. Fransisco, Heat transfer characteristics of coconut oil as phase change materials in freezing process, *Int. J Tech Phys Probl Eng.* 14 (No. 1) (2022) 29–33.
- [16] M. Irsyad, Harmen, Heat transfer characteristics of coconut oil as phase change material to room cooling application, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 60 (2017), 012027, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/60/1/012027>.
- [17] M. Irsyad, A.D. Pasek, Y.S. Indartono, A.W. Pratomo, Heat transfer characteristics of building walls using phase change material, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 60 (2017), 012028, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/60/1/012028>.
- [18] J. Jeon, J.H. Lee, J. Seo, S.G. Jeong, S. Kim, Application of PCM thermal energy storage system to reduce building energy consumption, *J. Therm. Anal. Calorim.* 111 (2013) 279–288, <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2291-9>.

	<p>I Made Astika menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 1994. Pendidikan Magister Ergonomi diselesaikan pada tahun 2003 di Universitas Udayana dan Magister Teknik Mesin diselesaikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2007 dengan area riset tentang material komposit.</p>
<p>Pada tahun 2023 menyelesaikan pendidikan doctoral di Universitas Udayana. Saat ini ia bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah material komposit.</p>	

Pengaruh Alkalisasi Dan Fraksi Komposit *Polyester*-Serat Bemban (*Donax Canniformis*) Terhadap Konduktivitas Termal Dan Struktur Makro

Rachmat Subagyo^{1)*}, Adi Saputra²⁾, Mastiadi Tamjidillah³⁾, Abdul Ghofur⁴⁾, Apip Amrullah⁵⁾, Muchsin⁶⁾

^{1,2,3,4,5)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat, Kampus Jl. A. Yani Km 35,5 Banjarbaru 70714

⁶⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tadulako, Kampus Palu

Abstrak

Dalam perkembangan saat ini, kebutuhan material dengan kombinasi sifat mekanik yang unggul tidak ditemukan pada material konvensional. Komposit merupakan suatu material yang terbentuk dari gabungan dua atau lebih bahan pembentuk melalui campuran yang tidak homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan mengatur komposisi bahan pembentuknya. Komposit berbahan dasar serat alam telah banyak diteliti, hal ini disebabkan sifatnya yang lebih ramah lingkungan dan ketersediaan serat alam sangat banyak di alam. Penelitian untuk memperoleh nilai sifat mekanik telah banyak dilakukan, namun penelitian untuk memperoleh sifat termal suatu bahan masih sedikit. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode pengambilan data dengan menggunakan alat Heat Insulation / Heat Conduction PHYWE SYSTEME GMBH 37070. Berdasarkan penelitian ini diperoleh nilai konduktivitas termal dengan perlakuan alkalisasi 1% yang mengalami penurunan dari komposisi serat 40% menjadi komposisi serat 60% dari angka 0,075 W/m°C menjadi 0,070 W/m°C, dan nilai konduktivitas termal untuk Perlakuan alkalisasi 4% juga mengalami penurunan dari komposisi serat 40% menjadi komposisi serat 60% dari 0,067 W/m°C menjadi 0,061 W/m°C masih diatas sampel kontrol (tanpa serat) yaitu sebesar 0,060 W/m°C.

Kata Kunci : Alkalisasi, Bemban, Komposit, Konduktivitas Termal, Fraksi Volume

Abstract

In current developments, the need for materials with a combination of superior mechanical properties not found in conventional materials. A composite is a material formed from the combination of two or more forming materials through an inhomogeneous mixture, so that we are free to plan the strength of the composite material we want by adjusting the composition of the forming materials. Composites made from natural fibers have been widely researched, this is because they are more environmentally friendly and the availability of natural fibers is very abundant in nature. Much research has been carried out to obtain mechanical property values, but there is still little research to obtain the thermal properties of a material. Therefore, this research was carried out using a data collection method using the Heat Insulation / Heat Conduction PHYWE SYSTEME GMBH 37070 tool. Based on this research, the thermal conductivity value obtained with 1% alkalization treatment decreased from 40% fiber composition to 60% fiber composition. from 0.075 W/m°C to 0.070 W/m°C, and the thermal conductivity value for the 4% alkalization treatment also decreased from 40% fiber composition to 60% fiber composition from 0.067 W/m°C to 0.061 W/m°C, still above control sample (without fiber) is 0.060 W/m°C.

Keywords: Alkalization, Load, Composite, Thermal Conductivity, Volume Fraction

1. Pendahuluan

Pada perkembangan zaman ini, keperluan bahan dengan campuran karakteristik mekanis unggul yang tidak ditemukan pada bahan konvensional. Komposit ialah suatu bahan yang tersusun dari gabungan dua atau lebih bahan penyusunnya melewati gabungan yang tidak sama, membuat kita bebas menentukan kekuatan bahan yang kita harapkan dengan mengatur kandungan dari bahan penyusunnya (Matthews dkk, 1993). Serat alam sebagai bahan dasar komposit sudah banyak diselidiki, ini disebabkan sifatnya yang lebih bersahabat dengan lingkungan dan serat alam yang begitu banyak persediaannya di alam (Perdana dan Jamasri, 2015). Penyelidikan agar memperoleh nilai-nilai dari sifat mekanisnya sudah banyak dilakukan, akan tetapi penyelidikan agar memperoleh sifat panas

bahan masih sedikit. Serat bemban ialah serat alam yang bisa dijadikan sebagai bahan penguat komposit. Bemban merupakan sumber hayati yang seringkali digunakan oleh warga menjadi bahan utama kerajinan tangan yaitu kerajinan anyaman. Aktivitas menghasilkan kerajinan anyaman dengan bahan utama batang bemban masih belum menggunakannya secara berlebihan (Lusyiani, 2010). Sedangkan penggunaan serat dari tumbuhan bemban ini untuk penggunaan bidang keteknikan masih belum banyak. Salah satunya ialah penggunaan serat bemban sebagai komposit. Sesuai dengan rincian pendek di atas, penyelidikan ini dilakukan agar mengetahui "Pengaruh Alkalisasi dan Variasi Fraksi Volume Komposit *Polyester*-Serat Bemban (*Donax Canniformis*) Terhadap Nilai Konduktivitas Termal dan Struktur Makro" untuk mengetahui nilai konduktivitas termal komposit

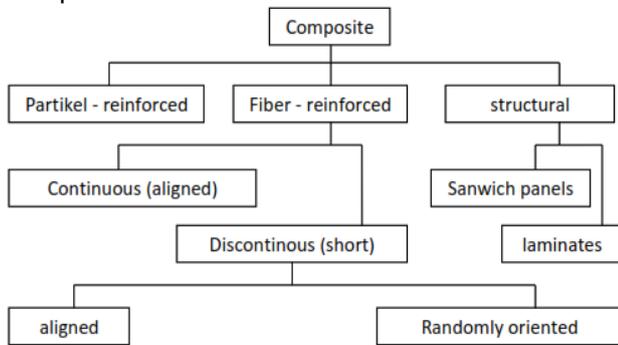
*Korespondensi: Tel./Fax.: [No telp atau hp anda / No fax anda](tel:08123456789)

E-mail: alamat_email_anda

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

polyester-serat berman dengan berbagai perlakuan dan komposisi. Oleh sebab itu, penyelidikan ini dilakukan menggunakan metode pengambilan data menggunakan alat *Heat Insulation/Heat Conduction PHYWE SYSTEME GMBH 37070*.

Komposit yaitu satu bahan yang tersusun atas campuran beberapa material atau lebih dari satu penyusun melewati campuran yang berlainan, yang mana karakter mekanis dari tiap-tiap bahan penyusunnya berlainan. Dari gabungan itu maka diproduksi bahan komposit yang karakteristik mekanik dan sifat-sifat yang berlainan atas bahan penyusunnya menyebabkan kita bebas menentukan kekuatan bahan komposit yang diinginkan melewati cara menyesuaikan komposisi dari bahan penyusunnya. Maka komposit yaitu gabungan sistem banyak fasa sifat dan gabungan, yaitu perpaduan dari bahan matriks atau pengikat dengan penguat (Matthews dkk, 1993). Material komposit tersusun dari banyak unsur. Bagian-bagian ini bisa berupa unsur organik, anorganik ataupun metal dalam bentuk serat, serpihan, partikel dan lapisan.



Gambar 1. Klasifikasi Komposit

Bila dipandang dari bahan penyusun komposit, maka komposit bisa dibedakan dalam beberapa jenis yaitu (Sulian, 2008):

1. Komposit partikel (*particulate composite*)

Komposit partikel yaitu komposit yang berisi bahan penguat berukuran partikel atau serbuk. Partikel menjadi bahan penguat paling memastikan karakter mekanis dari komposit sebab melanjutkan tekanan yang disalurkan oleh matriks. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat mekanik dari komposit partikel yaitu ukuran, bentuk, dan material partikel.

2. Komposit serat (*fibrous composite material*)

Komposit yang tersusun dari satu lamina (lapisan) yang memakai penguat seperti serat (*fiber*) dan matriks (bahan dasar) yang dihasilkan secara fabrikasi disebut komposit serat, contohnya serat ditambahkan resin yang menjadi bahan perekat.

3. Komposit serpih (*flake composites*)

Komposit serpih yaitu komposit yang tersusun dari kepingan-kepingan yang dicampurkan ke dalam matriks agar saling menahan dengan mengikat permukaan.

4. Komposit lapis (*laminated composite materials*)

Komposit *laminat* yaitu tipe komposit yang terbentuk atas dua bahkan lebih lapisan yang dicampur menjadi satu dan mempunyai sifat-sifat khusus di masing-masing lapisannya. Komposit *laminat* tersusun dari 4 tipe, yaitu komposit serat anyaman, komposit serat

hybrid, komposit serat sembarang, dan komposit serat lurus teratur.

Perlakuan pada serat yang bertujuan agar memusnahkan ampas atau *lignin* pada serat yang mempunyai sifat alami serat ialah suka dengan air atau bisa juga dibidang *hydrophilic*, hal itu yang dikatakan perlakuan alkali. Pengaruh perlakuan alkali dengan sifat permukaan serat alam telah diselidiki yang mana komposisi air paling bagus bisa dirubah sehingga sifat alami serat (*hydrophilic*) bisa membuat ikatan *interfacial* dengan matriks secara optimum (Bismarck, dkk. 2002). Biasanya pada komposit serat memakai NaOH untuk perlakuan alkali.

Katalis yaitu bahan kimiawi yang dicampurkan pada matriks resin polimer yang berguna agar tahapan pembekuan matriks berlangsung cepat. Katalis ialah satu bahan kimiawi yang bisa menaikkan kecepatan satu reaksi tanpa bahan bersangkutan menjadi tergunakan, dan setelah reaksi selesai, bahan bersangkutan akan kebentuk asal kembali tanpa terjadi pergantian kimiawi.

Matriks yaitu bahan yang dipakai sebagai bahan pengikat bahan penguat tapi tanpa terjadi reaksi kimiawi dengan bahan penguat. Sebagian besar, matriks fungsi untuk: melindungi komposit dari kegagalan-kegagalan, baik kegagalan secara mekanis ataupun kimia, mengirim tekanan sekitar ke bahan penguat dan mengikat bahan penguat.

Material matriks yang sangat sering digunakan dalam komposit ialah matriks tipe polimer. Keuntungan memakai matriks polimer ialah murah, ringan, ketahanan kimia yang tinggi, serta gampang dalam pembuatan produk. Resin *polyester* yaitu salah satu tipe matriks *polimer thermoset* yang sangat banyak dipakai khususnya pada pembuatan komposit saat ini. Resin *polyester* memiliki sifat-sifat yang khas ialah transparan, tahan air, bisa diwarnai, fleksibel, tahan dalam cuaca ekstrim, tahan kimia. Suhu kerja *polyester* bisa mencapai 70°C atau lebih tergantung kebutuhannya. *Curing* (pengerasan) pada *polyester* bisa dikerjakan dengan menambahkan katalis. Kecepatan *curing* ditentukan pada perbandingan dalam pencampuran katalis (Schwartz, 1984). Keuntungan yang lainnya yaitu *polyester* mudah dikombinasikan dengan serat, keseimbangan dimensional, bisa dipakai untuk semua bentuk penguatan plastik, dan mudah pembuatannya. Biasanya *polyester* dipakai untuk konstruksi sebagai material komposit.

Berman atau baman (*Donax caniformis*) yaitu tipe tumbuhan berumpun, membuat semak tinggi 1,5 sampai 5 meter batang lingkaran pejal berwarna hijau, memiliki panjang antara 1 sampai 2,5 meter. Daun tunggal bertangkai 8 sampai 20 cm, dengan lembaran bulat telur lebar sampai jorong, 10-25 x 10-45 cm. Baman banyak hidup bebas di sisi-sisi air atau di daerah yang basah dan di hutan-hutan (Heyne, 1987). Perpindahan panas yaitu tahapan kejadian pengiriman termal, apabila pada satu sistem itu ada selisih suhu, atau sistem yang lebih dari satu suhunya berlainan disandingkan, akan menyebabkan perpindahan termal. Energi yang dikirimkan disebut termal atau panas.

Ada 3 proses terjadinya perpindahan panas, yaitu sebagai berikut (Incropera, 2007):

1. Konduksi

Konduksi yaitu mengirim energi satu partikel dengan penjurusan yang tinggi dalam zat yang tidak berjauhan ke partikel dengan penjurusan yang lebih rendah sebagai efek dari hubungan antar partikel.

2. Konveksi

Konveksi ialah model pengiriman energi antara permukaan benda padat dengan gas atau *liquid* yang tidak berjauhan didalam perjalanan, dan ini mencampur tangankan gabungan efek konduksi dan gerakan fluida.

3. Radiasi

Radiasi merupakan sinaran energi dari materi pada bentuk gelombang elektromagnetik (*photon*) sebagai akibat dari perubahan ukuran elektronis dari molekul atau atom.

Konduktivitas termal merupakan suatu kejadian pengiriman dimana perselisihan temperatur mengakibatkan pengiriman energi termal dari suatu area benda termal ke area yang berbeda dari benda yang sama pada suhu yang lebih kecil. Nilai konduktivitas termal satu material bisa ditentukan tanpa melewati perhitungan langsung. Melalui pengerjaan perhitungan secara langsung terhadap banyak satuan lain, jadi nilai konduktivitas termal biasanya bisa dipastikan melewati persamaan hukum *Fourier* dibawah ini:

$$q_{\text{cond}} = -k \cdot A \frac{dT}{dx} = -k \cdot A \frac{dT}{dx} \text{ atau}$$

$$\frac{q_{\text{cond}}}{A} = \frac{q_{\text{cond}}}{A} = q_{\text{cond}}'' = -k \frac{dT}{dx} = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Dimana:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{(T_2 - T_1)dT}{L} = \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (2)$$

Maka, *flux* panas:

$$\begin{aligned} q_{\text{cond}}'' &= -k \frac{(T_2 - T_1)}{L} = k \frac{(T_1 - T_2)}{L} = \\ &= -k \frac{(T_2 - T_1)}{L} = k \frac{(T_1 - T_2)}{L} = k \frac{\Delta T}{L} k \frac{\Delta T}{L} \quad (3) \end{aligned}$$

Dimana:

q_{cond}'' = flux, laju aliran perpindahan panas pada arah x, yaitu laju persatuan luas (W/m^2)

q_{cond} = total laju aliran perpindahan panas konduksi (Watt), yang melewati suatu luasan tertentu, A (m^2)

A = luas penampang (m^2)

K = nilai konduktivitas termal bahan ($W/m^{\circ}C$)

T_1 = temperatur permukaan dalam benda ($^{\circ}C$)

T_2 = temperatur permukaan luar benda ($^{\circ}C$)

L = ketebalan (m)

Ada banyak penyebab yang berpengaruh terhadap nilai konduktivitas termal suatu bahan, seperti dibawah ini (Hidayat, 2000):

1. Kandungan uap air

Konduktivitas panas udara tenang lebih kecil 25 kali dari nilai konduktivitas panas air. Maka dari itu, ketika satu bahan berlubang mengandung air, maka berpengaruh

terhadap nilai konduktivitas panasnya. Konduktivitas panas yang rendah dalam material isolator ialah setara komposisi udaranya dalam bahan tersebut.

2. Suhu

Pengaruh suhu sebanding dengan konduktivitas termal, biasanya bila suhu meninggi maka konduktivitas termalnya juga akan meninggi.

3. Porositas dan kepadatan

Kepadatan ialah bentuk kerjasama partikel/serat pada satu bahan dan memiliki karakteristik khas dari satu bahan, kepadatan tersebut disebabkan oleh temperatur dan pembebanan. Dalam menyelidiki kepadatan lembaran kayu maka harus diketahui kekuatannya. Lebih rendah kepadatannya maka kekuatan papan pun akan lebih rendah.

Penyelidikan tentang konduktivitas termal komposit sudah dikerjakan baik melewati rumusan, pengamatan dan peragaan angka (Pietrak, 2015). Konduktivitas termal yang diketahui sebagai kebiasaan satu bahan apabila memperoleh perlakuan termal, ialah salah satu ukuran yang dibutuhkan dalam menentukan sifat-sifat material komposit, yang bisa menghasilkan komposit yang mempunyai karakteristik mekanis yang bagus dengan perbandingan akumulasi penguat dan matriks yang sesuai.

2. Metode Penelitian

Pada penyelidikan yang dikerjakan ini memakai metode eskperimen (pengujian laboratorium) masing-masing sampel komposit yang sudah divariasikan komposisinya (40% serat: 60% resin, 50% serat: 50% resin, dan 60% serat: 40% resin) dan sebelumnya serat sudah diberi perlakuan alkali dengan konsentrasi 1% dan 4% selama 2 jam seterusnya dikerjakan pengujian konduktivitas termal dan struktur makro untuk mengetahui pengaruh dari eksperimen.

Variabel penelitian terbagi menjadi tiga yaitu variable bebas: alkalisasi dan fraksi volume, variabel terikat: uji konduktivitas termal dan uji struktur makro, variabel kontrol: katalis 1% dari jumlah volume resin, metode *hand lay-up*, Temperatur sumber panas di dalam alat uji dengan pemanasan selama 40 menit adalah sebesar 70-80 $^{\circ}C$.

Prosedur-prosedur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.1. Perlakuan serat bemban

a. Batang bemban dibersihkan, dipotong, kemudian diiris dengan tebal 1 mm dan panjang 25 cm.

b. Lalu serat yang sudah diiris direbus selama \pm 120 detik.

c. Menyiapkan cairan dengan konsentrasi soda api sebanyak 1% dan 4%.

d. Serat bemban yang sudah tersedia lalu dimasukkan kedalam cairan soda api selama \pm 90 menit untuk dikerjakan proses alkalisasi.

e. Terakhir serat bemban dikeringkan dengan cahaya matahari selama 48 jam.

2.2. Pembuatan komposit

a. Menyediakan cetakan sampel dari kaca dengan ukuran 25 cm x 26 cm x 5,5 cm dan mengolesi wax/kit pada cetakan yang telah disediakan.

b. Menyediakan resin.

- c. Menyediakan katalis.
- d. Mencampurkan resin dan katalis (katalis sebanyak 1% dari volume resin).
- e. Menyediakan serat yang sudah dikeringkan, lalu posisikan serat bemban sesuai dengan panjang serat yang ditentukan.
- f. Lalu olesi resin diatas serat sampai merata.
- g. Setelah ± 1 hari keluarkan sampel dari cetakan.
- h. Terakhir keringkan sampel selama ± 2 hari pada suhu ruang.

2.3. Pengujian sampel uji konduktivitas termal

- a. Sediakan 3 sampel dengan material komposit yang sama (1A, 1B, dan 1C) yang akan di uji konduktivitas termalnya.
- b. Memasang sampel di setiap sisi alat *Heat Insulation House* dan juga pasang termokopel pada masing-masing dinding (sisi dalam dan luar) sampel 1A dan 1B untuk diukur temperaturnya.
- c. Hidupkan alat *heat conduction* selama 40 menit pemanasan.
- d. Setelah pemanasan selama 40 menit ambil data temperatur dinding luar dan dalam dari sampel 1A dan 1B dan juga temperatur udara dalam dan luar (lingkungan) setiap 5 menit selama 30 menit.
- e. Setelah itu pasang termokopel pada sampel 1C, kemudian nyalakan kembali selama 15 menit pemanasan. Setelah itu ambil data temperatur dinding dalam dan luar, juga temperatur udara dalam dan luar dari sampel 1C seperti tahap (d).
- f. Pegujian untuk sampel uji komposit pertama selesai. Ulangi langkah (a) sampai (f) untuk semua sampel uji komposit.

2.4. Pengujian sampel uji struktur makro

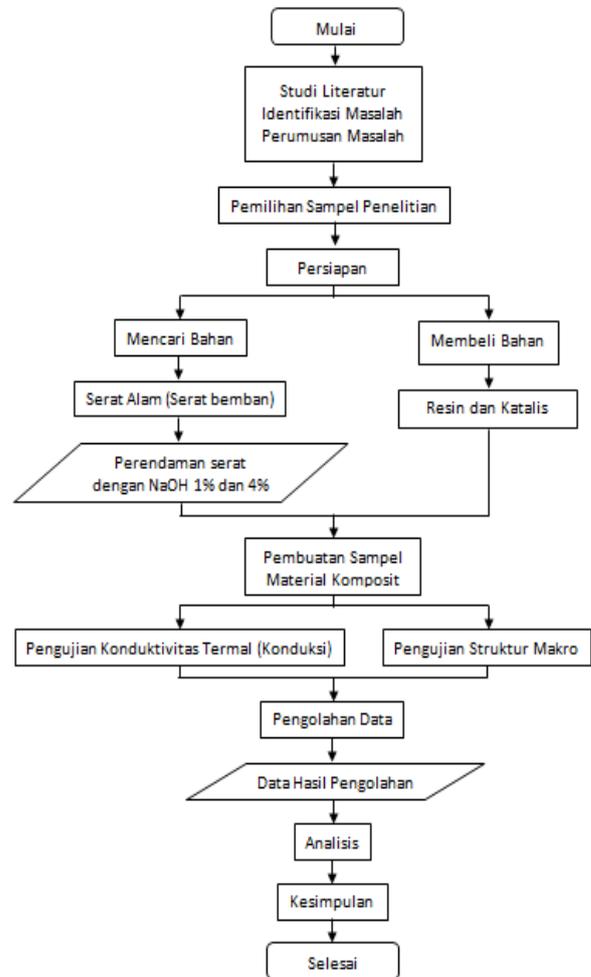
- a. Sediakan sampel uji struktur makro dengan masing-masing variasi diambil 1 sampel.
- b. Potong sampel pada titik pengujian konduktivitas termal.
- c. Siapkan mikroskop digital dan laptop/*notebook*.
- d. Letakkan sampel uji pada tempat pengujian struktur makro.
- e. Ambil Gambar sampel pada titik pengujian konduktivitas termal.

Tabel 1. Nilai konduktivitas termal rata-rata dari masing-masing sampel

Alkalisasi (%)	Fraksi Volume/Sampel	Konduktivitas Termal (W/m°C)	Konduktivitas Termal Rata-Rata (W/m°C)
1	40 serat - 60 resin		
	Sampel 1A	0,071	0,075
	Sampel 1B	0,083	
	Sampel 1C	0,071	
	50 serat - 50 resin		
	Sampel 2A	0,074	0,074
	Sampel 2B	0,087	
Sampel 2C	0,061		

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Konduktivitas Termal

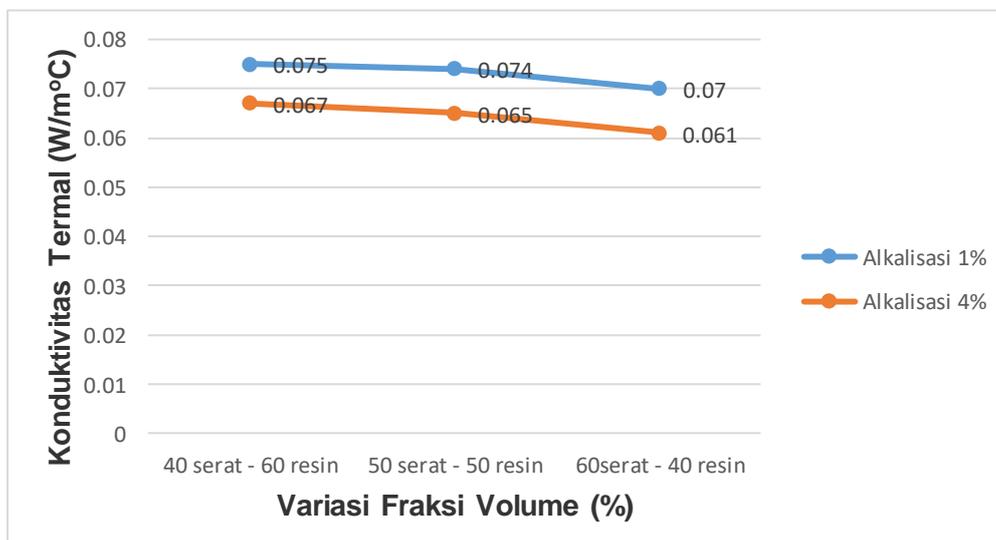
Besarnya nilai konduktivitas termal rata-rata dari masing-masing sampel yang diuji berdasarkan data pengukuran parameter penentu nilai konduktivitas termal material seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Alkalisasi (%)	Fraksi Volume/Sampel	Konduktivitas Termal (W/m°C)	Konduktivitas Termal Rata-Rata (W/m°C)
	60 serat - 40 resin		
	Sampel 3A	0,054	0,070
	Sampel 3B	0,108	
	Sampel 3C	0,049	
4	40 serat - 60 resin		
	Sampel 4A	0,062	0,067
	Sampel 4B	0,077	
	Sampel 4C	0,062	
	50 serat - 50 resin		
	Sampel 5A	0,073	0,065
	Sampel 5B	0,062	
	Sampel 5C	0,061	
	60 serat - 40 resin		
	Sampel 6A	0,044	0,061
	Sampel 6B	0,072	
	Sampel 6C	0,067	
Tanpa perlakuan	100 resin		
	Sampel 7A	0,055	0,060
	Sampel 7B	0,063	
	Sampel 7C	0,063	

Grafik perbandingan pengaruh variasi fraksi volume sampel uji terhadap nilai konduktivitas termal seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

konduktivitas termal dari masing-masing sampel Dari Gambar 3 terlihat nilai konduktivitas termal dengan perlakuan alkalisasi 1% mengalami penurunan dari

komposisi serat 40% ke komposisi serat 60% dari angka 0,075 W/m°C menjadi 0,070 W/m°C, dan nilai konduktivitas termal untuk perlakuan alkalisasi 4% juga mengalami penurunan dari komposisi serat 40% ke komposisi serat 60 dari angka 0,067 W/m°C menjadi 0,061 W/m°C masih beposisi diatas sampel kendali (tanpa serat) yaitu sebesar 0,060 W/m°C.



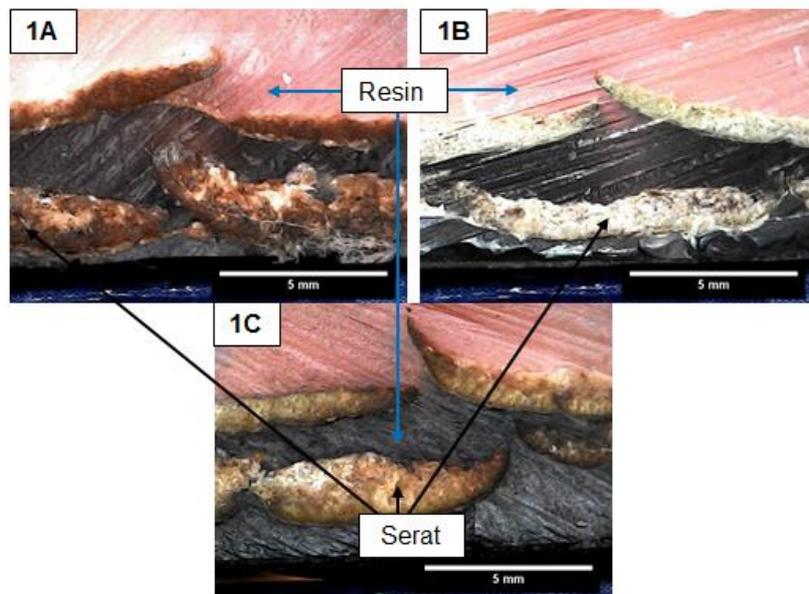
Gambar 3. Grafik pengaruh alkalisasi dan variasi fraksi volume terhadap nilai

Hal ini dikarenakan oleh lapisan serat yang kurang rapat menyebabkan ada celah kosong yang tidak terisi oleh resin yang menyebabkan gelembung-gelembung udara yang terjebak (*void*) sehingga saat dialiri termal konduksi yang terjadi penghambatan rambatan panas. Penyebab yang berpengaruh terhadap nilai konduktivitas panas satu bahan ialah porositas bahan tersebut (Hidayat, 2000). Konduktivitas panasnya akan semakin kecil apabila lubang-lubang bahan semakin banyak. Bahan yang berlubang bisa memiliki gas pada lubang-lubangnya. Pengirim panas yang jelek dibandingkan bahan cair ataupun padat ialah gas seperti yang sudah diketahui. Rendahnya konduktivitas

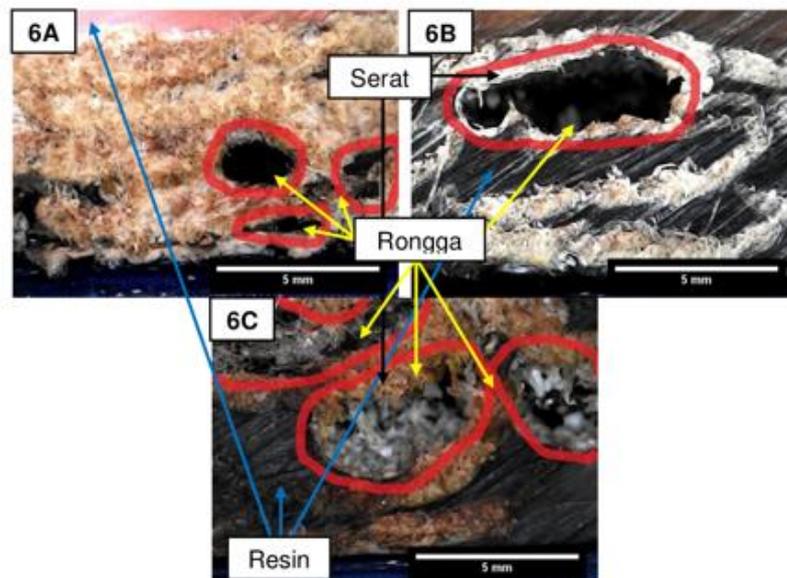
termal disebabkan oleh rendahnya konduktivitas udara yang terjebak dalam lubang. Selain itu, alkalisasi juga berpengaruh terhadap nilai konduktivitas termal dimana pada penyelidikan ini semakin tinggi konsentrasi alkalisasinya semakin rendah nilai konduktivitas termalnya.

3.2. Struktur Makro

Dari hasil pengujian konduktivitas termal didapatkan kejadian-kejadian yang terjadi dalam perpindahan panas. Berdasarkan pengamatan makrostruktur pada penyelidikan ini dengan memakai mikroskop digital perbesaran 10x untuk memudahkan menganalisis penyebab turunnya nilai konduktivitas termal.



Gambar 4. Foto makro struktur komposit *polyester resin-serat* bemban dengan perlakuan alkalisasi 1% komposisi 40% serat-60% resin



Gambar 5. Foto makro struktur komposit *polyester resin-serat* bemban dengan

Perlakuan alkalisasi 4% komposisi 60% serat-40% resin. Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa sampel komposit komposisi 40% serat-60% resin dengan alkalisasi 1%, menampilkan bahwa kepadatan dan kerapatan pada sampel ini tidak ada rongga sehingga penyaluran aliran termal konduksi lebih cepat. Jika dibandingkan dengan sampel komposit komposisi serat lebih banyak yaitu 50% serat-50% resin dan 60% serat-40% resin. Dimana serat yang tersusun sangat tidak berjauhan mengakibatkan matriks tidak bisa mengisi secara padat. Hal ini mengakibatkan perambatan termal berhubungan langsung pada banyaknya serat bemban dan sisanya resin sehingga perambatan termal terjadi penurunan.

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa sampel komposit komposisi 40% serat-60% resin dengan alkalisasi 4%, menampilkan bahwa kepadatan dan kerapatan pada sampel ini ada lubang sehingga penyaluran aliran termal konduksi mengalami penurunan dibandingkan komposit dengan perlakuan alkalisasi 1%. Jika dibandingkan dengan sampel komposit komposisi serat lebih banyak yaitu 50% serat-50% resin dan 60% serat-40% resin. Dimana serat yang terbentuk sangat tidak berjauhan membuat matriks tidak dapat mengisi secara padat dan ada lubang yang semakin besar dengan bertambahnya komposisi serat (Herlina, 2011). Hal ini mengakibatkan perambatan panas berhubungan langsung pada sebagian besar dari serat bemban disini terjadi perambatan konduksi, kemudian berhubungan dengan rongga udara atau lubang-lubang mengakibatkan terjadinya perambatan secara konveksi, dan kemudian berhubungan dengan resin sehingga penghambatan perambatan panas mengalami peningkatan. Apabila ada banyak pori-pori bahan atau rongga udara semakin besar maka konduktivitas termalnya semakin kecil.

4. Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi alkalisasi dan fraksi volume pada komposit polyester resin-serat bemban terhadap nilai konduktivitas termal mengalami penurunan dengan bertambahnya konsentrasi alkalisasi dan volume serat (bahan penguat/reinforcement).
2. Pengaruh variasi alkalisasi dan fraksi volume pada komposit polyester resin-serat bemban terhadap struktur makro yang mengalami penurunan kepadatan dan peningkatan porositas, itu bisa dilihat dari sampel yang memiliki banyak rongga (void) dengan bertambahnya konsentrasi alkalisasi dan volume serat (bahan penguat/reinforcement).

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis ucapkan pada Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Universitas Lambung Mangkurat yang telah memberikan bantuan dalam ikut serta dalam Konferensi Nasional ini. Seluruh rekan-rekan yang telah membantu dalam penulisan naskah ini sehingga bisa di publikasikan.

Daftar Pustaka

- [1] Matthews, F.L., Rawlings, R.D. 1993. *Composite Material Engineering and Science*. Imperial College Of Science, Technology and Medicine: London, UK.
- [2] Perdana, M., Jamasri. 2015. *Fracture Surface Pada Komposit Hibrid Berbasis Fiberglass dan Coir Akibat Pengaruh Moisture Content*. Momentum: Inst. Teknol. Padang, vol. 17, no. 1, pp. 29–33.
- [3] Lusiyani. 2010. Uji Fitokimia Akar Bemban (*Donax Cannaeformis*) Sebagai Bahan Baku Kerajinan Anyaman. *Jurnal Hutan Tropis* 11 (29): 24 – 31.
- [4] Sulian, Andri. 2008. *Pengaruh Komposisi Matrik-Partikel dan Jenis Resin terhadap Sifat Mekanik Komposit yang Diperkuat Serbuk Tempurung Kemiri*. Universitas Lampung.
- [5] Bismarck. 2002. *Influence of Alkali Treatment on Surface Properties of Fibers*. Mc Graw Hill: New York.
- [6] Schwartz. 1984. *Composite Materials Handbook*. Mc Graw Hill Inc: New York USA.
- [7] Heyne, K. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia*, Jil. 1: 606-607. Terj. Yayasan Sarana Wana Jaya: Jakarta.
- [8] Incropera, Frank P., David P., & De Witt. 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 6th Edition*. Jhon Wiley & Son, Inc.: New York.
- [9] Hidayat, Syarif. 2000. *Pusat Pengembangan Bahan Ajar. Fisika Bangunan: UMB*.
- [10] Pietrak, K., T. S. Winiewski. 2015. A Review of Models for Effective Thermal Conductivity of Composite Materials. *Open Access J. J. Power Technol.*, vol. 95, no. 1, pp. 14–24.
- [11] Herlina, Nasmi Sari, Zainuri A., & Wahyu F. 2011. *Pengaruh Panjang Serat dan Fraksi Volume Serat Pelepeh Kelapa Terhadap Ketangguhan Impact Komposit Polyester*. Teknik Mesin Universitas Mataram: Mataram.



Rachmat Subagyo menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di STTNAS Yogyakarta pada tahun 2000. Dengan riset Perancangan Sistem Generator Uap Pipa-pipa air. Pendidikan magister Teknik Mesin diselesaikan di Universitas Hasanuddin pada tahun 2007 dengan area riset Mekanika Fluida. Pada tahun 2018 menyelesaikan pendidikan doktoral di Universitas Brawijaya, Malang. Saat ini bekerja sebagai dosen di Prodi Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat. Telah menulis lebih dari 10 jurnal nasional dan internasional.

Bidang penelitian utama yang digeluti adalah berkaitan dengan bidang Konversi Energi meliputi: Energi baru dan terbarukan, Pembakaran, Sifat Superhidrofobik pada tumbuhan dan material.

Analisis Performa Pompa Sentrifugal Di Pt. Kilang Pertamina Internasional Ru-Vi Balongan

N.M.Dwidiani^{1)*}, Ahmad Anzor²⁾, Yossie Rico Rifki Pradana³⁾

^{1,3)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

²⁾PT. Kilang Pertamina Internasional RU-VI Balongan

Abstrak

PT. Kilang Pertamina Internasional merupakan perusahaan nasional yang berperan mengelola, mengolah, dan mengembangkan penambangan minyak dan gas bumi di Indonesia. Salah satu peralatan yang banyak digunakan adalah pompa sentrifugal. Pompa ini digunakan untuk memindahkan fluida cair dari tempat bertekanan rendah ke tempat dengan tekanan yang lebih tinggi. Performa pompa perlu di analisis secara berkala karena adanya kerugian-kerugian selama operasi. Umur pompa yang di analisis adalah 5 tahun. Data yang diperlukan untuk penelitian ini adalah data design dan data aktual dari yaitu : Kecepatan (RPM), Kapasitas (Q), Head (H), Daya poros (BHP), Daya Hydrolisis (WHP), Such Press, Disc Press, dan Efisiensi Pompa Sentrifugal (η_P). Hasil analisis perhitungan didapatkan dari perhitungan data design : Kapasitas (Q) = 436,8 m³/jam, Head (H) = 65,52 m, Daya Fluida (WHP) = 54,57 kW, Daya Poros (BHP) = 71,2 kW, Efisiensi pompa = 76,6%. Pengambilan data yang sama dilakukan di bulan November dan Desember 2023. Kemudian hasil perhitungan dari datasheet dibandingkan dengan data hasil perhitungan dari data aktual di lapangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak ada data yang melebihi data design. Data actual tertinggi yang tercatat terdapat di bulan November 2023 dengan nilai sebagai berikut : ΔP = 144,9 m³/jam, Head (H) = 88,31 m, Daya Fluida (WHP) = 24,31 kW, Daya Poros (BHP) = 47 kW, Efisiensi pompa = 51,72 %.

Kata kunci: pompa sentrifugal, efisiensi, kapasitas, head, fluida

Abstract

PT. Kilang Pertamina Internasional is a national company whose role is to manage, process and develop oil and natural gas mining in Indonesia. One piece of equipment that is widely used is a centrifugal pump. This pump is used to move liquid fluid from a place of low pressure to a place of higher pressure. Pump performance needs to be analyzed periodically because of losses during operation. The age of the pump analyzed is 5 years. The data required for this research is design data and actual data from: Speed (RPM), Capacity (Q), Head (H), Shaft Power (BHP), Hydrolysis Power (WHP), Such Press, Disc Press, and Efficiency Centrifugal Pump (η_P). The results of the calculation analysis were obtained from design data calculations: Capacity (Q) = 436.8 m³/hour, Head (H) = 65.52 m, Fluid Power (WHP) = 54.57 kW, Shaft Power (BHP) = 71, 2 kW, Pump efficiency = 76.6%. The same data collection was carried out in November and December 2023. Then the calculation results from the datasheet were compared with the calculation results from actual data in the field. The analysis results show that there is no data that exceeds the design data. The highest actual data recorded was in November 2023 with the following values: ΔP = 144.9 m³/hour, Head (H) = 88.31 m, Fluid Power (WHP) = 24.31 kW, Shaft Power (BHP) = 47 kW, Pump efficiency = 51.72 %.

Keywords: centrifugal pump, efficiency, capacity, head, fluid

1. Pendahuluan

Minyak bumi merupakan sumber daya alam yang sangat dibutuhkan karena minyak memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan energi dunia. Minyak bumi terdiri dari minyak mentah, dimana proses pengolahan minyak mentah inilah yang nantinya akan menghasilkan bahan siap jadi. Beberapa hasil olahan minyak bumi yaitu LPG, Aviator Turbine (Avtur), Kerosin, Bensin, Solar, Aspal, Parafin dan banyak lainnya. Tidak hanya memenuhi konsumsi energi, minyak bumi juga dapat berperan besar dalam memenuhi pembangunan suatu negara serta berperan sebagai penghasil devisa bagi negara melalui ekspor migas.

PT. Pertamina (Persero) merupakan perusahaan nasional yang berperan mengelola, mengolah, dan mengembangkan penambangan minyak dan gas bumi di Indonesia. Salah satu unit yang dimiliki PT Pertamina yaitu Refinery Unit VI yang berlokasi di Jawa Barat tepatnya di JL. Balongan, Km. 9, Sukareja, Kec. Indramayu, Kabupaten Indramayu, Jawa Barat 45218.

PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan merupakan unit yang diperuntukkan untuk memenuhi kebutuhan BBM dalam negeri, khususnya untuk wilayah DKI Jakarta dan Jawa Barat. Hal inilah yang menjadikannya termasuk salah satu outboardjek strategis yang sangat vital.

Refinery Unit VI Balongan di rancang untuk mengolah Crude dengan kapasitas yang cukup besar sekitar 62% dari total feed. Refinery Unit VI Balongan memiliki ciri utama yaitu RCC (Residue Catalytic Cracking) yang terdiri atas dua alat utama adalah reaktor dan generator. Oleh karena ciri utama tersebut, RU-VI Balongan mengambil logo berbentuk reaktor dan regenator.

Dengan penggunaan teknologi mumpuni di dalam sebuah sistem pengolahan dengan kapasitas yang cukup besar, membuat kegiatan pengolahan harus memiliki kinerja yang baik guna menjaga produk yang dihasilkan tetap pada range yang telah ditetapkan. Oleh karena itu dalam sebuah sistem pengolahan tak lepas dari kinerja di setiap unitnya, salah satu yang memiliki

*Korespondensi: Tel./Fax.: [No telp atau hp anda / No fax anda](tel:08123456789)

E-mail: alamat_email_anda

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

peranan penting untuk menghantarkan fluida cair adalah pompa sentrifugal. Dengan peranannya sebagai penghantar fluida, sehingga kinerja pompa sentrifugal harus tetap terjaga dan di pertahankan performanya maka perlu dilakukan perawatan yang sistematis.

Pompa sentrifugal merupakan salah satu mesin untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat lainnya dengan memanfaatkan perbedaan tekanan sehingga dapat mempercepat laju dari fluida. Pompa sangat dibutuhkan dalam penyuplaian minyak dari tempat satu ke tempat lainnya dalam proses produksi bahan bakar dan distribusi bahan bakar jadi. Kerusakan pada pompa sentrifugal dapat terjadi dikarenakan berbagai faktor yang mempengaruhinya.

Pada proses produksi bahan bakar skala besar kerusakan pompa dapat menyebabkan terhambatnya produksi bahan bakar bahkan menyebabkan kerugian. Banyak jenis pompa yang digunakan di PT. PT. Kilang Pertamina Internasional RU-VI Balongan dengan berbagai macam perbedaan fungsi juga. Pompa 31-P-102 A digunakan sebagai pemisah minyak dan air yang tercampur semasa proses distribusi minyak mentah. Kerusakan pompa ini dapat menyebabkan terhambatnya distribusi minyak mentah menuju unit pengolahan minyak.

Unjuk Kerja di pompa sentrifugal menjadi hal yang dibutuhkan untuk diketahui dalam industri. Di dunia perminyakan, memahami performa pompa sentrifugal sangatlah penting. Mulai dari kapasitas, head pompa, daya poros, berat jenis fluida, daya Fluida, dan efisiensi pompa merupakan parameter kunci untuk mengevaluasi performanya.

Parameter-parameter ini menentukan kemampuan pompa dalam mengalirkan fluida sesuai kebutuhan. Data performa ini juga krusial untuk pemeliharaan pompa, seperti mengidentifikasi dan mengganti komponen yang rusak

2. Metode Penelitian

2.1 Dasar Perhitungan Pompa

1. Head

Head adalah tinggi energi angkat atau dinyatakan sebagai satuan energi pompa per satuan berat fluida. Head pompa dapat nilanya selalu berbeda dan ada rugi energi yang terjadi.

Berikut adalah rumus untuk menentukan nilai dari head suatu pompa :

$$H = \frac{P_{discharge} - P_{suction}}{\rho \cdot g}$$

- Dimana:
- H = Head
- P discharge = Tekanan sisi buang (N / m2)
- P suction = Tekanan sisi isap (N / m2)
- ρ = massa jenis fluida (kg / m3)
- g = percepatan gravitasi (m / s2)

2. Konsumsi Daya Pompa

Dari instalasi pengujian pompa , dapat diketahui besarnya daya Fluida yang dibutuhkan dan daya motor penggerak yang diperlukan untuk menggerakkan pompa

sentrifugal, sehingga besarnya efisiensi sistem instalasi pengujian pompa dapat diketahui. Besar daya dan besar efisiensi tersebut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

1) Daya Fluida

Daya dluida (WHP) adalah daya fluida merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi performa pompa sentrifugal. Parameter ini menunjukkan daya yang dibutuhkan pompa untuk memindahkan fluida dari satu titik ke titik lain.

$$WHP = \gamma \times H \times Q$$

Dimana:

- WHP = Daya Fluida
- γ = Berat jenis pompa (kW)
- H = Head (m)
- Q = Kapasitas (m3/jam)

2) Daya Poros

Daya poros adalah salah satu parameter penting dalam memahami performa pompa sentrifugal. Parameter ini menunjukkan daya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan pompa sentrifugal. Berikut adalah rumus untuk daya poros :

$$BHP_2 = BHP_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

Dimana:

- BHP2 = Daya poros aktual (kW)
- BHP1 = Daya poros desain (kW)
- N2 = Debit 23333
- N1 = Debit 1

3) Daya Motor

Daya motor dapat dihitung dengan cara menggunakan data voltase dan arus listrik dengan rumus sebagai berikut :

$$P_i = V \cdot I \cdot \cos \theta \times \sqrt{3} \cdot \eta$$

Dimana :

- Pi = Daya motor
- η = Effisiensi pompa
- $\frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3}}$ = Daya motor (kW)
- cos θ cos θ = Faktor daya
- V = Tegangan listrik (volt)
- I = Arus listrik (Ampere)

3. Efisiensi pompa

Efisiensi pompa adalah perbandingan daya fluida dengan daya pompa.

$$\eta_p \eta_p = \frac{P_v P_v}{P P} \times 100\%$$

- Dimana : $\eta_p \eta_p$ = Efisiensi pompa
- Pv = Daya Keluar
- P = Daya Masuk

4. Kepala Hisap Positif Bersih (NPSH)

Net Positive Suction Head mengacu pada tekanan minimum yang dibutuhkan oleh sebuah pompa untuk mencegah terbentuknya kavitasi, yang merupakan

proses di mana tekanan cairan turun di bawah tekanan uap cairan sehingga menyebabkan pembentukan gelembung gas. Ketika kavitasi terjadi, dapat menyebabkan kerusakan pada pompa dan menurunkan efisiensinya. Ada dua jenis NPSH yang biasanya dihitung:

NPSH yang tersedia > NPSH yang diperlukan

a) NPSH yang Dibutuhkan (NPSHr): Ini adalah tekanan minimum yang diperlukan oleh pompa untuk menghindari terjadinya kavitasi pada kondisi operasionalnya. NPSHr biasanya diberikan oleh produsen pompa dan dapat berbeda-beda tergantung pada desain dan ukuran pompa.

b) NPSH yang Tersedia (NPSHa): Ini adalah jumlah tekanan yang tersedia pada sisi hisap pompa. NPSHa melibatkan tekanan atmosfer, tekanan statik dalam tangki hisap, tekanan dinamis dari aliran cairan, dan penurunan tekanan karena gesekan dalam sistem pipa.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perhitungan Berdasarkan Datasheet

Data-data yang diperlukan dalam perhitungan performa pompa yaitu :

- Spesifik Gravity pompa = 0,702 gr/cm³ = 702 kg/m³
- Kapasitas (Q) : = 436,8 m³/jam = 0,121 m³/s
- Tekanan Suction (Ps) = 7,2 kg/cm² g
- Tekanan Discharge (Pd) = 11,8 kg/cm² g
- Daya Poros Pompa Rated = 71,2 kW

➤ Head (H)

$$H = \frac{P_{discharge} - P_{suction}}{\rho \cdot g}$$

$$H = \frac{11,8 \text{ kg/cm}^2 \times 10^4 - 7,2 \text{ kg/cm}^2 \times 10^4}{702 \text{ kg/m}^3 \times 9,806 \text{ m/s}^2}$$

$$H = \frac{460000 \text{ kg/m}^3 - 70200 \text{ kg/m}^3}{702 \text{ m} \times 9,806 \text{ m/s}^2}$$

H = 65,52 m (sesuai dengan datasheet)

➤ Daya Fluida (WHP)

$$WHP = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$$

$$WHP = 702 \text{ kg/m}^3 \times 9,806 \text{ m/s}^2 \times 65,52 \text{ m} \times 0,121 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$WHP = 54574,310 \text{ watt}$$

$$WHP = 54,57 \text{ kW}$$

➤ Efisiensi (%)

$$\eta_{pompa} = \frac{WHP}{Power\ Rated} \times 100$$

$$\eta_{pompa} = \frac{54,57}{71,2} \times 100$$

$\eta_{pompa} = \eta_{pompa} = 76,6\%$ (sesuai dengan datasheet)

3.2 Perhitungan Berdasarkan Data Aktual

1. Data yang diambil di bulan November :
 - Spesifik Gravity pompa = 0,702 gr/cm³ = 702 kg/m³
 - Kapasitas (Q) : = 144,9 m³/jam = 0,040 m³/s

- Tekanan Suction (Ps) = 5,8 kg/cm² g
- Tekanan Discharge (Pd) = 12 kg/cm² g
- Daya Poros Pompa @curve = 47 kW

➤ Head (H)

$$H = \frac{P_{discharge} - P_{suction}}{\rho \cdot g}$$

$$H = \frac{12 \text{ kg/cm}^2 \times 10^4 - 5,8 \text{ kg/cm}^2 \times 10^4}{702 \text{ kg/m}^3 \times 9,806 \text{ m/s}^2}$$

$$H = \frac{620000 \text{ kg/m}^3 - 56960 \text{ kg/m}^3}{702 \text{ m} \times 9,806 \text{ m/s}^2}$$

H = 88,31 m

➤ Daya Fluida (WHP)

$$WHP = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$$

$$WHP = 702 \text{ kg/m}^3 \times 9,806 \text{ m/s}^2 \times 88,31 \text{ m} \times 0,040 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$WHP = 24316,377 \text{ watt}$$

$$WHP = 24,31 \text{ kW}$$

➤ Efisiensi (%)

$$\eta_{pompa} = \frac{WHP}{Power\ Rated} \times 100$$

$$\eta_{pompa} = \frac{24,31}{47} \times 100$$

$\eta_{pompa} = \eta_{pompa} = 51,72\%$

2. Data yang diambil di bulan Desember :

- Spesifik Gravity pompa = 0,702 gr/cm³ = 702 kg/m³
- Kapasitas (Q): = 134,1 m³/jam = 0,037 m³/s
- Tekanan Suction (Ps) = 6 kg/cm² g
- Tekanan Discharge (Pd) = 12 kg/cm² g
- Daya Poros Pompa Rated = 45 kW

➤ Head (H)

$$H = \frac{P_{discharge} - P_{suction}}{\rho \cdot g}$$

$$H = \frac{12 \text{ kg/cm}^2 \times 10^4 - 6 \text{ kg/cm}^2 \times 10^4}{702 \text{ kg/m}^3 \times 9,806 \text{ m/s}^2}$$

$$H = \frac{600000 \text{ kg/m}^3 - 588000 \text{ kg/m}^3}{702 \text{ m} \times 9,806 \text{ m/s}^2}$$

H = 85,5 m

➤ Daya Fluida (WHP)

$$WHP = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$$

$$WHP = 702 \text{ kg/m}^3 \times 9,806 \text{ m/s}^2 \times 85,47 \text{ m} \times 0,037 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$WHP = 21769,298 \text{ watt}$$

$$WHP = 21,76 \text{ kW}$$

➤ Efisiensi (%)

$$\eta_{pompa} = \frac{WHP}{Power\ Rated} \times 100$$

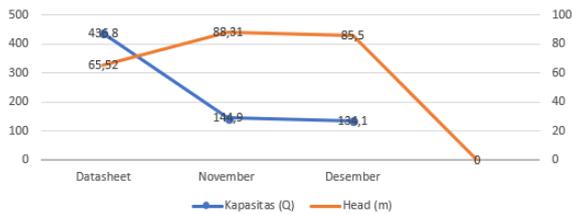
$$\eta_{pompa} = \frac{21,76}{45} \times 100$$

$\eta_{pompa} = \eta_{pompa} = 48,35\%$

Tabel 3. 1 Hasil Perhitungan pada data sheet dan data aktual

Data	Datasheet 31-P-102A	November	Desember
Kapasitas (Q)	436,8 m ³ /jam	144,9 m ³ /jam	134,1 m ³ /jam
Head (H)	65,52 m	88,31 m	85,5 m
Daya Pompa (P)	71,2 kW	50 kW	45 kW
Daya Fluida (WHP)	54,57 kW	24,31 kW	21,76 kW
Efisiensi (η_p)	76,6%	51,72 %	48,35%

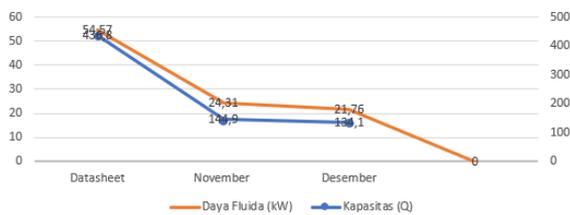
PERBANDINGAN ANTARA KAPASITAS DAN HEAD PADA POMPA



Gambar 3. 1 Grafik dari kapasitas dan head pompa

Gambar 3.1 menunjukkan grafik hubungan antara kapasitas dengan head pada pompa sentrifugal 31-P-102 A. Artinya bahwa semakin besar debit yang dihasilkan oleh pompa 31-P-102 A semakin kecil juga head pompa yang diperlukan.

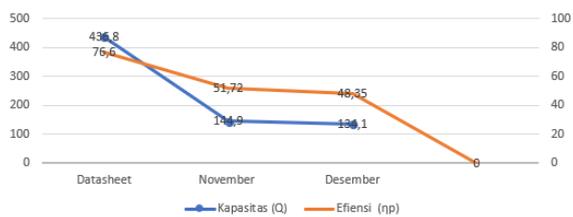
PERBANDINGAN ANTARA KAPASITAS DENGAN DAYA FLUIDA PADA POMPA



Gambar 3. 2 Grafik dari kapasitas dengan daya fluida

Gambar 3.2 menunjukkan grafik antara kapasitas terhadap daya fluida pada pompa sentrifugal 31-P-102 A. Hasil ini disebabkan oleh semakin besar kapasitas yang dihasilkan oleh pompa, maka semakin kecil daya fluida yang dibutuhkan. Pada kapasitas terendah daya fluidanya adalah 21,76 m³ /s sedangkan pada debit tertinggi daya fluidanya adalah 54,57 kW.

PERBANDINGAN ANTARA KAPASITAS DENGAN EFISIENSI PADA POMPA



Gambar 3. 3 Grafik dari antara kapasitas dengan efisiensi pompa

Gambar 3.3, menunjukkan grafik hubungan antara kapasitas terhadap efisiensi pompa. Nilai efisiensi tertinggi 76,6 % pada debit 436,85 m³ /s. Penurunan efisiensi pompa ketika kapasitasnya menurun dari 436,8 m³ /s di bulan November hingga 134,1 m³ /s di bulan Desember dengan nilai efisiensi terendahnya 48,35%.

4. Simpulan

Berdasarkan perhitungan performa pompa 31-P-102 A selama kerja praktik di PT. Kilang Pertamina Internasional RU-VI Balongan. data pertama yaitu perhitungan dari datasheet pompa sentrifugal 31-P-

102A. hasil perhitungan dari perhitungan tersebut didapatkan head pompa sebesar 65,52 m, daya poros pompa sebesar 71,2 kW, daya fluida sebesar 54,57 kW, dan efisiensi 76,6%.

Data kedua yaitu dari hasil perhitungan di bulan November 2023. Untuk hasil perhitungan dari data aktual bulan November menunjukkan head 88,31 m, daya poros pompa 50 kW, daya fluida 24,31 kW, dan efisiensi dari pompa adalah 51,72%.

Data terakhir yaitu hasil perhitungan di Desember 2023 menunjukkan head pompa sebesar 85,5 m, daya poros pompa 45 kW, daya fluida 21,76 kW, dan efisiensi dari pompa adalah 48,35%.

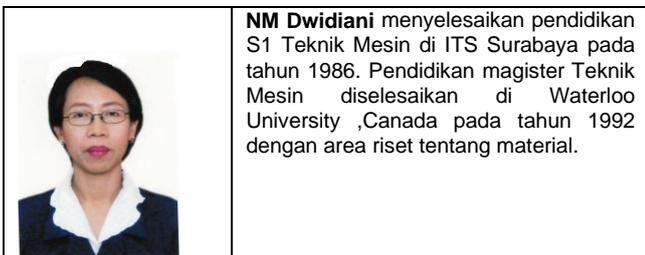
Meskipun terjadi penurunan efisiensi pompa, tetapi performa pompa masih baik. Penurunan efisiensi pompa tersebut antara lain disebabkan karena adanya kerugian-kerugian (loses) pada faktor internal (bagian pompa itu sendiri) seperti terjadi kerusakan impeller akibat gesekan dengan fluida, keausan wearing ring yang ditandai dengan melebarnya clearance sehingga fluida yang masuk tidak seluruhnya terdorong keluar, kerusakan pada bearing yang salah satunya sudah melewati umurnya. Dari faktor external antara lain faktor menggerakannya pipa-pipa yang memperbesar gesekan fluida dengan pipa. Selain itu, penurunan efisiensi bisa juga diakibatkan oleh kapasitas pengoperasian pompa jauh lebih rendah dari pada kapasitas normalnya sehingga daya fluida yang dihasilkan terlalu kecil. Rusaknya pressure gauge pada suction pompa mengurangi keakuratan dalam perhitungan head pompa, serta tidak tersedianya berbagai indikator pada turbin seperti pressure gauge inlet & outlet, flow meter, dan temperatur inlet & outlet pada turbin yang mengurangi keakuratan dalam perhitungan daya poros pompa.

Daftar Pustaka

- [1] A. Barry, "Karakteristik Pompa Air Type Sentrifugal dengan Daya Pompa 125 Watt dan Kapasitas 32 Liter / Menit," J. JAGO (Jurnal Juara, Aktif, Glob. Optimis) STTI Bontang, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2022.
- [2] Adam Hafizar Pohan. PENGUJIAN EKSPERIMENTAL DAN SIMULASI ANSYS PERFORMANSI POMPA SENTRIFUGAL RANGKAIAN SERI DAN PARALEL, Jurnal Sistem Teknik Industri, Vol. 20 No. 2, Juli 2018 ISSN 1411 – 5247. 2018.
- [3] A. Yani, N. Istiqomah, E. Armiyanto, D. Raharjo, and H. Hariyadi, "Rancang Bangun dan Pengujian Instalasi Pompa Air Type Centrifugal Untuk Alat Praktikum Mesin Fluida STTI Bontang," AutoMech J. Tek. Mesin, vol. 2, no. 02, pp. 7–10, 2022.
- [4] A. Yani, N. Istiqomah, Junaini, H. Hariyadi, and D. Raharjo, "Studi Eksperimental Variasi Tekanan Keluar (Discharger Pressure) Terhadap Kinerja Pompa Air Sentrifugal: Pada Alat Praktikum Mesin Fluida STTI Bontang," J. Tek. Mesin, vol. 02, pp. 27–32, 2022.

- [5] BENDRIS HUTABARAT. ANALISIS UNJUK KERJA POMPA SENTRIFUGAL DENGAN VARIASI HEAD, JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN 2019. 2019.

- [6] B. R. H. Rachmat Subagyo, “Analisa performance pompa sentrifugal di unit 2 pt. pupuk kalimantan timur 1),” vol. 8, no. 1, pp. 30–38, 2021.
- [7] E. Nugroho, A. Sunaryunanto, Helmizar, A. Nuramal, and A. Suandi, “Analisa Performance Pompa Sentrifugal Item 6p-4021-J Yang Dipengaruhi Kondisi Strainer Terhadap Efisiensi Kerja Yang Dihasilkan,” *Im. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2. 2019.
- [8] M. M. Saleh and E. Widodo, “Analisa Kinerja Aliran Fluida dalam Rangkaian Seri dan Paralel dengan Penambahan Tube Bundle pada Pompa Sentrifugal,” *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 3, no. 2, p. 71, 2019, doi: 10.21070/r.e.m.v3i2.1884.
- [9] Muhammad Riza Hidayat, Muhammad Firman, Muhammad Suprpto. ANALISA TEKANAN DAN EFISIENSI PADA POMPA AIR SENTRIFUGAL DENGAN RANGKAIAN SERI, *Jurnal Teknik Mesin UNISKA Vol. 03 No. 02 November 2018*. 2018.
- [10] Ranu Wijaya, Gilang, "Analisis Kerusakan dan Perbaikan Pompa Sentrifugal 15-P- 101", Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, 2016: Semarang.
- [11] Siti zahara Nuryanti, Ratih Diah Andayani, Nopian. ANALISA PERFORMANSI POMPA SENTRIFUGAL DENGAN VARIASI KECEPATAN PUTARAN MESIN DAN DEBIT ALIRAN, *TEKNIKA: Jurnal Teknik e-ISSN 2686-5416 VOL. 6 NO. 2 p-ISSN 2355-3553*. 2017.
- [12] Sucipriadi, CA. Optimalisasi Sistem Perawatan Pompa Sentrifugal Di Unit Utility: Fakultas Teknologi dan Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional. 2016.



Analisa Pengaruh Sambungan *Dovetail* Pada Badan *Brone* Dengan Material AISi10Mg Akibat Pembebanan Statis

Muhammad Andika Lesmana¹⁾, Filza Firzana²⁾, Argenata Putri Mufana³⁾, Faraz Rifan Abdillah⁴⁾, Moch. Agus Choiron⁵⁾, Gembong Edhi Setyawan⁶⁾, Diva Kurnianingtyas⁷⁾

^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Malang

^{6,7}Departemen Teknik Informatika Universitas Brawijaya, Malang

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada pengembangan maskot robotik *Brone* untuk Universitas Brawijaya. Badan *Brone* dirancang dengan struktur *honeycomb* menggunakan material *lightweight*, AISi10Mg, dan dibuat melalui proses manufaktur aditif dengan 3D printing. Studi ini menganalisis pengaruh sambungan *assembly* terhadap distribusi tegangan pada badan *Brone* dengan menggunakan *software ANSYS License Manager* berbasis *Finite Element Method* (FEM). Dua model geometri diuji: tanpa sambungan dan dengan sambungan *dovetail*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan *von Mises* maksimum untuk model tanpa sambungan adalah 12,649 MPa dan untuk model dengan sambungan *dovetail* adalah 23,204 MPa. Faktor keamanan dari kedua model menunjukkan bahwa struktur dengan sambungan *dovetail* aman digunakan. Verifikasi dilakukan dengan simulasi pengujian kompresi pada spesimen cetak 3D berbahan AISi10Mg, menunjukkan error tegangan simulasi di bawah 5%. Simpulan utama adalah bahwa model geometri sambungan *dovetail* dapat digunakan untuk badan *Brone* dengan memiliki faktor keamanan yang tinggi.

Kata kunci: *Dovetail*, Metode Elemen Hingga, Perakitan

Abstract

This study focuses on the development of the robotic mascot Brone for Brawijaya University. Brone body is designed with a honeycomb structure using lightweight material, AISi10Mg, and manufactured through additive manufacturing with 3D printing. The study analyzes the impact of assembly joints on the stress distribution in Brone's body using ANSYS License Manager software based on the Finite Element Method (FEM). Two geometric models were tested: without joints and with dovetail joints. Simulation results show that the maximum von Mises stress value for the model without joints is 12.649 MPa, and for the model with dovetail joints is 23.204 MPa. The safety factors of both models indicate that the structure with dovetail joints is safe to use. Verification was carried out with compression testing simulation on 3D printed specimens made of AISi10Mg, showing a simulation stress error below 5%. The main conclusion is dovetail joints geometry model can be used as Brone's body with high safety factor.

Keywords: Dovetail, Finite Element Method, Assembly

1. Pendahuluan

Logo, maskot, dan motto sebuah universitas merupakan representasi visual dari identitas dan budaya institusi pendidikan yang kaya akan nilai-nilai. Universitas Brawijaya merupakan universitas yang kaya akan sejarah dan nilai-nilai perjuangan. Disinilah *brone* (*brawijaya number one*) hadir sebagai maskot Universitas Brawijaya dengan konsep robot pendamping yang menjadi pemandu informasi. *Brone* mampu belajar, terus berkembang, berinovasi dengan daya saing, serta memiliki nilai-nilai luhur.

Selama ini, *Brone* direpresentasikan dengan maskot kain yang digerakkan oleh manusia di dalamnya sehingga timbul inovasi untuk membuat figur fisik *Brone* dengan mekanisme gerak robotik untuk meningkatkan branding Universitas Brawijaya. Hal ini menjadi tantangan karena kompleksitas bentuk dan mekanisme memerlukan dikaji secara multidisiplin mendalam.

Desain *brone* harus mampu menahan beban statis dan dinamis, menyimpan dan melindungi komponen-komponen pada operasional robot. Material ringan (*lightweight*) menjadi pilihan utama dikarenakan memiliki sifat yang kuat dan berat yang ringan,

sehingga sangat sesuai apabila diaplikasikan pada struktur *honeycomb* (sarang lebah).

Namun proses manufaktur struktur *honeycomb* merupakan tantangan jika ingin merealisasikan desain tersebut. Proses manufaktur aditif dengan 3D Printer dirasa tepat dalam pembuatan struktur *brone* karena efisien dalam penggunaan material dan dapat membentuk geometri kompleks. Tak hanya itu ukuran *brone* yang relatif besar jika dibandingkan dengan mesin 3D printing yang kecil membuatnya harus dicetak dengan cara perakitan (*assembly*) dari part-part robot. Dalam hal ini sambungan part-part pada *assembly* badan *brone* menjadi faktor penting dalam keberhasilan struktur menahan beban statis dan dinamis sehingga perlu adanya riset untuk mengetahui distribusi tegangan pada sambungan *assembly* badan *brone* salah satunya dengan jenis sambungan *dovetail*. Pencetakan 3D dapat menghasilkan sambungan *dovetail* dengan kekuatan dan kekakuan yang sama dengan sambungan *dovetail* yang dibuat secara konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa pencetakan 3D dapat menjadi alternatif yang menjanjikan untuk

*Korespondensi: Tel./Fax.: 082139249937

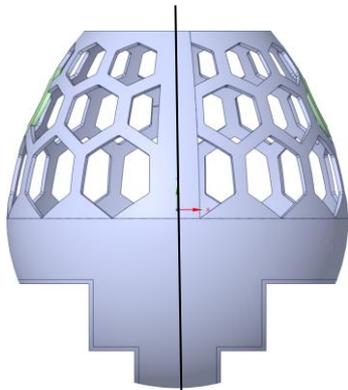
E-mail: agus_choiron@ub.ac.id

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

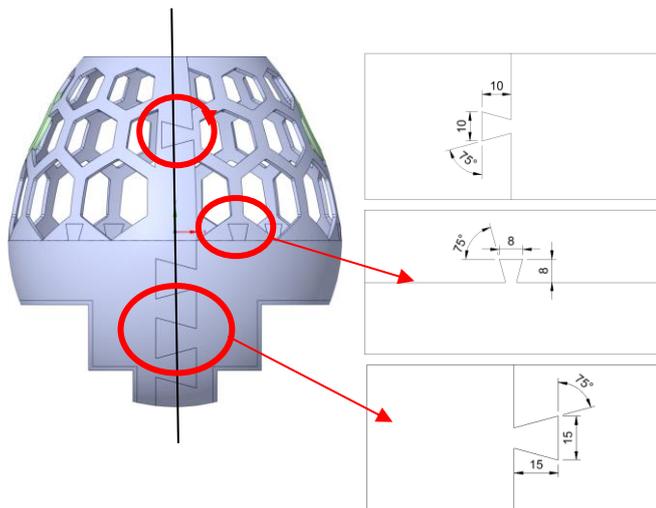
manufaktur sambungan dovetail untuk berbagai aplikasi, termasuk badan brone [1]. Sambungan dovetail memiliki peran penting dalam struktur kayu untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktur [2]. Selanjutnya dengan pemilihan dimensi geometri sambungan dovetail yang tepat dapat mempengaruhi secara signifikan terhadap kekuatan tarik statis [3]. Pada studi ini, akan dilihat pengaruh sambungan *assembly* terhadap distribusi tegangan pada badan brone menggunakan stress anslysis.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan *software* ANSYS 2023 R2 berbasis *Finite Element Method* (FEM) yang digunakan sebagai metode untuk memberikan nilai yang diamati. Perbandingan desain dilakukan dengan memvariasikan badan *brone* dengan dua model geometri, yaitu tanpa sambungan dan ada sambungan *dovetail*. Terlihat pada Gambar 1 menunjukkan model geometri badan *brone* tanpa sambungan *dovetail* dan pada Gambar 2 menunjukkan detail sambungan *dovetail* pada badan *brone*.



Gambar 1. Model geometri badan *brone* tanpa sambungan



Gambar 2. Detail sambungan *dovetail* pada badan *brone*

Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai tegangan *von mises* oleh beban kompresif.

Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah:

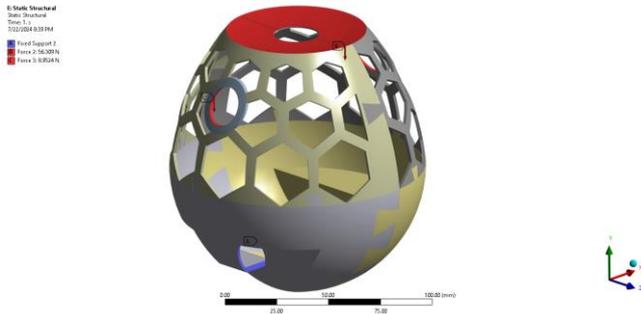
- Material yang digunakan pada badan *brone* yaitu AISi10Mg dengan *material properties* yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Properti Material AISi10Mg

Sifat	Nilai
<i>Density</i> [kg.m ⁻³]	
22° C	2670
570° C	1710
<i>Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion</i>	
<i>Thermal Expansion Coefficient</i> [C ⁻¹]	
100° C	2,06.10 ⁻⁵
150° C	2,36.10 ⁻⁵
200° C	2,47.10 ⁻⁵
250° C	2,58.10 ⁻⁵
300° C	3,04.10 ⁻⁵
350° C	3,29.10 ⁻⁵
400° C	2,71.10 ⁻⁵
450° C	2,44.10 ⁻⁵
<i>Zero-Thermal-Strain Reference Temp.</i> [C]	22
<i>Melting Temp.</i> [C]	570
<i>Isotropic Elasticity</i>	
<i>Young's Modulus</i> [GPa]	
25° C	76,6
50° C	76,1
100° C	74,3
150° C	72,7
200° C	70,6
250° C	68,9
300° C	67
<i>Poisson's Ratio</i>	0,33
<i>Bulk Modulus</i> [GPa]	
25° C	75,1
50° C	74,6
100° C	72,8
150° C	71,3
200° C	69,2
250° C	67,5
300° C	65,6
<i>Shear Modulus</i> [GPa]	
25° C	28,6
50° C	28,6
100° C	27,9
150° C	27,3
200° C	26,5
250° C	25,9
300° C	25,1
<i>Bilinear Isotropic Hardening</i>	
<i>Yield Strength</i> [MPa]	
25° C	251
100° C	232
150° C	221
200° C	197
250° C	148
<i>Tangent Modulus</i> [MPa]	
25° C	5000
100° C	4180
150° C	2430
200° C	1250
250° C	430

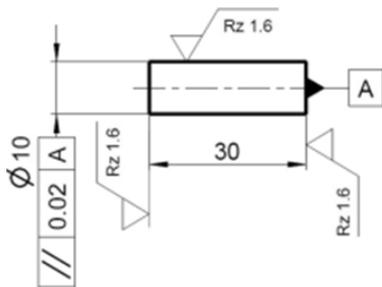
- Gaya sebesar 56,3094 N di atas badan *brone* yang diasumsikan beban dari kepala *brone* dan gaya sebesar 8,9524 N di samping badan *brone* yang diasumsikan beban dari lengan *brone*.

- Mesh seluruh bagian adalah 2 mm dengan metode *hexahedral*.
 - Tebal badan *brone* sebesar 1,5 mm
 - Kontak antar bagian dimodelkan *frictional* dengan nilai koefisien gesek 1,2.
- Dalam simulasi ini, badan *brone* dimodelkan pada bagian kaki diasumsikan *fixed support* dan gaya yang diterima badan *brone* diasumsikan searah dengan gaya gravitasi seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan simulasi

Verifikasi penelitian ini perlu dilakukan dengan memastikan kelayakan hasil simulasi dengan memvalidasi apakah pengaturan simulasi dalam perangkat lunak yang digunakan memang sesuai. Sebagai langkah validasi, dilakukan simulasi pengujian kompresi pada spesimen cetak 3D berbahan AISi10Mg yang telah diuji oleh Sert [4] dan membandingkannya dengan hasil pengujian sesuai dimensi pada Gambar 4.

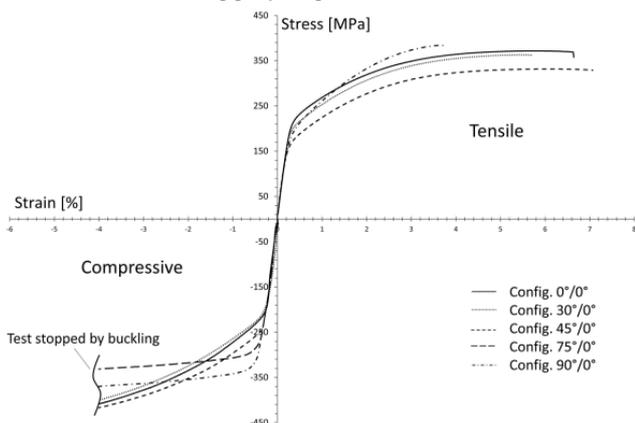


Gambar 4. Dimensi spesimen uji kompresi

3. Hasil dan Pembahasan

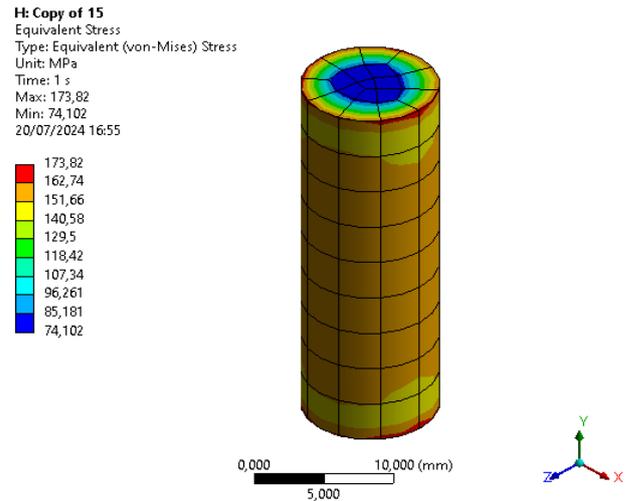
3.1. Verifikasi Penelitian

Simulasi kompresi pada spesimen cetak 3D berbahan AISi10Mg dilakukan berdasarkan pengujian yang dilakukan Sert (2022) untuk memvalidasi pemodelan metode elemen hingga yang dilakukan.



Gambar 5. Properti material AISi10Mg hasil uji kompresi pada suhu ruangan

Pengujian terhadap spesimen AISi10Mg di bawah beban kompresi menghasilkan diagram tegangan-regangan yang dapat dilihat pada Gambar 5. Data ini digunakan dalam simulasi untuk menentukan tegangan pada spesimen, dengan asumsi regangan 0,2% (0,06 mm). Ukuran elemen spesimen ditetapkan pada 3 mm, dan nilai Kualitas Ortogon rata-rata sebesar 0,96518 menunjukkan kelayakannya untuk digunakan dalam simulasi.



Gambar 6. Tegangan Von Mises Hasil Verifikasi

Sebelumnya, penelitian menunjukkan bahwa pada regangan 0,2%, nilai tegangan mencapai 170,05 MPa. Berdasarkan nilai tegangan yang diperoleh dari simulasi pada Gambar 6 dan data dari penelitian tersebut, persentase error tegangan simulasi dapat dihitung.

$$\sigma_{error} = \left| \frac{170,05 - 173,82}{170,05} \right| \times 100\% = 2,21\%$$

Perbedaan tegangan antara hasil simulasi dan pengujian sebelumnya tergolong kecil, yaitu di bawah 5%. Hal ini menunjukkan bahwa prosedur dan pengaturan properti yang dikembangkan untuk memodelkan pengujian kompresi pada material AISi10Mg telah terverifikasi dengan baik. Selain itu dengan pencetakan 3D dapat menghasilkan struktur AISi10Mg dengan porositas yang terkontrol dan sifat mekanik yang baik [5] Kesalahan yang rendah ini menunjukkan bahwa teknik pemodelan elemen hingga dalam penelitian ini dapat digunakan untuk simulasi selanjutnya pada sambungan dovetail pada plat AISi10Mg.

Simulasi metode elemen hingga (FEM) menghasilkan nilai aproksimasi, bukan nilai eksak. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti:

- Material diasumsikan ideal tanpa cacat. Pada kondisi riil spesimen uji memiliki cacat seperti porositas

dan konfigurasi layer pada cetakan 3D yang dapat melemahkan struktur

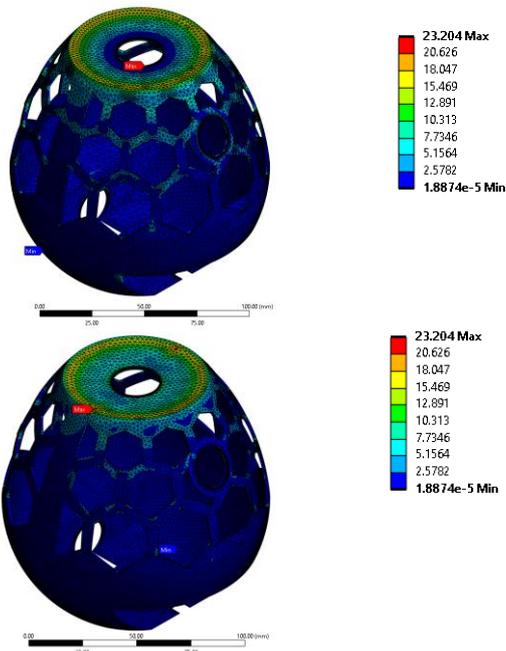
- Hasil simulasi dapat dipengaruhi oleh ukuran elemen yang digunakan.

3.2 Analisa Tegangan Von Mises Hasil Simulasi

Pada analisis model geometri, penting untuk mengetahui nilai tegangan yang terjadi untuk memahami performa struktur terhadap pembebanan. Hal ini menjadi krusial pada sambungan dovetail, di mana sudut-sudutnya dapat menyebabkan konsentrasi tegangan dan menjadi titik kritis saat struktur menerima beban [2]. Oleh karena itu, analisis difokuskan pada area tersebut untuk menentukan nilai tegangan maksimum dan memastikan ketahanan sambungan. Di sisi lain, model geometri tanpa sambungan dovetail memiliki fokus analisis tegangan yang berbeda. Sudut tidak lagi menjadi faktor utama konsentrasi tegangan, dan penilaian beralih ke area lain yang berpotensi mengalami pelemahan struktural, seperti sambungan las, lubang, atau perubahan geometri yang tajam. Nilai tegangan von mises maksimum pada tiap model ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tegangan Von Mises Hasil Simulasi

Model	Nilai Tegangan Von Mises Maksimum [MPa]
Tanpa sambungan	12,649
Sambungan dovetail	23,204



Gambar 7. Distribusi tegangan pada model dengan dan tanpa Sambungan dovetail.

Dari Gambar 7 terlihat distribusi tegangan setiap model geometri, kedua model geometri menunjukkan nilai tegangan von mises maksimum berada di area atas badan *brone*. Tingginya nilai tegangan von mises maksimum pada bagian atas badan *brone* mengindikasikan bahwa konsentrasi tegangan pada sudut sambungan dovetail bernilai lebih kecil. Oleh karena itu, penambahan sambungan dovetail tidak berdampak negatif pada performa badan *brone*.

3.3. Analisa Safety Factor

Faktor keamanan model geometri badan *brone* ditentukan dengan membandingkan nilai tegangan *von Mises* maksimum hasil simulasi dengan nilai *yield strength* material AISi10Mg (251 MPa) [6]. Hasil perhitungan faktor keamanan untuk setiap model geometri disajikan dalam Tabel 3. Terlihat bahwa model geometri dengan sambungan dovetail memiliki nilai faktor keamanan yang cukup tinggi, mengindikasikan bahwa model tersebut aman digunakan.

Tabel 3. Faktor Keamanan Hasil Simulasi

Model Geometri	Nilai Tegangan Von Mises Maksimum [MPa]	Nilai Faktor Keamanan
Tanpa sambungan	12,649	19.844
Sambungan dovetail	23,204	10.817

4. Simpulan

1. Simulasi *finite element method* pada model tanpa sambungan dan dengan sambungan dovetail memberikan nilai tegangan von mises maksimum senilai 12,649 dan 23,204 MPa.
2. Model geometri dengan sambungan dovetail memiliki nilai tegangan yang rendah dari beban yang diaplikasikan dan tergolong aman (ditunjukkan dari faktor keamanan yang sangat besar untuk seluruh model).

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Teknik Mesin UB atas fasilitas riset PC dan software ANSYS Research license serta semua pihak yang ikut membantu.

Daftar Pustaka

- [1] Kumar, A., Panda, S.K., & Jha, A.K. (2020). 3D Printing of Dovetail Joints for Aerospace Applications. *Materials Today Proceedings*.
- [2] Adam, A., & Smith, I. M. (2023). Stress Analysis of Dovetail Joints in Timber Structures. *Journal of Structural Engineering*, 149(2), 04023009.
- [3] Wijaya, D.S., Fachruddin, M., & Syahrial, A. (2021). Analisis Eksperimental dan Numerik Perilaku Mekanik Sambungan Dovetail pada Badan Pesawat Terbang Aluminium
- [4] Sert, E., Hitzler, L., Hafenstein, S. et al. Tensile and compressive behaviour of additively manufactured AISi10Mg samples. *Prog Addit Manuf* 5, 305–313 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40964-020-00131-9>
- [5] Hutmacher, D.W., Hull, G.C., Deckard, C.C., Hutmacher, J.H., Boland, T.J., & Bettinger, P.A. (2006). 3D Printing of AISi10Mg Alloy for Biomedical Applications: A Review. *Biomaterials*.
- [6] Gere, J. (2004). *Mechanics of Materials 6th Edition*. Belmont: Thomson Learning.

	<p>Muhammad Andika Lesmana adalah mahasiswa aktif S1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan aktif sebagai Asisten Laboratorium SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem). Saat ini menjalani pendidikan S1 di Departemen Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Bidang penelitian yang digeluti adalah optimasi desain berbasis Finite Element Analysis (FEA).</p>
---	--

	<p>Filza Firzana merupakan mahasiswa S1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang aktif sebagai Asisten Laboratorium SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem). Saat ini, aktif mendalami penelitian yang berkaitan dengan rekayasa desain berbasis metode elemen hingga</p>
---	---

	<p>Argenata Putri Mufana adalah mahasiswa S1 Teknik Mesin dari Universitas Brawijaya dengan konsentrasi konstruksi merupakan asisten aktif SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem) Universitas Brawijaya yang aktif mendalami riset rekayasa Desain berbasis Finite Element Method</p>
--	---

	<p>Faraz Rifan Abdillah adalah mahasiswa S1 Teknik Mesin dari Universitas Brawijaya dengan konsentrasi konstruksi merupakan asisten aktif SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem) Universitas Brawijaya yang aktif mendalami riset rekayasa Desain berbasis Finite Element Method</p>
---	--

	<p>Dr. Eng. Gembong Edhi Setyawan, S.T., M.T. menyelesaikan studi S1 Teknik Elektro Universitas Brawijaya, S2 Teknik Elektro ITS, dan S3 Fisika Terapan Universitas Waseda Jepang. Bekerja sebagai dosen Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya sejak tahun 2012 dan saat ini menjadi sekretaris laboratorium sistem embedded dan robotika. Bidang penelitian yang diminati adalah reinforcement learning, kecerdasan robot, dan sistem kendali.</p>
--	--

	<p>Prof. Dr. Eng Moch. Agus Choiron menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya, S2 Teknik Mesin ITS dan S3 Teknik Mesin Yamaguchi University Jepang. Bekerja sebagai Dosen Teknik Mesin Universitas Brawijaya sejak tahun 2001 dan menjadi Kepala Laboratorium SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem). Bidang penelitian yang diminati adalah Rekayasa Desain, Simulasi komputer dan Optimasi Desain</p>
--	---

	<p>Dr. Diva Kurnianingtyas, S.Kom mendapatkan gelar Sarjana Komputer di bidang Teknik Informatika dan Doktor di bidang Teknik Industri, selain itu ada beberapa sertifikat dan keterampilan profesional. Bekerja sebagai dosen di Fakultas Ilmu Komputer Departemen Teknik Informatika Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia. Bidang minat penelitian meliputi Optimasi, Evolutionary Algorithm, Kecerdasan Buatan, dan Pemodelan dan simulasi. email: divaku@ub.ac.id</p>
--	--

Pengaruh Bentuk Lubang pada Dinding Cage Terhadap Kekuatan Struktur Tulang dengan Simulasi Komputer

Muhammad Yogi Saputra¹⁾, Moch. Agus Choiron²⁾, Andhika Yudistira³⁾

^{1,2)}Teknik Mesin, Universitas Brawijaya

³⁾Ilmu Bedah Orthopaedi dan Traumatologi, Universitas Brawijaya

Abstrak

Tulang lumbar penting untuk postur dan fleksibilitas tubuh. Prosedur total en bloc spondylectomy (TES) untuk pengangkatan tumor memerlukan cage untuk menggantikan tulang yang diangkat. Penelitian ini meneliti pengaruh berbagai bentuk lubang pada dinding cage menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM). Tiga bentuk lubang berbentuk persegi, lingkaran, dan segitiga dianalisis menggunakan software ANSYS 2023 R2 untuk mendapatkan distribusi tegangan dan deformasi. Hasil menunjukkan bahwa cage dengan lubang lingkaran memiliki tegangan paling rendah dan distribusi paling merata, mengurangi risiko kegagalan struktur. Lubang lingkaran mencapai nilai tegangan 10.361 MPa, dibandingkan dengan lubang persegi 12.471 MPa dan lubang segitiga 15.41 MPa. Hal ini menyoroti kinerja mekanis superior dari bentuk lingkaran. Penelitian ini membantu mengoptimalkan desain cage dan meningkatkan hasil bagi pasien yang menjalani TES.

Kata Kunci: Tulang Lumbar, Distribusi Tegangan, Metode Elemen Hingga

Abstract

The lumbar spine is essential for posture and flexibility. Total en bloc spondylectomy (TES) for tumor removal requires a cage to replace the removed bone. This study examines the effect of different hole shapes on the cage wall structure using the Finite Element Method (FEM). Three-hole shapes with square, circular, and triangular were analyzed using ANSYS 2023 R2 software for stress distribution and deformation. Results show that cages with circular holes have the lowest stress and most uniform distribution, reducing the risk of structural failure. Circular holes achieve a stress value of 10.361 MPa, compared to 12.471 MPa for square holes and 15.41 MPa for triangular holes. This highlights the circular shape's superior mechanical performance. This research aids in optimizing cage design and improving outcomes for patients undergoing TES.

Keywords: Lumbar, Stress Distribution, Finite Element Method

1. Pendahuluan

Tulang belakang manusia terdiri dari beberapa bagian, termasuk tulang lumbar. Tulang lumbar adalah yang terbesar dan terkuat dalam tulang belakang, memungkinkan gerakan seperti membungkuk dan memutar. Keutuhan tulang lumbar sangat penting untuk mendukung postur tubuh, mencegah cedera, dan memungkinkan mobilitas sehari-hari. Namun, terdapat beberapa kasus tumor yang dapat mengganggu fungsi vital ini. Tumor adalah massa jaringan yang tidak normal yang terjadi ketika sel mengalami diferensiasi abnormal dan pertumbuhan tidak terkendali.

Berdasarkan data studi global dari National Cancer Institute yang melibatkan 270 registri kanker di 70 negara, angka insiden standar umur untuk tumor tulang belakang ganas termasuk di bagian lumbar adalah sekitar 0,098 kasus per 100.000 orang per tahun. Angka ini bervariasi secara signifikan berdasarkan wilayah, dengan Eropa melaporkan 0,165 kasus per 100.000 orang per tahun, Amerika Utara 0,201, dan Asia Tenggara serta Afrika melaporkan angka yang lebih rendah, masing-masing 0,022 dan 0,044 kasus per 100.000 orang per tahun [1].

Total en bloc *spondylectomy* (TES) adalah prosedur bedah yang bertujuan untuk mengangkat seluruh tumor dari tulang belakang dengan metode *en bloc*, yaitu pengangkatan tumor beserta bagian tulang yang terlibat secara utuh. Tujuan utama dari TES adalah untuk mencapai margin reseksi yang bersih dan

mengurangi risiko kekambuhan tumor [2,3]. Berhasilnya total en bloc spondylectomy (TES) menghasilkan tingkat kekambuhan lokal yang lebih rendah dan prognosis yang lebih baik pada pasien dengan tumor tulang belakang primer dan metastasis tulang belakang sekunder [4]. Prosedur ini telah terbukti efektif dalam menghasilkan tingkat kekambuhan lokal yang lebih rendah dan memperbaiki prognosis pasien secara signifikan. Studi oleh Boriani et al. (2009) menunjukkan bahwa tingkat kekambuhan lokal setelah TES adalah 7%, dibandingkan dengan 25% pada prosedur reseksi parsial [2].

Prosedur penanganan dengan TES sapat mengakibatkan ketidakstabilan struktural tulang belakang, sehingga memerlukan penambahan cage atau implant pengganti dengan konstruksi melingkar menggunakan sekrup pedikel dan batang, serta rekonstruksi kolom anterior menggunakan cangkok tulang autolog [3]. Meskipun penggunaan cage dapat meningkatkan hasil fungsional dan kualitas hidup pasien pasca dilakukannya prosedutr TES, tetap ada risiko kegagalan struktur pada cage yang harus diwaspadai.

Smith, J. S., et al tingkat kegagalan implan atau cage dilaporkan sekitar 10-15% [5]. Penelitian Wang, V. Y., et al. juga menyebutkan bahwa Frekuensi kegagalan struktural pada implan atau cage mencapai sekitar 12%, dengan komplikasi lain termasuk infeksi dan non-union tulang [6]. Dalam Studi Bandiera et al.

*Korespondensi: Tel./Fax.: +6281224720711

E-mail: yogisapu@student.ub.ac.id

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2017

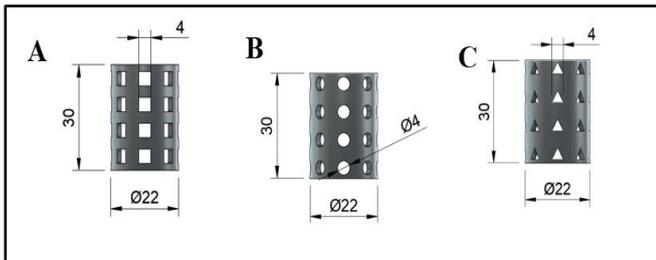
melaporkan adanya kegagalan perangkat *cage* sebesar 7% pada pasien TES dan mengusulkan bahwa hal ini mungkin disebabkan oleh fiksasi segmen pendek dan ketidakseimbangan tulang belakang. Park et al. menemukan bahwa 37,5% pasien TES mengalami patah batang titanium [4].

Pada penelitian sebelumnya, Pahopat et al melakukan rekayasa desain *cage* tulang lumbar dengan dinding pada lubang yang berbentuk lingkaran. Lubang pada *cage* divariasikan ukuran diameternya untuk melihat persebaran tegangannya sehingga dapat menemukan desain ukuran lubang yang tepat dan diharapkan dapat mengurangi resiko terjadinya kegagalan struktur *cage* [7]. Dari uraian diatas maka peneliti tertarik untuk mengamati persebaran tegangan dan deformasi yang terjadi pada *cage* yang digunakan pada tulang lumbar.

2. Metode Penelitian

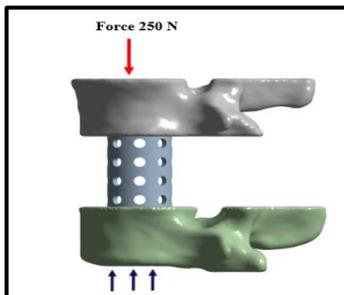
Simulasi komputer menggunakan *Software* ANSYS 2023 R2 digunakan sebagai metode untuk mengamati persebaran tegangan. Gambar 1 menunjukkan variasi lubang pada dinding *Cage* yaitu persegi, lingkaran, dan segitiga.

Variabel terikat pada penelitian ini adalah *deformation* dan *stress*. Variabel terkontrol pada riset ini adalah variasi lubang pada dinding *cage*.



Gambar 1. Bentuk Lubang Pada Dinding *Cage* (a) Persegi (b) Lingkaran (c) Segitiga

Geometri tulang lumbar didapatkan dari scan model tulang belakang manusia asli, kemudian hasil scan tersebut diperbaiki dan dimodelkan menggunakan *software* SpaceClaim. Untuk *Geometry cage* dibuat sesuai ukuran pada **Gambar 1.** dan di *assembly* diantara tulang lumbar L2 dan L4 dimana tulang lumbar itu sendiri mempunyai 5 ruas tulang yaitu, L1-L5. Kemudian tulang lumbar L3 yang dihilangkan dengan prosedur TEC. Pada tulang L4 diberikan *fixed support* karena pada simulasi penelitian ini tulang L4 diasumsikan tidak dapat bergerak tetapi masih bisa melakukan distribusi beban. Selanjutnya, pembebanan diberikan pada tulang L2 (**Gambar 2**)



Gambar SEQ Gambar 1* ARABIC 2. Kondisi

Material yang digunakan memakai data yang hampir sama dengan tulang manusia. Material properties dari setiap material dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Properti material tulang

Properti	Nilai
<i>Young's Modulus</i> [MPa]	150
<i>Shear Modulus</i> [MPa]	57.692
<i>Bulk Modulus</i> [MPa]	1.369
<i>Poisson's Ratio</i> [MPa]	0.3

Tabel 2. Properti material Titanium Alloy NL

Properti	Nilai
<i>Young's Modulus</i> [MPa]	9600
<i>Yield Stress</i> [MPa]	930
<i>Tangent Modulus</i> [MPa]	2150
<i>Density</i> [g.cm ⁻³]	4620
<i>Poisson's Ratio</i>	0.437

3. Hasil dan Pembahasan

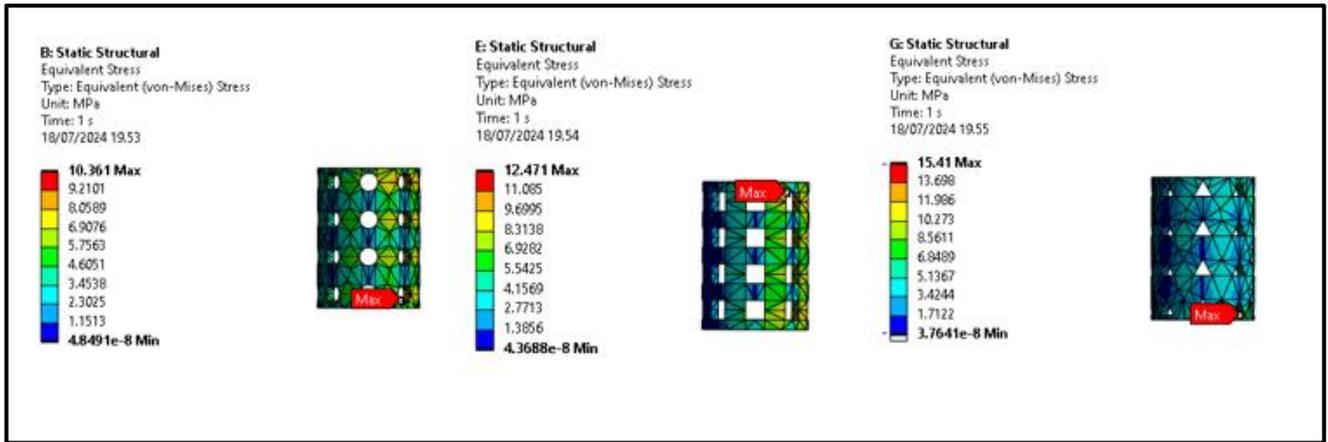
3.1 Hasil dan Analisa Tegangan pada Cage

Hasil FEA dari *cage* tulang dengan lubang lingkaran, persegi, dan segi tiga ditampilkan pada **Gambar 3.** Dari hasil analisis elemen hingga untuk nilai tegangan, *cage* dengan lubang lingkaran menunjukkan tegangan yang paling kecil, dengan distribusi tegangan yang lebih merata. Sedangkan *cage* dengan lubang persegi, dan segitiga memiliki distribusi tegangan yang tidak merata. Dari ketiga bentuk lubang tersebut *cage* dengan lubang lingkaran menunjukkan kinerja mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan bentuk lubang persegi, dan segitiga. Dibandingkan dengan bentuk lobang lainnya.

Lubang lingkaran juga dapat mengurangi konsentrasi tegangan dan menjamin transfer beban yang lebih merata di seluruh struktur *cage*, bentuk lubang lingkaran memungkinkan distribusi beban yang sama ke segala arah. Dengan mencegah konsentrasi tegangan lokal dan meningkatkan integritas struktural *cage*, kualitas ini menurunkan risiko pasien yang mengalami patah batang titanium. Untuk *cage* dengan lubang berbentuk persegi dan segitiga sering kali mengalami konsentrasi tegangan, Karena sudut tajamnya lubang berbentuk persegi dan segitiga sering kali mengalami konsentrasi tegangan Area dengan tegangan tinggi ini dapat merusak konstruksi *Cage* dan meningkatkan risiko kegagalan saat berada di bawah beban. Nilai tegangan dapat dilihat pada Tabel 3 yang menunjukkan lubang lingkaran dengan nilai tegangan paling kecil.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Tegangan Pada Setiap Variasi Lubang

Model Lubang	Tegangan [Mpa]
Lingkaran	10.361
Persegi	12.471
Segi Tiga	15.41



Gambar SEQ Gambar * ARABIC 3. Hasil Persebaran Tegangan

3.2 Hasil dan Analisa Deformasi Pada Cage

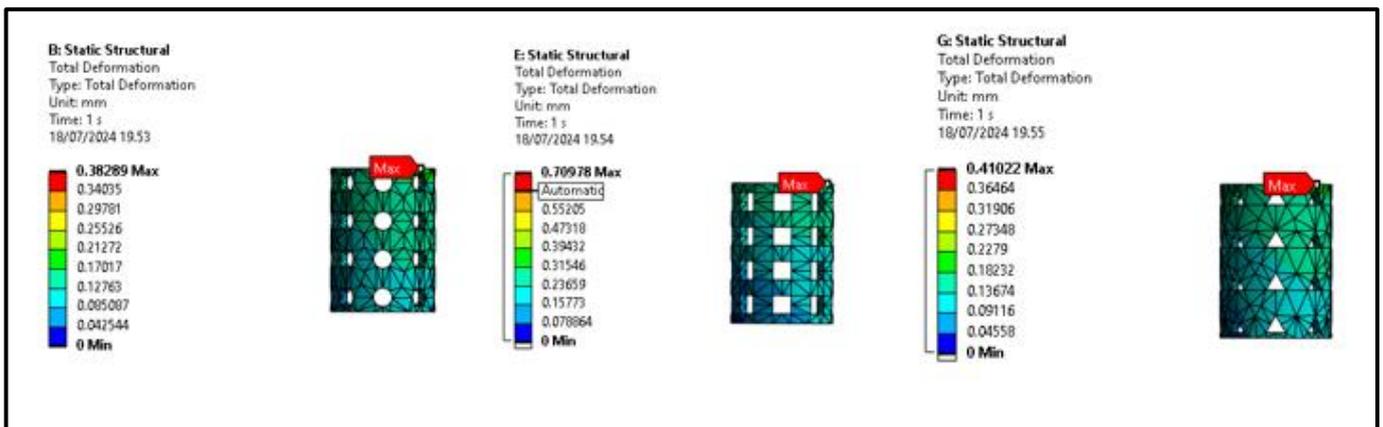
Pada Gambar 4 dapat diamati deformasi yang terjadi pada cage dengan berbagai bentuk lubang (lingkaran, persegi, dan segitiga). Deformasi diukur dalam milimeter (mm) menggunakan simulasi dengan software ANSYS 2021 R2.

Nilai Deformasi dapat dilihat pada Tabel 4. Dimana Bentuk lubang lingkaran memberikan deformasi paling kecil, menunjukkan bahwa cage dengan lubang lingkaran lebih stabil secara struktural dibandingkan dengan bentuk lubang persegi dan segitiga. Deformasi yang lebih rendah pada lubang berbentuk lingkaran menunjukkan distribusi beban yang lebih merata, yang membantu mengurangi konsentrasi tegangan dan meningkatkan integritas struktural cage. Sebaliknya, cage dengan lubang persegi memiliki deformasi terbesar, yang mengindikasikan potensi ketidakstabilan yang lebih tinggi dan risiko kegagalan struktur yang lebih besar saat digunakan dalam beban nyata. Cage dengan lubang segitiga memiliki deformasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan lingkaran tetapi lebih rendah dibandingkan dengan persegi, menempatkannya di posisi tengah dalam hal stabilitas struktural.

efisien dalam mengurangi deformasi dan meningkatkan stabilitas struktural cage. Sebaliknya, bentuk lubang persegi dan segitiga cenderung mengalami deformasi yang lebih besar, yang dapat meningkatkan risiko kegagalan struktur cage saat digunakan dalam aplikasi klinis. Oleh karena itu, penting untuk memilih bentuk lubang yang tepat untuk cage dalam prosedur TES guna meningkatkan hasil klinis dan mengurangi risiko kegagalan struktur. Memilih bentuk lubang yang optimal tidak hanya membantu dalam distribusi beban yang lebih merata tetapi juga memastikan integritas struktural yang lebih baik, sehingga memberikan hasil yang lebih baik bagi pasien yang menjalani prosedur ini.

Tabel 4. Perbandingan Nilai Deformasi Pada Setiap Variasi Lubang

Model Lubang	Tegangan [mm]
Lingkaran	0.38289
Persegi	0.70978
Segi Tiga	0.41022



4. Simpulan

Bentuk lubang lingkaran pada cage terbukti paling efisien dalam mengurangi deformasi dan distribusi tegangan secara merata. Hal ini menunjukkan bahwa cage dengan lubang lingkaran memiliki stabilitas struktural yang lebih tinggi dan risiko kegagalan struktur yang lebih rendah dibandingkan dengan bentuk lubang persegi dan segitiga. Bentuk lubang yang tepat dapat meningkatkan hasil klinis dengan memastikan distribusi beban yang merata, mengurangi konsentrasi tegangan serta meningkatkan integritas struktur cage

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem) Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya atas fasilitas riset PC dan *software* ANSYS *Academic Research* serta semua pihak terkait yang ikut membantu.

Daftar Pustaka

- [1] National Cancer Institute. (2023). Global Cancer Incidence Study Involving 270 Cancer Registries in 70 Countries.
- [2] Boriani S, Gasbarrini A, Bandiera S, Ghermandi R, Lador R. *Predictors for surgical complications of en bloc resections in the spine: review of 220 cases treated by the same team.* Eur Spine J. 2016;25(12):3932–41. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4463-y>.
- [3] Kawahara N, Tomita K, Murakami H, Demura S. *Total en bloc spondylectomy for spinal tumors: surgical techniques and related basic background.* Orthop Clin N Am. 2009;40(1):47. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2008.09.004>.
- [4] Amendola L, Cappuccio M, De Iure F, Bandiera S, Gasbarrini A, Boriani S. *In blok reseksi untuk tumor tulang belakang primer dalam pengalaman 20 tahun: efektivitas dan keamanan.* Tulang Belakang J. 2014;14(11):2608–17. . <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2014.02.030>.
- [5] Smith EHA. *Consideration of the relative merits of the Albee operation and the Hibbsoperation.* Cal State J Med. 1915;13:194–5 .
- [6] A. Wang, V. Y., et al. (2019). *Complications and implant failures after total en bloc spondylectomy: a systematic review.* Journal of Neurosurgery: Spine, 31(4), 493-501. . <https://doi.org/10.14245/ns.2244092.046>.
- [7] Pahopat, K., Jones, M., & Smith, J. S. (2023). Analysis of lumbar cage designs using finite element method. Journal of Spinal Surgery, 15(2), 123-134. <https://doi.org/10.1000/jss.2023.015>



Muhammad Yogi Saputra adalah mahasiswa S1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan aktif sebagai Asisten Laboratorium SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem).



Prof. Dr. Eng Moch. Agus Choiron menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya, S2 Teknik Mesin ITS dan S3 Teknik Mesin Yamaguchi University Jepang. Bekerja sebagai Dosen Teknik Mesin Universitas Brawijaya sejak tahun 2001 dan menjadi Kepala Laboratorium SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem). Bidang penelitian yang diminati adalah Rekayasa Desain, Simulasi komputer dan Optimasi Desain



dr. Andhika Yudistira, Sp.OT (K) Spine menyelesaikan pendidikan spesialis dan subspecialis di Universitas Indonesia serta telah menyelesaikan program Fellowship of Spine Microsurgery di Asashimin Hospital, Hiroshima Jepang dan Spine Fellowship, Tohoku Central Hospital, Yamagata Jepang. Beberapa keahlian yang dapat ditangani adalah Spine Trauma (Spinal Cord Injuries, Spine Fractures), Spine Deformity (Seperti Skoliosis), Degenerative Spine (degenerated disc, spondylolisthesis, cervical / lumbar canal stenosis, dll), endoscopic dan minimal invasive spine surgery.

Pengembangan Variasi Sudut Sambungan *Dovetail* ada Plat Dengan Material AISi10Mg Berbasis Metode Elemen Hingga

Dzikri Amali Musyaffa¹⁾, Nur Aini, Muhammad Sandro Sultan Syafiq²⁾, Syafiq Sanjaya³⁾, Moch. Agus Choiron⁴⁾, Gembong Edhi Setyawan⁵⁾, Diva Kurnianingtyas⁶⁾

^{1,2,3,4)}Departemen Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Malang

^{5,6)}Departemen Teknik Informatika Universitas Brawijaya, Malang

Abstrak

Dalam perakitan komponen dengan AM (*Additive Manufacturing*), seringkali dibutuhkan perakitan akibat keterbatasan pada kemampuan *printer*. Diantara berbagai sambungan pada *3D Printing*, sambungan *dovetail* cocok digunakan pada benda tipis dan memiliki kekuatan yang kuat tanpa memerlukan komponen tambahan. Studi ini melakukan pengembangan sambungan *dovetail* dengan berbagai ukuran sudut untuk menyatukan dua plat. Penelitian ini melakukan stress analysis menggunakan simulasi berbasis metode Elemen Hingga (FEM) untuk menganalisis tegangan pada sambungan *dovetail* dengan variasi sudut (15°, 30°, dan 45°). Plat memiliki ukuran 80x80 mm dan tebal 3 mm. Sisi tebal plat ditetapkan sebagai *fixed support* dan sisi tebal lainnya sebagai pembebanan sehingga pada kasus ini plat menerima beban kompresi. Plat dimodelkan dengan material AISi10Mg. Hasil simulasi pada ketiga model (15°, 30°, dan 45°) memberikan nilai tegangan von mises maksimum berturut-turut senilai 0,4385, 0,4445, dan 0,4376 MPa. Tegangan von mises maksimum terletak pada sudut pinggir plat, sehingga nilai tertinggi pada model 30° menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan pada model tersebut merupakan yang paling kecil. Seluruh model memiliki kemampuan menerima beban yang baik dan tergolong aman untuk beban yang diaplikasikan terbukti dari nilai faktor keamanan yang besar. Kesimpulannya, sambungan *dovetail* dapat diandalkan untuk aplikasi dalam struktur ringan dengan pengaturan geometri yang tepat, menawarkan potensi untuk pengembangan lebih lanjut dalam desain komponen manufaktur berbasis AM.

Kata kunci: *Dovetail*, Metode Elemen Hingga, Perakitan

Abstract

In assembling parts with AM (*Additive Manufacturing*), assembly is often required due to limitations in the printer's capabilities. Among the various joints in 3D printing, dovetail joints are suitable for thin objects and have strong strength without the need for additional components. This study develops a dovetail joint with various angle sizes to join two plates. This study conducted stress analysis using Finite Element Method (FEM)-based simulation to analyze the stress in dovetail joints with angle variations (15°, 30°, and 45°). The plate has a size of 80x80 mm and is 3 mm thick. The thick side of the plate is set as a fixed support and the other thick side as a loading so that in this case the plate receives a compression load. The plate is modeled with AISi10Mg material. The simulation results for the three models (15°, 30°, and 45°) gave maximum von mises stress values of 0.4385, 0.4445, and 0.4376 MPa, respectively. The maximum von mises stress is located at the edge of the plate, so the highest value in the 30° model indicates that the stress concentration in this model is the smallest. All models have good load acceptance capability and are considered safe for the applied loads as evidenced by the large factor of safety values. In conclusion, dovetail joints are reliable for applications in lightweight structures with proper geometry arrangement, offering potential for development.

Keywords: *Dovetail*. Finite Element Method, Assembly

1. Pendahuluan

Manufaktur aditif (AM) adalah teknologi manufaktur yang relatif baru dengan beberapa keunggulan, di antaranya adalah pembuatan bentuk yang kompleks tanpa peningkatan waktu produksi dan biaya yang substansial, mampu mengurangi jumlah personel yang dibutuhkan, mengurangi langkah-langkah yang diperlukan dalam produksi dan mengurangi limbah dibandingkan dengan proses manufaktur subtraktif atau pemotongan. [1]

Saat melakukan *3D Printing* pada komponen yang besar, seringkali dibutuhkan potongan dan perakitan untuk dapat merealisasikan desain akibat keterbatasan *printer*. Sambungan adalah struktur yang menyatukan 2 bagian. [2] Dalam konteks *3D Printing*, secara umum

jenis sambungan terbagi dua: *interlocking joints* dan *snap-fit joints*.

Interlocking joint adalah sambungan yang memanfaatkan gesekan pada komponen untuk tetap menyatu, seperti potongan puzzle yang ketat. *Interlocking joint* umumnya tidak mengizinkan Gerakan atau hanya bisa bergerak pada satu arah. [3]

Snap-fit joint adalah tonjolan kecil (dalam bentuk kait dan sejenisnya) yang dibelokkan selama perakitan untuk dipasangkan dengan bagian lain, kemudian kembali lurus ketika sudah mengunci. [4]

Dalam penelitian ini, penulis melakukan perancangan sambungan pada aplikasi plat tipis, sehingga *interlocking joint* dirasa memenuhi persyaratan desain dan cocok dalam penerapannya.

Salah satu *interlocking joint* yang umum digunakan adalah Sambungan *dovetail* (disebut *dovetail* karena

*Korespondensi: Tel./Fax.: 082139249937

E-mail: agus_choiron@ub.ac.id

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

bentuknya yang menyerupai ekor burung dara). Sambungan ini telah digunakan selama ribuan tahun mulai pada konstruksi kayu dan bersifat kuat karena bentuk "ekor" dan "pin" nya yang sulit dilepas. Sambungan *dovetail* banyak digunakan dalam konstruksi kotak seperti laci, kotak perhiasan, lemari, dan perabot lainnya. Teknik ini tidak membutuhkan part tambahan sebab sambungannya berada pada masing masing komponen. [5]

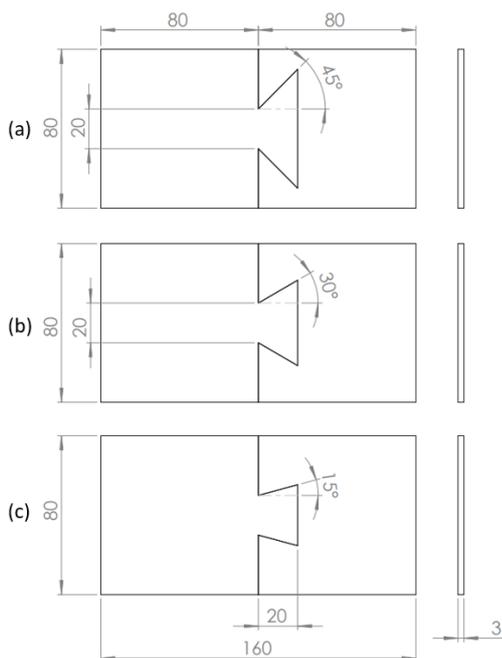
Seiring perkembangan teknologi telah banyak penelitian terkait kekuatan sambungan dovetail dengan Finite Element Method, diantaranya Jeong et al. (2012) yang memprediksi kapasitas angkut beban sambungan dovetail, dengan mempertimbangkan dimensi dovetail dengan asumsi regangan bidang. [6]

FEM adalah metode praktis untuk memecahkan masalah mekanik yang kompleks, seperti dampak dan proses kontak produk pertanian berdasarkan dinamika eksplisit tergantung waktu. FEM menyederhanakan masalah dan mengurangi jumlah persamaan kompleks. Penerapan model numerik didasarkan pada dua prinsip: mekanika kontinu dan murni diskrit mekanika [7].

Pada studi ini, akan melakukan analisa tegangan pada sambungan *dovetail* untuk plat tipis akibat beban kompresi berbasis metode elemen hingga.

2. Metode Penelitian

Simulasi komputer menggunakan software ANSYS berbasis Finite Element Method (FEM) digunakan sebagai metode untuk memberikan nilai yang diamati. Perbandingan desain dilakukan dengan memvariasikan sudut pada sambungan *dovetail*. Gambar 1 menunjukkan detail variasi geometri sambungan *dovetail* sebagai penghubung dua plat. Plat memiliki ukuran 80x80 mm dengan tebal 3 mm. Plat dihubungkan dengan sambungan *dovetail* dengan lebar dan panjang 20 mm. Pada ketiga model memiliki perbedaan sudut pada sambungan yaitu 15°, 30° dan 45°.



Gambar 1. Detail variasi geometri sambungan *dovetail* (a)45° (b)30° (c)15°

Variabel terikat pada riset adalah besar tegangan von mises oleh beban kompresif.

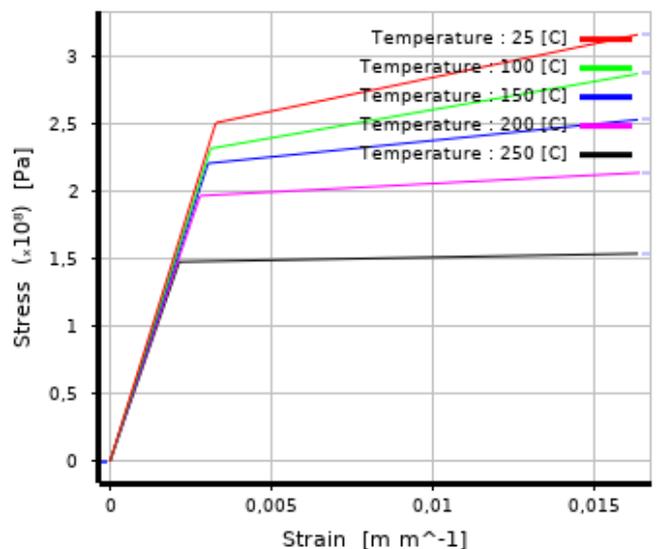
Variabel terkontrol pada riset ini adalah:

- *Bilinear Isotropic Hardening* diasumsikan sebagai model material plat.
- Gaya sebesar 65,261 N.
- Kontak antar plat dimodelkan *frictional* dengan nilai koefisien gesek 1.2.

Software Finite Element Analysis (FEM), ANSYS License Manager versi 2023 R2 digunakan untuk melakukan analisis simulasi numerik. Model terdiri dari dua bagian yang dihubungkan dengan sambungan *dovetail* pada salah satu plat seperti terlihat pada Gambar 2. Material plat menggunakan material AISi10Mg dengan sifat yang disajikan pada Tabel 1 dan model material pada Gambar 3. *Element size* seluruh bagian adalah 2 mm dengan metode *hexahedral*.



Gambar 2. Pemodelan simulasi

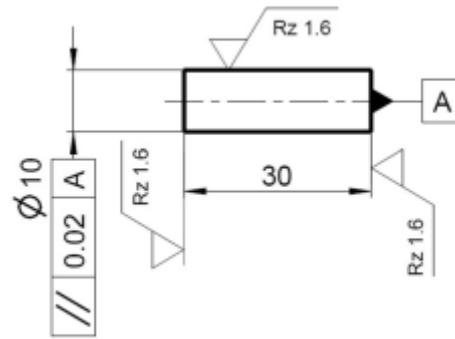


Gambar 3. Pemodelan material AISi10Mg

Tabel 1. Properti Material AISi10Mg

Sifat	Nilai
<i>Density</i> [kg.m ⁻³]	
22° C	2670
570° C	1710
<i>Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion</i>	
<i>Thermal Expansion Coefficient</i> [C ⁻¹]	
100° C	2,06.10 ⁻⁵
150° C	2,36.10 ⁻⁵
200° C	2,47.10 ⁻⁵
250° C	2,58.10 ⁻⁵
300° C	3,04.10 ⁻⁵
350° C	3,29.10 ⁻⁵
400° C	2,71.10 ⁻⁵
450° C	2,44.10 ⁻⁵
<i>Zero-Thermal-Strain Reference</i>	22
<i>Temp.</i> [C]	
<i>Melting Temp.</i> [C]	570
<i>Isotropic Elasticity</i>	
<i>Young's Modulus</i> [GPa]	
25° C	76,6
50° C	76,1
100° C	74,3
150° C	72,7
200° C	70,6
250° C	68,9
300° C	67
<i>Poisson's Ratio</i>	0,33
<i>Bulk Modulus</i> [GPa]	
25° C	75,1
50° C	74,6
100° C	72,8
150° C	71,3
200° C	69,2
250° C	67,5
300° C	65,6
<i>Shear Modulus</i> [GPa]	
25° C	28,6
50° C	28,6
100° C	27,9
150° C	27,3
200° C	26,5
250° C	25,9
300° C	25,1
<i>Bilinear Isotropic Hardening</i>	
<i>Yield Strength</i> [MPa]	
25° C	251
100° C	232
150° C	221
200° C	197
250° C	148
<i>Tangent Modulus</i> [MPa]	
25° C	5000
100° C	4180
150° C	2430
200° C	1250
250° C	430

simulasi terhadap pengujian kompresi pada spesimen 3D print dengan material AISi10Mg oleh Sert [8].



Gambar 4. Dimensi spesimen uji kompresi

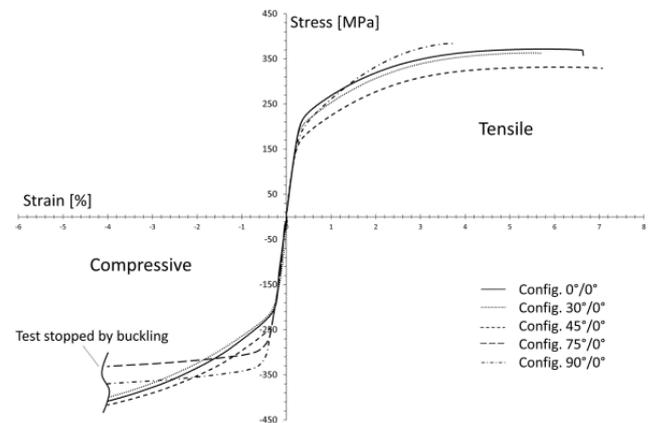
Building direction Φ/θ (°/°)	Young's modulus E (GPa)		Yield strength R_{dp} (MPa)	
	Average	STDEV	Average	STDEV
0/0	74.2	2.2	227	14
30/0	73.5	2.4	218	9
45/0	77.8	1.7	243	8
75/0	79.8	1.1	280	13
90/0	79.1	0.5	300	9

Gambar 5. Properti material AISi10Mg hasil uji kompresi pada suhu ruangan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Verifikasi Penelitian

Untuk memverifikasi pemodelan finite element method, dilakukan simulasi terhadap pengujian kompresi pada spesimen 3D print dengan material AISi10Mg oleh Sert (2022) dengan dimensi dan material yang sama.

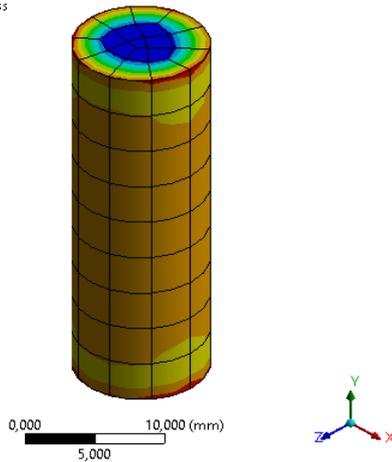
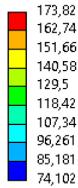


Gambar 6. Properti material AISi10Mg hasil uji kompresi pada suhu ruangan

Dari hasil pengujian, didapatkan diagram tegangan regangan untuk spesimen AISi10Mg pada beban kompresi. Asumsi regangan 0,2% (0,06 mm) digunakan sebagai input dalam simulasi untuk mendapat tegangan pada spesimen. *Element size* spesimen senilai 3 mm dan mendapat nilai *Orthogonal Quality* rata-rata 0,96518 sehingga dinilai layak dalam simulasi.

Verifikasi penelitian ditujukan untuk menguji kelayakan hasil simulasi dengan mengetahui apakah *setting* simulasi pada *software* dapat digunakan. Untuk memvalidasi teknik pemodelan *finite element*, dilakukan

H: Copy of 15
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1 s
Max: 173,82
Min: 74,102
20/07/2024 16:55



Gambar 7. Tegangan Von Mises Hasil Verifikasi Berdasarkan diagram tegangan-regangan penelitian sebelumnya, pada nilai tegangan 0,2% didapat nilai tegangan 170,05 MPa. Dengan membandingkan nilai tegangan pada simulasi dan diagram tegangan-regangan penelitian sebelumnya, dapat ditentukan nilai persentase *error* tegangan dari simulasi.

$$\sigma_{error} = \left| \frac{170,05 - 173,82}{170,05} \right| \times 100\% = 2,21 \%$$

Diamati bahwa kesalahan relatif dari tegangan antara model simulasi dan pengujian sebelumnya dibawah 5%. Berdasarkan verifikasi data hasil pengujian-simulasi maka prosedur dan *setup properties* yang dikembangkan untuk memodelkan pengujian kompresi pada material AISi10Mg dapat diterima dengan *error* yang cukup rendah. Oleh karena itu, teknik pemodelan *finite element* dalam riset ini dianggap cukup akurat untuk simulasi selanjutnya pada *dovetail joint* pada sambungan plat AISi10Mg.

Perlu diingat bahwa simulasi berdasarkan finite element method tidak memberikan nilai eksak namun aproksimasi. Adapun faktor yang dapat mempengaruhi munculnya error antara lain:

- Material pada simulasi diasumsikan tanpa cacat, sedangkan pada kenyataannya spesimen uji memiliki porositas dan konfigurasi *layer* pada *3D Print* dapat mengurangi kekuatan struktur.
- Konfigurasi ukuran elemen dapat mempengaruhi hasil simulasi.

3.2. Tegangan Von Mises Hasil Simulasi

Pada sambungan *dovetail* penting untuk mengetahui nilai tegangan yang terjadi untuk mengetahui performa sambungan terhadap pembebanan. Sudut-sudut yang dimiliki sambungan dapat menyebabkan tegangan terkonsentrasi dan menjadi titik berkembangnya tegangan ketika dibawah pembebanan. Nilai tegangan von mises maksimum pada setiap model ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tegangan Von Mises Hasil Simulasi

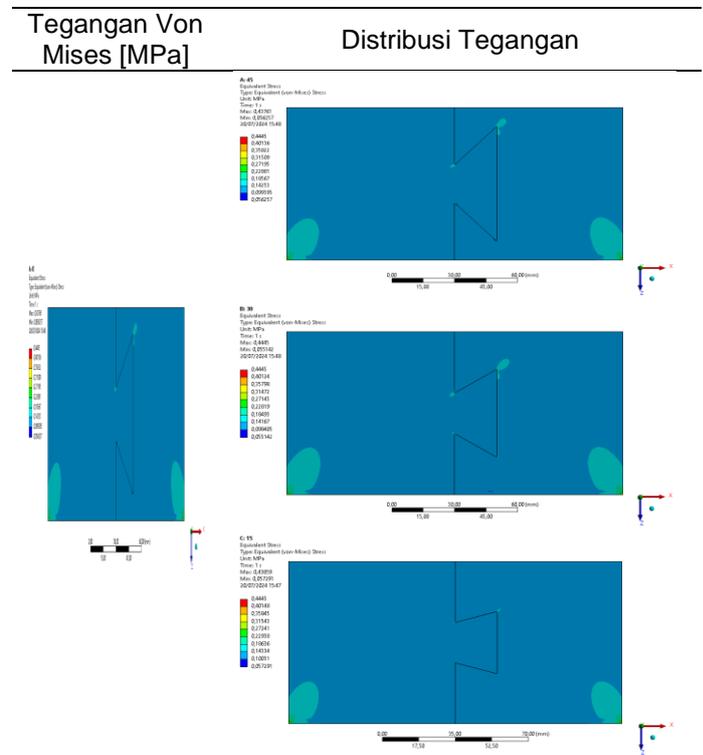
Model	Nilai Tegangan Von Mises Maksimum [MPa]
45°	0,4376
30°	0,4445
15°	0,4385

Dengan membandingkan nilai tegangan von mises maksimum dengan nilai *yield strength*, dapat diketahui nilai faktor keamanan dari *yield material* model yang disimulasikan [9]. Nilai *yield strength* material AISi10Mg adalah 251 MPa.

Tabel 3. Faktor Keamanan Hasil Simulasi

Model	Nilai Tegangan Von Mises Maksimum [MPa]	Nilai Faktor Keamanan
45°	0,4376	573,5
30°	0,4445	564,6
15°	0,4385	572,4

Tabel 4. Distribusi Tegangan Von Mises Hasil Simulasi



Dari gambar distribusi tegangan, pada kasus plat sederhana nilai tegangan maksimal terjadi pada sudut bawah disekitar support untuk semua model. Nilai dengan tegangan von mises maksimum dari yang terbesar dimiliki model 30°, 15° dan 45° dengan nilai 0,4445, 0,4385 dan 0,4376 MPa. Tingginya nilai tegangan von mises maksimum pada bawah plat mengindikasikan bahwa konsentrasi tegangan pada sudut sambungan *dovetail* bernilai lebih kecil, sehingga pada kasus ini model 30° merupakan konfigurasi dengan performa yang lebih diinginkan.

Pada daerah dovetail, sudut teratas yang paling dekat dengan sumber gaya menimbulkan konsentrasi tegangan namun bernilai kecil dan tidak membahayakan struktur dengan material AISi10Mg. Hal ini juga dibuktikan dengan nilai faktor keamanan pada tabel 4. Nilai faktor keamanan yang besar

memberikan banyak ruang untuk pengembangan dalam penerapannya.

4. Simpulan

1. Penggunaan sambungan dovetail menyebabkan konsentrasi tegangan pada daerah sambungan namun dengan konfigurasi yang tepat, besarnya konsentrasi dapat dioptimalkan untuk tetap memenuhi persyaratan desain.
2. Simulasi *finite element method* pada model 30°, 15° dan 45° memberikan nilai tegangan von mises maksimum senilai 0,4445, 0,4385 dan 0,4376 MPa. Semua model memiliki nilai tegangan yang rendah dari beban yang diaplikasikan dan tergolong aman (ditunjukkan dari faktor keamanan yang sangat besar untuk seluruh model). Model dengan sudut *dovetail* 30° menghasilkan konsentrasi tegangan yang lebih kecil sehingga lebih diinginkan dalam penerapannya

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem) Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya atas fasilitas riset PC dan software ANSYS Academic Research serta semua pihak terkait yang ikut membantu.

Daftar Pustaka

- [1] Taborda, L.L.L., Maury, H. and Pacheco, J. (2021) *Design for additive manufacturing: a comprehensive review of the tendencies and limitations of methodologies*. Rapid Prototyping Journal Vol. 27 No. 5, pp. 918-966, doi: 10.1108/rpj-11-2019-0296.
- [2] Alvarez M.E., González, Q.S.A., Taborda, L.L., Nuñez, N.E.E. (2023) *Experimental study of adhesive joints with mechanical interlocking of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) parts fabricated for fused filament (FFF)*. Rapid Prototyping Journal, Vol. 29 No. 9, pp. 1984-2000. <https://doi.org/10.1108/RPJ-04-2023-0146>
- [3] Ooi, T., All3DP – How to 3D Print Joints – Simply Explained, 2020. [<https://all3dp.com/2/3d-printed-joints-the-basics/>] (Diakses tanggal: 18 Juli 2020).
- [4] Lobovsky M., *Formlabs - How to Design and 3D Print Snap-Fit Enclosures*, 2020. [<https://formlabs.com/asia/blog/designing-3d-printed-snap-fit-enclosures>] (Diakses tanggal: 18 Juli 2020)
- [5] W., Yu, R., Luo, M., & Konukcu, A. C. (2022). *Study on tensile strength of single dovetail joint: experimental, numerical, and analytical analysis*. Wood Material Science & Engineering, 18(4), 1478–1486. <https://doi.org/10.1080/17480272.2022>
- [6] Jeong, G. Y., Park, M. J., Park, J. S. and Hwang, K. H. (2012) Predicting load-carrying capacity of dovetail connections using the stochastic finite element method. Wood Fiber and Science, 44, 430–439.

[7] Tekkaya, A.E., Soyarslan, C. (2014). Finite Element Method. In: Laperrière, L., Reinhart, G. (eds) CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20617-7_16699

[8] Sert, E., Hitzler, L., Hafenstein, S. et al. Tensile and compressive behaviour of additively manufactured AlSi10Mg samples. Prog Addit Manuf 5, 305–313 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40964-020-00131-9>

[9] Gere, J. (2004). *Mechanics of Materials 6th Edition*. Belmont: Thomson Learning.

	Dzikri Amali Musyaffa adalah mahasiswa S1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan aktif sebagai Asisten Laboratorium SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem).
Saat ini menjalani pendidikan S1 di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Bidang penelitian yang digeluti adalah optimasi desain berbasis Finite Element Analysis (FEA).	

	Nur Aini adalah mahasiswa S1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya konsentrasi konstruksi merupakan asisten aktif SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem) Universitas Brawijaya yang aktif mendalami riset rekayasa Desain berbasis Finite Element Method.
	Syafiq Sanjaya adalah mahasiswa S1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan aktif sebagai Asisten Laboratorium SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem).

	<p>Muhammad Sandro Sultan Syafiq adalah mahasiswa S1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan aktif sebagai Asisten Laboratorium SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem).</p>
	<p>Prof. Dr. Eng Moch. Agus Choiron menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya, S2 Teknik Mesin ITS dan S3 Teknik Mesin Yamaguchi University Jepang. Bekerja sebagai Dosen Teknik Mesin Universitas Brawijaya sejak tahun 2001 dan menjadi Kepala Laboratorium SPRS (Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem). Bidang penelitian yang diminati adalah Rekayasa Desain, Simulasi komputer dan Optimasi Desain</p>
	<p>Dr. Eng. Gembong Edhi Setyawan, S.T., M.T. menyelesaikan studi S1 Teknik Elektro Universitas Brawijaya, S2 Teknik Elektro ITS, dan S3 Fisika Terapan Universitas Waseda Jepang. Bekerja sebagai dosen Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya sejak tahun 2012 dan saat ini menjadi sekretaris laboratorium sistem embedded dan robotika. Bidang penelitian yang diminati adalah reinforcement learning, kecerdasan robot, dan sistem kendali.</p>
	<p>Dr. Diva Kurnianingtyas, S.Kom mendapatkan gelar Sarjana Komputer di bidang Teknik Informatika dan Doktor di bidang Teknik Industri, selain itu ada beberapa sertifikat dan keterampilan profesional. Bekerja sebagai dosen di Fakultas Ilmu Komputer Departemen Teknik Informatika Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia. Bidang minat penelitian meliputi Optimasi, Evolutionary Algorithm, Kecerdasan Buatan, dan Pemodelan dan simulasi.</p>

Ketahanan Api (*Flameability*) *Green Composite* Serat Daun Nanas (*Ananas Comosus*) Dengan Matrik Sari Pati Kentang

Kencanawati, CIPK^{1)*}, Eriko Pangarapenta Sembiring²⁾, I Made Astika³⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

^{2,3)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Karakteristik ketahanan api suatu material merupakan aspek penting yang harus diketahui bilamana material tersebut akan diapluskasikan. Material yang tahan api dapat mencegah atau memperlambat penyebaran api, memberikan waktu tambahan bagi pengguna untuk keluar dari area yang terpengaruh dan mengurangi risiko kebakaran serta cedera. Serat alam, seperti serat nanas mengandung *lignin* yang memiliki potensi untuk meningkatkan ketahanan api material. *Lignin* tidak hanya memberikan kekuatan dan ketahanan pada serat tanaman, tetapi juga memiliki sifat tahan api alami. Dengan kandungan *lignin* yang lebih tinggi memungkinkan memiliki ketahanan api yang lebih baik. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan ketahanan api dari *green composite* yang dibuat dari serat nanas sebagai penguat dan matriks sari pati kentang. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand-lay up* dengan perbandingan matriks dan serat adalah 95%:5%, 92,5%:7,5%, dan 90%:10%. Pengujian ketahanan api dengan menggunakan ASTM D 635-03. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak serat yang ditambahkan kedalam *green composite* maka ketahanan api yang didapatkan semakin baik.

Kata kunci: *Green composite*, serat daun nanas, sari pati kentang, ketahanan api

Abstract

Knowing a material's flameability characteristics is crucial when applying it. Flameability materials can prevent or slow the spread of fire, provide additional time for users to exit the affected area, and reduce the risk of fire and injury. Natural fibers, such as pineapple fibers, contain lignin, which has the potential to increase the flameability of materials. Lignin not only provides strength and durability to plant fibers but also has natural flameability properties. With a higher lignin content, it is possible to have better flameability. This study was conducted to obtain the flameability of green composites made from pineapple fibers as reinforcement and potato starch matrix. The composite was made using the hand-layup method with a matrix and fiber ratio of 95%: 5%, 92.5%: 7.5%, and 90%: 10%. Flameability testing using ASTM D 635-03. The test results showed that the more fibers added to the green composite, the better flameability obtained.

Keywords: *Green Composite, Pineapple Fiber, Potato Starch Essence, Flameability.*

1. Pendahuluan

Ketahanan api adalah faktor kunci dalam memastikan keselamatan dalam penggunaan material ini. Dalam aplikasi seperti konstruksi bangunan, transportasi, peralatan elektronik, atau barang konsumen, material yang tahan api dapat membantu mencegah atau memperlambat penyebaran api. Ini memberikan waktu tambahan bagi pengguna untuk keluar dari area yang terkena dampak api, dan dapat mengurangi risiko kebakaran dan cedera.

Ketahanan api merupakan parameter penting dalam aplikasi di mana *green composite* digunakan. Ketika fraksi massa serat terlalu tinggi, matriks resin atau bahan perekat dalam komposit mungkin menjadi terbatas. Ini dapat mengakibatkan penurunan ketahanan api secara signifikan, membuat material tersebut lebih rentan terhadap api. Ketika fraksi massa serat sangat tinggi, matriks resin atau bahan perekat mungkin menjadi kurang efektif dalam mengikat serat-serat bersama. Ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan fisik dari *green composite*. Hal ini akan mengurangi daya tahannya terhadap beban mekanis, yang pada gilirannya dapat meningkatkan risiko kerusakan akibat panas [1-3]

Fraksi massa serat yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan retak-retak dan kerusakan struktural pada *green composite* saat terpapar panas. Hal ini dapat mengurangi integritas material dan mengurangi kemampuannya untuk menjaga ketahanan api. Namun serat dapat menjadi salah satu faktor penentu ketahanan api pada komposit. Sifat tahan api dari komposit sangat dipengaruhi oleh jenis serat yang digunakan, serta interaksi antara serat dan matriks polimer. Beberapa faktor yang berperan seperti jenis serat, perlakuan serat, komposisi matriks, serta interaksi serat dan matriks sehingga ketahanan api juga bisa bertambah karena pengaruh serat [4-5]

Serat alami, seperti serat nanas, memiliki sifat pembakaran yang berbeda dibandingkan dengan beberapa bahan komposit sintesis. Serat alami cenderung lebih mudah terbakar, dan jika fraksi massa serat terlalu tinggi, ini dapat meningkatkan risiko perambatan api dan peningkatan suhu selama paparan api [6-7]. Serat nanas sendiri memiliki kandungan *lignin* yang memiliki potensi untuk meningkatkan ketahanan api pada material. *Lignin* sendiri memberikan kekuatan dan ketahanan terhadap serat tanaman. Secara umum, semakin tinggi

*Korespondensi:

E-mail: cok_putrikusuma@unud.ac.id

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

kandungan *lignin* dalam serat, semakin kuat serat tersebut. Dalam konteks *green composite*, kandungan *lignin* dalam serat nanas juga dapat berperan dalam meningkatkan ketahanan api karena *lignin* memiliki sifat tahan api alami [8-9]

Perilaku material *green composite* serat nanas/saripati kentang terhadap ketahanan api dilakukan berbagai usaha, dikhususkan untuk menilai dan mengurangi bahaya api. *Fire properties* berbagai macam material komposit dianalisis dalam berbagai hal. Propertis ini termasuk laju pembakaran (*Rate of Burning*), Kehilangan berat (*Weight Loss*), Laju Kehilangan Berat (*Rate of Weight Loss*).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan kajian eksperimental terkait dengan upaya pemanfaatan serat dan matrik alami sebagai green composi..

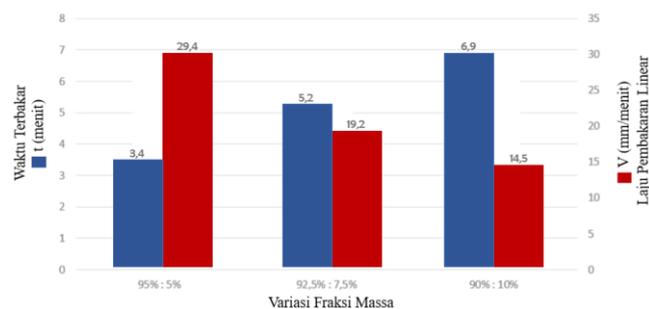
Bahan penelitian ini adalah saripati kentang dan serat daun nanas dengan variasi fraksi masa dalam pembuatan green komposit. Pengujian ketahanan api dengan menggunakan ASTM D 635-03 dari *America Society For Testing and Materials*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketahanan api yang meliputi tolak ukur Laju pembakaran Linear (*Rate of Burning*), Kehilangan berat (*Weight Loss*), Laju Kehilangan Berat (*Rate of Weight Loss*)

3. Hasil dan Pembahasan

1. 3.1 Laju Pembakaran Linear

Tabel 3.1 Laju Pembakaran Linear

Perbandingan Variasi Massa Matriks : Serat (%)	Laju Pembakaran Linear		
	L (mm)	t (menit)	V (mm/menit)
95% : 5%	100	3,4	29,4
92,5% : 7,5%	100	5,2	19,2
90% : 10%	100	6,9	14,5

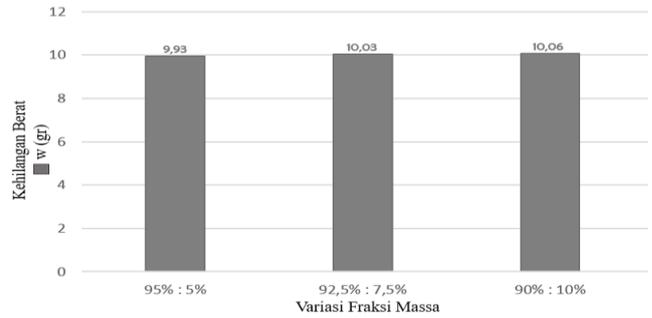


Gambar 3. 1 Grafik Laju Pembakaran Linear

2. 3.2 Kehilangan Berat

Tabel 3.2 Data Kehilangan Bera

Perbandingan Variasi Massa Matriks : Serat (%)	Kehilangan Berat		
	w ₀ (gr)	w ₁ (gr)	w (gr)
95% : 5%	11,59	1,65	9,93
92,5% : 7,5%	11,77	1,73	10,03
90% : 10%	11,80	1,76	10,06

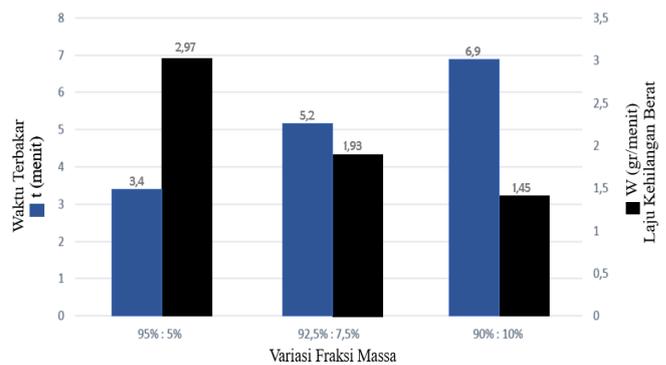


Gambar 3. 2 Grafik Kehilangan Berat

3. 3.3 Laju Kehilangan Berat

Tabel 3.3 Laju Kehilangan Berat

Perbandingan Variasi Massa Matriks : Serat (%)	Laju Kehilangan Berat		
	w (gr)	t (menit)	W (gr/menit)
95% : 5%	9,93	3,4	2,97
92,5% : 7,5%	10,03	5,2	1,93
90% : 10%	10,06	6,9	1,45



Gambar 3. 3 Grafik Laju Kehilangan Berat

Grafik ini menampilkan hasil pengujian ketahanan api pada komposit serat nanas dengan matriks sari pati kentang dengan variasi perbandingan massa matriks dan serat: 95%:5%, 92.5%:7.5%, dan 90%:10%. Paramataer pada grafik ini menunjukan laju kehilangan berat selama pembakaran (W), Laju pembakaran linear (V). Data yang ditampilkan serat daun nanas dengan matriks saripati kentang 5%:95% adalah dengan rata-rata laju kehilangan berat (W) sebesar 2.97 gram/menit dan rata-rata laju pembakaran (V) sebesar 29.4 mm/menit. Serat daun nanas dengan matriks saripati kentang 7.5%:92.5% adalah dengan rata-rata laju kehilangan berat (W) sebesar 1.93 gram/menit dan rata-rata laju pembakaran (V) sebesar 19.2 mm/menit. Serat daun nanas dengan matriks saripati kentang 10%:90% adalah dengan rata-rata laju kehilangan berat (W) sebesar 1.45 gram/menit dan rata-rata laju pembakaran (V) sebesar 14.5 mm/menit.

Kehilangan berat selama pembakaran antara 9.93 gram hingga 10.06 gram, dari ketiga variasi relatif konsisten. Laju kehilangan berat menurun dengan peningkatan fraksi massa serat nanas. Ini menunjukkan bahwa penambahan serat nanas dalam komposit mengurangi laju kehilangan berat selama pembakaran. Laju

pembakaran linear juga menurun dengan meningkatnya fraksi massa serat nanas, yang menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap pembakaran. Komposisi dengan perbandingan massa 90%:10% menunjukkan ketahanan api terbaik dengan laju pembakaran terendah (14.5 mm/menit) dan laju kehilangan berat paling sedikit (1.45 gram/menit).

Analisis dari grafik ini, dapat dilihat bahwa semakin tinggi fraksi massa serat nanas dalam komposit, laju pembakaran linear cenderung menurun. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat nanas pada komposit dapat meningkatkan ketahanan terhadap pembakaran.

Analisis laju kehilangan berat menurun dengan meningkatnya fraksi massa serat nanas. Hal ini kembali menunjukkan bahwa serat nanas meningkatkan ketahanan komposit terhadap pembakaran, mengurangi laju kehilangan berat selama proses pembakaran.

4. Simpulan

Laju pembakaran linear dan laju kehilangan berat semakin menurun dengan bertambahnya fraksi masa serat dalam green composite. Peningkatan fraksi massa serat nanas dalam komposit meningkatkan ketahanan terhadap pembakaran.

Daftar Pustaka

[1] Afiihah Radhiyatullah, Novita Indriani, & M. Hendra S. Ginting. (2015). Pengaruh Berat Pati Dan Volume Plasticizer Gliserol Terhadap Karakteristik Film Bioplastik Pati Kentang. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(3), 35–39. <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i3.1479>

[2] Astika, dkk (2018). Karakteristik Ketahanan Api Komposit Polyester Berpenguat Serat Sabut Kelapa.

[3] Hanif, W. N., Setriyanto, Y., & Wijayanto, D. S. (2014). Pengaruh Fraksi Volume Serat Gelas Terhadap Ketahanan Bakar Komposit Dengan Matriks Ripoxy R-802 EX. *Jurnal FKIP Universitas Sebelas Maret Surakarta*, 0271, 1–6.

[4] Hidayat, R. A., & Nisa', A. A. (2018). Ekstraksi Serat Daun Nanas Sebagai Bahan Untuk Serat Tekstil. *Institut Teknologi Sepuluh November*, 119.

[5] Kencanawati, C. I. P. K., Suardana, N., Sugita, I. K. G., & Suyasa, I. W. B. (2019). Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impact Greencomposite Serat Kulit Buah Pinang dengan Matriks Getah Pinus. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 12(1), 33. <https://doi.org/10.24843/jem.2019.v12.i01.p0>

[6] Ningrum, L. Y. (2017). *Potensi Serat Daun*

Nanas Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pengganti Fiberglass Pada Pembuatan Lambung Kapal. 46. <http://repository.its.ac.id/45868/>

[7] Pujiastuti, C., Alfa, D., Studi, P., Kimia, T., Veteran, U. ", Timur, J., Dewandana, A., & Dzakwan, R. (2023). *Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono Xix Pengaruh Karakteristik Bioplastik Pati Kentang Hitam Dan Selulosa Mikrokristalin Terhadap Sifat Mekanik Dan Hidrofobisitas*. 143–147. <http://snsb.upnjatim.ac.id/>

[8] Rahman, M. B. N., & Suwanda, T. (2010). Pengaruh Fraksi Volume Serat terhadap Peningkatan Kekuatan Impak Komposit Berpenguat Serat Nanas-Nanasan (Bromeliaceae) Kontinyu Searah dengan Matrik Unsaturated Polyester. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 13(2), 137–144.

[9] Saidah, A., Susilowati, S. E., & Nofendri, Y. (2018). Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Serat Jerami Padi Epoxy Dan Serat Jerami Padi Resin Yukalac 157. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 5(2), 96–101. <https://doi.org/10.21009/jkem.5.2.7>

[10] Martikno, Tobias,. 2007. Pengaruh Filler Serbuk Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanik Dan Termal Komposit Bermatrik Polipropilen. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Bandar Lampung.

[11] M. Irwan Firdaus, Sujiata, dan Nasmi Herlina Sari,. 2018. Karakteristik Ketahanan Nyala Api Komposit *Sandwich* Polyester Diperkuat Serat Batang Pisang Dan Serat Daun Nanas Buah Dengan *Core* Tongkol Jagung



Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 1996. Pendidikan Magister Sains diselesaikan di Universitas Gajah Mada pada tahun 2004 dengan area riset tentang material akustik. Dan menyelesaikan Pendidikan S3 tahun 2020 di Program Doktor Ilmu Teknik Universitas Udayana, selain itu juga menjadi dosen tetap di Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Udayana Bidang penelitian utama yang digeluti adalah Greenmaterial

Pengaruh Fraksi Volume Serat Pada Green Composite Sari Pati Kentang dan Serat Bambu Terhadap Kekerasan

Kencanawati, CIPK¹⁾, Nanda Yobel Philip Siburian²⁾, I Putu Agus Suryawan³⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

^{2,3)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penggunaan material komposit telah menjadi umum dalam berbagai aplikasi industri, tetapi bahaya yang ditimbulkan oleh pemakaian material ini menjadi perhatian utama. Penggunaan komposit berbasis polimer sintesis menimbulkan masalah bagi lingkungan karena bahan-bahannya bersifat non-biodegradable, menyebabkan meningkatnya minat terhadap komposit polimer organik alami, dimana bahan pengisinya berasal dari sumber terbarukan dan dapat terurai secara hayati yang kemudian disebutkan sebagai green composite. Penelitian ini menggunakan serat bambu dan sari pati kentang dengan perbandingan variasi fraksi volume serat dan matriks 5%: 95%, 7,5%: 92,5%, dan 10%: 90%. Proses pembuatan green composite menggunakan cetakan akrilik dengan metode hand lay-up. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan green composite mengacu pada ASTM D2240 dengan metode hand lay-up. Hasil penelitian didapatkan nilai kekerasan green composite dengan konsentrasi serat 5%, 7,5%, dan 10% masing-masing sebesar 50.1, 54.2, dan 67.6 Shore D.

Kata kunci: Green Composite, Uji Kekerasan, Serat Bambu, Sari Pati Kentang

Abstract

The use of composite materials has become common in various industrial applications, but the hazards posed by using these materials are a major concern. The use of synthetic polymer-based composites poses a problem to the environment as the materials are non-biodegradable, leading to increased interest in natural organic polymer composites, where the fillers are derived from renewable and biodegradable sources which are then referred to as green composites. This study uses bamboo fiber and potato starch juice with a variation ratio of fiber and matrix of 5%: 95%, 7.5%: 92.5%, and 10%: 90%. The green composite manufacturing process uses acrylic molds with the hand lay-up method. This study was conducted to determine the hardness value of green composite referring to ASTM D2240 with the hand lay-up method. The results obtained hardness values between 5%, 7.5%, and 10% fibers were 50.1, 54.2, and 67.6 Shore D.

Keywords: Green Composite, Hardness Test, Bamboo Fiber, Potato Starch

1. Pendahuluan

Komposit berbahan polimer sintesis telah banyak digunakan dalam berbagai industri tetapi bahaya yang ditimbulkan oleh penggunaan material ini menjadi perhatian utama. Karena bahan-bahannya bersifat *non-biodegradable*, penggunaan komposit berbasis polimer sintesis menimbulkan masalah bagi lingkungan. Oleh karena itu, minat terhadap komposit dengan polimer organik alami semakin meningkat. Komposit ini kemudian dikenal sebagai *green composite*. Kelebihan menggunakan *green composite* adalah bahwa bahan tersebut terbarukan, dapat didegradasi oleh alam, dan hidrofobik (tak suka air) [1].

Green composite menjadi salah satu upaya untuk mengurangi pencemaran lingkungan, sifatnya dapat terdegradasi (*bio-degradable*) dan tidak berbahaya bagi lingkungan juga kesehatan manusia yang diharapkan mempunyai nilai kekerasan (*Hardness*) yang tinggi. *Green composite* adalah kelas komposit tertentu, dimana matriks berbasis polimer alami diperkuat oleh serat alam [2].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan *green composite* yang diperkuat oleh serat alami dan matriks polimer pati yang dapat terdegradasi sepenuhnya [3]. Pati merupakan polisakarida yang paling melimpah di alam, terbarukan, dan sumber dayanya hampir tidak terbatas. Sumber pati banyak ditemukan seperti pada jagung, gandum, kentang, tapioka, ubi jalar dan beras [4]. *Green composite* terdiri dari monomer organik dari pati, selulosa protein, dan mikroorganisme yang contohnya terdapat pada kentang (*Solanum tuberosum*).

Kentang mengandung amilosa 21,04% dan amilopektin 78,96% [5]. Kadar amilosa yang tinggi berpengaruh terhadap kemampuan gelatinasi pati tetapi dapat diimbangi oleh amilopektin yang lebih tinggi [6]. Kandungan amilosa dalam kentang berperan dalam meningkatkan kekerasan pada pembuatan material *green composite*. Kentang memiliki daya rekat yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai matriks dalam green composite yang diperkuat serat alam karena berasal dari alam

Korespondensi:

E-mail: cok_putrikusuma@unud.ac.id

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

dan memiliki kandungan yang dapat terbiodegradasi secara hayati.

Pemanfaatan serat alam telah dipertimbangkan sebagai pengganti serat sintetis karena memiliki keunggulan seperti lebih ringan, terbarukan, biaya rendah, ketersediaan melimpah, *biodegradable*. Beberapa serat alam telah digunakan yaitu serat tebu, pisang, jerami dan bambu. Diantara serat tersebut, serat bambu memiliki kelebihan seperti densitas rendah, kekakuan, kekuatan, dan elastis yang tinggi [7]. Secara mekanik, serat bambu memiliki modulus elastisitas yang tinggi (33 GPa) dan kekuatan tarik yang tinggi (140-800 MPa) [8].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari green composite serat bambu dan matriks sari pati kentang dengan melakukan pengujian kekerasan memakai ASTM D2240 dengan pembuatan spesimen menggunakan metode hand-lay up. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan pembatasan antara lain:

1. Menggunakan serat bambu dengan Panjang serat 1 cm dan sari pati kentang sebagai matriks.
2. Proses pembuatan green composite menggunakan teknik hand-lay up.

2. Dasar Teori

2.1 Green Composite

Green Composite adalah material yang dibuat dengan menggabungkan serat atau bahan pengisi alami dengan polimer yang dapat terurai secara hayati, sehingga menghasilkan material komposit yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. *Green Composite* menggabungkan serat tumbuhan dengan resin alami untuk menghasilkan material komposit alami [1]. Matrik dan serat yang digunakan dalam green composite bersifat *biodegradable*, ketika dibuat, terurai oleh aksi mikroorganisme diubah menjadi bentuk H₂O dan CO₂ lalu diserap oleh alam [9].

2.2 Sari Pati Kentang

Pati merupakan polisakarida yang terdapat pada sel tumbuhan dan beberapa mikroorganisme. Keuntungan dari polimer berbasis pati adalah kelimpahan dan biaya rendah. Pati termasuk dalam senyawa karbohidrat yang banyak dalam terkandung pada umbi kentang. Kadar pati kentang sekitar 22-28% dimana terkandung amilosa 21,04% dan amilopektin 78,96% [5]. Kadar amilosa yang tinggi berpengaruh terhadap kemampuan gelatinasi pati tetapi dapat diimbangi oleh amilopektin yang lebih tinggi [6].



Gambar 1. Sari pati kentang

2.3 Serat Bambu

Serat bambu digunakan sebagai penguat dalam pembuatan komposit. Bambu memiliki kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang tinggi secara mekanik [8]. Serat bambu didapatkan dari pohon bambu yang jumlahnya tidak terbatas di Indonesia. Komponen lignoselulosa bambu terdiri dari lignin, selulosa, dan hemiselulosa [7].

Karena selulosa akan digunakan untuk membuat serat bambu, lignin dan hemiselulosa harus dipisah untuk mendapatkan selulosa. Penghilangan lignin dari bahan lignoselulosa dikenal sebagai deignifikasi. Serat bambu dapat diperoleh melalui proses biologis, mekanis, dan kimiawi. Proses biologis melibatkan menghancurkan bambu dan menambahkan enzim alami; proses mekanis melibatkan menghancurkan bambu dan menambahkan enzim; dan proses kimiawi melibatkan penambahan bahan kimia NaOH dan CS₂ [10].



Gambar 2. Serat bambu

2.4 Fraksi Volume

Fraksi volume digunakan untuk mengetahui perbandingan persentase volume antara matriks dan serat (penguat) yang digunakan dalam pembuatan komposit. Fraksi volume dapat dihitung dengan rumus:

- Volume Cetakan

$$V_c = p \times l \times t \quad (1)$$

Keterangan:

p = Panjang (cm)

l = Lebar (cm)

t = Tinggi (cm)

Volume serat, massa serat, volume matrik, dan berat matrik dapat dihitung dengan rumus berikut:

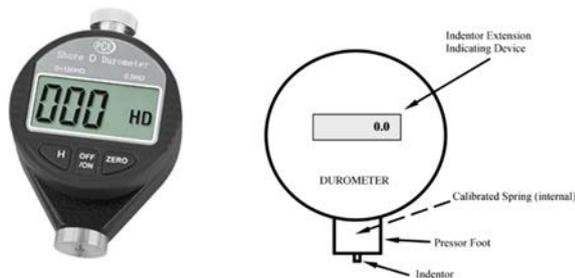
- Volume Serat (V_f)

$$V_f = \text{Fraksi Volume Serat (\%)} \times V_c \quad (2)$$

- Massa Serat (Bf)
 $B_f = V_f \times \rho_f$ (3)
- Volume Matrik (Vmatrik)
 $V = V_c - V_f$ (4)
- Massa Matrik (Bm)
 $B_m = V_m \times \rho_m$ (5)
 ρ_f = Massa Jenis Serat (gr/cm³)
 ρ_m = Massa Jenis Matrik (gr/cm³)
 V_c = Volume Cetakan (cm³)
 V_f = Volume Serat (cm³)
 V_m = Volume Matrik (cm³)
 B_f = Massa Serat (gr)
 B_m = Massa Matrik (gr)

2.5 Uji Kekerasan

Uji kekerasan adalah metode yang efektif untuk menguji kekerasan suatu material karena dapat dengan mudah menunjukkan gambaran sifat mekanisnya. Alat pengujian kekerasan yang digunakan adalah Shore D Durometer memakai persamaan yang ada pada ASTM D2240. Pengujian dengan Shore D Durometer digunakan untuk mengukur kekerasan material karet, plastik, dan material komposit.



Gambar 3. Shore D Durometer [11]

3. Metode Penelitian

Alat dan bahan berikut digunakan dalam penelitian ini:

3.1 Alat

1. Alat uji Shore D Durometer
2. Magnetic Stirrer
3. Cetakan akrilik
4. Gelas beaker
5. Timbangan digital
6. Penggaris dan jangka sorong
7. Sendok
8. Lap dan tisu
9. Alat potong

3.2 Bahan

1. Serat bambu
2. Sari pati kentang
3. Gliserol
4. Mekpo sebagai penguat komposit
5. Aquades untuk melarutkan semua bahan green composite

3.3 Prosedur penelitian

1. Penimbangan serat dan matriks sesuai dengan variasi penelitian (5%: 95%, 7,5%: 92,5%, 10%: 90%).
2. Campurkan serat dengan matriks pada wadah dan menjaga temperatur pada 170 °C dengan magnetic stirrer.
3. Siapkan cetakan untuk spesimen. Lalu tuangkan campuran matriks dan serat pada cetakan secara merata dengan metode hand lay-up. Usahakan tidak terbentuk void.
4. Tutup cetakan dengan penutup cetakan dan berikan tekanan agar spesimen merata dengan sempurna.
5. Tunggu proses pengeringan.
6. Setelah spesimen kering, lepaskan komposit dari cetakan dengan hati-hati.
7. Spesimen siap diuji.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Fraksi Volume Spesimen Uji

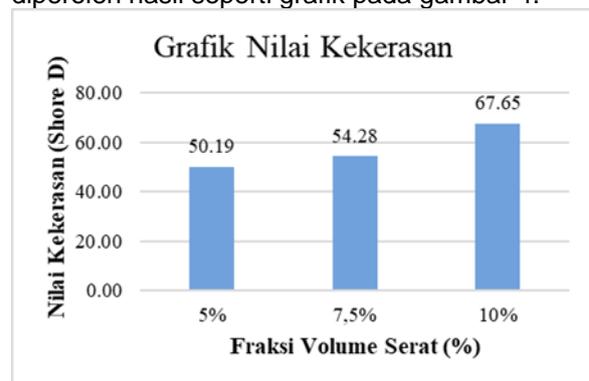
Pada penelitian ini menggunakan nilai fraksi volume pada spesimen uji kekerasan seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Fraksi Volume

Fraksi Volume Sari Pati kentang: Serat Bambu	Komposisi Berat	
	Sari Pati Kentang(gr)	Serat Bambu(gr)
95%: 5%	10,83	0,328
92,5%: 7,5%	10,545	0,492
90%: 10%	10,26	0,657

4.2 Hasil Uji Kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian maka diperoleh hasil seperti grafik pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil uji kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian *green composite* sari pati kentang dan serat bambu dengan fraksi volume serat dan matriks 10% : 90% memiliki nilai kekerasan tertinggi dengan nilai rata-ratanya mencapai 67,65 *Shore D* dan campuran *green composite* dengan fraksi

volume serat dan matriks 7,5% : 92,5% memiliki nilai kekerasan tertinggi kedua dengan nilai rata-ratanya sebesar 54,28 Shore D. Nilai kekerasan terendah ada di fraksi volume serat dan matriks 5% : 95% dengan rata-rata nilai kekerasan hanya sebesar 50,19 Shore D.

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa penambahan serat sebagai penguat pada green composite sari pati kentang dan serat bambu sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasan green composite. Semakin banyak serat bambu yang digunakan maka semakin meningkat juga kekerasan yang didapat [12]. Penambahan serat sebagai pengisi dalam matriks dapat membuat green composite menjadi lebih kuat dan lebih rapat sehingga dapat menahan beban dan kemudian menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi saat mengenai jarum indenter Shore D Durometer.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian green composite serat bambu dengan matriks sari pati kentang menggunakan perbandingan fraksi volume pada nilai kekerasan dapat disimpulkan bahwa fraksi volume serat bambu yang dianalisis adalah 5%, 7,5%, dan 10% dengan nilai kekerasan masing-masing adalah 50.19, 54.3, dan 67.65 Shore D. Dengan demikian, kekerasan green composite meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat bambu.

Daftar Pustaka

- [1] C. I. P. K. Kencanawati, N. Suardana, I. K. G. Sugita, and I. W. B. Suyasa, 2019, **Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impact Greencomposite Serat Kulit Buah Pinang dengan Matriks Getah Pinus**, Jurnal Energi Dan Manufaktur, vol. 12, no. 1, p. 33, doi: 10.24843/jem.2019.v12.i01.p06.
- [2] M. F. Rosa *et al.*, 2009, **Effect of Fiber Treatments on Tensile and Thermal Properties of Starch/Ethylene Vinyl Alcohol Copolymers/Coir Biocomposites**, Bioresour Technol, vol. 100, no. 21, pp. 5196–5202, doi: 10.1016/j.biortech.2009.03.085.
- [3] F. G. Torres, O. H. Arroyo, and C. Gomez, 2007, **Processing and mechanical properties of natural fiber reinforced thermoplastic starch biocomposites**, Journal of Thermoplastic Composite Materials, vol. 20, no. 2, pp. 207–223, doi: 10.1177/0892705707073945.
- [4] S. B. Roy, B. Ramaraj, S. C. Shit, and S. K. Nayak, 2011, **Polypropylene and Potato Starch Biocomposites: Physicomechanical and Thermal Properties**, J Appl Polym Sci, vol. 120, no. 5, pp. 3078–3086, doi: 10.1002/app.33486.
- [5] Sjamsiah, Saokani J, and Lismawati, 2017, **Karakteristik Edible Film Dari Pati Kentang (Solanum Tuberosum L.) Dengan Penambahan Gliserol**, Jurnal Al-Kimia, vol. 5, no. 2, pp. 181–192.
- [6] C. Indrawati, B. A. Harsojuwono, and A. Hartiati, 2019, **Characteristics of Composites Bioplastic Glucomannan and Maizena in the Variation of Temperature and Gelatinization Time**, Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri, vol. 7, no. 3, pp. 468–477, 2019.
- [7] S. C. Chin, K. F. Tee, F. S. Tong, H. R. Ong, and J. Gimfun, 2020 **Thermal and mechanical properties of bamboo fiber reinforced composites**, Mater Today Commun, vol. 23, doi: 10.1016/j.mtcomm.2019.100876.
- [8] N. Defoirdt *et al.*, 2010, **Assessment of the tensile properties of coir, bamboo and jute fibre**, Compos Part A Appl Sci Manuf, vol. 41, no. 5, pp. 588–595, doi: 10.1016/j.compositesa.01.005.
- [9] M. I. Kiron, 2013, **Green Composites: Types, Properties and Manufacturing Process, Textile Learner**. Accessed: Oct. 26, 2023. [Online]. Available: <https://textilelearner.net/green-composites-types-properties/>
- [10] R. Manurung, S. Simanjuntak, J. Sembiring, E. C. Zaluku, R. A. M. Napitupulu, and S. Sihombing, 2020, **Menggunakan Resin Polyester Dengan Memvariasikan Susunan Serat Secara Acak Dan Lurus Memanjang**, SPROCKET Journal of Mechanical Engineering, vol. 2, no. 1, pp. 28–35.
- [11] H. J. Qi, K. Joyce, and M. C. Boyce, 2002, **Durometer Hardness and The Stress-Strain Behavior of Elastomeric Materials**, Allen Press., vol. 76, pp. 419–435, [Online]. Available: http://meridian.allenpress.com/rct/article-pdf/76/2/419/1945045/1_3547752.pdf
- [12] I. G. P. Agus Suryawan, N. P. G. Suardana, I. N. S. Winaya, and I. W. B. Suyasa, 2020, **A Study on Correlation Between Hardness and Thermal Conductivity of Polymer Composites Reinforced with Stinging Nettle Fiber**, International Journal of Civil Engineering

And Technology (IJCIET), vol. 11, no. 1, pp. 94–104, Jan. 2020, doi: 10.34218/ijci.11.1.2020.010.



Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 1996. Pendidikan Magister Sains diselesaikan di Universitas Gajah Mada pada tahun 2004 dengan area riset tentang material akustik. Dan menyelesaikan Pendidikan S3 tahun 2020 di Program Doktor Ilmu Teknik Universitas Udayana, selain itu juga menjadi dosen tetap di Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Udayana Bidang penelitian utama yang digeluti adalah Greenmaterial

Analisis Ketahanan Pisau Mangkuk Pemotong Dengan Metode Elemen Hingga Pada Material M390

Rizki Fauziah Nur Fadhillah^{1)*}, Rahmad Samosir²⁾, Priyono Atmadi³⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia, Kampus Cawang Jakarta Timur

^{2,3)}Departemen Teknik Mesin, Universitas Kristen Indonesia, Kampus Cawang

Abstrak

Mesin mangkuk pemotong adalah mesin pemroses makanan yang mengotomatisasi pencacahan/pemotongan/pengemulsi bahan makanan, secara efisien mengubah bahan makanan mentah menjadi tercampur dan tercacah seragam, serta meningkatkan kualitas bahan makanan untuk dapat diproses lebih lanjut. Mesin mangkuk pemotong memiliki satu set pisau melengkung yang berputar secara vertikal pada poros horizontal dengan kecepatan tinggi. Sudut potong, material, dan kecepatan pisau adalah faktor utama yang menentukan kinerja pemotongan. Penelitian bertujuan untuk menganalisa desain pisau pemotong dan titik kritis yang rentan retak atau patah, serta untuk memvalidasi kesesuaian dan keamanan material yang aman dipakai. Analisa ketahanan dan batas mampu kerja pisau pemotong dilakukan dengan perhitungan analitik dan alat uji berupa Analisis Elemen Hingga dengan perangkat lunak SolidWorks Simulation.

Sudut pemotongan mata pisau mempengaruhi tekanan yang bekerja pada permukaan mata pisau, dari perhitungan analitik kecepatan putaran pisau 3000 rpm, sudut baji pemotongan $\beta = 27^\circ$, waktu 16 jam, memiliki gaya tertinggi yaitu 92,495 MPa. Dari hasil simulasi FEA, perbedaan berat spesimen mencapai 6,37 gram, menghasilkan beda frekuensi tertinggi adalah 73,4 Hz. Meskipun berat beda pisau melebihi yang diijinkan, frekuensi masih dalam batas aman kurang dari 100 Hz. Untuk simulasi spesimen beda berat 155,8 gram, beda frekuensi tertinggi mencapai 117,4 Hz melebihi batas. Anomali bisa terjadi di pisau seperti retak atau patah. Validasi bahwa material M390 untuk desain pisau pemotong LASKA KU500 tipe LC aman digunakan berdasar dari hasil simulasi tegangan dan displacement tertinggi terjadi pada kecepatan putaran pisau 3000 rpm, sudut baji pemotongan $\beta = 27^\circ$, waktu 16 jam. Tegangan tertinggi yaitu 186,282 MPa, masih dalam batas aman kurang dari 340 MPa. Displacement tertinggi yaitu 0,327 mm, masih dalam batas aman kurang dari 0,8 mm.

Kata kunci: baja M390, tegangan, displacement, strain, frekuensi, Analisis Elemen Hingga

Abstract

The bowl cutter machine is a food processing machine that automates the chopping/cutting/emulsifying of food materials, efficiently converts raw food materials into uniformly mixed and shredded, and improves the quality of food materials for further processing. The cutting bowl machine has a set of curved knives that rotate vertically on a horizontal shaft at high speed. Cutting angle, material, and blade speed are the main factors that determine cutting performance. The research aims to analyze the design of the cutting knives and critical points that are prone to cracking or breaking, and to validate the suitability and safety of materials that are safe to use. Analysis of the durability and workability of the cutting blade was carried out with analytical calculations and test equipment in the form of Finite Element Analysis with SolidWorks Simulation software.

The cutting angle of the blade affects the pressure acting on the surface of the blade, from the analytical calculation of the blade rotation speed of 3000 rpm, cutting wedge angle $\beta = 27^\circ$, time 16 hours, has the highest force of 92.495 MPa. From the FEA simulation results, the difference in specimen weight reached 6.37 grams, resulting in the highest frequency difference of 73.4 Hz. Although the weight difference of the knife exceeds the allowable weight, the frequency is still within safe limits of less than 100 Hz. For the simulated specimen weight difference of 155.8 grams, the highest frequency difference reached 117.4 Hz, exceeding the limit. Anomalies can occur in the blade such as cracking or breaking. Validation that M390 material for LASKA KU500 type LC cutting knife design is safe to use based on the highest stress and displacement simulation results occurred at a knife rotation speed of 3000 rpm, cutting wedge angle $\beta = 27^\circ$, time 16 hours. The highest stress is 186.282 MPa, still within the safe limit of less than 340 MPa. The highest displacement is 0.327 mm, still within the safe limit of less than 0.8 mm.

Keywords: M390 steel, stress, displacement, strain, frequency, Finite Element Analysis

1. Pendahuluan

Pemotongan, pencacahan, dan emulsi merupakan tahap dalam proses produksi daging olahan. Otomasi proses produksi daging olahan dapat dilakukan dengan menggunakan mesin mangkuk pemotong. Di Indonesia, mesin mangkuk pemotong berkecepatan tinggi sering dipakai oleh Perusahaan Multi Nasional dengan tingkat produksi tinggi hingga mencapai 1 – 1,5 ton per mesin per hari. Dengan spesifikasi putaran poros pisau mencapai 3000 – 5800 rpm dengan berat

bahan yang diemulsi mencapai 60 – 750 kg sekali proses.

Mesin mangkuk pemotong bekerja dengan mangkuk besar berisikan bahan makanan yang berputar secara horizontal dan satu set pisau melengkung yang berputar secara vertikal pada poros horizontal dengan kecepatan tinggi oleh motor penggerak. Pisau pemotong bekerja di tingkat stres yang tinggi, pisau dapat berputar hingga 100 putaran per detik. Saat memasukkan bahan mentah ke mangkuk di proses emulsi, pisau menekuk di bawah

*Korespondensi: Tel./Fax.: 081999915718

E-mail: made.suarda@unud.ac.id

ÓTeknik Mesin Universitas Udayana 2024

tekanan gaya pemotongan dan kembali ke semula setelah pelepasan. Dalam hal ini, Chudov mengamati frekuensi yang timbul hingga 100 Hz bersamaan dengan daya tahan lelah yang tidak mencukupi, sehingga meningkatkan jumlah potensi kerusakan pisau. Kegagalan fatik pisau dapat disebabkan oleh beberapa alasan: kekuatan statis yang tidak mencukupi, tegangan fatik logam yang diijinkan tidak cukup tinggi, daya tahan fatik logam yang tidak mencukupi, peningkatan kekasaran permukaan luar, adanya tegangan tarik pada lapisan permukaan setelah penggerindaan dan penajaman, korosi dan keausan.

Dalam penelitian tugas akhir ini, upaya yang memungkinkan dapat membantu menganalisa ketahanan dan batas mampu kerja pisau pemotong dengan menggunakan alat uji berupa perangkat lunak Computer-aided Engineering (CAE). Jenis CAE yang dipilih adalah Analisis Elemen Hingga atau Finite Element Analysis (FEA), yaitu metode terkomputerisasi untuk memprediksi bagaimana suatu produk bereaksi terhadap gaya, getaran, suhu, aliran fluida, dan efek fisik lainnya di dunia nyata untuk memastikan produk bekerja dengan aman dan efisien. Perangkat lunak FEA yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah SolidWorks Simulation pada material M390.

2. Metode Penelitian

2.1. Perhitungan Analitik

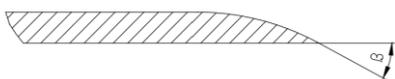
a. Tekanan bahan baku terhadap pisau pemotong (P)

Untuk menentukan kondisi tegangan-regangan pisau, perlu menentukan dampak gaya bahan baku pada pisau selama pengoperasian terhadap pisau. Besarnya gaya secara signifikan bergantung pada sudut pemotongan.

$$P = -4,69 + (0,32 \times \beta) + (0,0261 \times Cs) + (0,0035 \times n)$$

(1)
di mana:

- P = tekanan (MPa)
- β = sudut penajaman pisau (derajat)
- Cs = kecepatan potong (m/s)
- n = viskositas bahan baku Pa.s



Gambar 1. Sudut penajaman pisau

Sudut baji penajaman pisau "β" yang dipilih sesuai kebutuhan berikut.

- 20 derajat khusus untuk produksi emulsi kulit; sosis tersiram air panas yang terbuat dari daging segar.
- 25 derajat dapat diterapkan secara universal untuk produksi sosis yang tersiram air panas, kering, dan matang; bahan masukan tidak boleh lebih dingin dari -10 derajat
- 27 derajat untuk bahan yang dibekukan hingga maksimal -20 derajat.

Perhitungan kecepatan potong pisau dihitung sebagai berikut.

$$Cs = (n \times \pi \times d) / 1000 \tag{2}$$

di mana:

- n = kecepatan putar motor
- d = diameter pisau

Viskositas bahan baku daging adalah 700 Pa.s.

b. Gaya potong (Fpisau)

Menentukan gaya potong untuk mengetahui kemampuan cacah pisau pemotong, didapat dengan persamaan berikut.

$$F_{pisau} = P \times A_{pisau} \tag{3}$$

A_{pisau} = luas penampang (m²) = 1468,18 mm²

$$F(150rpm, 20^\circ) = 8,465 \times 1468,18 = 12428,144 \text{ N}$$

$$F(150rpm, 25^\circ) = 10,065 \times 1468,18 = 14777,232 \text{ N}$$

$$F(150rpm, 27^\circ) = 10,705 \times 1468,18 = 15716,867 \text{ N}$$

$$F(1000rpm, 20^\circ) = 32,858 \times 1468,18 = 48241,458 \text{ N}$$

$$F(1000rpm, 25^\circ) = 35,458 \times 1468,18 = 52058,726 \text{ N}$$

$$F(1000rpm, 27^\circ) = 35,098 \times 1468,18 = 51530,182 \text{ N}$$

$$F(2000rpm, 20^\circ) = 61,557 \times 1468,18 = 90376,756 \text{ N}$$

$$F(2000rpm, 25^\circ) = 63,157 \times 1468,18 = 92725,844 \text{ N}$$

$$F(2000rpm, 27^\circ) = 63,797 \times 1468,18 = 93665,48 \text{ N}$$

$$F(3000rpm, 20^\circ) = 90,255 \times 1468,18 = 132510,586 \text{ N}$$

$$F(3000rpm, 25^\circ) = 91,855 \times 1468,18 = 134859,674 \text{ N}$$

$$F(3000rpm, 27^\circ) = 92,495 \times 1468,18 = 135799,309 \text{ N}$$

c. Percepatan sudut (angular acceleration)

Cara menghitung percepatan sudut (angular acceleration) pada poros pisau sesuai dengan pengaturan kecepatan pisau dan asumsi pemakaian pisau 16 jam atau 2 shift.

$$\alpha = (\pi \times rpm) / (30 \times s) \tag{4}$$

$$\alpha(150rpm) = (\pi \times 150) / (30 \times (16 \times 3600)) = 471 / 1728000 = 0,00027 \text{ rpm}^2$$

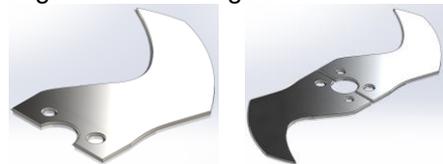
$$\alpha(1000rpm) = (\pi \times 1000) / (30 \times (16 \times 3600)) = 3140 / 1728000 = 0,00182 \text{ rpm}^2$$

$$\alpha(2000rpm) = (\pi \times 2000) / (30 \times (16 \times 3600)) = 6280 / 1728000 = 0,00363 \text{ rpm}^2$$

$$\alpha(3000rpm) = (\pi \times 3000) / (30 \times (16 \times 3600)) = 9420 / 1728000 = 0,00545 \text{ rpm}^2$$

2.2. Analisa Metode Elemen Hingga (FEA)

a. Membangun model FEA geometri



Gambar 2. Model FEA geometri pisau KU500 LC menggunakan perangkat lunak SolidWorks

b. Analisa Frekuensi Pada Material M390

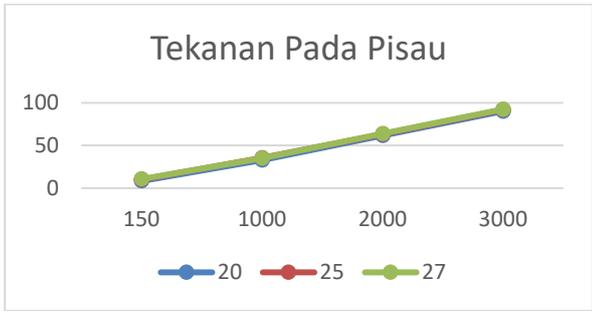
c. Analisa Tegangan, Displacement, dan Strain Pada Material M390.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Sudut Pemotongan Terhadap Pisau Pemotong dari Perhitungan Analitik

Tabel 1. Tekanan bahan baku terhadap pisau potong

Kecepatan pisau (rpm)	Kecepatan potong (m/s)	Tekanan Pada Pisau (MPa; kg/cm ²)		
		$\beta = 20^\circ$	$\beta = 25^\circ$	$\beta = 27^\circ$
150	164,934	8,465; 86,319	10,065; 102,634	10,705; 109,161
1000	1099,557	32,858; 335,05	35,458; 361,571	35,098; 357,9
2000	2199,115	61,557; 627,707	63,157; 644,022	63,797; 650,548
3000	3298,672	90,255; 920,345	91,855; 936,66	92,495; 943,187



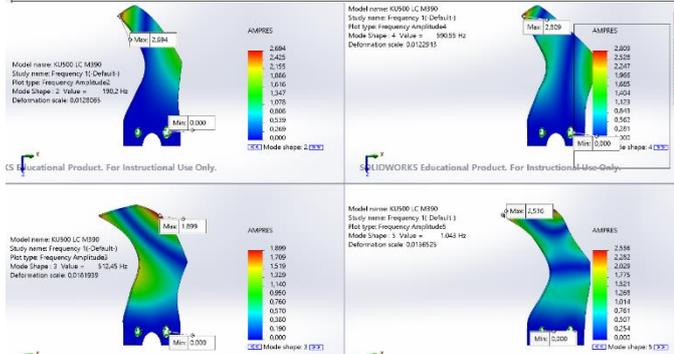
Gambar 3. Grafik visualisasi tekanan yang diterima oleh pisau

3.2 Frekuensi Pada Pisau Pemotong

Penelitian dilakukan dengan mengubah nilai berat pisau untuk melihat batas frekuensi.

- Simulasi pada pisau pemotong dengan material M390 dengan berat utuh sebelum pemakaian adalah 2190,41 gram.

Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
1	403,26	64,181	0,015581
2	1.195	190,2	0,0052578
3	3.219,8	512,45	0,0019514
4	3.710,5	590,55	0,0016933
5	6.553,2	1.043	0,00095879



Gambar 4. Hasil simulasi frekuensi dengan material M390 dengan berat 2190,41 gram

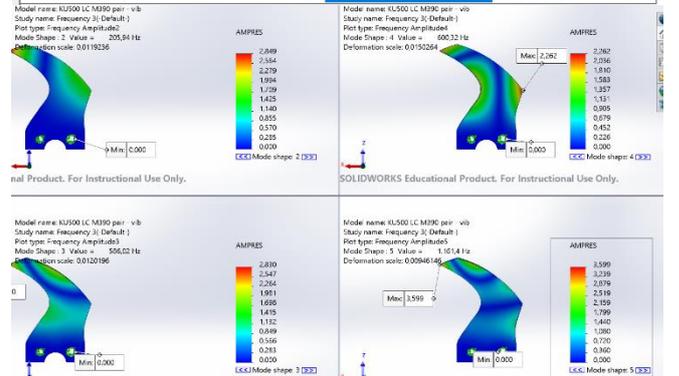
- Simulasi pasangan pisau dengan berat yang berbeda 2184,07 gram. Beda berat adalah 6.37 gram, sedangkan beda frekuensi tertinggi adalah 73,4 Hz.

Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
1	375,73	59,799	0,016723
2	1.114,1	177,31	0,0056398
3	3.006,1	478,43	0,0020902
4	3.448,1	548,78	0,0018222
5	6.092,2	969,6	0,0010314

Gambar 5. Tabel frekuensi dengan pisau berat 2184,07 gram

- Simulasi pasangan pisau dengan berat yang berbeda 2034,61 gram. Beda berat adalah 155,8 gram, sedangkan beda frekuensi tertinggi adalah 117,4 Hz.

Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
1	447,87	71,281	0,014029
2	1.293,9	205,94	0,0048559
3	3.682,1	586,02	0,0017064
4	3.771,9	600,32	0,0016658
5	7.297,1	1.161,4	0,00086105



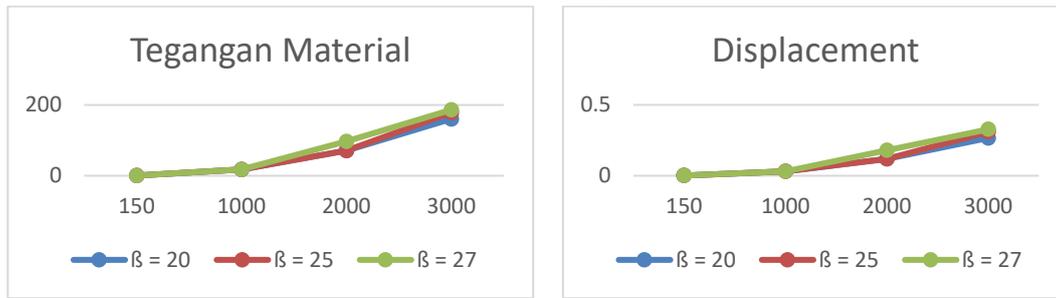
Gambar 6. Hasil simulasi pasangan pisau dengan berat 2034,61 gram

3.3 Ketahanan Material M390

Pengujian ketahanan menggunakan simulasi perangkat lunak SolidWorks Simulation dengan pemberian beban tekanan dan sentrifugal terhadap masing-masing tipe pisau.

Tabel 2. Hasil simulasi tegangan, displacement, dan strain dengan Solidworks Simulation

Kecepatan pisau (rpm)	Tegangan maksimal M390 = 340; 3467,035 (Mpa; kg/cm ²)			Displacement maksimal = 0,8 (mm)			Strain		
	$\beta = 20^\circ$	$\beta = 25^\circ$	$\beta = 27^\circ$	$\beta = 20^\circ$	$\beta = 25^\circ$	$\beta = 27^\circ$	$\beta = 20^\circ$	$\beta = 25^\circ$	$\beta = 27^\circ$
150	0,408; 4,16	0,406; 4,14	0,409; 4,17	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
1000	17,853; 182,05	17,855; 182,07	17,855; 182,07	0,030	0,030	0,030	0,000	0,000	0,000
2000	71,357; 727,639	71,358; 727,649	97,585; 995,09	0,118	0,118	0,179	0,000	0,000	0,000
3000	160,516; 727,63	178,684; 1822,07	186,282; 1899,548	0,266	0,309	0,327	0,001	0,001	0,001



Gambar 7. Grafik tegangan dan dipalacement pada pisau dengan material M390

4. Simpulan

1. Untuk menganalisis desain pisau pemotong dan titik kritikal yang rentan retak atau patah.

Kesimpulan: Dari hasil perhitungan analitik, perubahan sudut pemotongan mata pisau secara signifikan mempengaruhi tekanan yang bekerja pada permukaan mata pisau. Hal ini menunjukkan perlunya menjaga agar pisau tetap dalam keadaan tajam sesuai sudut perintah.

Simulasi kecepatan putaran pisau 3000 rpm, sudut baji pemotongan $\beta = 27^\circ$, waktu 16 jam, memiliki gaya tertinggi yaitu $92,495 \text{ MPa} = 943,187 \text{ kg/cm}^2$.

Pada studi kasus kedua, pisau dipakai terus menerus selama 2 minggu tanpa henti, pengikisan mata pisau menjadikan sudut semakin besar dan tumpul. Hal ini menyebabkan tekanan yang diterima pisau lebih tinggi sedangkan kemampuan potong berkurang, akibat tingkat stres tinggi, pisau bisa retak atau patah sewaktu-waktu.

2. Untuk mengetahui ketahanan pisau pemotong saat proses emulsi berlangsung.

Kesimpulan: Dari hasil simulasi yang dilakukan, perbedaan berat spesimen pertama dan kedua mencapai 6,37 gram, menghasilkan beda frekuensi tertinggi adalah 73,4 Hz. Meskipun berat beda berat pisau melebihi yang diijinkan, frekuensi masih dalam batas aman kurang dari 100 Hz.

Untuk simulasi spesimen pisau pertama dengan ketiga beda berat adalah 155,8 gram dengan beda frekuensi tertinggi mencapai 117,4 Hz. Dengan hasil melebihi yang ditentukan, bisa dipastikan terjadi anomali terhadap pisau, misal keretakan atau patah.

3. Untuk mengetahui material baja yang sesuai dan aman digunakan untuk pisau pemotong.

Kesimpulan: Dari hasil analisis simulasi FEA dapat disimpulkan tegangan dan displacement tertinggi terjadi pada kecepatan putaran pisau 3000 rpm, sudut baji pemotongan $\beta = 27^\circ$, waktu 16 jam.

Tegangan tertinggi yaitu $186,282 \text{ MPa}$, masih dalam batas aman kurang dari 340 MPa .

Displacement tertinggi yaitu $0,327 \text{ mm}$, masih dalam batas aman kurang dari $0,8 \text{ mm}$.

Sehingga dapat divalidasi bahwa material M390 untuk desain pisau pemotong LASKA KU500 tipe LC aman digunakan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada perusahaan tempat bekerja penulis yang memberikan informasi dasar bahan pengujian dan kepada Universitas Kristen Indonesia yang memfasilitasi pembimbing penelitian.

Daftar Pustaka

- [1.] [Aleksandr Zheludkov, S. A. (2014). Analysis of working parts for machines intended for fine meat raw material cutting. *Ukrainian Food Journal*, 3(4).
- [2.] Krebs, J. (2007). *Basics CAD*. Germany: Walter de Gruyter GmbH. Retrieved from Google Books.
- [3.] Kurowski, P. (2004). *Finite Element Analysis for Design Engineer*. SAE International.
- [4.] Kurowski, P. (2013). *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2013*. SDC Publications.
- [5.] LASKA. (n.d.). (Maschinenfabrik LASKA GmbH) Retrieved from www.laska.at
- [6.] Mirosława Krzywdzińska Bartkowiak, M. P. (2022). The influence of the rotational speed of the meat cutter knives and bowl on the microstructure of meat product. *Nature*. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-022-19566-x>
- [7.] Nekoz Alexandr, V. O. (2018). Durability of cutter assemblies and its causative factors. *Foods and Raw Materials*, Volume 6, Issue 2. doi:<http://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-358-369>
- [8.] Nemtcev, A. (2024). BÖHLER M390 STEEL: CHARACTERISTICS, PERFORMANCE, AND USAGE IN KNIFE MAKING. Retrieved from <https://noble.eu/m390-steel/>
- [9.] Thomas, L. (2020). M390 Steel - History and Properties. Retrieved from <https://knifesteelnerds.com/>: <https://knifesteelnerds.com/2020/06/01/m390-steel-history-and-properties-and-20cv-and-204p/>
- [10.] voestalpine BOHLER Edelstahl GmbH & Co KG. (n.d.). Ferritic and Martensitic Steels, Incl. Precipitation Hardening Steel, N679 HR. Retrieved from www.voestalpine.com/boehler-edelstahl
- [11.] voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG. (n.d.). M390 Microclean. Retrieved from <https://www.boehler-edelstahl.com/en/products/m390-microclean/>
- [12.] Volodymyr Chudov, O. B. (2021). INCREASING THE STRENGTH OF THE BOWL CUTTERKNIVES. *BLACK SEA SCIENCE* (p. 49). Cherkasy State Technological University (Ukraine).
- [13.] Zhang Q, L. F. (2023). A Comprehensive Understanding of Knife Cutting: Effects of Hardness, Blade Angle and the Micro-Geometry of Blade Edge on the Cutting

Performance. Materials , 16, no. 15: 5375.
doi:<https://doi.org/10.3390/ma16155375>



Rizki Fauziah Nur Fadhilah
menyelesaikan pendidikan S1 Teknik
Mesin di Universitas Kristen Indonesia
pada tahun 2024 dengan area riset mesin
industri pengolah makanan. Diploma 3
telah diselesaikan di Politeknik ATMI
Surakarta tahun 2017 dengan area riset
mesin industri produk stamping.

Model Optimum Proses Pencampuran (*mixing*) Pada Instalasi Pompa Pengolahan Air Bersih

Mastiadi Tamjidillah^{1)*}, Rachmat Subagyo²⁾, Muhammad Nizar Ramadhan³⁾, Abdul Ghofur⁴⁾ Rudi Siswanto⁵⁾ Helmy Purwanto⁶⁾

^{1,2,3,4,5)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat, Kampus Jl. A. Yani Km35,5 Banjarbaru 70714

⁶⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Wahid Hasyim, Semarang

Abstrak

Untuk mendapatkan model optimum proses pencampuran antara *poly aluminium chloride* (PAC) dan alum yang menghasilkan kuantitas dan kualitas air bersih dengan sumber air baku pada sistem penyediaan air bersih (SPAM) berasal dari Sungai Martapura. Pemilihan alternatif model diantara kedua koagulan pada proses pencampuran berdasarkan sumber air baku dengan tingkat kekeruhan yang tinggi diperlukan setting parameter yang sesuai untuk mereduksi flok dan percepatan sidementasi. Setting parameter tersebut menggunakan metode Taguchi dengan desain eksperimen parameter air baku seperti 5 lt/s, 10 lt/s, 15 lt/s, 20 lt/s dan 25 lt/s, % konsentrasi PAC dan Alum 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm dan 25 ppm dengan stroke pompa instalasi 5 %, 10 %, 15%, 20% dan 25 %. Dalam proses penambahan kedua koagulan tersebut selalu memperhatikan dan mengamati perilaku gerak partikel yang melayang (*flock*). Partikel tersebut kemudian di SEM (*scanning electron microscope*) hasil pengendapan proses pencampuran. Dengan model optimum proses pencampuran didapatkan koagulan PAC dengan konsentrasi 15 ppm yang terbaik untuk menghasilkan kualitas air bersih sesuai dengan standar.

Kata kunci: model, optimasi, air bersih, pompa

Abstract

To obtain an optimum model for the mixing process between poly aluminum chloride (PAC) and alum which produces the quantity and quality of clean water with the raw water source in the clean water supply system (SPAM) coming from the Martapura River. Selection of alternative models between the two coagulants in the mixing process based on raw water sources with high levels of turbidity requires appropriate parameter settings to reduce floc and accelerate sidementation. Setting these parameters uses the Taguchi method with an experimental design of raw water parameters such as 5 lt/s, 10 lt/s, 15 lt/s, 20 lt/s and 25 lt/s, % concentration of PAC and Alum 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm and 25 ppm with installation pump strokes of 5%, 10%, 15%, 20% and 25%. In the process of adding the two coagulants, always pay attention and observe the movement behavior of the floating particles (*flock*). The particles are then subjected to SEM (*scanning electron microscope*) as a result of the mixing process deposition. With the optimum model of the mixing process, PAC coagulant with a concentration of 15 ppm is the best to produce clean water quality in accordance with standards.

Keywords: model, optimization, clean water, pump

1. Pendahuluan

Berbagai penelitian tentang penggunaan tawas atau PAC (*poly aluminium chloride*) dan Alum sebagai bahan pencampur untuk menjernihkan air mengalami perkembangan, PAC sering digunakan untuk air baku dari pegunungan, namun demikian untuk air baku dari sungai/saluran irigasi perlu di pertimbangkan kandungan/komposisi yang berpengaruh pada setting parameter proses pencampuran. Sedangkan penggunaan *chlorine* yang sesuai untuk minimasi disinfektan berguna untuk menghasilkan kualitas air bersih [1].

Karakteristik kualitas telah banyak diteliti, baik industri manufaktur, industri pengolahan air dan industri kimia yang menghasilkan air bersih dan air minum. Kualitas air akan baik jika sumber air dari hulu harus diperhatikan ketersediaan dan kualitas airnya [2]. Namun demikian sumber daya ini harus berkelanjutan dengan memperhatikan faktor lingkungan yang *renewable* yang berguna untuk kegiatan lainnya seperti pemanfaatan sumber daya

energi lainnya, faktor kuantitas harus diperhatikan untuk menjamin ketersediaan air baku [3].

Penelitian tentang hubungan parameter kualitas air baku, kebutuhan *chlorine* dan kandungan disinfektan dari air bersih. Penggunaan *chlorine* yang sesuai untuk meminimasi disinfektan sehingga produksi air bersih yang di suplai ke pelanggan terjaga kualitasnya sesuai dengan standar. Model yang didapatkan untuk kondisi pengolahan air bersih/minum di Malaysia menunjukkan adanya hubungan kebutuhan *chlorine* berpengaruh mengurangi disinfektan dan meningkatkan kualitas produknya, parameter-parameter kandungan air baku turut berpengaruh terhadap produk akhirnya dan memerlukan *treatment* dalam pengolahannya [4]

Pada proyek penambahan kapasitas (*upgrading*) liter/detik air bersih ini memerlukan desain perpipaan, pompa dan proses pencampuran koagulan. Pada proses pencampuran tersebut diperlukan setting langkah pompa. Untuk mendapatkan setting yang sesuai telah dilakukan berbagai variasi untuk

*Korespondensi: Tel./Fax.: Hp 087777874229

E-mail: mastiadit@ulm.ac.id

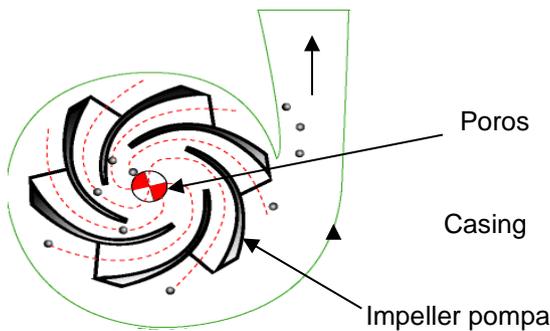
♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

mendapatkan model optimum proses pencampuran (*mixing*) yang terbaik [7].

2. Metode Penelitian

Tahap awal penelitian untuk mendapatkan air baku dari sungai martapura yang memiliki sifat kimia dan fisika. Data informasi kualitas air yang didapat akan digunakan untuk setting parameter kedua koagulan tersebut. Dengan mengkombinasikan kedua koagulan dan setting parameter didapatkan model proses pencampuran air bersih.

Metode Taguchi’s digunakan untuk setting parameter paling berpengaruh untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas produk air bersih, mengurangi tingkat kekeruhan dengan variasi dosis koagulan, proses pencampuran yang optimum. Dalam setting parameter tersebut menggunakan langkah pompa pada sudu-sudu impeller seperti terlihat pada gambar 1 di bawah menggambarkan *mixing* yang terjadi pada proses pengolahan air bersih. Sasaran metode ini adalah menjadikan produk air bersih tidak sensitif terhadap noise, sehingga disebut sebagai kokoh/*robust design* [5][6].



Gambar 1 Impeller Pompa Sentrifugal

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Setting Parameter

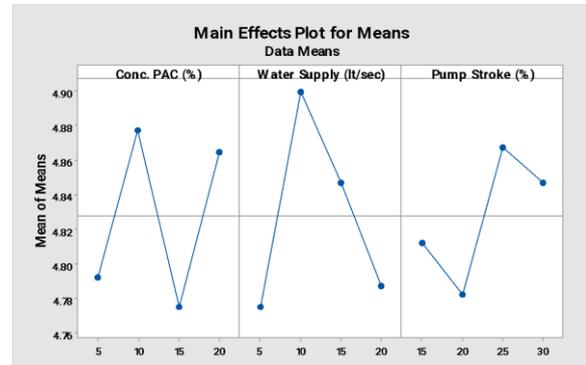
Pada proses *mixing* menggunakan koagulan PAC dan Alum desain setting parameter terlihat seperti tabel 1 dengan variasi ketiga parameter secara bertahap ditingkatkan volume, *stroke* dan konsentrasinya untuk mendapatkan setting yang sesuai dengan kondisi air baku dengan tingkat kekeruhan yang tinggi.

Tabel 1 Setting Parameter Taguchi L9

PAC (% ppm)	Alum (% ppm)	Air baku (lt/det)	Stroke pompa (%)
5	5	5	15
5	5	5	15
5	5	5	15
10	10	10	20
10	10	10	20
10	10	10	20
15	15	15	25
15	15	15	25
15	15	15	25

Selanjutnya dilakukan klasterisasi parameter yang

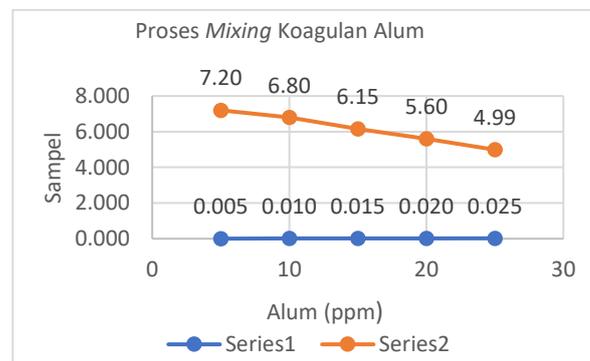
mempengaruhi kualitas air bersih. Dengan melihat output nilai kekeruhan dan setting parameter yang sesuai untuk mengetahui parameter dominan pada variabel/parameter untuk dijadikan referensi setting parameter dengan koagulan PAC seperti gambar 2 di bawah.



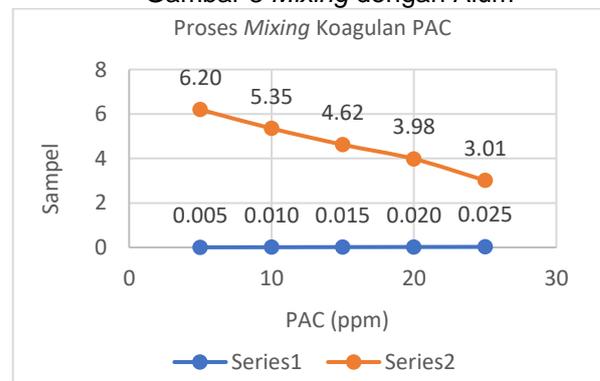
Gambar 2 Main effect variabel conc PAC, air baku dan langkah pompa

3.2 Proses Pencampuran (*mixing*)

Perbandingan koagulan PAC dan Alum pada gambar 3 dengan konsentrasi alum 25 ppm terlihat nilai air bersih NTU < 5 sesuai Peraturan Kemenkes (1990), sedangkan menggunakan koagulan PAC pada konsentrasi 15 ppm nilai kekeruhan (NTU/*nephelometric turbidity unit*) air bersih 4,62 terlihat pada gambar 4.



Gambar 3 Mixing dengan Alum



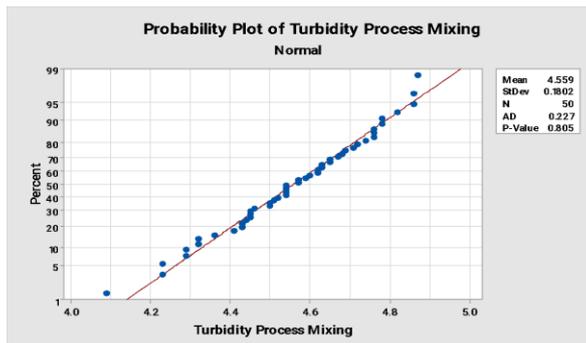
Gambar 4 Mixing dengan PAC

Dari gambar 3 dan 4 di atas terlihat perbedaan nilai NTU menggunakan Alum dan PAC, untuk penggunaan Alum terjadi pada konsentrasi 25 ppm sedangkan penggunaan PAC terjadi titik optimum pada 15 ppm. Sehingga penggunaan PAC lebih cepat menangkap flock-flock yang melayang menjadi

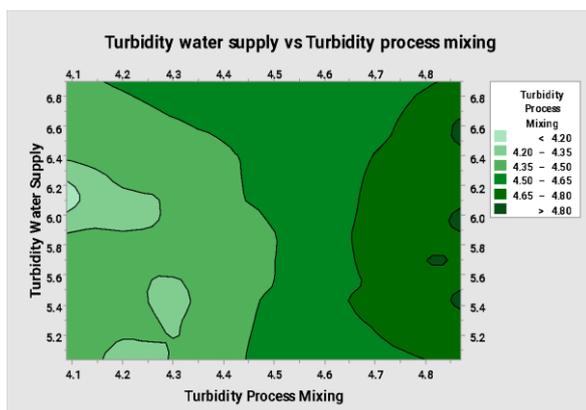
gumpalan gumpalan kecil untuk mempercepat proses sidementasi [8].

3.3 Kekeruhan/Turbidity

Pada proses *mixing* terlihat pada gambar 5 di bawah nilai sebaran kekeruhan air bersih setelah proses *mixing*. Dengan level konsentrasi medium (15 ppm) terlihat penurunan nilai kekeruhan di *range* 4 – 5 NTU. Pada contour plot (gambar 6) sistem *range* lebih rinci terlihat posisi nilai kekeruhan pada setiap perubahan konsentrasi PAC. Perubahan level kekeruhan di pengaruhi oleh kenaikan dosis koagulan setiap setting parameter yang telah ditentukan dengan desain eksperimen metode Taguchi.



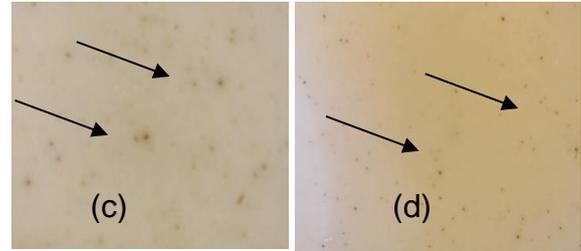
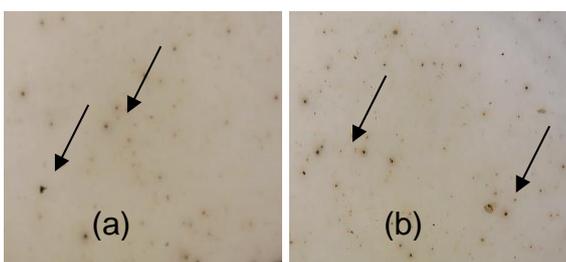
Gambar 5 Sebaran nilai kekeruhan



Gambar 6 Contour plot kekeruhan

3.4 SEM Flok Yang Melayang

Proses *mixing* dan setting parameter seperti gambar 7 dibawah, dengan pembesaran kamera 1000 kali untuk melihat perilaku proses tersebut dan struktur mikronya. Banyak upaya yang telah didesain untuk menemukan karakteristik setiap setting campuran agar kualitas air bersih dengan koagulan PAC, alum terlihat struktur mikro untuk % ppm Alum pada gambar (a) & (b) sedangkan % ppm PAC pada gambar (c) & (d).



Gambar 7 SEM image *mixing* Alum dan PAC
(a) 20 % ppm Alum (b) 25%ppm Alum
(c) 15% ppm PAC (d) 20% ppm PAC

Pada proses campuran di bawah 10 ppm PAC belum nampak perilaku flok yang disebabkan kecepatan dan debit yang masih kecil, namun perilaku flok akan terlihat jika ppm di naikan di atas 10. Sehingga dapat disimpulkan model campuran yang sesuai jika ppm campuran PAC di atas 10, dalam penelitian ini perilaku flok terlihat pada posisi 15 ppm.

Variasi kekeruhan air baku dipengaruhi oleh kondisi *downstream* sungai, cuaca dan lingkungan, hutan, sedangkan penurunan kekeruhan pada proses *mixing* akibat *setting* parameter koagulan, semakin tinggi ppm koagulan maka kekeruhan akan berkurang sampai mencapai *concentration level* yang optimum pada level medium pada kondisi air baku 5-7 NTU. Dengan melihat fluktuasi kekeruhan air baku dan proses *mixing* dapat di prediksi model proses *mixing* pada level medium 15 ppm koagulan untuk PAC. Secara rata-rata model prediksi proses *mixing* diambil yang maksimum pada *medium level* yaitu 15 untuk kondisi 5-7 NTU tersebut. Sedangkan Alum pada *level high* 25-30 ppm.

Optimum mixing (Alum)

= 25% ppm + 25 lt/sec + 35% pump stroke
(1)

Optimum mixing (PAC)

= 15% ppm + 15 lt/sec + 25% pump stroke
(2)

Model optimum tersebut bisa menurun dan meningkat secara fluktuatif setiap perubahan range kekeruhan 2 point, sebagai contoh 5-7 NTU, 7-9 NTU dan seterusnya. Untuk lebih detailnya setiap perubahan konsentrasi ppm, air baku dan *stroke pump*. Posisi medium level terlihat nilai kekeruhan proses *mixing* 4,8 NTU dan 4,9 NTU, nilai tersebut mendekati standar kesehatan yaitu 5 NTU. Namun jika konsentrasi ppm pada *high level* dan selanjutnya maka nilai kekeruhannya semakin menurun. Semakin tinggi % ppm Alum dan PAC mengakibatkan kekeruhan turun dan warna air menjadi putih, akibat lain kelebihan PAC dan alum tidak berbahaya secara langsung ke tubuh manusia tetapi pada dosis berlebihan terus menerus dalam waktu yang lama mengakibatkan efek samping dalam tubuh manusia berupa racun [9].

4. Simpulan

Faktor kekeruhan (*turbidity*) dalam air baku sangat mempengaruhi proses penambahan koagulan Alum dan PAC dalam proses pencampuran antara jumlah

air baku, ppm koagulan dan % *stroke* pompa. Dari hasil proses pencampuran itu dapat digambarkan struktur mikro flok yang melayang di bawah 10 ppm dan di atas 10ppm dan seterusnya. Dalam penentuan model optimum yang sesuai pada air bersih perilaku flok terlihat pada 15 ppm PAC dan 25 ppm Alum yang menggambarkan model campuran yang optimum. Untuk penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan variasi setting, waktu pencampuran, kecepatan fluida air, putaran sudu pompa untuk mendapatkan hasil yang akurat dengan simulasi dan eksperimen.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada LPPM Universitas Lambung Mangkurat, melalui PDWM 2020, 2021, 2022, 2023.

Daftar Pustaka

- [1] Gomez-Lopez, M. D., Bayo, J., Garcia-Cascales, M. S., & Angosto, J. M. (2009). Decision support in disinfection technologies for treated wastewater reuse. *Journal of Cleaner Production*, 17, 1504–1511.
- [2] Dai, J., Qi, J., Chi, J., Chen, S., Yang, J., Ju, L., et al. (2010). Integrated water resource security evaluation of Beijing based on GRA and TOPSIS. *Frontiers of Earth Science in China*, 4(3), 357–362.
- [3] Doukas, H., Karakosta, C., & Psarras, J. (2010). Computing with words to assess the sustainability of renewable energy options. *Expert Systems with Applications*, 37, 5491–5497
- [4] Md. Pauzi Abdullah, Lim Fang Yee, Sadia Ata, Abass Abdullah, Basar Ishak, Khairul Nidzam Zainal Abidin. *The studi of interrelationship between raw water quality parameters, chlorine demand and the formation of disinfektan by products*. *Physics and Chemistry of the Earth*, p 806-811. 2009.
- [5] Montgomery, Douglas C., 1991, *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Taguchi, Genichi., Chowdhury, Subir., Taguchi Shin., 1991., *Robust Engineering*, Mc.Graw-Hill.
- [7] Tamjidillah M., Irawansyah H, *Model for Improvement of Mixing Process at Water Treatment Plant by Integrating Lean Manufacturing and Parameter Setting*, 5, 55 (2020) JSJU.
- [8] Tamjidillah M., Ramadhan MN, *Characteristics of Raw Water Sources and Determination of the Optimal Model of the Mixing Process with Parameter Design in Clean Water Pump Installations* 5/13, 21 2021
- [9] Ketentuan Umum Permenkes Nomor 416/Menkes/PER/IX/1990 tentang Persyaratan Air Bersih.



Mastiadi Tamjidillah menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di UMM Malang tahun 1994. Pendidikan magister Teknik Industri diselesaikan di ITS Surabaya pada tahun 2002. Pendidikan Doktor Teknik Mesin di UB Malang 2017 dengan area riset tentang teknologi manufaktur. Pada tahun 2023 dikukuhkan sebagai Guru Besar Ilmu Teknik Mesin di Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin.

Analisi Postur Kerja Sebagai Upaya Mengurangi Keluhan Muskuloskeletal Guna Meningkatkan Produktivitas Calon Mekanik Muda Di Smkn 1 Denpasar

IGL.Yoga Rafsandita^{1)*}, I.G.N. Priambadi²⁾

¹⁾Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Sudirman Denpasar Bali.

²⁾Departemen Teknik Industri Universitas Udayana, Kampus Jimbaran Bali.

Abstrak

SMKN 1 Denpasar merupakan sekolah kejuruan yang memiliki Lab berupa bengkel sepeda motor yang berlokasi di Jln. HOS. Cokroaminoto, No. 84. Denpasar, Bali. Pada Lab Bengkel Sepeda Motor memiliki calon-calon mekanik muda yang postur tubuhnya belum ergonomis pada saat bekerja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat risiko pekerjaan yang dialami calon mekanik muda di Lab Bengkel Sepeda Motor SMKN 1 Denpasar akibat postur kerja dan mencari solusi untuk memperbaiki postur kerja tersebut. Penelitian ini menggunakan metode Rapid Upper Limb Assessment (RULA) untuk menilai postur kerja atau aktivitas pekerja pada tubuh bagian atas (upper limb) saat melakukan pekerjaan. Penelitian ini menganalisis dan mengevaluasi postur tubuh dari salah satu calon mekanik muda pada operator pembongkaran dan pemasangan mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dua calon mekanik muda memiliki postur kerja dengan level risiko tinggi, Sehubungan dengan hal tersebut, perlu dilakukan investigasi dan perubahan postur kerja perlu segera dilakukan dengan memberikan meja kerja.
Kata Kunci: Postur kerja; Rapid Upper Limb Assessment (RULA); Muskuloskeletal

Abstract

SMKN 1 Denpasar is a vocational school which has a lab in the form of a motorbike repair shop located on Jln. HOS. Cokroaminoto, No. 84. Denpasar, Bali. The Motorcycle Workshop Lab has young mechanic candidates whose posture is not yet ergonomic when working. This research aims to determine the level of occupational risk experienced by prospective young mechanics at the Motorcycle Workshop Lab at SMKN 1 Denpasar due to work posture and to find solutions to improve this work posture. This research uses the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) method to assess work posture or worker activity in the upper limb when doing work. This research analyzes and evaluates the body posture of one of the young prospective mechanics as a machine dismantling and installation operator. The results of the research show that two young prospective mechanics have a work posture with a high level of risk. In this regard, it is necessary to investigate and change the work posture immediately by providing a work desk.

Keywords: Working posture; Rapid Upper Limb Assessment (RULA); Muskuloskeletal

1. Pendahuluan

Menurut Patrianagara & Riandadari (2020), bengkel motor merupakan tempat bekerja atau usaha yang bergerak dalam bidang pemeliharaan dan perbaikan terhadap kerusakan motor. Salah satu sekolah kejuruan di Denpasar penyedia mekanik muda sepeda motor ialah SMKN 1 Denpasar. Bengkel adalah tempat di mana seorang mekanik melakukan pekerjaannya melayani jasa perbaikan dan perawatan kendaraan (Sitohang et al., 2021).

Pekerjaan mekanik dilakukan dengan berbagai macam postur tubuh sesuai dengan pekerjaan yang sedang dilakukan (Icsal et al., 2016). Satu hari kerja, para mekanik biasanya melakukan pekerjaan pemeliharaan dan perbaikan selama delapan jam per hari. Setiap motor yang sedang diperbaiki dilakukan oleh 1 orang mekanik. Menurut (Yuri, 2021), dalam satu bulan bengkel tersebut melakukan pekerjaan pemeliharaan dan perbaikan mobilsekitar 30 unit, jumlah tersebut dapat dikategorikan besar karena dengan jumlah tersebut para mekanik dituntut untuk segera melakukan perbaikan. Postur kerja mekanik saat melakukan pekerjaan seperti bongkar pasang berupa velg dan mesin.

Dalam ergonomi, dikenal pendekatan RULA (Rapid Upper Limb Assessment) (Lynn, 1994) dan REBA (Rapid Entire Body Assessment) (Wahyuniardi & Reyhanandar, 2018). RULA menilai postur, gaya, dan

gerakan suatu aktivitas kerja yang berkaitan dengan penggunaan anggota tubuh bagian atas. sedangkan REBA digunakan untuk menilai postur leher, punggung, lengan, pergelangan tangan dan kaki (Ansa & Marwan, 2022). Dengan pendekatan ini diharapkan resiko cedera dari pekerja dapat ditekan, biaya kesehatan akibat postur yang salah dapat dikurangi, kenyamanan pekerja dapat ditingkatkan dan meningkatkan produktivitas dan kinerja pekerja.

Dalam ergonomi, dikenal pendekatan RULA (Rapid Upper Limb Assessment) (Lynn, 1994) dan REBA (Rapid Entire Body Assessment) (Wahyuniardi & Reyhanandar, 2018). RULA menilai postur, gaya, dan gerakan suatu aktivitas kerja yang berkaitan dengan penggunaan anggota tubuh bagian atas. sedangkan REBA digunakan untuk menilai postur leher, punggung, lengan, pergelangan tangan dan kaki (Ansa & Marwan, 2022). Dengan pendekatan ini diharapkan resiko cedera dari calon mekanik muda dapat ditekan, biaya kesehatan akibat postur yang salah dapat dikurangi, kenyamanan pekerja dapat ditingkatkan dan meningkatkan produktivitas dan kinerja mekanik muda.

Keluhan Muskuloskeletal

Menurut Hidjrawan & Sobari (2019), Muskuloskeletal Disorder (MSD) merupakan keluhan yang dialami pada bagian-bagian otot skeletal. Keluhan ini diakibatkan oleh banyak faktor antara lain usia, beban kerja, dan sikap kerja atau posisi ergonomis saat

*Korespondensi: Tel./Fax.: 085737649091

E-mail: yoga.rafsandita@gmail.com

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

bekerja. Misalnya perajin batik melakukan aktivitasnya dalam posisi duduk dalam jangka waktu yang lama, dengan posisi statis dan kadang posisi tidak nyaman sehingga rentan mengalami keluhan muskuloskeletal.

Faktor – Faktor Penyebab Muskuloskeletal

Terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya keluhan otot skeletal (Utami et al., 2017), yaitu :

1. Peregangan otot yang berlebihan
Peregangan otot yang berlebihan (over exertion) biasanya dialami pekerja yang mengalami aktifitas kerja yang menuntut tenaga yang besar. Apabila hal serupa sering dilakukan, maka akan mempertinggi resiko terjadinya keluhan otot, bahkan dapat menyebabkan terjadinya cidera otot skeletal.

2. Aktifitas berulang
Aktifitas berulang adalah pekerjaan yang dilakukan secara terus menerus. Keluhan otot terjadi karena otot menerima tekanan akibat beban kerja secara terus menerus, tanpa memperoleh kesempatan untuk melakukan relaksasi.

3. Sikap kerja tidak alamiah
Sikap kerja tidak alamiah adalah sikap kerja yang menyebabkan posisi-posisi bagian tubuh bergerak menjauhi posisi alamiahnya. Semakin jauh posisi bagian tubuh dari pusat gravitasi, semakin tinggi pula terjadi keluhan otot skeletal. Sikap kerja tidak alamiah ini pada umumnya karena karakteristik tuntutan kerja tidak sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan pekerja.

RULA

RULA adalah sebuah metode untuk menilai postur, gaya dan gerakan suatu aktivitas kerja yang berkaitan dengan penggunaan anggota tubuh bagian atas (upper limb) (Nugraha et al., 2013). Metode ini dikembangkan untuk menyelidiki resiko kelainan yang akan dialami oleh seorang pekerja dalam melakukan aktivitas kerja yang memanfaatkan anggota tubuh bagian atas (upper limb) (Maharani & Susanto, 2018).

Menurut (Tungga et al., 2021) metode rapid upper limb assessment (RULA) ialah metode penilaian postur tubuh bagian atas yang cepat. Input metode ini ialah postur (telapak tangan, lengan atas, lengan bawah, punggung dan leher), beban diangkat, gaya yang di gunakan (statis/dinamis), jumlah pekerjaan. Metode ini memberikan perlindungan cepat dalam profesi seperti risiko pekerjaan yang terkait dengan gangguan upper limb disorders, mendefinisikan upaya otot yang diperlukan dalam kaitannya dengan postur kerja (penggunaan gaya berulang dan kerja statis) (Fuady, 2013). Input postur metode RULA dibagi menjadi 2 kelompok yaitu kelompok A (lengan atas dan bawah serta pergelangan tangan) dan kelompok B (leher, tulang belakang dan kaki) (Istighfaniar & Mulyono, 2016).

McPhee sebagai faktor beban eksternal (external load factors) yang meliputi (Mulyadi, 2016): 1. Jumlah gerakan

2. Kerja otot statis
3. Gaya
4. Postur kerja yang ditentukan oleh perlengkapan dan perabotan
5. Waktu kerja tanpa istirahat.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Lab bengkel sepeda motor SMKN 1 Denpasar yang berlokasi di Jln. HOS.

Cokroaminoto, No. 84. Denpasar, Bali. Penelitian ini mengamati calon mekanik muda pada proses bongkar pasang mesin motor.

Metode yang dipakai pada penelitian ini ialah metode RULA dan REBA dengan mengevaluasi postur kerja.

Alur pemecahan masalah penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Mengamati pekerjaan yang dianalisis dengan mengambil gambar operator dalam posisi kerjanya
2. Menghitung sudut antara posisi kerja dan postur normal
3. Mengisi scoring untuk setiap posisi kerja pada lembar penilaian RULA
4. Menghitung skor RULA
5. Kembali ke urutan ke 2
6. Mengisi scoring untuk setiap posisi kerja pada lembar penilaian REBA
7. Menghitung skor REBA
8. Menganalisis
9. Membuat Kesimpulan dan Saran.

3. Hasil dan Pembahasan

Data yang dikumpulkan di Lab Bengkel Sepeda Motor SMKN 1 Denpasar adalah postur tubuh mekanik muda dalam melakukan pekerjaan pembongkaran mesin motor. Dokumentasi diambil adalah foto postur mekanik muda yang dianalisis dan dapat dilihat pada Gambar 1. Postur kerja mekanik muda berikut:



Gambar 1. Postur Kerja mekanik muda Pembongkaran Mesin Motor (Sumber : Dokumentasi, 2023)

Pengolahan Data RULA dan REBA

Untuk memperoleh nilai postur mekanik muda berdasarkan RULA.

1. Postur Pada Leher/Kepala

Berdasarkan Gambar 1. Postur Kerja mekanik muda, sesuai dengan pendekatan RULA dan REBA, maka nilai postur pada yang di bentuk oleh operator terdapat pada Tabel 1. Ringkasan langkah metode Rula dan Reba sebagai berikut:

Tabel 1. Ringkasan Langkah Metode RULA dan REBA

No	Variabel	Sudut ^a	Nilai
1	<i>Upper Arm Position</i>	22°	4
2	<i>Lower Arm Position</i>	104°	3
3	<i>Wirst Twist Position</i>	72°	4
4	<i>Neck Position</i>	67°	4
5	<i>Trunk Position</i>	30°	3
<i>Fnal Score</i>			7

(Sumber : Pengolahan Data, 2024)

Berdasarkan Tabel 1. ringkasan langkah metode Rula dan Reba, maka dapat disimpulkan bahwa hasil dari postur tabel A adalah 7 dan hasil dari postur tabel B adalah 9, maka dapat dihasilkan final score dari tabel C adalah 7, yang berarti investigasi dan perubahan postur kerja perlu segera dilakukan karena beresiko tinggi.

Merujuk kepada hasil pengolahan postur kerja menghasilkan nilai 7 dan 9, maka dapat diketahui bahwa postur kerja saat ini memerlukan perubahan segera. Dari kondisi saat ini, penyesuaian dilakukan terhadap postur kerja memerlukan bike lift. Bike lift merupakan alat bantu utama yang dipergunakan oleh mekanik muda .

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisa yang telah dibuat maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut, 1) Hasil akhir dari nilai postur mekanik muda di SMKN 1 Denpasar pada proses pembongkaran mesin motor mendapatkan hasil yang beresiko tinggi, dimana hasil tersebut diperoleh dari postur tabel A dan B adalah 7 dan 9 maka hasil final score diperoleh dari postur tabel C ialah 7. 2) Dari hasil final score tersebut maka hasil diperoleh ialah 7 dan beresiko tinggi maka perlu dilakukan investigasi dan perbuahan berupa pemberian bike lift dimana bike lift merupakan alat bantu yang bisa mengurangi postur kerja beresiko tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Udayana, Dekan Fakultas Teknik Udayana, Kajar pascasarjana Teknik Mesin, Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan support pada peneliti untuk menyelesaikan penelitian ini. Peneliti juga mengucapkan terima kasih teman Seangkatan pasca sarjana teknik mesin udayana yang selalu memberikan semangat untuk menjadi yang lebih baik. Selain itu, Peneliti juga mengucapkan terima kasih dan rasa syukur kepada istri, kedua orang tua, anak-anak peneliti serta saudara-saudara peneliti yang selalu mendukung peneliti dalam berbagai hal.

Daftar Pustaka

- [1] Ansa, D., & Marwan, M. (2022). Analisa Postur Kerja Dengan Menggunakan Metode Rula Dan Reba Pada CV. LAS MANDIRI. *IESM Journal (Industrial Engineering System and Management Journal)*, 3(1), 46–55.
- [2] Fuady, A. R. (2013). Faktor-Faktor Yang Berhubungan dengan Keluhan Musculoskeletal Disorders (MSDs) pada Pengrajin Sepatu di Perkampungan Industri Kecil (PIK) Penggilingan Kecamatan Cakung Tahun 2013.
- [3] Hidjrawan, Y., & Sobari, A. (2019). Analisis Postur Kerja Pada Stasiun Sterilizer Dengan Menggunakan Metode Owas Dan Reba. *Jurnal Optimalisasi*, 4(1), 1–10.
- [4] Icsal, M., Sabilu, Y., & Pratiwi, A. D. (2016). Faktor yang berhubungan dengan keluhan

musculoskeletal disorders (msds) pada penjahit wilayah pasar panjang kota kendari tahun 2016. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kesehatan Masyarakat*, 1(2), 1–8.

- [5] Istighfaniar, K., & Mulyono, M. (2016). Evaluasi Postur Kerja Dan Keluhan Muskuloskeletal Pada Pekerja Instalasi Farmasi. *Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 5(1), 81–90.
- [6] Maharani, D. L., & Susanto, N. (2018). Analisis Perbaikan Postur Kerja Operator Menggunakan Metode Rula Untuk Mengurangi Resiko Musculoskeletal Disorders Pada Bagian Produksi CV. Mansgroup Semarang. *Industrial Engineering Online Journal*, 7(2).
- [7] Nugraha, H. A., Astuti, M., & Rahman, A. (2013). Analisis perbaikan postur kerja operator menggunakan metode rula untuk mengurangi resiko musculoskeletal disorders (studi kasus pada bagian bad stock warehouse PT. X Surabaya). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Sistem Industri*, 1(2), 127594.
- [8] Patrianagara, P., & Riandadari, D. (2020). Evaluasi Penerapan Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu Dan Shitsuke (5s) Di Bengkel Honda Graha Pt. Supreme Surabaya Motor Service. *JPTM*.
- [9] Sitohang, I. R., Si, M., & Simangunsong, I. R. (2021). Upaya Hukum Perlindungan Lingkungan Hidup Oleh Kegiatan Bengkel Sepeda Motor di Kota Medan. *Jurnal Sains Dan Teknologi ISTP*, 15(1), 86–93.
- [10] Utami, U., Karimuna, S. R., & Jufri, N. N. (2017). Hubungan lama kerja, sikap kerja dan beban kerja dengan musculoskeletal disorders (Msds) pada petani padi di Desa Ahuhu Kecamatan Meluhu Kabupaten Konawe Tahun 2017. *Haluoleo University*.
- [11] Wahyuniardi, R., & Reyhanandar, D. M. (2018). Penilaian Postur Operator Dan Perbaikan Sistem Kerja Dengan Metode Rula Dan Reba (Studi Kasus). *J@ Ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 13(1), 45 50.
- [12] Wardana, W. (2021). Sistem Informasi Manajemen Bengkel Pada Bengkel Auto Jaya Motor. *Universitas Komputer Indonesia*.
- [13] Yuri, A. (2021). Analisis Postur Kerja Dengan Menggunakan Metode Rapid Entire Body Assessment (Reba) Pada Mekanik Bengkel Di Pt. Esa Sagara Autotara (Mitsubishi) Pekalongan. *Universitas Sultan Agung*.



GST L Yoga Rafsandita menyelesaikan pendidikan S1 Pendidikan Teknik Mesin di Universitas Ganesha singaraja pada tahun 2017. Setelah lulus S1 langsung bekerja di Sekolah Menengah Kejuruan Swasta PGRI 2 Badung dan Saat ini bekerja sebagai guru di jurusan Otomotif Sekolah Menengah Kejuruan 1 Denpasar.

Analisa Perilaku Benang Emas Lokal Dan Impor Pada Kain Songket Tenun Klungkung

I Gede Biyan Mulyana^{1)*}, I Made Widyarta²⁾, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara³⁾,

^{1,2)}S2 Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran

³⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana

Abstrak

Penggunaan busana tradisional kain songket di Bali, khususnya dalam konteks penggunaan benang emas. Kain songket ini dikenal karena keindahannya yang diperoleh dari penggunaan benang emas, yang memberikan kesan mewah dan elegan pada pola kainnya. Namun, kerusakan pada benang emas sering terjadi akibat kelalaian dalam penggunaan, seperti gesekan dengan permukaan kasar atau benda lain. Penelitian ini fokus pada analisis komposisi dan karakteristik benang emas lokal dan impor yang digunakan dalam kain songket Klungkung. Tiga jenis benang emas dianalisis, termasuk satu lilitan benang lokal (sintetis) dan dua lilitan benang impor (logam). Metode pengujian mencakup *X-ray Fluorescence (XRF)* untuk analisis unsur, uji tarik (**ASTM D2256**), dan uji gores (**ASTM D2197**) untuk mengevaluasi respons lilitan benang emas. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan signifikan antara benang emas lokal dan impor dalam karakteristik mekanik seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan terhadap goresan. Benang emas lokal menunjukkan kekuatan tarik tertinggi dengan nilai rata-rata 131,00 MPa, 204,53% dan modulus elastisitas 1,399 GPa, serta menunjukkan resistensi yang baik terhadap goresan 3,27 mm², 5,56 mm² dan 5,65 mm². Sementara itu, benang emas impor II 4,8% (Ag) dan 91,75% (Cu) memiliki komposisi unsur yang berbeda, menghasilkan karakteristik visual yang berbeda seperti warna yang lebih mendekati emas murni. Disarankan untuk terus melakukan penelitian untuk mengembangkan lilitan benang emas dengan komposisi unsur yang optimal guna meningkatkan kualitas dan kinerja kain songket.

Kata kunci: Lilitan benang emas, XRF, uji tarik, uji gores

Abstract

The use of traditional songket fabric in Bali, particularly in the context of using gold threads, is well-known for its beauty, lending a luxurious and elegant impression to its patterns. However, damage to these gold threads often occurs due to mishandling, such as friction with rough surfaces or other objects. This study focuses on analyzing the composition and characteristics of locally-produced and imported gold threads used in Klungkung's songket fabric. Three types of gold threads were analyzed, including one local synthetic thread and two imported metal threads. Testing methods included X-ray Fluorescence (XRF) for elemental analysis, tensile testing (ASTM D2256), and scratch testing (ASTM D2197) to evaluate the response of the gold threads. Results indicated significant differences between local and imported gold threads in mechanical characteristics such as tensile strength, elastic modulus, and scratch resistance. Local gold threads showed the highest tensile strength with an average of 131.00 MPa, 204.53% elongation, and 1.399 GPa modulus of elasticity, as well as demonstrating good resistance to abrasion with values of 3.27 mm², 5.56 mm², and 5.65 mm². Meanwhile, imported gold thread II with 4.8% (Ag), and 91.75% (Cu) had a different elemental composition, resulting in visually distinct characteristics closer to pure gold. Continued research is recommended to develop gold thread winding with optimal elemental compositions to enhance the quality and performance of songket fabrics.

Keywords: Gold thread winding, XRF, tensile testing, scratch testing

1. Pendahuluan

Penggunaan busana tradisional kain songket merupakan hal yang umum dipergunakan di Bali pada acara-acara khusus seperti penyelenggaraan pernikahan, potong gigi, upacara kedewasaan (*munggah deha*), pitra yadnya (*ngaben*) dan upacara adat lainnya. Busana tradisional ini dibuat dengan menggunakan benang emas sebagai komponen utama untuk membentuk pola pada kain sehingga kain nampak lebih indah dan terkesan mewah [1]. Pembuatan motif songket dimulai dengan mengatur benang sesuai motif yang diinginkan sebelum proses tenun. Songket tenunan di Klungkung memiliki jumlah *guun* antara puluhan hingga ratusan. Pembuatan motif pada kain songket dengan metode *guun* yang diartikan sebagai proses menggunakan lidi yang menunjukan

beberapa helai benang yang diposisikan ke atas (diangkat) dan ke bawah (dimasukkan) dalam membentuk motif [2]. Bahan utama kain songket yaitu benang *pakan* meliputi logam dengan berbagai bahan seperti emas, perekat dan media lainnya disebut benang emas. Metode yang digunakan untuk membuat benang emas dan bahan yang digunakan berbeda di setiap daerah, yang dapat digunakan untuk membedakan negara asal [3].

Manufaktur benang emas dimulai dengan memilih benang katun atau sutra sebagai bahan dasar. Penggunaan perak atau tembaga untuk lapisan pada benang yang dijadikan kawat halus dengan alat rol baja sehingga kawat yang dihasilkan berbentuk pipih (*flattig*). Bentuk kawat yang digunakan biasanya bertentuk bulat atau pipih (*badla*) [4]. Benang katun

*Korespondensi: Tel./Fax.: 089697125292

E-mail: biyanmulyana@gmail.com

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

atau sutra dapat dililitkan kawat perak pada mesin pemintal (*spinning machine*). Pada inti serat benang berpadu dengan kawat, maka benang akan melalui proses penyepuhan emas (*gold electroplating*) [5].

Kerusakan pada benang emas pada kain songket untuk kamen atau sapat terjadi akibat kelalaian pemakaian saat beraktivitas. Beberapa kerusakan umum yang terjadi pada kain songket meliputi putusnya benang emas pada kain songket disebabkan bergesekan dengan permukaan tajam dan kasar atau tersangkut oleh benda lain. Secara visual, kerusakan pada benang emas diamati secara jelas pada kain songket terlihat tidak rata dan kerutan akibat gesekan dan tarikan. Penyebab lain rusaknya kain songket disinyalir karena kualitas pada benang emas lokal kini mengalami perubahan. Awalnya benang emas lokal menggunakan logam berubah menjadi benang logam emas dan perak yang sintetis [6]. Berdasarkan pengamatan benang emas terhadap tekstur dan kecerahan warna kualitas benang emas impor berbeda dengan lokal terlihat berbeda benang impor dianggap memiliki kualitas yang lebih baik daripada benang emas lokal. Beberapa faktor lain yang mempengaruhi yaitu bahan baku, proses produksi dan standar kualitas yang diterapkan oleh produsen. Benang emas impor tetap menggunakan logam sebagai bahan dasar lilitan dari pembuatan benang. Kualitas dari benang emas impor memiliki kekuatan, kandungan serat, ikatan antara serat dan matriks yang lebih baik. Sebagai hasil dari analisis *X-ray Spectroscopy*, ditemukan bahwa ada kandungan Ag (perak), Si (silikon), dan Fe (besi) dalam benang emas yang menyebabkan kualitas lebih baik. Namun tidak semua benang emas impor akan memiliki kualitas yang sama dan ada juga benang emas lokal yang memiliki kualitas tinggi [7].

2. Metode Penelitian

Pengujian penenelitian ini diawali, dengan melakukan uji XRF (pre-experiment) terhadap benang emas untuk mengetahui unsur – unsur yang digunakan dari pabrikasi benang emas lokal dan impor. Tahapan selanjutnya dalam pengujian berikutnya terdapat 2 metode. Pertama pengujian dilakukan uji tarik, analisa terhadap spesimen dilakukan untuk mengetahui sifat – sifat suatu bahan spesimen yang diuji dengan mendapatkan kekuatan tarik, regangan dan modulus elastisitas tarik. Pengujian yang ketiga dengan menguji gores (*scratch*) pada spesimen, beban diletakan diatas indenter dengan beban 300, 400 dan 500 gram pada jarak panjang langkah gores 10 mm untuk menentukan goresan permukaan benang emas. Saat pengujian gores selesai diperlukan pengukuran panjang goresan dan total lebar goresan sehingga memperoleh luas goresan melalui aplikasi *ImageJ* dengan pembesaran 50x.

2.1. Uji X-ray fluorescence (XRF)

Pengujian pada tahap uji XRF dengan memungkinkan kita untuk mengidentifikasi unsur-unsur kimia yang ada dalam sampel dan mengukur konsentrasi relatifnya. Berikut adalah langkah-langkah yang terlibat dalam uji spesimen menggunakan XRF :

1. Menyiapkan spesimen, spesimen yang digunakan berbentuk padat powder /bubuk dengan berat 5 gram/sample.
2. Membersihkan spesimen.

3. Mengkarakterisasi spesimen dengan alat uji PANalytical yang berbasis *X-ray Fluorescence* (XRF) bertujuan untuk mengetahui variasi unsur kimia serta presentase unsur yang terkandung pada benang emas pada kain songket.
4. Mengarahkan alat uji XRF menuju pada permukaan logam uji. Pada alat uji XRF sinar-X diarahkan pada permukaan logam sehingga alat dapat menganalisa unsur yang terdapat pada logam.
5. Kemudian data muncul pada layar monitor program dengan menampilkan komposisi secara detail.

2.2. Prosedur pengujian tarik

Selama uji tarik, properti mekanis material seperti kekuatan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas tarik diukur. Dengan menggunakan standar pengujian ASTM D2256, peningkatan panjang dan beban tarik akan dipantau secara terus menerus. Tahapan pengujian ini dijelaskan pada pemaparan sebagai berikut :

1. Pengukuran pada spesimen panjang 250 : 5 mm dan setting kecepatan 300 mm/s dengan standar ASTM D2256 pada spesimen yang akan dianalisa.
2. Spesimen difoto sebelum memulai analisa.
3. Siapkan mesin uji tarik yang digunakan.
4. Spesimen akan ditempatkan pada clamp dan melakukan cek spesimen terjepit dengan baik.
5. Menghidupkan power pada alat dan setting parameter pada indikator yang dimulai dari angka nol.
6. Persiapan kamera untuk mendokumentasikan pertambahan panjang dan beban tarik.
7. Memberi mekanisme tarik menggunakan pompa hidrolik secara perlahan dan stabil untuk memulai pembebanan tarik.



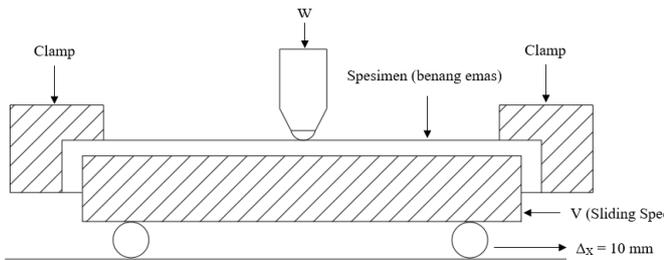
Gambar 2.1 Pengujian tarik lilitan benang emas

2.3. Proses uji gores

Ketika proses uji gores ini ada beberapa tahapan yang dilakukan bertujuan mengetahui dampak goresan yang terjadi saat spesimen tergerus pada pengujian. Berikut langkah – langkah yang dipergunakan pada pengujian ini :

1. Menyiapkan spesimen dengan panjang 150 mm.

- Menyesuaikan dudukan dan pemegang spesimen pada mesin, lalu mengatur handle yang ada pada mesin.
- Memberikan beban pada indentor secara bertahap dengan variasi 300, 400 dan 500 gf.
- Melakukan kalibrasi beban dengan timbangan.
- Menggores spesimen dengan panjang langkah 10 mm.
- Foto makro spesimen.
- Mencatat hasil pengujian serta menimbang massa awal dari spesimen benang emas.
- Membuka foto spesimen dan mengukur hasil goresan dengan *software image J*.



Gambar 2.2 Skematik pengujian gores

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. X-ray Fluorescence (XRF) Unsur Lilitan Benang Emas

Pada pengamatan dan analisis kualitatif pada pengujian XRF menunjukkan komposisi sampel lilitan benang emas lokal dan impor. Komposisi yang digunakan menunjukkan campuran logam – logam yang menciptakan warna khusus pada lilitan. Penggunaan kombinasi logam dari tiga sampel lilitan yang berbeda juga menghadirkan properti mekanik yang berbeda. Tabel 3.1 Data Uji Komposisi Unsur logam dalam benang emas lokal

No.	Pengujian Lilitan Benang Emas I	
	Jenis Unsur	Konsentrasi Persentase Unsur (%)
1.	Aluminium (Al)	20 %
2.	Silikon (Si)	6 %
3.	Fosfor (P)	20 %
4.	Kalsium (Ca)	20,2 %
5.	Skandium (Sc)	1,7 %
6.	Kromium (Cr)	2,4 %
7.	Besi (Fe)	5,6 %
8.	Kobalt (Co)	7,9 %
9.	Nikel (Ni)	2,4 %
10.	Tembaga (Cu)	5 %
11.	Erbium (Er)	8,8 %
	Total	100 %

Tabel 3.2 Data Uji Komposisi Unsur logam dalam benang emas impor I

No.	Pengujian Lilitan Benang Emas II	
	Jenis Unsur	Konsentrasi Persentase Unsur (%)
1.	Kalsium (Ca)	0,16 %
2.	Kromium (Cr)	0,03 %
3.	Besi (Fe)	0,14 %
4.	Tembaga (Cu)	96,57 %
5.	Itrium (Y)	2,5 %

6.	Barium (Ba)	0,30 %
7.	Iridium (Ir)	0,27 %
	Total	99,97 %

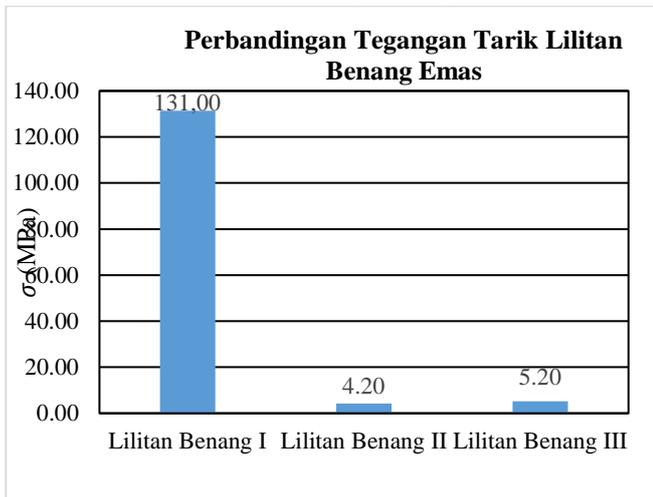
Tabel 3.3 Kandungan Unsur logam dalam benang emas impor II

No.	Pengujian Lilitan Benang Emas III	
	Jenis Unsur	Konsentrasi Persentase Unsur (%)
1.	Fosfor (P)	0,26 %
2.	Kalsium (Ca)	0,16 %
3.	Titanium (Ti)	0,02 %
4.	Kromium (Cr)	0,03 %
5.	Besi (Fe)	0,14 %
6.	Tembaga (Cu)	91,75 %
7.	Itrium (Y)	2,5 %
8.	Perak (Ag)	4,8 %
9.	Barium (Ba)	0,38 %
	Total	100,04 %

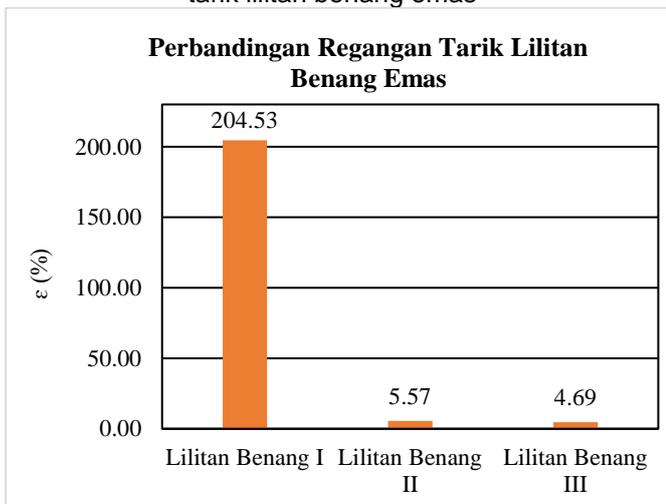
Pada paduan lilitan benang emas lokal, dari segala unsur tertera pada tabel diatas unsur struktur penguat utama Al, Fe, Ni, Cu dan Er dan unsur Si 6% (non logam) dengan penambahan silikon menjadi kombinasi yang baik karena memiliki tingkat elongasi yang panjang, artinya dapat meregang dengan baik sebelum mencapai batas kekuatannya. Fungsi silikon yang elastis, untuk menambah fleksibilitas benang emas [8]. Lilitan benang emas II dan III (impor) pada table 5.2 dan 5.3 cenderung menggunakan tembaga (Cu) 96,57% dan 91,75% sebagai komposisi utama. Tembaga digunakan sebagai paduan komposisi utama karena tahan terhadap korosi dan memiliki keuletan yang baik tetapi terdapat kekurangan terhadap kekuatan tarik selain itu, juga berfungsi sebagai memberikan kesan warna kuning keemasan pada lilitan benang emas [9]. Lilitan benang emas impor III yang dipadukan dengan 4,8% perak (Ag), logam non ferro (logam bukan besi) dinyatakan mampu bertahan terhadap bahan kimia dan tahan korosi karena adanya lapisan oksida yang kuat. Sifat mekanik non ferro pada umumnya kurang baik, akan tetapi dapat diperbaiki dengan memadukannya [10].

3.2. Hasil Uji Tarik Lilitan Benang Emas

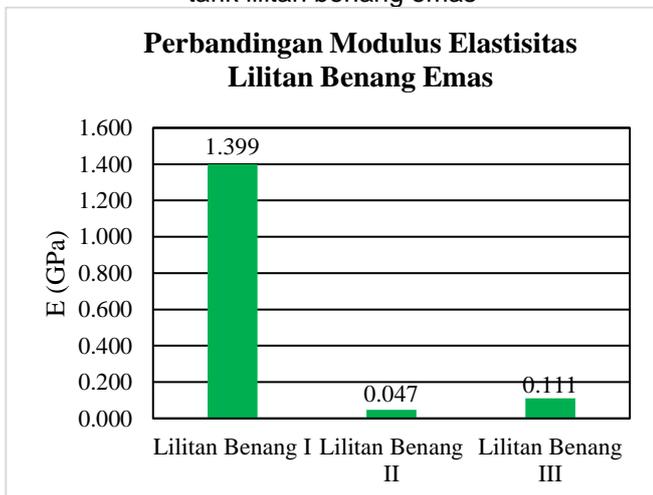
Pengujian tarik pada lilitan benang emas dengan menggunakan tiga sample yaitu satu produksi lokal dan dua produksi impor yang berbeda. Penggunaan pada penelitian ini menggunakan standar ASTM D2256.



Gambar 3.1 Grafik perbandingan rata - rata tegangan tarik lilitan benang emas



Gambar 3.2 Grafik perbandingan rata – rata regangan tarik lilitan benang emas



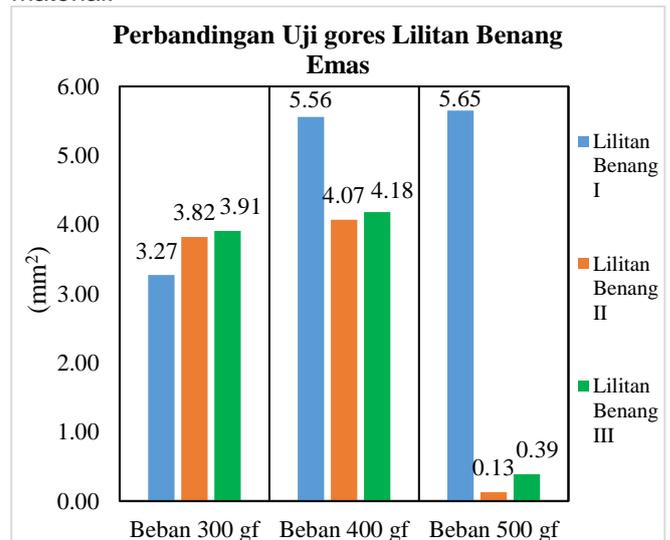
Gambar 3.3 Grafik perbandingan rata - rata modulus elastisitas lilitan benang emas

Terlihat pada gambar 3.1, 3.2 dan 3.3 bahwa lilitan benang I (benang lokal) memiliki nilai rata – rata kekuatan tarik 131,00 MPa serta regangan tarik 204,53 % tertinggi dari lilitan benang emas yang lainnya. Lilitan benang II (benang impor) mendapatkan nilai rata - rata kekuatan tarik 4,20 MPa dengan regangan 5,57 %. Terakhir lilitan benang III (benang impor) menghasilkan nilai kekuatan tarik 5,20 MPa dengan tegangan tarik yang lebih tinggi dari yang lainnya dan regangan tarik 4,69 %. Modulus elastisitas tarik pada setiap lilitan

benang emas I, II dan III menghasilkan rata – rata nilai 1,399 GPa, 0,047 GPa dan 0,111 GPa yang tertera pada gambar 6.3. Menganalisis ketiga parameter ini pada tiga sampel yang berbeda, dapat memperoleh pemahaman yang komprehensif tentang faktor mengenai kualitas dari properti mekanik lilitan benang tersebut. Pada lilitan benang I (benang lokal sintetis) memiliki regangan tarik yang lebih tinggi dari lilitan benang II dan III benang impor lainnya.

3.3. Uji Gores Lilitan benang Emas

Uji gores adalah proses untuk mengevaluasi kekuatan suatu material, terutama dari segi komposisi material.



Gambar 3.4 Grafik perbandingan uji gores lilitan benang emas

Analisa dari penelitian hasil uji gores menunjukkan perbedaan dalam luas goresan pada lilitan benang emas I (lokal) memiliki tingkat goresan lebih tinggi mengalami deformasi tetapi tidak mengalami putus dibandingkan lilitan benang emas II dan III. Penjelasan ini melihat perbandingan lilitan benang emas I memiliki nilai 3,27 mm², 5,56 mm² dan 5,65 mm². Ini berarti bahwa lilitan benang emas I walau terjadi fenomena slip dan deformasi tetapi lilitan ini lebih baik dengan lilitan benang emas lainnya. Luas goresan lilitan benang emas II dan III dapat menerima beban sampai 400 gf dengan nilai 4,07 mm² dan 4,18 mm². Sedangkan lilitan benang emas II memiliki kualitas paling rendah dengan hanya mampu menahan pada beban sebesar 500 gf dengan luas goresan 0,13 mm² dibandingkan lilitan benang III 0,39 mm².

4. Kesimpulan

Dari uraian penjelasan dari hasil penelitian, dapat disimpulkan menjadi beberapa hal yaitu :

1. Perbedaan unsur pada lilitan benang menghasilkan karakteristik dan visual yang berbeda, seperti warna dan kekuatan lilitan. Lilitan benang emas III (impor) menjadi 4,8% perak (Ag) dan 91,75% (Cu) dilanjutkan lilitan benang emas II (impor) 0,14% besi (Fe) dan 96,57% tembaga (Cu) dan lilitan benang emas I (lokal) 5,6% besi (Fe), 2,4% Nikel (Ni) 5% tembaga (Cu), 20% aluminium (Al) dan 6% silikon (Si).
2. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan dalam properti mekanik antara lilitan benang

sehingga lilitan yang terbaik adalah lilitan benang emas I (benang lokal) kekuatan tarik rata - rata sebesar 131,00 MPa dan modulus elastisitas adalah 1,399 GPa serta regangan tarik 204,53% dilanjutkan lilitan benang emas III (impor) 5,20 MPa, 4,69%, 0,111 GPa dan lilitan benang emas II (impor) 4,20 MPa, 5,57%, 0,047 GPa.

- Hasilnya menunjukkan perbedaan dalam goresan antara lilitan benang emas. Lilitan benang emas I (lokal), menunjukkan goresan yang lebih baik dengan nilai 3,27 mm², 5,56 mm² dan 5,65 mm² dilanjutkan lilitan benang emas III 3,91 mm², 4,18 mm², 0,39 mm² (putus) dan lilitan benang emas II 3,82 mm², 4,07 mm², 0,13 mm² (putus).

Ucapan Terima Kasih

Kami memanjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa karena berkat anugerah Nya penelitian ini bisa terselesaikan. Terima kasih kami ucapkan juga kepada:

- Dosen I Made Widiyarta, ST, M.Sc, Ph.D dan Dr. Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, S.T., M.Sc atas dukungannya pada penelitian ini.
- Universitas Udayana yang telah membantu sebagai tempat pembelajaran.
- Seluruh teman yang telah membantu melalui semangat dan doa sehingga penelitian bisa terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- A. A. N. A. M. K. Tenaya, "Hegemoni Fashion Barat Pada Busana Bangsawan di Bali Utara (1800-1940)," *Mudra J. Seni Budaya*, vol. 36, no. 2, pp. 245–253, 2021.
- N. D. Pebryani, T. I. Ratna, C.S., and P. Manik Prihatini, "Design Application for Balinese Songket Weaving Motif," *Mudra J. Seni Budaya*, vol. 37, no. 3, pp. 312–318, 2022.
- E. Shea, "The spread of gold thread production in the mongol period: A study of gold textiles in the China National Silk Museum, Hangzhou," *J. Song-Yuan Stud.*, vol. 50, no. 1962, pp. 381–415, 2021.
- C. Darwin, *History of The Worshipful Company of Gold & Silver Wyre-Drawers*, vol. XXX. 1895.
- E. George C.M Birdwood, C.S.I., M.D., "The Industrial Arts Of India," *Oxford Univ.*, vol. XXX, p. 60, 1895.
- R. Purnama, Suryawati, V. Radiona, and M. Prabawati, "Development of Gold and Silver Threads in Pandai Sikek Weaving: Maintaining the Sustainability of the Local Heritage," *Int. J. Des. Objects*, vol. 17, no. 1, pp. 67–83, 2023.
- J.-J. Lee, B. An, K. Han, R. Lee, J. H. Yoo, and J. A. Yu, "A Scientific Analysis of Gold Threads Used in Donggungbi-Wonsam(Ceremonial

Robe Worn by a Crown Princess, National Folklore Cultural Heritage No.48)," *J. Conserv. Sci.*, vol. 37, no. 5, pp. 525–535, 2021.

- M. Tilli and A. Haapalinn, *Properties of silicon*. INC, 2020.
- M. Li and S. J. Zinkle, "4.20 - Physical and Mechanical Properties of Copper and Copper Alloys," *Compr. Nucl. Mater. Vol. 1-5*, vol. 1–5, pp. 667–690, 2012.
- A. K. Samlawi, "Material Teknik," *Martensitic SS*, p. 48, 2016.



I Gede Biyan Mulyana studi tingkat sarjana (S1) di bidang Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 2015. Pencapaiannya ini mencerminkan dedikasinya dalam mengejar pendidikan tinggi di bidang teknik yang meliputi pemahaman mendalam tentang prinsip-prinsip dasar teknik mesin, aplikasi teknologi terkini, serta keterampilan praktis yang diperlukan dalam industri.

Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Blok Head Pada Proses Frais

I Gusti Komang Dwijana^{1)}, I Dewa Gede Ary Subagia²⁾, I Made Astika³⁾, Made Suarda⁴⁾, I Gusti Ketut Sukadana⁵⁾, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara⁶⁾.*

^{1,2,3,4,5,6)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pemotongan logam merupakan tahapan yang paling penting dalam proses pembentukan logam, dalam perkembangan teknologi industri seperti saat ini proses pemotongan logam sudah lebih baik dibandingkan dimasa lalu. Pemotongan logam menjadi hal yang penting sekaligus berpengaruh pada hasil produk. Proses pemotongan logam kebanyakan dilakukan dengan mengatur parameter pemesinan seperti halnya mengatur, kedalaman pemakanan, dan kecepatan pemakanan, Teknologi Mesin Frais sudah dikenal dan biasa digunakan dunia industri besar maupun industri kecil, mesin ini biasanya digunakan untuk meratakan permukaan benda atau melubangi benda, dengan penyayat menggunakan pisau frais atau mata bor. Blok head sepeda motor biasanya jika digunakan bertahun lamanya akan mengalami deformasi atau pembengkokan pada permukaan, sehingga kompresi pada sepeda motor akan menjadi bocor. Untuk memperbaikinya salah satu mesin yang dapat digunakan adalah mesin frais, diratakan kembali permukaan blok head yang bengkok

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kedalaman potong (a) dan gerak pemakanan (f), dimana nilai kedalaman potong yang diambil adalah 0,4 mm, 0,6 mm, 0,8 mm dan 1,0 mm. Gerak makan yg di gunakan adalah 0,3, 0,6, 0,8, dan 1,0 mm/menit. Variabel terikatnya adalah tingkat kekasaran permukaan. Pengujian kekasaran menggunakan surface roughness tester (Mitutoyo Surfes SJ 210). Data yang telah diperoleh kemudian di buat dalam bentuk tabel dan grafik dan dianalisis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap tingkat kekasaran permukaannya.

Dari hasil pengujian kekasaran permukaan pada proses frais terlihat kekasaran permukaan yang paling kecil terjadi pada gerak makan 0,3 mm/menit pada kedalaman potong 0,4 mm sebesar 1,208 µm hal ini di sebabkan karena kedalaman pemotongan dan gerak makan sangat kecil, sehingga getaran yg terjadi selama proses belum terlalu besar, dan suara pada saat proses belum terlalu bising dan yang paling kasar terjadi pada gerak makan 0,8 mm/putaran pada kedalaman potong 1,0 mm sebesar 2,912 µm Ini di sebabkan karena kontak antara mata potong pahat dengan benda kerja sangat besar, gesekan yg terjadi semakin besar juga.

Kata kunci: Proses Frais, Kekasaran, Blok head

Abstract

Metal cutting is the most important stage in the metal forming process, in the development of industrial technology, currently the metal cutting process is better than in the past. Cutting metal is important and has an impact on product results. The metal cutting process is mostly carried out by adjusting machining parameters such as control, feed depth and feed speed. Milling Machine Technology is well known and commonly used in both large and small industries. This machine is usually used to flatten the surface of objects or make holes in objects, by cutting using milling knife or drill bit. Usually, if the motorbike head block is used for many years, it will experience deformation or bending of the surface, so that the compression on the motorbike will leak. To repair it, one of the machines that can be used is a milling machine, which re-flattens the bent surface of the head block

The method used in this research is the experimental method. The independent variables in this study were variations in cutting depth (a) and feeding motion (f), where the cutting depth values taken were 0.4 mm, 0.6 mm, 0.8 mm and 1.0 mm. The feed movements used are 0.3, 0.6, 0.8, and 1.0 mm/minute. The dependent variable is the level of surface roughness. Roughness testing using a surface roughness tester (Mitutoyo Surfes SJ 210). The data that has been obtained is then made into tables and graphs and analyzed to determine its effect on the level of surface roughness.

From the results of surface roughness testing in the milling process, it can be seen that the smallest surface roughness occurs at a feed motion of 0.3 mm/minute at a cutting depth of 0.4 mm of 1.208 µm. This is caused by the depth of cut and feed motion being very small, so the vibrations are very small. occurs during the process is not too large, and the sound during the process is not too noisy and the roughest occurs at a feed motion of 0.8 mm/revolution at a cutting depth of 1.0 mm of 2.912 µm. This is caused by contact between the cutting edge of the chisel and the object. the work is very rough, the friction that occurs is even greater.

Keywords: Milling Process, Roughness, Block head

1. Pendahuluan

Perkembangan dunia industri dan teknologi saat ini menunjukkan kemajuan yang sangat pesat, penemuan

demi penemuan terus bermunculan. Dalam dunia industri khususnya pada industri manufaktur tidak lepas dari proses permesinan yang membuat dan

*Korespondensi: Tel./Fax.: 085101772000

E-mail: dwijanaigst@gmail.com

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

mempermudah kegiatan atau pekerjaan manusia dalam kehidupan. Begitu banyak penemuan dalam dunia industri dan teknologi yang sangat mempermudah kehidupan manusia. Tentu saja dengan harga yang terjangkau yang dapat dimiliki oleh semua kalangan yang memerlukan untuk mempermudah kehidupannya. Seperti misalnya sepeda motor yang semakin tahun sudah mengalami kemajuan yang sangat pesat dari motor yang menggunakan transmisi manual hingga menjadi transmisi matik. Tetapi dalam dunia permesinan maupun teknologi lainnya pasti ada kehausan terjadi, karena alat atau benda yang digunakan bertahun-tahun lamanya pasti mengalami deformasi. Dalam sepeda motor yang manual maupun yang matik juga sangat memerlukan perawatan atau pergantian spear part. Pada mesin sepeda motor dapat juga dilakukan dengan mempergunakan teknologi permesinan seperti blok head sepeda motor yang sudah mengalami ketidak rataan permukaan atau telah terjadi kebocoran pada kompresi, yang akan membuat sepeda motor tidak dapat digunakan dengan baik atau tidak bias hidup dengan baik. Penyebab kebocoran blok head silinder karena perawatan yang kurang baik dengan penggunaan yang lama sehingga mengalami panas yang berlebihan. Permukaan blok head silinder yang di maksud adalah bagian yang menempel di antara kedua bidang temu antar komponen blok head silinder dengan blok silinder. Permukaan tersebut harus mencapai tingkat kekasaran yang sangat kecil agar blok head silinder dan blok silinder tidak ada celah ataupun rongga yang mengakibatkan kebocoran sistem kompresi atau kebocoran ruang bakar. Biasanya menggunakan mesin frais untuk meratakan permukaan yang mengalami kebocoran kompresi. Masalah ini dapat di selesaikan dengan proses permesinan agar tidak membeli atau dilakukan pergantian dengan yang baru, proses permesinan yang dapat digunakan seperti mesin bubut, mesin frais dan mesin sekrap.

2. Metode Penelitian

2.1 Proses Freis

Proses freis adalah proses pemotongan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata pisau jamak yang berputar. Mata potong jamak tersebut berputar pada kecepatan tinggi melawan benda kerja dan membuang logam (geram) sangat cepat dengan banyak variasi sudut pemotongan. Proses pemotongan dengan jumlah gigi yang banyak tersebut. dapat menghasilkan proses pemesinan yang lebih cepat, sehingga proses freis banyak di aplikasikan dalam proses produksi.

Berbeda dengan proses pemesinan yang lainnya, proses freis tidak menghasilkan geram dengan tebal yang tetap melainkan bentuk koma. Tebal geram tersebut di pengaruhi oleh gerak makan pergigi dan sudut posisi yang pada setiap saat berubah besarnya nya karena perubahan posisi mata potong.



Gambar 1. Mesin Frais WFC3 S

2.2 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan ketidak teraturan konfigurasi dan penyimpangan karakteristik permukaan berupa guratan yang nantinya akan terlihat pada profil permukaan. Adapun penyebabnya beberapa macam faktor, diantaranya yaitu; mekanisme parameter pemotongan, geometri dan dimensi pahat, cacat pada material benda kerja dan kerusakan pada aliran geram. Kualitas suatu produk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan benda kerja. Kekasaran permukaan dapat dinyatakan dengan menganggap jarak antara puncak tertinggi dan lembah terdalam sebagai ukuran dari kekasaran permukaan. Dapat juga dinyatakan dengan jarak rata-rata dari profil ke garis tengah (Bimbing, 2005).

2.3. Mitutoyo Surftest SJ-210

Untuk mengukur kekasaran permukaan digunakan alat ukur kekasaran permukaan tipe Mitutoyo Surftest SJ-201. Alat ukur kekasaran permukaan ini mengikuti beberapa standar industri antara lain: JIS (JIS-B0601-2001, JIS-B0601- 1994, JIS B0601-1982), VDA, ISO-1997 dan ANSI.



Gambar 2. Mitutoyo Surftest SJ-210

2.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi:

- Variasi kedalaman potong yang digunakan yaitu: 0,4;0,6; 0,8 dan 1,0 mm
- Variasi gerak makan: 3 ; 6 dan 9 mm/ langkah

Variabel terikat yang diamati adalah kekasaran permukaan (*surface roughness*); sedangkan variabel kendali yang di tetapkan yaitu kecepatan spindle sebesar 300 rpm.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil Penelitian ini dapat diperoleh data secara real bukan secara teoritis karena pada penelitian ini menggunakan Metode penelitian eksperimental, (*true experimental research*), yaitu melakukan pengamatan langsung untuk mengetahui hubungan sebab akibat dengan menggunakan lebih perlakuan.

Dalam pengambilan data kekasaran permukaan, blok head silinder dibagi menjadi dua daerah pengujian dan masing-masing daerah pengujian dilakukan pengulangan sebanyak lima kali kemudian diambil

rata – rata dari kelima pengulangan tersebut, kemudian dirata ratakan kembali dari seluruh hasil daerah pengujian. Untuk data nilai kekasaran blok head siliner standar Ra 1.330 μm , data kekasaran permukaan blok head silinder yang sudah difrais dengan besaran variasi yang sudah ditentukan dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1. Data Harga Kekasaran Rata – Rata dengan kedalaman potong 0,6 mm

Kedalaman Potong (mm)	Gerak Makan (mm/langkah)	Kekasaran Permukaan
		Rata-rata (μm)
0,4	3	1.208
	6	1.382
	9	1.435

Tabel 2. Data Harga Kekasaran Rata – Rata dengan kedalaman potong 0,6 mm

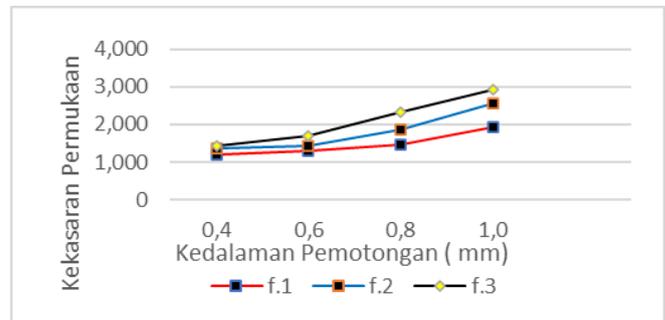
Kedalaman Potong (mm)	Gerak Makan (mm/langkah)	Kekasaran Permukaan
		Rata-rata (μm)
0,6	3	1.298
	6	1.429
	9	1.706

Tabel 3 Data Harga Kekasaran Rata – Rata dengan kedalaman potong 0,8 mm

Kedalaman Potong (mm)	Gerak Makan (mm/langkah)	Kekasaran Permukaan
		Rata-rata (μm)
0,8	3	1.455
	6	1.854
	9	2.312

Tabel 4 Data Harga Kekasaran Rata – Rata dengan kedalaman potong 1,0 mm

Kedalaman Potong (mm)	Gerak Makan (mm/langkah)	Kekasaran Permukaan
		Rata-rata (μm)
1,0	3	1.927
	6	2.545
	9	2.912



Grafik 3. Grafik Gerak Makan Terhadap Kekasaran Permukaan Rata-rata

Dari Gambar 3 dapat dilihat kekasaran permukaan 1,0 mm dengan gerak makan 9 mm/langkah sebesar 2.912 μm . Sedangkan nilai kekasaran paling rendah terdapat pada kedalaman potong 0.4 mm dengan gerak makan 3 mm/langkah sebesar 1.208 μm . sedangkan kekasaran permukaan yang mendekati kekasaran standar blok head silinder pada kedalaman potong 1,0 dengan gerak makan 9 mm/langkah sebesar 2.912 μm .

Perubahan yang terjadi pada interaksi gerak makan dan kedalaman potong terhadap kekasaran permukaan terlihat pada grafik semakin tinggi gerak makan dan kedalaman potong yang diberikan pada proses pengefraisan blok head silinder akan membuat permukaan semakin kasar.

Peningkatan kedalaman potong akan menyebabkan peningkatan getaran pada mesin sedangkan peningkatan gerak makan akan mengakibatkan besaran alur pada permukaan semakin besar juga. ini akan menyebabkan blok head silinder permukaan semakin kasar.

4. Simpulan

Dari hasil penelitian didapatkan hasil kekasaran permukaan yang paling mendekati dengan kekasaran standar blok head silinder adalah pada kedalaman potong 0,6 mm dengan gerak makan 3 mm/langkah. semakin tinggi kedalaman potong dan gerak makan yang diberikan pada proses frais akan membuat permukaan blok head silinder semakin kasar.

Daftar Pustaka

- [1] Rochim, Taufiq, *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. Bandung: ITB 1993.
- [2] Rochim, Taufiq, *Spesifikasi, Metrologi dan Control Kualitas Geometrik*. Bandung: ITB 2001.
- [3] Huang, Luke, Dr. Joseph C. *A Systematic Approach For Identifying Optimum Surface Roughness Performance In End Milling Operation*. *Jurnal Of Industrial Technology*: Volume 17. 2001.
- [4] Rahdiyanta, D. "Buku 3 Proses Frais (Milling)". Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta 2010.
- [5] Kirono Sasi, Diniardi Ery, Ilmar Ramadhan Anwar, Julianto Agung. "Analisa Kekasaran dan Laju Keausan Blok Silinder Mesin Sepeda Motor Berbahan Al-Si". 2014. Bettina Kerle, 2000, *Hexavalent Chromium Processes*, Jerman.



I Gusti Komang Dwijana menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas udayana pada tahun 1997. Pendidikan Magister Teknik Mesin di selesaikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2000 dengan area riset tentang manufaktur saat ini bekerja sebagai dosen di jurusan teknik mesin universitas udayana. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah system manufaktur.

Analisis Cacat *Dakon* Pada Proses Produksi Pembuatan Roda Gigi

Irwan Suriaman^{1)*}, Rustama Ahmad Zaelani²⁾, Choirul Anwar³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Purwakarta Jawa Barat

Abstrak

Industri manufaktur saling berlomba-lomba dalam memberikan pelayanan melalui kualitas produksi yang semakin baik. Pembuatan roda gigi miring atau *helical gear* harus diproduksi dengan ketelitian yang tinggi untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Untuk menghindari jumlah produk cacat yang terjadi, maka perlu dilakukan analisa pada setiap prosesnya. Proses ini dilakukan untuk menemukan penyebab cacat produk, kemudian dilakukan perbaikan untuk menghilangkan atau meminimalisir produk cacat yang berkelanjutan. Analisa cacat pada *gear* dilakukan dengan menggunakan metode diagram *Fishbone* yaitu menganalisa bagian *man*, *machine*, *methode*, dan *material*. Berdasarkan hasil analisa diperoleh bahwa cacat produk yang terjadi pada umumnya diakibat dari JIG pada mesin *Chamfer Burry*, hal ini disebabkan tidak ada ring baut pengunci JIG. Ketika proses permesinan berjalan sehingga menimbulkan adanya getaran akan mengakibatkan kondisi baut menjadi longgar. Kondisi ini menyebabkan *locator* JIG *work-set* posisinya turun sehingga pemasangan antara *part* dan roda gigi penggerak tidak lansung bertautan dengan baik, hal ini mengakibatkan posisi *part* terhadap roda gigi penggerak tidak senter. Dampak posisi *part* tersebut menyebabkan terjadinya benturan antara *part* dan roda gigi penggerak. Setelah melakukan analisa kemudian ditemukan solusi bahwa perlu dilakukan perbaikan pada JIG yaitu penambahan ring pada baut pengencang *ejector* dan *work set*, hal ini bertujuan agar baut tidak mudah kendur. Setelah dilakukan perbaikan pada JIG dalam pembuatan *gear* maka angka cacat benturan sudah tidak ditemukan kembali.

Kata kunci: Roda gigi, cacat, *fishbone*, *part*, cacat benturan, JIG

Abstract

The manufacturing industry competes to provide superior service through improving production quality. The production of helical gears must be carried out with high precision to ensure high-quality products. To avoid defective products, it is necessary to analyze each process involved. This analysis aims to identify the causes of product defects and subsequently implement corrective actions to eliminate or minimize ongoing defects. The defect analysis of gears is conducted using the Fishbone diagram method, which examines factors related to man, machine, method, and material. Based on the analysis, it was found that product defects commonly occur due to issues with the JIG on the Chamfer Burry machine, specifically the absence of a locking ring on the JIG bolts. During machining, vibrations cause the bolts to become loose. This condition leads to the locator JIG work-set shifting downward, resulting in improper alignment between the part and the driving gear. Consequently, the part does not align correctly with the driving gear, causing collisions between the part and the gear. Upon identifying the problem, the solution was to improve the JIG by adding rings to the tightening bolts of the ejector and work set to prevent the bolts from loosening easily. After making these improvements to the JIG in gear production, the incidence of collision defects was eliminated.

Keywords: Gear, defect, fishbone, part, collision defect, JIG

1. Pendahuluan

Industri manufaktur memegang peranan penting dalam ekonomi Indonesia. Untuk menghadapi persaingan dunia industri yang ketat, perusahaan saling berlomba-lomba dalam memberikan kualitas produk yang baik. Oleh karena itu perusahaan yang mempunyai daya saing tinggi akan mampu bertahan di dalam usaha untuk memberikan pelayanan kepada konsumennya [1, 2].

Kontrol hasil produksi sangat diperlukan untuk menekan jumlah produksi yang rusak. Selain itu proses analisis pengendalian kualitas akan membawa pengaruh reputasi perusahaan dan meningkatkan kepercayaan konsumen terhadap kinerja perusahaan. Salah satu tujuan yang diharapkan perusahaan adalah dapat memproduksi secara efisien [3, 4].

Setiap perusahaan selalu memperhitungkan setiap proses produksi yang dikeluarkan. Biaya merupakan hal yang sangat penting bagi perusahaan, karena perusahaan berusaha mengendalikan biaya

pengeluaran seminimum mungkin sehingga perusahaan mendapatkan profit tinggi.

Setiap kegiatan memproduksi barang kemungkinan besar proses produksinya terjadi produk cacat dan produk rusak yang disebabkan oleh beberapa faktor yaitu kondisi eksternal, misalnya karena sistem pengerjaan yang sulit ditetapkan oleh pemesan dan kondisi internal seperti keteledoran pekerja, keterbatasan peralatan atau kerusakan fasilitas. Produk yang di hasilkan tidak sesuai dengan standart mutu yang telah di tetapkan sehingga produk tersebut tidak dapat dijual atau dipasarkan [5, 6].

Banyak perusahaan bergerak pada bidang industri otomotif yang memproduksi komponen penting kendaraan roda empat. Salah satu produk yang dihasilkan yaitu Helical Gear. Proses pembuatan *Helical Gear* melalui beberapa tahap, yaitu proses *Hobbing*, *Chamfer Burry*, *Shaving*, dan *Gear Tester*. Proses ini adalah tahap kedua dari pembuatan gear setelah proses *Turning*. Meskipun proses ini adalah

*Korespondensi: Tel./Fax.: 082316121654

E-mail: irwan_suriaman@yahoo.co.id

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

proses pemakanan yang kedua, tetapi ada dua bagian dari hasil pembuatannya adalah finish proses. Artinya bagian tersebut tidak diproses kembali pada proses selanjutnya sampai tahap akhir proses pembuatan. Tentu pada proses pembuatannya kemungkinan besar pasti ada barang cacat yang dihasilkan. Salah satu cacat produk yang sering terjadi yaitu cacat pada bagian gear pada saat proses *Chamfer Burry* atau penghilangan burry [7, 8, 9].

Roda gigi adalah bagian dari mesin yang berputar yang berguna untuk mentransmisikan daya, membalikkan putaran, dan mereduksi atau menaikkan putaran / kecepatan. Roda gigi memiliki gigi-gigi yang saling bersinggungan dengan gigi dari roda gigi yang lain. Rodanya dibuat bergerigi dan berbentuk silinder atau kerucut yang saling bersinggungan pada kelilingnya agar jika salah satu diputar maka yang lain akan ikut berputar. Dua atau lebih roda gigi yang bersinggungan dan bekerja bersama-sama disebut sebagai transmisi roda gigi, dan bisa menghasilkan keuntungan mekanis melalui rasio jumlah gigi. Roda gigi mampu mengubah kecepatan putar, torsi, dan arah daya terhadap sumber daya [2, 3]. Jenis-jenis material roda gigi sebagai berikut:

1. Baja struktural karbon sedang atau permukaan dihancurkan dengan produk baja. Setelah perlakuan panas, sifat mekanik komprehensif baik, tetapi kinerja pemotongan buruk, kekasaran permukaan gigi besar, dan cocok untuk pembuatan roda gigi dengan kecepatan rendah dan beban kecil.
2. Baja karbon berstruktur nano campuran sedang atau permukaannya dicampurkan dengan 40Cr. Setelah perlakuan panas, bagian mekanis bisa lebih baik dari produk baja, dan deformasi perlakuan panas kecil, dan digunakan untuk pembuatan roda gigi dengan kecepatan tinggi, presisi tinggi, dan beban besar.
3. Baja Karburisasi atau carbonitriding dilakukan dengan menggunakan 20Cr dan 18CrMnTi.
4. Baja nitrided Bentuk nitrida adalah 38CrMoAlA, deformasi kecil, gigi tidak bisa lagi ditumbuk, dan ketahanan aus permukaan gigi tinggi, ini cocok untuk pembuatan roda gigi kecepatan tinggi.

Proses pemesinan ada dua kali proses produksi yang berbeda yaitu proses deformasi, dan proses pemesinan. Proses deformasi akan menghasilkan bentuk yang diinginkan termasuk sifat-sifat mekanis yang dibutuhkan dengan cara deformasi plastis, dimana bentuk diubah namun volumenya tetap. Sedangkan proses pemesinan menghasilkan bentuk yang diinginkan dengan memotong bagian-bagian tertentu dari benda kerja melalui proses yang direncanakan dalam pengerjaan permesinan [10, 11]. Permesinan dilakukan untuk menghasilkan bentuk dengan toleransi dimensi yang tinggi, permukaan yang halus dan geometri yang rumit. Pemesinan merupakan operasi proses sekunder, karena biasanya dihasilkan oleh proses primer seperti pengerolan panas, penempaan, atau pengecoran [8,10]. Adapun gerakan yang ada dalam proses pemesinan ini adalah:

1. Gerakan utama, yaitu gerakan mata potong yang memungkinkan perkakas pemotong mendekati

benda kerja.

2. Gerakan pemotongan, adalah suatu gerakan proses pemesinan disamping gerak utama memungkinkan alat potong dan benda kerja bergerak melakukan pemotongan secara terus menerus, sehingga menghasilkan suatu geometri dimensi yang diinginkan.

Pada proses produksi pembuatan *Helical Gear* sering kali banyak terjadi barang rusak dan cacat ini dapat disebabkan oleh kecerobohan karyawan, karena kerusakan mesin yang digunakan sehingga barang rusak dan cacat bisa juga karena kesalahan teknik produksinya [9, 11]. Ada beberapa Jenis cacat produk diantaranya:

sebagai berikut:

1. Benturan, Dakon merupakan cacat yang timbul karena beberapa faktor yaitu bisa terjadi karena terdapat kotoran yang menempel pada material sebelum dilakukan proses, atau bisa terjadi karena benda kerja yang diakibatkan oleh benturan, bisa terjadi karena jatuh, terbentur dengan mesin, atau benda lainnya.
2. Kurukawan merupakan cacat benda kerja yang bentuknya silinder. yang diakibatkan adanya bagian dari bentuk benda kerja yang tidak terproses.
3. *Scratch* cacat benda kerja yang diakibatkan oleh goresan, bisa tergores oleh *chip* atau tergores oleh *kiriko* yang menempel pada *chip*.

Riset ini dilakukan untuk menentukan faktor penyebab timbulnya cacat pada roda gigi. Jenis cacat yang dianalisis terfokus pada cacat Dakon. Hal ini karena cacat tersebut paling sering terjadi dalam proses produksi gear.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pada perusahaan otomotif dalam rentang waktu 3 bulan. Proses pengumpulan data yang diambil dalam penelitian ini adalah terkait dengan kebutuhan analisis terjadinya cacat produk. Pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan observasi atau pengamatan langsung di lapangan dalam bagian proses pembuatan roda gigi yang merupakan komponen dari otomotif yang diproduksi. Diagram *Fishbone* adalah salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis penyebab dari suatu masalah atau kondisi. Diagram ini juga disebut dengan diagram sebab akibat, berikut adalah penjelasan diagram *Fishbone*.

1. *Man* terdiri dari:

- a. *Skill* yang menandai dapat menyelesaikan pekerjaan dengan baik dan benar serta tepat waktu
- b. *Discipline* merupakan *factor* penting dalam setiap proses, tujuannya agar semua pekerjaan tidak berantakan

2. *Machine* terdiri dari:

- a. *Maintenance* perawatan rutin yang harus tetap dilakukan untuk mengambil kondisi dari mesin-mesin yang dipakai
- b. *Hi-Tech* laju perkembangan teknologi yang begitu cepat, telah banyak diciptakan alat-alat produksi yang memiliki kemampuan tinggi.

3. *Method* ialah *Standar Operation Sheet* (SOS) dalam setiap proses yang dilakukan, memiliki standar operasional yang telah ditentukan, SOS dibuat untuk memudahkan dalam melakukan pekerjaan dengan sesuai prosedur.

4. *Material* terdiri dari:

a. *Delay* ialah pengiriman tidak tepat waktu akan mengakibatkan proses tersendat atau tidak lancar.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil pengambilan data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Dominan cacat yang timbul adalah Dakon. Ini artinya produk roda gigi yang diproduksi umumnya mengalami benturan atau kontak dengan benda lain yang menyebabkan kerusakan pada bagian tertentu.

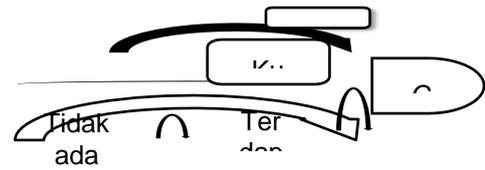
Tabel 1. Jumlah Produk Cacat

Jenis Cacat	Jumlah Cacat (pcs)		
	Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3
<i>Dakon</i>	0	20	150
<i>Kurukawa</i>	2	0	0
<i>Scracth</i>	4	2	2



Gambar. 1. Jenis Cacat Dakon pada roda gigi

Pada Gambar 2 Cacat ini adalah cacat yang diakibatkan karena benturan, biasanya terjadi akibat benturan dengan mesin, JIG, atau material lain yang ada di area tempat kerja pada saat proses pengerjaan. Cacat ini terdapat pada area Gear, jelas sangat tidak diperbolehkan karena akan mempengaruhi kualitas produk dan tidak sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan oleh perusahaan.



Gambar. 2. Diagram analisis Fishbone

Hasil analisis dengan fishbone terkait cacat yang terjadi dapat dijabarkan dari Gambar 2 sebagai berikut:

1. Pada proses *Chamfer Burry*, *Chamfer burry* adalah proses pemesinan pemakanan *chamfer* pada ujung *Helical Gear* serta penghilangan *burry* pada ujung *Gear*. Proses ini adalah tahap kedua pada proses pembuatan *Helical Gear* setelah proses *hobbing*. Pada Gambar 4 Menjelaskan Permasalahan yang terjadi pada adalah kondisi JIG tidak sesuai standar, baut pada Jig tidak ada ring (*whaser*) pengunci, yang mengakibatkan ketika proses berlangsung ada getaran yang mengakibatkan kondisi baut mudah longgar, sehingga kondisi *locator* JIG *work-set* posisinya turun dan berakibat pada saat pemasangan antara *part* dan roda gigi penggerak tidak langsung bertautan dengan benar yang mengakibatkan posisi *part* terhadap roda gigi penggerak tidak senter. Maka pada saat awal roda gigi penggerak berputar memutar part terjadilah benturan antara part dan roda gigi penggerak.

2. Kurangnya pemahaman pengawas lapangan tentang kontrol point perubahan sehingga setelah JIG *direpair* tidak dilakukan control oleh pengawas lapangan, akibatnya permasalahan tidak langsung terdeteksi, sehingga antara *Gear* dan *stopper* terdapat celah yang besar, sehingga ketika part dipasang sehingga sangat mudah berubah posisi menjadi miring.

3. Tidak adanya *item check sheet* untuk pemeriksaan pada JIG disetiap harinya, yang menyebabkan ketika JIG Mengalami kerusakan tidak langsung terdeteksi oleh Operator.

4. Kurangnya perawatan kebersihan pada mesin yang menyebabkan mesin kotor dan mudah rusak.

Setelah dilakukan analisis kemudian dilakukan tindakan pencegahan dalam proses produksi roda gigi. Maka terjadi penurunan produk rusak yang signifikan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Produk Cacat setelah dilakukan perbaikan sistem produksi

Jenis Cacat	Jumlah Cacat (psc)		
	Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3
<i>Dakon</i>	2	0	2
<i>Kurukawa</i>	0	2	0
<i>Scracth</i>	1	0	0

Dilakukan beberapa langkah untuk memberikan solusi dalam upaya mengurangi produk roda gigi yang rusak, meliputi:

1. Penambahan ring (*whaser*) pada baut pengencang *ejector* dan work set, Fungsi *washer* yaitu ketika proses berjalan getaran yang terjadi tidak mengakibatkan baut mudah longgar. *Whaser* memberikan tegangan dan tekanan lebih terhadap baut agar baut tetap ditempat (tidak berputar) sehingga menjaga baut tetap kencang, walaupun ada getaran atau tekanan terhadap.
2. Pengencangan baut dan *washer* dengan standar ukuran kekencangannya. Alat yang digunakan untuk mengencangkan baut dengan kekuatan tertentu adalah kunci torsi. Torsi adalah suatu besaran yang menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada sebuah benda yang menyebabkan benda tersebut berotasi. Ketika sambungan baut dikencangkan menggunakan kunci pas, terdapat beban awal (preload) dan gaya tekan awal.
3. Penambahan item Check Sheet pemeriksaan baut pengunci *ejector* pada perawatan Jig, agar operator dapat melakukan pengecekan Jig setiap harinya. Fungsinya yaitu ketika operator melakukan pengecekan pada mesin setiap hari maka operator akan dengan cepat mengetahui jika ada permasalahan yang terjadi pada JIG.
4. Diberikan pelatihan dan peningkatan skill pendidikan kepada bagian produksi terkait kontrol perubahan.
5. Pengaturan jadwal perawatan kebersihan pada JIG disetiap akhir pekerjaan atau di akhir shift.

4. Simpulan

Dari hasil Penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Menggunakan metode diagram *Fishbone* ini adalah pada analisis proses *Chamfer Burry*, baut pada JIG tidak ada ring (*Washer*) pengunci, maka ketika proses ada getaran yang mengakibatkan kondisi baut mudah longgar, sehingga kondisi lokasi JIG *work-set* posisinya turun dan berakibat pada saat pemasangan antara part dan roda gigi penggerak tidak lansung bertautan dengan benar yang mengakibatkan posisi part terhadap roda gigi penggerak tidak senter. Maka pada saat awal roda gigi penggerak berputar memutar part terjadilah benturan antara part dan roda gigi penggerak. Kurangnya pemahaman pengawas tentang kontrol point perubahan sehingga setelah *stopper* JIG di repair tidak dilakukan kontrol, akibatnya antara permukaan gaer dan stopper terdapat celah yang besar, sehingga part mudah miring.
2. Setelah dilakukanya perbaikan pada JIG work-set sesuai settingan awal, baut pengencang *ejector* dan *work set* dikencangkan kembali, penambahan item *check* baut pengunci, dan dilakukan pendidikan kepada bagian produksi terkait kontrol perubahan, maka cacat produk dapat di minimalisir. Mempercepat laju proses karena tidak banyak lagi produk cacat yang dihasilkan, pengawas dan operator cukup melakukan pengecekan JIG *work-set* dan mengisi *check sheet* pada setiap awal kerja.

Analisa dan perbaikan dapat mengurangi biaya produksi karena berkurangnya cacat produk yang dihasilkan.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan sehingga riset ini dapat dilakukan dengan baik. Selain itu secara khusus penulis memberikan apresiasi dan penghargaan kepada dosen pembimbing dan teman-teman yang telah mendukung penulis sehingga riset ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Nurdin, A., & Himawanto, D. A. (2019). Studi numerik kekuatan material transmisi roda gigi pico hydro. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 14(1), 24–29. <https://doi.org/10.36289/jtmi.v14i1.101>
- [2] Amstead, B.H dkk. (1979). *Teknologi Mekanik Jilid 1 (SriatiDjaprie.Terjemahan)* Jakarta : Erlangga.
- [3] Kalpakjian, Serope dan Schmid, Steven R. (2009). *Manufacturing Engineering and Technology* (6th ed). New Jersey: Prentice Hall.
- [4] Puztai, Joseph and Sava Michael, (1983). *Computer Numerical Control*. Virginia: *Reston Publishing Company, Inc*
- [5] Aditia, Angga. *Proses Pengoprasian Mesin Bubut CNC Type Nakamura – Tome CNC Lathe 250 II*. Purwakarta : STT Wastukencana, 2016.\
- [6] Jeremic, Marija et. al. 2014. "Computer Numerical Control Simulation Tool for Teaching and Learning of Engineering Students". 8th International Quality Conference, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, Vol. 2, No. 3, Tahun 2014 Online: <http://ejournals1.undip.ac.id/index.php/jtm>
- [7] Yadav, A., 2012, "Different Types Failure in Gears-A Review, *International Journal of Science*", *Engineering and Technology Research (IJSETR)*, Volume 1, Issue 5, India http://id.wikipedia.org/wiki/Roda_gigi diakses 10 Desember 2013
- [8] Danarbroto, Heru. 2017. *Analisa kegagalan patah leleh pada roda gigi*. *Jurnal Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pandanaran*. Volume 18, Nomor 6. Semarang.
- [9] Iftikar Z Satalaksana, Ruhana anggawisastra, jann H Tjakraatmadja, 2006, *Teknik Perancang Sistem Kerja*, Institut Teknologi Bandung.
- [10] Muabbir. (2020). *Analisis Kekuatan Baut Pengikat Rangka Baja Pada Workshop PT Bumi Karsa*. Makassar: Universitas Hasanuddin.

[11] Security Locknut. (2021, April). Tension Testing: The Effect of Lubrication on K factor. Retrieved from <https://www.securitylocknut.com/tension-testinglubrication/>



Irwan Suriaman menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Hasanuddin pada tahun 2005, dengan fokus riset pada bidang konversi energi. Kemudian melanjutkan pendidikan pada program magister Teknik Mesin di Institut Teknologi Bandung pada tahun 2014, dengan area riset tentang energi hijau.

Pada tahun 2022 ia menyelesaikan pendidikan doktoral di Institut Teknologi Bandung, dengan fokus riset pada bidang filter udara dari bahan serat hayati. Saat ini ia bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Mesin di Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Purwakarta. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah material maju, energi baru terbarukan, dan konversi energi.

Analisis Pengaruh Variasi Material Penjepit Untuk Mengurangi Deformasi Plastis Baja AISI 1018

Irwan Suriaman^{1)*}, Bahri Rojak²⁾, Apang Djafar Shieddique³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Purwakarta Jawa Barat

Abstrak

Industri baja merupakan bagian dari industri logam dasar. Penurunan kualitas produk baja dapat dipengaruhi oleh beberapa penyebab, salah satunya yaitu *Roll forming* atau cacat bentuk gulungan yang disebabkan oleh tegangan yang kurang, pemuaian, dan tegangan luluh yang tinggi. Oleh karena itu, Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh material *felt pad* penjepit yang dapat mengurangi *deformasi plastis* pada proses *rolling* baja AISI 1018. Pada penelitian kali ini bahan yang digunakan yaitu pelat baja AISI 1018 tipe SGCC dengan pengolahan data menggunakan metode uji anova dua jalur. Penelitian ini menggunakan tiga variabel material penjepit yaitu tanpa material penjepit, material wol alami, dan material sintetis. Proses pengujian menghasilkan terdapat hubungan yaitu F-hitung (x) > F-tabel (x) = 6,196 > 3,554; F-hitung (y) > F-tabel (y) = 729,851 > 3,554; F-hitung (xy) < F-tabel (xy) = 2,587 > 2,928. Maka dapat disimpulkan bahwa adanya pengaruh atau hubungan antara variasi material felt pada penjepit untuk mengurangi deformasi plastis pada proses rolling baja AISI 1018.

Kata kunci: Rolling, felt pad, deformasi plastis, uji tarik, tegangan, baja

Abstract

The steel industry is part of the basic metals sector. Decreased quality of steel products can be influenced by several factors, one of which is roll forming or defects in roll shape caused by insufficient tension, expansion, and high yield stress. Therefore, this study aims to investigate the effect of felt pad clamp material that can reduce plastic deformation in the rolling process of AISI 1018 steel. In this research, AISI 1018 steel plates of SGCC type were used, and data processing was conducted using a two-way ANOVA method. The study employed three clamp material variables: no clamp material, natural wool material, and synthetic material. The testing process revealed the following relationships: F-calculated (x) > F-table (x) = 6.196 > 3.554; F-calculated (y) > F-table (y) = 729.851 > 3.554; F-calculated (xy) < F-table (xy) = 2.587 > 2.928. Thus, it can be concluded that there is an influence or relationship between variations in felt material on clamps to reduce plastic deformation in the rolling process of AISI 1018.

Keywords: Rolling, felt pad, plastic deformation, tensile test, tension, steel

1. Pendahuluan

Industri baja merupakan bagian dari industri logam dasar. Industri ini termasuk industri hulu dan merupakan salah satu industri strategis di Indonesia. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat sangat berpengaruh terhadap perindustrian di dalam negeri, salah satunya adalah industri yang menghasilkan atau memproduksi elemen-elemen mesin yang sebagian besar menggunakan logam sebagai bahan bakunya. Bahan logam banyak digunakan dalam konstruksi, peralatan, dan kebutuhan rumah tangga [1, 2].

Berbagai jenis baja berbeda menurut kekuatan, kekerasan kekenyalan, mampu las, mampu keras, mampu bentuk dingin dan panas serta daya tahan karat (korosi) dan lain-lain. Baja AISI 1018 adalah salah satu material yang banyak digunakan di industri manufaktur yang biasanya digunakan untuk karburasi dikarenakan memiliki kemampuan las yang baik dan sifat mekaniknya yang lebih tinggi [2, 3].

Namun dalam proses *rolling* baja AISI 1018 sering terjadi *deformasi plastis* pada hasil *rolling* tersebut yang dapat menyebabkan kerusakan struktural, penurunan kualitas produk dan bahkan jadi produk *Not Good*. Proses terjadinya deformasi pada gulungan baja adalah kurangnya tegangan tarik maksimum maka perlu

diberikan material *felt pad* penjepit pada bagian *belt bridle tension unit* untuk menahan dan mendistribusikan beban secara merata pada gulungan [4, 5] baja sehingga gulungan baja yang dihasilkan tidak mengalami cacat pembentukan gulungan (*roll forming*). *Roll forming* terjadi disebabkan oleh kurangnya tegangan tarik, pemuaian, kontraksi dan tegangan luluh yang tinggi [6].

Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh material *felt pad* penjepit yang dapat mengurangi *deformasi plastis* pada proses *rolling* baja AISI 1018. Hasil riset ini dapat menjadi solusi untuk mencegah terjadinya cacat pada pada produk baja yang mengalami proses penggulangan.

2. Metode Penelitian

Untuk dapat mengetahui hasil dari penelitian ini maka pada bab ini akan dibahas mengenai metode penelitian yakni mengenai proses pelaksanaan dan prosedur penelitian yang akan dilakukan dalam menguji benda uji, dimana pengujian ini dilakukan dengan menggunakan uji tarik (*tensile strength test*). Adapun prosedur yang dilakukan dalam penelitian meliputi:

- Persiapan bahan yang akan diuji
- Pemotongan spesimen benda uji
- Pengujian uji tarik

*Korespondensi: Tel./Fax.: 082316121654

E-mail: irwan_suriaman@yahoo.co.id

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

- Pengambilan data
- Analisis data dengan metode anova dua arah
- Pembahasan dan pengambilan kesimpulan

2.1. Persiapan Bahan Uji

Material *felt pad* penjepit yang akan digunakan yaitu *felt pad* wol alami dan sintetis.

Spesimen uji yang akan digunakan adalah jenis baja AISI 1018 tipe SGCC dengan data pada Tabel 1. dibawah ini:

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja AISI 1018

No	Nama Unsur	Simbol	Kadar (%)
1	Carbon	C	0,18
2	Mangan	Mn	0,65
3	Phosphors	P	0,03
4	Sulfur	S	0,04

2.2. Spesimen Benda Uji

Untuk mendapatkan kondisi pengujian dan hasil yang optimal, maka dilakukan persiapan-persiapan percobaan dan pengujian di laboratorium. Bahan yang akan digunakan yaitu pelat baja AISI 1018 tipe SGCC dengan dimensi spesimen panjang (L) = 200 mm, lebar (B) = 20 mm, lebar dalam (b) = 12,5 mm dan panjang dalam (Lc) = 60 mm).

2.3. Mekanisme Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Mesin*) dengan mengacu pada standar ASTM E8 dengan kecepatan tarik 20 mm/m. Langkah-langkah pengujian tarik meliputi:

- Spesimen diukur dimensi panjang, lebar, tebal, dan luas penampangnya.
- Mesin uji tarik dan komputer dihidupkan.
- Aplikasi UTM *Testing Program* dibuka pada komputer
- Benda uji dipasang pada cekam mesin uji, lalu tombol *up* atau *down* pada komputer ditekan untuk menaikkan dan menurunkan grip length spesimen.
- Diisi data-data spesimen pada menu spesimen editor dan metode editor dan display pengujian.
- Tombol *RUN* ditekan.
- Data hasil pengujian dicetak.
- Material yang telah diuji dilepas dari cekam mesin uji.

2.4. Analisis Data dengan Metode Anova Dua Arah

Langkah-langkah pengolahan data dengan metode anova dua arah meliputi:

- Sebelum anova dihitung, asumsikan bahwa data dipilih secara random, berdistribusi normal dan variannya homogen.
- Hipotesis (H_a dan H_0) dibuat dalam bentuk kalimat.
- Hipotesis (H_a dan H_0) dibuat dalam bentuk statistika.
- Dibuat daftar statistika induk.
- Masuk ke menu data pada microsoft excel dan pilih data analysis lalu pilih *Anova; Two-Factor With replication* seperti pada gambar dibawah ini dan klik OK.

f. Selanjutnya dipilih panah bagian "*Input Range*" dan diblok bagian data yang ingin diolah, lalu dipilih "*Rows Per Sample*" diisikan sesuai jumlah sampelnya, dipilih panah bagian "*Output Range*" lalu ditentukan titik sel mana yang akan dijadikan titik tabel anovanya dan klik OK.

g. Lalu akan muncul tabel Analysis Of Varians beserta perhitungannya.

h. Ditentukan kriteria pengujiannya: Jika $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ maka tolak H_0 berarti signifikan dan dikonsultasikan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} kemudian dibandingkan.

i. Kemudian dibuat kesimpulan hasil.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Uji Tarik

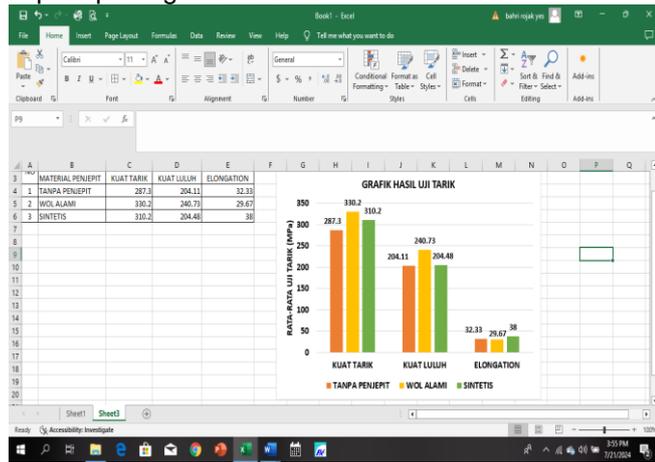
Dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan data dengan melakukan pengujian tarik terhadap variasi material felt pad penjepit. Pengujian tarik sendiri menggunakan alat mesin uji tarik *Universal Testing Machine* ASTM E8 dimana sebelumnya spesimen telah dibentuk sesuai dengan standar untuk pengujian tarik. Pada setiap material felt pad yang berbeda nantinya dapat dibentuk menjadi masing-masing tiga spesimen uji tarik untuk tiga kali proses pengulangan yang nantinya diperoleh nilai rata-rata dari ketiga pengujian. Nilai yang diperoleh dari hasil uji tarik dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data Hasil Uji Tarik

Material Penjepit	Urut Data	Kekuatan Tarik (MPa)	Tegangan Luluh (MPa)	Deformasi (%)
Tanpa penjepit	1	281,95	191,53	31
	2	278,03	188,88	35
	3	301,86	231,93	31
Rata-rata		287,30	204,11	32,33
Wol alami	1	316,27	243,80	10
	2	339,71	256,35	32
	3	334,52	222,03	47
Rata-rata		330,20	240,73	29,67
Sintetis	1	308,92	196,53	33
	2	310,39	229,88	30
	3	311,27	187,02	51
Rata-rata		310,20	204,48	38
Total		2782,92	1947,95	300

3.2. Grafik Hasil Uji Tarik

Dari data hasil pengujian, maka dapat dibuatkan grafik seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.1 Hasil uji Tarik

3.3. Menghitung Hasil Penelitian Dengan Metode Analysis of Varians

a. Hipotesa:

Ho: Tidak ada pengaruh antara variasi material felt pad penjepit terhadap kekuatan tarik pada proses rolling baja AISI 1018.

H1: Ada pengaruh antara variasi material felt pad penjepit terhadap kekuatan tarik pada proses rolling baja AISI 1018.

b. Data statistika uji anova

Tabel 4. 3 Pengolahan Data Menggunakan Metode Anova Dua Arah Dengan Intraksi

SK	JK	DB	KT	Fhitung	Ftabel
Material penjepit (A)	3011.51	2	1505.75	6.19	3.555
Uji Tarik (B)	354733.55	2	177366.8	729.85	3.555
Interaksi	2515.11	4	628.78	2.58	2.928
Galat	4374.32	18	243.02		
Total	364634.49	26			

4. Simpulan

Dari hasil penelitian maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi visual pada produk gulungan baja AISI 1018 dengan variasi material felt pad penjepit menghasilkan jenis material felt pad penjepit wol alami lebih baik bentuk bulat sempurna dan tidak ada cacat apapun.

2. F_X (hitung) > F_X (tabel) atau $6,196 > 3,554$. Karena harga F_X (hitung) lebih besar dari F_X (tabel) maka H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya ada pengaruh antara variasi material felt pad penjepit terhadap

kekuatan tarik, kekuatan luluh dan perpanjangan untuk mengurangi deformasi plastis pada proses rolling baja AISI 1018.

3. F_Y (hitung) > F_Y (tabel) atau $729,851 > 3,554$. Karena harga F_Y (hitung) lebih besar dari F_Y (tabel) maka H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya ada pengaruh antara variasi material felt pad penjepit terhadap kekuatan tarik, kekuatan luluh dan perpanjangan untuk mengurangi deformasi plastis pada proses rolling baja AISI 1018.

4. $F_{[XY]}$ (hitung) > $F_{[XY]}$ (tabel) atau $2,587 > 2,927$. Karena harga $F_{[XY]}$ (hitung) lebih kecil dari $F_{[XY]}$ (tabel) maka H_0 diterima dan H_1 ditolak artinya tidak ada interaksi pengaruh antara variasi material felt pad penjepit terhadap kekuatan tarik, kekuatan luluh dan perpanjangan untuk mengurangi deformasi plastis pada proses rolling baja AISI 1018.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan sehingga riset ini dapat terselenggara dengan baik. Selain itu secara khusus penulis memberikan apresiasi dan penghargaan kepada: institusi, dosen, keluarga, dan teman-teman yang telah mendukung penulis sehingga penulisan paper dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

[1] Lagiyono, dkk., *Pengaruh Temperatur Terhadap sifat mekanis pada Baja Karbon Rendah ST 60*, 2011.
 [2] Asfarizal, *Pengaruh Temperatur yang ditinggikan Terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon Rendah*, vol. 2 ISSN: 0854 – 847, 2008.
 [3] Kemenperin, *Profil Industri Baja. Industri Baja*, vol. 3-5, 2014.
 [4] Mendoza, P. G., dkk., *A Microstructure Obtained on AISI 1018 and AISI M2 Steel by Powder Paste Pack Boriding Process," Microscopy and Microanalysis*, vol. 25, no. 02, pp, 2019.
 [5] Permana, dkk., *"Pengaruh Diameter Shoulder pada Friction Stir Welding Aluminum 5083 Terhadap Sifat Mekanis Bahan menggunakan ANOVA*, 2018.
 [6] Ekren E. dan Ornek M., *Pengaruh Variasi Material Felt Pad Penjepit Terhadap Efektivitas Penjepitan. Journal of Manufacturing System*, 29 (3),441-452, 2010.

	<p>Irwan Suriaman menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Hasanuddin pada tahun 2005, dengan fokus riset pada bidang konversi energi. Kemudian melanjutkan pendidikan pada program magister Teknik Mesin di Institut Teknologi Bandung pada tahun 2014, dengan area riset tentang energi hijau.</p>
<p>Pada tahun 2022 ia menyelesaikan pendidikan doctoral di Institut Teknologi Bandung, dengan fokus riset pada bidang filter udara dari bahan serat hayati. Saat ini ia bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Mesin di Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Purwakarta. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah material maju, energi baru terbarukan, dan konversi energi.</p>	

Analisis Swot Pembangunan Sistem Kereta Bawah Tanah Rute Bandara Ngurah Rai -Canggu

**I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa¹⁾, Ida Ayu Putu Indah Komala Dewi²⁾,
I Gede Artha Negara³⁾**

^{1-2.)}PS Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali
^{3.)}Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak
<p>Bali dikenal sebagai daerah tujuan wisata utama di Indonesia, namun ada satu masalah yang mengancam potensi pariwisata Bali yaitu kemacetan lalu lintas, terutama di jalur pariwisata utama. Hal ini mendorong berbagai langkah alternative transportasi, salah satunya pembangunan system kereta bawah tanah (kereta subway). Operasional kereta bawah tanah atau subway itu nantinya diperkirakan tiket tidak ada subsidi dari pemerintah , sehingga berbeda dengan Moda Raya Terpadu (Mass Rapid Transit/MRT) dan Lintas Rel Terpadu atau kereta api ringan (Light RailTransit/LRT) yang tiketnya disubsidi pemerintah. Melalui pendekatan analisis SWOT yang mana menjadi alat yang sangat berguna dalam perencanaan dan pelaksanaan program subway yang efektif dan efisien. Dalam konteks pembangunan sistem kereta bawah tanah rute Bandara Ngurah Rai - Canggu, analisis SWOT akan memberikan gambaran yang jelas mengenai potensi dan tantangan yang mungkin dihadapi, serta langkah-langkah strategis yang perlu diambil untuk mengoptimalkan keberhasilan proyek ini. Melalui analisis SWOT, ditemukan bahwa proyek pembangunan sistem kereta bawah tanah rute Bandara Ngurah Rai - Canggu memiliki potensi yang kuat untuk berhasil. Dengan memanfaatkan kekuatan dan peluang yang ada serta mengatasi kelemahan dan ancaman yang diidentifikasi, proyek ini dapat memberikan solusi efektif untuk masalah transportasi di Bali.</p> <p>Kata kunci: analisis SWOT, transportasi, kereta bawah tanah, Bandara, Canggu</p>
Abstract
<p>Bali is known as a major tourist destination in Indonesia, but there is one problem that threatens Bali's tourism potential, namely traffic congestion, especially on the main tourist routes. This encourages various alternative transportation measures, one of which is the construction of a subway system. The operation of the subway is expected to have no government subsidies, so it is different from the Mass Rapid Transit (MRT) and Light Rail Transit (LRT) whose tickets are subsidized by the government. Through the SWOT analysis approach which is a very useful tool in planning and implementing an effective and efficient subway program. In the context of the construction of the Ngurah Rai Airport - Canggu subway system, the SWOT analysis will provide a clear picture of the potential and challenges that may be faced, as well as the strategic steps that need to be taken to optimize the success of this project. Through the SWOT analysis, it was found that the Ngurah Rai Airport - Canggu subway system construction project has strong potential to succeed. By utilizing the existing strengths and opportunities and addressing the identified weaknesses and threats, this project can provide an effective solution to transportation problems in Bali.</p> <p>Keywords: SWOT analysis, transportation, subway rail, Airport, Canggu</p>

1. Pendahuluan

Pembangunan transportasi publik di bawah tanah menjadi pilihan mengingat sepanjang jalan di kawasan Bandara Ngurah menuju Canggu sempit dan padat infrastruktur di antaranya perhotelan, vila, bar, kafe serta rumah penduduk Bali yang masing-masing memiliki tempat ibadah. Dengan kondisi itu, opsi pelebaran jalan juga dinilai memberatkan baik dari sisi finansial hingga sosial budaya masyarakat. Disamping itu, terbatasnya lahan dan upaya menjaga keaslian Bali sehingga opsi kereta bawah tanah menjadi alternatif, didukung dengan belum optimalnya pemanfaatan ruang bawah tanah Bali [1]. Operasional kereta bawah tanah atau subway itu nantinya berbeda dengan Moda Raya Terpadu (Mass Rapid Transit/MRT) dan Lintas Rel Terpadu atau kereta api ringan (Light RailTransit/LRT) yang tiketnya disubsidi pemerintah dimana mobilitas di sekitar kawasan tersebut dominan untuk pariwisata dan bisnis sehingga diperkirakan tiket tidak ada subsidi dari pemerintah. Dari hasil survey awal, rute Bandara Ngurah Rai, Central Parkir,

Seminyak kemudian Canggu, pergerakannya itu 85 persen adalah untuk berwisata atau bisnis dan pergerakan masyarakat lokal hanya 15 persen [2].

Untuk mendukung program subway, akademisi dari Universitas Udayana dan Politeknik Negeri Bali melakukan analisis SWOT. Analisis ini diharapkan dapat memberikan evaluasi awal terhadap fasilitas kereta bawah tanah yang direncanakan. Salah satu metode yang sangat efektif dalam pemilihan strategi dasar adalah melalui analisis SWOT [3]. Dengan menggunakan analisis SWOT, diharapkan akademisi Unud dan PNB dapat memberikan rekomendasi yang tepat dan strategis untuk pengembangan fasilitas kereta bawah tanah. Analisis ini juga akan membantu dalam mengidentifikasi berbagai faktor yang perlu diperhatikan agar proyek ini dapat berjalan dengan lancar dan mencapai tujuan yang diharapkan. Melalui pendekatan analisis SWOT akan menjadi alat yang sangat berguna dalam perencanaan dan pelaksanaan program subway yang efektif dan efisien. Dalam konteks pembangunan sistem kereta bawah tanah rute

*Korespondensi: Tel./Fax.: 0811392116
E-mail: nitya_santhiarsa@unud.ac.id

Bandara Ngurah Rai - Cangu, analisis SWOT akan memberikan gambaran yang jelas mengenai potensi dan tantangan yang mungkin dihadapi, serta langkah-langkah strategis yang perlu diambil untuk mengoptimalkan keberhasilan proyek ini.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis SWOT terhadap pembangunan sistem kereta bawah tanah rute Bandara Ngurah Rai - Cangu. Melalui analisis ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor kunci yang mempengaruhi proyek, serta rekomendasi strategis untuk mengatasi berbagai tantangan yang ada. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek transportasi ini, sehingga dapat memberikan manfaat maksimal bagi masyarakat dan perkembangan pariwisata wilayah Bali.

2. Dasar Teori

Analisis SWOT adalah proses identifikasi berbagai faktor secara sistematis untuk merumuskan strategi organisasi yang tepat. Pendekatan ini didasarkan pada logika yang memungkinkan organisasi untuk memaksimalkan kekuatan (*strengths*) dan peluang (*opportunities*), sekaligus meminimalkan kelemahan (*weaknesses*) dan ancaman (*threats*) [4]. Analisis SWOT melibatkan beberapa langkah penting. Pertama, menetapkan tujuan proyek yang spesifik. Kemudian, mengidentifikasi faktor internal dan eksternal yang dapat mempengaruhi pencapaian tujuan tersebut. Faktor internal meliputi kekuatan dan kelemahan yang ada dalam organisasi, sedangkan faktor eksternal meliputi peluang dan ancaman yang ada di lingkungan sekitar. Dalam pelaksanaannya, analisis SWOT dilakukan dengan cara menganalisis dan memilah berbagai elemen yang mempengaruhi keempat faktor tersebut. Hasil analisis ini kemudian diterapkan dalam bentuk matriks SWOT, yang membantu dalam merumuskan strategi yang tepat. Dalam matriks SWOT, organisasi dapat menentukan bagaimana kekuatan dapat digunakan untuk mengambil keuntungan dari peluang yang ada, bagaimana cara mengatasi kelemahan yang menghambat pemanfaatan peluang, bagaimana kekuatan dapat digunakan untuk menghadapi ancaman, dan bagaimana cara mengurangi kelemahan yang dapat memperburuk ancaman atau bahkan menciptakan ancaman baru [5]. Sistem transportasi berkelanjutan adalah konsep yang mengacu pada pengembangan dan pengoperasian sistem transportasi yang memenuhi kebutuhan generasi saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Prinsip-prinsip transportasi berkelanjutan mencakup efisiensi energi, pengurangan emisi, penggunaan sumber daya yang bijak, dan peningkatan kualitas hidup masyarakat. Pembangunan sistem kereta bawah tanah merupakan salah satu upaya untuk menciptakan transportasi yang lebih berkelanjutan dengan mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi dan mengurangi kemacetan lalu lintas.



Gambar 1. Kereta Subway(www.balipost.com/news)

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan analisis SWOT untuk mengevaluasi pembangunan sistem kereta bawah tanah rute Bandara Ngurah Rai - Cangu. Metode ini dipilih karena dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman yang terkait dengan proyek tersebut. Adapun langkah-langkah yang ditempuh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data
 - a. Data Sekunder:
 - Dokumentasi: Pengumpulan data dari dokumen-dokumen resmi seperti laporan studi kelayakan, dokumen perencanaan proyek, serta laporan dari instansi terkait.
 - Literatur: Kajian pustaka dari buku, jurnal ilmiah, artikel, dan publikasi lainnya yang relevan dengan topik penelitian ini.
2. Analisis Data
 - a. Analisis SWOT:
 - Strengths (Kekuatan): Identifikasi kekuatan internal yang dapat mendukung keberhasilan proyek, seperti teknologi yang digunakan, keahlian tim proyek, dukungan dari pemerintah, dan sebagainya.
 - Weaknesses (Kelemahan): Identifikasi kelemahan internal yang dapat menghambat proyek, seperti keterbatasan anggaran, hambatan teknis, dan masalah koordinasi antar pihak terkait.
 - Opportunities (Peluang): Identifikasi peluang eksternal yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung proyek, seperti peningkatan jumlah wisatawan, potensi pengembangan ekonomi lokal, dan tren global terhadap transportasi ramah lingkungan.
 - Threats (Ancaman): Identifikasi ancaman eksternal yang dapat menghambat proyek, seperti resiko bencana alam, perubahan kebijakan, dan resistensi dari masyarakat lokal.
3. Validasi Hasil

Validasi hasil analisis dilakukan melalui diskusi kelompok terarah (focus group discussion) dengan para ahli dan pemangku kepentingan terkait untuk mendapatkan masukan dan konfirmasi terhadap hasil analisis dan rekomendasi yang telah disusun. Dengan metode penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang komprehensif mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi proyek pembangunan sistem kereta bawah tanah rute Bandara Ngurah Rai - Cangu,

serta strategi-strategi yang dapat diterapkan untuk memastikan keberhasilan proyek ini.

mobilitas dan mengurangi kemacetan di Bali. Analisis SWOT adalah metode yang efektif untuk menilai kekuatan (Strengths), kelemahan (Weaknesses), peluang (Opportunities), dan ancaman (Threats). Analisis SWOT dapat dilihat pada tabel 1.

3. Hasil dan Pembahasan

Pembangunan kereta api perkotaan dari Bandara Ngurah Rai menuju Canggu merupakan sebuah proyek infrastruktur yang strategis untuk meningkatkan

Tabel 1 Analisis SWOT pada Pembangunan Kereta Api Bandara Ngurah Rai menuju Canggu

Analisis SWOT		Proyek Kereta Api Perkotaan Bandara Ngurah Rai Menuju Cangu	
Kekuatan (<i>Strengths</i>)			
Peningkatan mobilitas		Kereta api perkotaan meningkatkan mobilitas penduduk dan wisatawan	
Pengurangan kemacetan		Menyediakan alternative transportasi massal untuk mengurangi kemacetan	
Efisiensi energi		Kereta api lebih efisien dalam penggunaan energi dibandingkan kendaraan pribadi	
Dukungan pariwisata		Mempermudah akses ke daerah wisata utama, mendukung sektor pariwisata	
Sustainability		Mengurangi emisi karbon dan mendukung tujuan lingkungan hidup.	
Kelemahan (<i>Weaknesses</i>)			
Biaya investasi		Memerlukan investasi awal yang sangat besar	
Proses Konstruksi		Konstruksi dapat mengganggu aktivitas sehari-hari dan memerlukan waktu lama	
Pemeliharaan		Memerlukan biaya dan upaya pemeliharaan yang berkelanjutan	
Integrasi transportasi		Perlu ada integrasi yang baik dengan system transportasi lainnya di Bali	
Resistensi masyarakat		Kemungkinan resistensi dari masyarakat lokal terhadap pembangunan	
Peluang (<i>Opportunities</i>)			
Peningkatan pariwisata		Akses yang lebih baik dapat menarik lebih banyak wisatawan ke Bali	
Pertumbuhan ekonomi		Mendorong pertumbuhan ekonomi local melalui peningkatan mobilitas	
Inovasi teknologi		Peluang untuk mengadopsi teknologi transportasi terbaru dan paling efisien	
Kolaborasi internasional		Mendapatkan investasi dan teknologi dari perusahaan internasional	
Pengembangan daerah		Mendorong pengembangan daerah di sepanjang jalur kereta api	
Ancaman (<i>Threats</i>)			
Kendala lingkungan		Tantangan lingkungan seperti dampak pada ekosistem lokal	
Perubahan kebijakan		Perubahan kebijakan pemerintah atau peraturan dapat mempengaruhi proyek	

Analisis SWOT ini menunjukkan bahwa pembangunan kereta bawah tanah dari Bandara Ngurah Rai menuju Cangu memiliki potensi keuntungan dan manfaat yang signifikan, baik dari segi peningkatan mobilitas maupun dukungan terhadap pariwisata dan ekonomi lokal. Namun, terdapat tantangan dan risiko yang perlu diatasi

melalui perencanaan yang matang dan pendekatan yang terintegrasi. Penting untuk melakukan studi kelayakan yang komprehensif dan melibatkan berbagai pemangku kepentingan untuk memastikan keberhasilan proyek ini. Pembangunan jalur kereta bawah tanah dari Bandara Ngurah Rai menuju Cangu menawarkan banyak manfaat yang signifikan

dalam meningkatkan aksesibilitas transportasi, kesejahteraan lingkungan, dan pelestarian budaya lokal. Namun, untuk mencapai hasil yang optimal, penting untuk melakukan perencanaan yang matang dengan mempertimbangkan dampak lingkungan, melibatkan masyarakat lokal, dan memastikan bahwa proyek ini selaras dengan nilai-nilai budaya setempat. Dengan pendekatan yang holistik, proyek ini dapat menjadi contoh sukses dari transportasi modern yang mendukung keberlanjutan dan kesejahteraan komunitas.

4. Simpulan

Melalui analisis SWOT, ditemukan bahwa proyek pembangunan sistem kereta bawah tanah rute Bandara Ngurah Rai - Canggu memiliki potensi yang kuat untuk berhasil. Dengan memanfaatkan kekuatan dan peluang yang ada serta mengatasi kelemahan dan ancaman yang diidentifikasi, proyek ini dapat memberikan solusi efektif untuk masalah transportasi di Bali. Oleh karena itu, berdasarkan analisis SWOT ini, proyek ini layak untuk dilaksanakan dan diharapkan akan memberikan manfaat jangka panjang bagi masyarakat dan perekonomian wilayah Bali.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih atas bantuan selama penelitian analisis SWOT ini terutama kepada kolega dosen PNB I Gede Artanegara dan mahasiswa S2 IAP Indah Komala Dewi

Daftar Pustaka

- [1] B. A. Hananto, J. R. Komala Hadi, K. O. Hernawan, and N. C. Gondo, "Analisa Form, Konten & Konteks Pada Peta Kereta Bawah Tanah New York City (1972) Karya Massimo Vignelli," *Titik Imaji*, vol. 3, no. 2, pp. 69–77, 2021, doi: 10.30813/v3i2.2529.
- [2] K. Api and B. Tanah, "Urgensi penerapan jalur kereta api bawah tanah untuk aspek keamanan," pp. 725–730.
- [3] M. Mashuri and D. Nurjannah, "Analisis SWOT Sebagai Strategi Meningkatkan Daya Saing," *JPS (Jurnal Perbank. Syariah)*, vol. 1, no. 1, pp. 97–112, 2020, doi: 10.46367/jps.v1i1.205.
- [4] A. M. I. Astuti and S. Ratnawati, "Analisis SWOT Dalam Menentukan Strategi Pemasaran (Studi Kasus di Kantor Pos Kota Magelang 56100)," *J. Ilmu Manaj.*, vol. 17, no. 2, pp. 58–70, 2020.
- [5] F. Andriani, N. N. Tasa, S. Nurhasanah, S. Oktaviani, and A. M. Putri, "Penerapan Analisis Swot Terhadap Penentuan Strategi Pemasaran (Studi Kasus Seblak dan Baso Aci Wak Acan Pekanbaru)," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 5, no. 2, pp. 2904–2910, 2021, [Online]. Available: <https://www.jptam.org/index.php/jptam/article/view/1317>

	<p>Universitas Brawijaya pada tahun 1992. Pendidikan magister Teknik Mesin diselesaikan di ITS Surabaya pada tahun 2000 dengan area riset tentang Vibrasi.</p>
<p>Pada tahun 2014 ia menyelesaikan pendidikan doktoral di Universitas Brawijaya, Malang. Sejak tanggal 1 Juni 2023 sebagai Guru Besar pada bidang Teknologi Rekayasa Material Maju di PS Teknik Mesin Unud. Saat ini ia bekerja sebagai dosen di PS Teknik Mesin Universitas Udayana. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah desain, manufaktur, mekanika getaran, dan material komposit.</p>	

Perubahan Kekerasan dan Densitas Material *High Tin Bronze* Akibat Penambahan Timah Hitam (Pb)

I Ketut Gede Sugita^{1)*}, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara², I Gede Suarjaya³

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

High-tin bronze merupakan material yang sering digunakan sebagai bahan gamelan karena kombinasi sifat mekanis dan akustik material ini sangat baik. Kelemahan paduan tersebut adalah getas. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas mekanis paduan tersebut yaitu dengan menambahkan logam timah hitam (Pb)

Pembuatan specimen uji dilakukan dengan proses pengecoran paduan High Tin bronze dengan penambahan logam timah hitam (Pb) dengan variasi sebesar 10%, 15%, dan 20%. Temperatur tuang yang digunakan adalah 950 °C.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekerasan material bertambah seiring dengan peningkatan penambahan timah hitam (Pb). Nilai kekerasan tertinggi didapat pada spesimen 80% (80%Cu-20%Sn) + 20% Pb dengan nilai rata-rata kekerasan vickers yaitu 224,19 VHN. Hal yang sama terjadi juga peningkatan densitas paduan seiring dengan penambahan timah hitam (Pb).

Kata kunci; high tin bronze, kekerasan, densitas dan timah hitam

Abstract

High-tin bronze is a material that is often used as gamelan material because of its excellent combination of mechanical and acoustic properties. The weakness of the alloy is brittle. Efforts can be made to improve the mechanical quality of the alloy by adding lead metal (Pb). The manufacture of test specimens was carried out by casting High Tin bronze alloy with the addition of lead metal (Pb) with variations of 10%, 15%, and 20%. The casting temperature used is 950°C. The test results show that the hardness of the material increases as the addition of lead (Pb) increases. The highest hardness value was obtained in the 80% (80%Cu-20%Sn) + 20% Pb specimen with an average vickers hardness value of 224.19 VHN. Similarly, the density of the alloy increased with the addition of lead (Pb).

Keywords; high tin bronze, hardness, density and lead

1. Pendahuluan

Penggunaan perunggu paduan tinggi (*high tin bronze*) yaitu komposisi 18-22% Sn, sebagai bahan musik/gamelan memiliki beberapa kelemahan, *High tin bronze* bersifat mudah pecah (retak), sehingga banyak produk gamelan mengalami retak maupun patah (Gambar 1). Perbandingan komposisi ini sangat memegang peranan penting pada proses produksi [1]. Perunggu timah putih juga tidak tahan terhadap lingkungan bertemperatur rendah berkisar $-(20 -25^{\circ}\text{C})$, yang dapat menyebabkan paduan ini menjadi getas, mudah terjadi retak (*crack*), suara yang dihasilkan kurang baik dan pendek [2]

Kegagalan material yang sering terjadi adalah retak maupun gamelan pecah. Hampir 15% produk gamelan mengalami retak maupun patah ketika ditempa (*forging*) maupun selama gamelan dimainkan di lapangan. Ketika gamelan digunakan/dimainkan, pemukulan yang berulang pada instrument gamelan akan menimbulkan getaran yang berulang secara terus menerus. Getaran ini menjadi input beban dinamis pada gamelan. Inisiasi retak awal yang terjadi pada saat pembentukan (*forging*) akan menjalar secara terus menerus seiring dengan banyaknya siklus getaran yang terjadi. Rambatan retak menjalar sangat cepat terjadi hingga gamelan menjadi patah karena perunggu bersifat getas.



Gambar 1 Bentuk patahan gamelan

Kecepatan retak pada material Gamelan berbahan *high-tin bronze* juga disebabkan oleh adanya void/porous yang tinggi selama proses pengecoran dan diperparah oleh sifat materialnya cenderung getas [3]. Cacat porositas ini terjadi karena gelembung udara yang larut dan terperangkap dalam proses pengecoran, selama proses pemadatan dengan menurunnya temperatur yang mengakibatkan kelarutan hidrogen dalam logam juga menurun. Hal ini menyebabkan hidrogen yang keluar akan membentuk gelembung, beberapa gelembung tidak dapat keluar ke udara dan tetap berada di dalam logam yang kemudian menyebabkan porositas (Hermawan, 2019). Porositas

*Korespondensi: Tel./Fax.: 0818553010

E-mail:

©Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

yang terjadi pada material perunggu sangat berdampak pada sifat akustik yang semakin buruk.

High-tin bronze dengan tambahan kandungan timah hitam (Pb) digunakan dalam aplikasi pembebanan kejut seperti bushing pin piston, bushing rocker, pelat aus, dan ring piston [4] Penambahan unsur timah hitam (Pb) pada paduan ini juga dapat meningkatkan karakteristik kekerasan dan perbaikan porositas yang terjadi. Sifat porous dan kekerasan sangat berpengaruh pada sifat akustik material, sehingga pada produk cor yang dihasilkan dengan campuran timah hitam (Pb) memiliki kekerasan yang lebih baik dibandingkan produk tanpa campuran timah hitam (Pb)[5]

Rekayasa paduan perunggu yang khusus digunakan sebagai bahan music seperti gamelan belum banyak dilakukan oleh peneliti. Beberapa penelitian perunggu sebagai instrumen musik yaitu perubahan struktur mikro dan damping capacity pada perunggu bell (bell bronze) akibat perlakuan temperatur anil 550°C-700°C [6], perubahan frekuensi dasar perunggu akibat tegangan sisa, laju solidifikasi terhadap struktur mikroperunggu. Pengaruh anil terhadap damping capacity tin bronze (dan sifat mekanik dan damping capacity perunggu silikon [7]

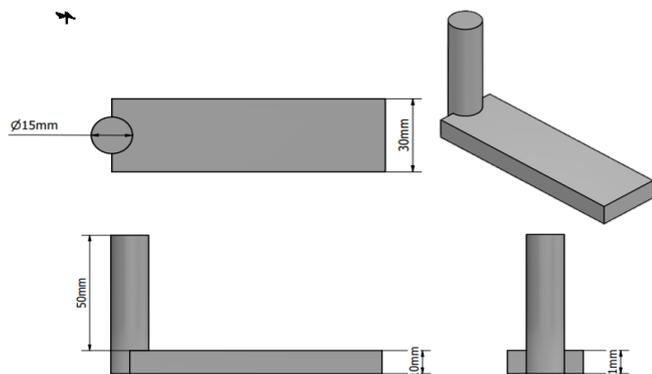
Berdasarkan latar belakang di atas penelitian ini menekankan pada rekayasa perunggu (high tin bronze) yang memiliki sifat mekanis dan akustik yang lebih baik dibandingkan dengan perunggu bahan gamelan yang telah digunakan

2. Metode Penelitian

2.1. Rancangan penelitian

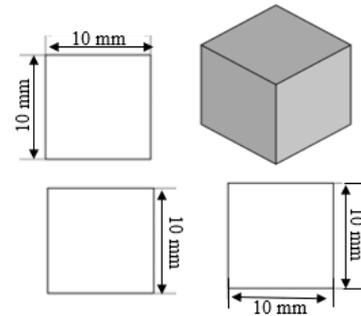
Bahan paduan hasil coran 80%Cu-20%Sn (*High-Tin Bronze*) digunakan adalah Timah Hitam (Pb) yang sudah ditimbang dengan massa sesuai dengan variabel yang digunakan yaitu : 10%, 15%, dan 20%.

Bahan paduan dilebur pada dapur crucible. Termokopel tipe K digunakan untuk mengukur temperature penuangan. Paduan yang telah melebur, kemudian dituang pada cetakan pada temperature tuang 950 °C. Logam paduan 80%Cu-20%Sn dan timah hitam (Pb) cair kemudian didinginkan dalam temperatur ruang hingga membeku. Setelah membeku selanjutnya dilakukan pembongkaran dari cetakan tanah dan dibersihkan dari kotoran – kotoran yang menempel



Gambar 2. Pola cetakan specimen uji

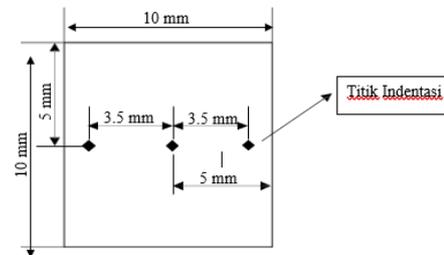
2.2. Prosedur pengujian kekerasan



Gambar 3 Gambar specimen uji kekerasan

Prosedur pengujian pengujian kekerasan menggunakan standar ASTM E384.

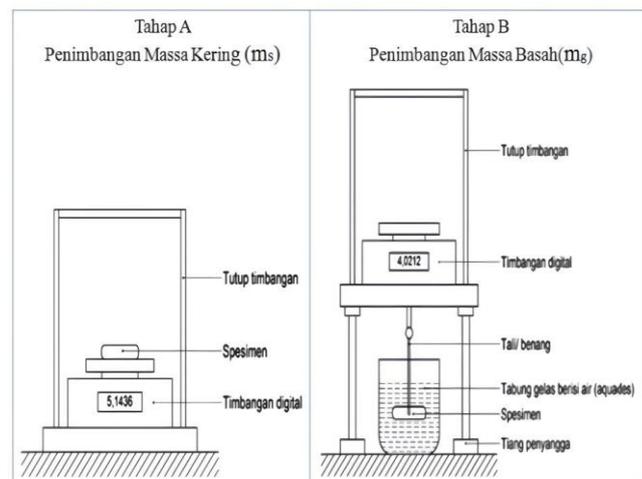
Proses pengujian kekerasan pada setiap specimen hasil coran dilakukan pengujian sebanyak tiga titik indentasi, selanjutnya nilai kekerasan yang diambil pada satu specimen merupakan rata-rata dari nilai hasil pengujian pada ke tiga titik tersebut.



Gambar 4 Titik indentasi

2.3 Pengukuran Densitas

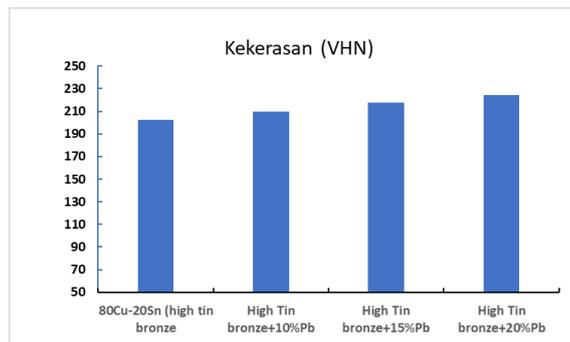
Material hasil coran dipotong terlebih dahulu sesuai ukuran. Dimensi specimen pengujian densitas dan porositas sama dengan dimensi specimen pengujian kekerasan pada gambar 3. Penentuan densitas diterapkan secara hukum Archimedes



Gambar 5 Pengujian densitas [9]

3. Hasil dan Pembahasan

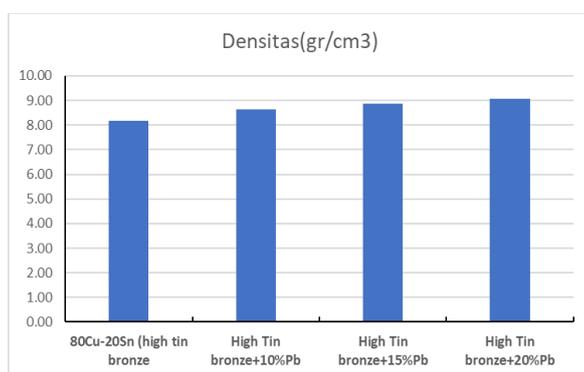
3.1 Hasil Data Pengujian *Hardness Vickers*



Gambar 6 Nilai kekerasan paduan

Berdasarkan data yang didapatkan hasil dari pengujian *Hardness Vickers* yang telah dilakukan pada spesimen paduan *High-Tin Bronze* (80%Cu-20%Sn) dengan penambahan timah hitam (Pb) sebesar 10%, 15% dan 20% pada temperature 950 °C, terjadi kenaikan nilai kekerasan pada setiap penambahan timah hitam (Pb). Peningkatan nilai kekerasan ini disebabkan oleh campuran timah hitam (Pb) mampu mengurangi porositas yang terjadi pada logam, sehingga produk cor yang dihasilkan dengan campuran timah hitam (Pb) memiliki kepadatan/kerapatan sempurna [5] Timah hitam (Pb) juga memiliki sifat deoksidasi, yang berarti dapat menghilangkan oksigen dari lelehan *high-tin bronze*. Oksigen dapat bereaksi dengan tembaga dan membentuk oksida tembaga, yang dapat menyebabkan pelemahan struktur dan penurunan kekerasan. Penambahan timah hitam (Pb) membantu menghilangkan oksigen dan mengurangi pembentukan oksida tembaga, sehingga meningkatkan kekerasan perunggu [10][11][12]

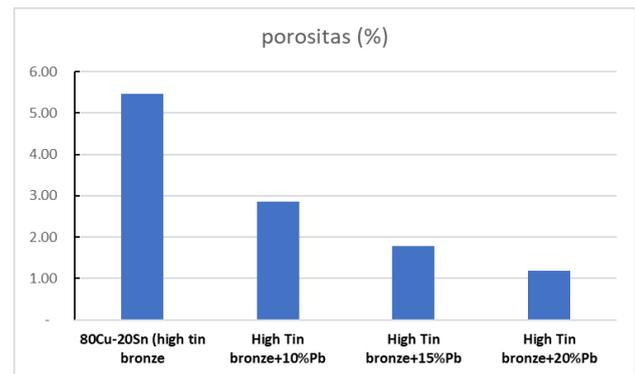
3.2 Hasil Pengukuran Densitas



Gambar 7 Nilai densitas paduan

Pada gambar 7 menunjukkan grafik nilai rata-rata densitas aktual spesimen paduan *high-tin bronze* 80%Cu-20%Sn dengan penambahan timah hitam (Pb). Spesimen pada paduan 80% (80%Cu-20%Sn) + 20% Pb memiliki nilai rata-rata densitas aktual tertinggi sebesar 9,06 gr/cm³ dan nilai terendah pada spesimen paduan *high-tin bronze* 80%Cu-20%Sn dengan nilai rata-rata densitas aktual sebesar 8,15 gr/cm³. Kenaikan

densitas paduan diakibatkan karena adanya penurunan porositas paduan seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Nilai porositas paduan

Penurunan nilai porositas pada paduan *high-tin bronze* 80%Cu-20%Sn diakibatkan oleh penambahan timah hitam (Pb). Timah hitam memiliki viskositas yang lebih tinggi daripada tembaga (Cu), bahan utama dalam perunggu. Ketika timah hitam (Pb) ditambahkan ke dalam lelehan *high-tin bronze*, viskositas keseluruhan campuran akan meningkat. Hal ini menyebabkan logam cair mengalir lebih lambat dan mengisi rongga udara dan pori-pori dengan lebih sempurna pada proses pendinginan [13][4]. Timah hitam (Pb) juga memiliki tegangan permukaan yang lebih rendah daripada tembaga. Tegangan permukaan adalah gaya yang menarik permukaan cairan ke dalam, sehingga menyebabkan pembentukan pori-pori. Penambahan timah hitam (Pb) akan menurunkan tegangan permukaan campuran, sehingga mengurangi pembentukan pori-pori yang menyebabkan porositas.

4. Simpulan

1. Penambahan timah hitam (Pb) dapat meningkatkan nilai kekerasan pada paduan *High-Tin Bronze* (80%Cu-20%Sn). Nilai kekerasan pada paduan *High-Tin Bronze* (80%Cu-20%Sn) tanpa penambahan timah hitam (Pb) lebih kecil dibandingkan pada paduan *High-Tin Bronze* (80%Cu-20%Sn) dengan penambahan timah hitam (Pb). Nilai kekerasan tertinggi didapat pada paduan 80% (80%Cu-20%Sn) + 20% Pb dengan nilai rata-rata kekerasan yaitu 224,19 VHN, sedangkan nilai kekerasan terendah didapatkan pada paduan paduan *High-Tin Bronze* (80%Cu-20%Sn) tanpa penambahan timah hitam (Pb) dengan nilai rata-rata yaitu 202,42 VHN.

2. Penambahan timah hitam (Pb) pada paduan *High-Tin Bronze* (80%Cu-20%Sn) dapat meningkatkan densitas sehingga menurunkan porositas yang terjadi pada

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

Universitas Udayana atas pembiayaan penelitian ini dengan kontrak B/255.317/UN14.4.A/PT.01.03/2024

Daftar Pustaka

- [1] Sugita, I Ketut Gede, Soekrisno, R., Miasa, I Made, Suyitno, 2010, Karakteristik Solidifikasi Pengecoran Perunggu 80%Cu-20% Sn pada Cetakan Pasir dan Cetakan logam. Prosiding Seminar nasional Teknik Mesin UNRAM Lombok, ISBN 978.602.8323.06.7.
- [2] Lisovskii, V.A, Lisovskaya, O.B, Kochetkova, L.P, Favstov, Yu.K, 2007, *Sparingly Alloyed Bell Bronze With Elevated Parameters Of Mechanical Properties*, Journal Metal
- [3] Dwipayana, I. M. K. (2016). *Karakteristik Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro Perunggu Timah Putih (80%Cu– 20%Sn) Dan Perunggu Silikon (95%Cu– 5%Sn) Pada Zone Pembekuan Pengecoran Cetakan Pasir*
- [4] Namini, As; Azadbeh, M.; Mohammadzadeh, A.; Shadpour, S. *Sintering Fase Cair Dari Bubuk Paduan Perunggu Timah Bertimbal*. Trans. Inst. India. Bertemu.2016.
- [5] Hermawan, Rian Candra And , Agus Yulianto, St, Mt (2019) *Pengaruh Penambahan Timah Hitam (Pb) Sebesar 20% Pada Pengecoran Menggunakan Bahan Aluminium Ukuran 10x10 Cm Dengan Media Cetak Pasir Merah*. Skripsi Thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [6] Favstov Yu. K, Zhraev, L.V., Kochetkova, L.P., 2003, Structure and Damping Capacity of Br022 Bell Bronze, Journal Metal science and Heat treatment, Vol.45, pp. 449-451.
- [7]. Sugita, I Ketut Gede, Soekrisno, R., Miasa, I Made, Suyitno, 2011. The Effect of Annealing Temperature on Damping Capacity of the Bronze 20%Sn Alloy, International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering. IJMME/IJENS. Vol 11 No 04.
- [8] Sugita, I Ketut Gede, Soekrisno, R., Miasa, I Made, Suyitno, 2011, Mechanical and Damping Properties of Silicon Bronze for Musik Applications International Journal of Engineering & Technology IJET/IJENS Vol 11 No 04
- [9] Qohar, A., Ketut, I., Sugita, G., & Lokantara, P. (2017). Pengaruh Permeabilitas Dan Temperatur Tuang Terhadap Cacat Dan Densitas Hasil Pengecoran Aluminium Silikon (Al-Si) Menggunakan Sand Casting. Dalam Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika (Vol. 6, Nomor 1).
- [10] Endy, Sidik Wacono And , Agus Yulianto, St, Mt (2019) *Pengaruh Penambahan Timah Hitam (Pb) Sebesar 20% Pada Pengecoran Menggunakan Bahan Aluminium Ukuran 10x10 Cm Terhadap Nilai Kekerasan Dengan Media Cetakan Permanen*. Skripsi Thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [11] Audy, J. & Audy, K., 2008. *Analysis Of Bell Materials: Tin Bronzes*. *China Foundry*, 5(3), Pp.199– 204
- [12] Srinivasan, S. Et Al., 2007. Megalithic High-Tin Bronzes And Peninsular India " S " Living Prehistory " Sharada Srinivasan. , (Srinivasan 1994
- [13] Sugita, I., & Astawa, K. (2016). *Studi Dendrite Arm Spacing (DAS) Dan Akustik Pada Pengecoran Perunggu 20% Sn Sebagai Bahan Gamelan*. Buletin Udayana Mengabdi, 15(1), 44–49.

Pengembangan Pengidentifikasi Panel Surya Hibah Pemerintah Yang Terhenti Sehingga Merancang Guna Penerangan Di Pulau Saibi - Mentawai

Melya D.Sebayang^{1)*}, Rachmad Samosir⁽²⁾, Williams Awola³⁾

^{1,2)}Dosen Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia;

³⁾Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia

Abstrak
<p>Perancangan ulang panel surya yang mangkrak di Pulau Saibi agar dapat digunakan kembali sebagai sumber energi alternative dalam menghidupkan pompa air. Panel Surya yang digunakan pada perancangan ulang ini berjumlah 48 keping dengan berkapasitas 200 WP. Energi yang dihasilkan dari panel surya disimpan pada baterai dengan kapasitas 48 volt 400 Ah. Peralatan listrik yang digunakan masih tegangan bolak balik, maka diperlukan sebuah inverter agar mengubah tegangan searah yang dihasilkan pada panel surya menjadi tegangan bolak balik yang kemudian akan digunakan sebagai sumber energi listrik untuk mengoperasikan pompa air serta peralatan listrik lainnya.</p> <p>Kata Kunci : Energi alternative , Panel Surya, Saibi, Sumber energi</p>
Abstract
<p>Redesigning the stalled solar panels on Saibi Island so that they can be reused as an alternative energy source to power water pumps. There are 48 solar panels used in this redesign with a capacity of 200 WP. The energy produced from the solar panels is stored in a battery with a capacity of 48 volts 400 Ah. The electrical equipment used is still alternating voltage, so an inverter is needed to convert the direct voltage produced on the solar panels into alternating voltage which will then be used as a source of electrical energy to operate water pumps and other electrical equipment.</p> <p>Keyword : Alternative energy, Solar Panels, Saibi, Energy sources</p>

1. Pendahuluan

Energi listrik adalah kebutuhan pokok dalam berbagai segi kehidupan manusia ¹⁾ dan ahli energy alternative melakukan berbagai penelitian memanfaatkan berbagai energi alternatif , salah satu diantaranya adalah pembangkitan Listrik Tenaga Surya dan pembangkitan Listrik Tenaga air. Pada tahun 2005, banyak pemasangan panel surya berupa hibah pemerintah untuk kebutuhan penerangan bagi masyarakat terpencil, salah satunya di pulau Saibi Kab. Mentawai. Saat ini pembangkit listrik tersebut tidak berfungsi lagi seperti pada Gambar 1 yaitu Gambar Panel Surya yang terhenti, juga berdasarkan undangan dari Bappeda Mentawai untuk melakukan perancangan ulang seperti gambar 2.



Gambar 1. PLTS Bantuan Pemerintah yang terhenti Dengan mengaktifkan kembali panel surya yang ada akan membantu masyarakat untuk memenuhi kebutuhan penerangan, dan dengan rekayasa desain, air yang

masuk kedalam turbin akan menghasilkan energi listrik.



Gambar 2. Surat Undangan dari Bappeda Mentawai

Penelitian ini bertujuan untuk memastikan apakah panel surya yang telah terpasang dan mangkrak saat ini masih dapat diaktifkan kembali. Menghasilkan suatu rancangan turbin air sebagai pembangkit energi listrik.

*Korespondensi:

E-mail: melcan_sebayang@yahoo.co.id

2. Dasar Teori

Solar cell atau Panel surya merupakan peralatan yang dapat mengubah sinar matahari ke energi listrik. Sinar matahari diserap oleh panel surya menyerap lalu berubah menjadi menjadi energi listrik. Proses radiasi yang ditimbulkan oleh sinar matahari dibiaskan menjadi foton – foton yang mempunyai tingkat energi yang berbeda satu sama lain. Hal ini menjelaskan kejadian terbentuknya tegangan listrik yang diakibatkan dari saling kontak dua buah elektroda yang terhubung ke sistem padatan maupun cairan saat di letakkan di bawah sinar matahari. Perbedaan tingkat energi foton cahaya yang di terima dari panel surya ini akan memicu terjadinya energi listrik, akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya.



Gambar 3. Panel Surya

3. Data dan Analisa

3.1. Identifikasi Pembangkit Listrik tenaga surya untuk rumah tangga.

Panel surya bantuan pemerintah untuk masyarakat banyak terhenti, hal tersebut terjadi karena masyarakat kurang memahami bagaimana perawatan instalasi panel surya tersebut, sementara bantuan tersebut diberikan cukup lengkap yaitu inverter untuk merubah arus DC menjadi arus AC, controller yang sangat cukup, panel surya dengan kapasitas 100 Wp, instalasi penerangan secukupnya. Hasil pengamatan instalasi PLTS tersebut rusak karena menggunakan arus listrik langsung dari batteray, sehingga isi batteray bisa sampai habis total yang semestinya disisakan sekitar 30 %, penggunaan yang tidak sesuai ketentuan yakni melepas controller, sehingga arus listrik dari panel langsung masuk ke baterai. tidak membersihkan panel surya dari kotoran sehingga kapasitas pengisiannya jadi berkurang.

Mesin controller mempunyai fungsi untuk pengaturan arus, baik mengatur voltage dan juga melindungi batteray agar tidak sampai habis total (penggunaan akan berhenti jika batteray tinggal 30 %). Batteray 50 Ah jika terisi penuh dapat mensuplay arus listrik $70\% \times 50 \text{ Ah} = 35 \text{ Ah}$. Pengisian Batteray yang dihasilkan Panel surya : $Q = I \times h$, dengan Q = kapasitas pengisian (Ah), I = Kuat arus (A) \rightarrow untuk panel 100 Wp maka $I_{max} = \frac{100 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 8,3 \text{ A}$ dan h = waktu pengisian (h) = jam. Bila diambil rata-rata perhari pengisian maksimum 7 jam, maka kapasitas arus listrik yang bisa ditampung adalah : $8,3 \text{ A} \times 7 \text{ jam} = 58 \text{ Ah}$, namun karena kapasitas baterai adalah 35Ah, maka kelebihan arus akan terbuang dengan sendirinya yang diatur oleh controller, sementara bila instalasi PLTS tidak menggunakan controller maka

batteray akan cepat rusak. Lampu yang digunakan $4 \times 5 \text{ Watt} = 20 \text{ Watt} \rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{20 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 1,67 \text{ A}$. Kuat arus yang tersedia : $\frac{35 \text{ Ah}}{12 \text{ h}} = 2,95 \text{ A}$ nilai ini jauh lebih besar dibanding penggunaan 1,67 A. Dari perhitungan diatas dapat diambil kesimpulan, jika sinar matahari berkurang lampu sebanyak 4 buah masih tetap bisa bersinar (menyala).

3.2. Identifikasi Panel surya Pembangkit Listrik penggerak Pompa

Pompa hibah pemerintah menggunakan penggerak Motor Listrik, sehingga membutuhkan arus listrik. Untuk memenuhi kebutuhan arus listrik penggerak pompa tersebut dipasang 48 keping panel surya, dimana masing masing keping mempunyai kapasitas 200 wattpeak (Wp), sehingga total arus listrik yang diperoleh adalah sebesar $48 \times 200 \text{ Watt} = 9.600 \text{ Watt} = 9,6 \text{ kW}$.

4. Kesimpulan

Perancangan kembali panel surya untuk menggerakkan pompa air, masyarakat di Saibi akan dapat memenuhi kebutuhan air bersih mereka bila kelengkapan peralatan PLTS yang sudah mangkrak di rancang ulang sesuai dengan hasil perancangan dengan hasil dapat terpenuhi kebutuhan air sebanyak 3181 jiwa dengan pemakaian per orang nya $200 \text{ dm}^3/\text{hari}$ debit air yang dibutuhkan adalah $636.200 \text{ dm}^3/\text{hari}$. Daya yang diperoleh dari 48 keping panel surya selama 6 jam adalah 57.600 Wh .

Daftar Pustaka

- [1] <http://www.steorn.com/2019/07/energi-listrii-k-sangat-dibutuhkan/>, “ Energi yang dibutuhkan, 2019
- [2] <https://id.wikipedia.org/wiki/Mikrohidro>, Wikipedia Mikrohidro
- [3] “Sel surya : Struktur & Cara kerja”, <https://teknologisurya.wordpress.com/dasarteknologi-selsurya/prinsip-kerja-sel-surya/>
- [4] “Prinsip Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Surya”, Diskusi Energi Baru Terbarukan, 26 Juni 2009, <http://rajarenewableenergy.blogspot.co.id/2009/06/prinsip-dasar-pembangkit-listriktenaga.html>
- [5] “Bagaimana Panel Tenaga Surya Bekerja”, <http://www.carakukerja.com/2014/10/bagaimana-panel-tenaga-surya-bekerja.html>
- [6] Samosir, R., & Sebayang, M. D. (2016). PERANCANGAN KINCIR ANGIN UNTUK MENDUKUNG PANEL SURYA (PV array) SEBAGAI PENERANGAN PADA KERAMBA DI WADUK CIRATA.

- [7] Surojo, Mochamad.Ashari dan Mauridhi Hery Purnomo; "Desain dan simulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Sel Surya menggunakan Fuzzy Logic Control Untuk Kontrol Boost Konverter",ITS,<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Master-13140-Paper.pdf>

Analisis Pengaruh Diferensial Temperatur Di Kondenser Terhadap Cop Untuk Mengoptimalkan Performa Ac Tipe Water Cooled Chiller

I Gede Agus Aristama Putra^{1)*}

¹⁾Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Sudirman Denpasar Bali.

²⁾Departemen Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Jimbaran Bali.

Abstrak

Perkembangan ilmu dan teknologi sangat pesat seiring dengan perkembangan tersebut menunjukkan perubahan yang signifikan. Salah satunya adalah hampir setiap gedung memiliki AC, AC adalah penyumbang penggunaan listrik terbesar dari sebuah gedung mencapai 47%-54% dari total daya listrik yang dibutuhkan. Untuk itu perlu dilakukan pengoptimalan performa AC untuk menjaga penggunaan energinya tetap efisien. Pada AC tipe water cooled diferensial temperatur kondenser dan evaporator dapat memberikan dampak yang signifikan bagi penggunaan energi. Dalam penelitian ini dilakukan analisis pengaruh dari peningkatan diferensial temperatur di kondenser dari beberapa variasi diferensial temperatur terhadap COP sebagai salah satu acuan dari performa AC, namun dengan kondisi diferensial temperatur evaporator tidak berubah atau tetap. Dimana penelitian ini menggunakan P-h diagram untuk menghitung efek refrigrasi dan kerja kompresi. Pada penelitian dilakukan pengambilan data selama 3 bulan dan ditemukan bahwa peningkatan diferensial temperatur sebesar 1.2 C menyebabkan menurunnya COP sebesar 11.5 % dan meningkatnya penggunaan daya dari kompresor sebesar 13.7 % atau 88.2 kW dalam dari penelitian ini ditemukan bahwa salah satu langkah penghematan energi dari AC tipe water cooled adalah menjaga diferensial temperatur serendah rendahnya.

Kata Kunci : AC tipe water cooled, diferensial temperatur kondenser, COP, P-h diagram

Abstract

Abstract-- The development of science and technology is very rapid along with these developments showing very significant changes. One of them is almost every building has AC, AC is also the biggest contributor to use of electricity from a building, reaching 47% -54% of the total electric power. For this reason, it is necessary to prioritize AC performance to maintain efficient energy use. In AC type water cooled the differential temperature of the condenser and evaporator can have a significant impact on energy use, in this study an analysis of the effect of the temperature differential increase in the condenser of some temperature variations on COP as a reference of AC performance, but with the differential temperature the evaporator temperature does not change. Where this study uses P-h diagrams to calculate the effects of refrigeration and compression work. In this study it was found that an increase in the temperature differential of 1.2 C caused a decrease in the COP of 11.5% and an increase in the power usage of the compressor of 13.7% or 88kW and from this study it was found that one of the energy saving of water cooled air conditioners was to maintain temperature differentials condenser remains low.

Keywords : AC type water cooled, condenser temperature differential, COP, P-h diagrams

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu dan teknologi sangat pesat seiring dengan perkembangan tersebut menunjukkan perubahan yang sangat signifikan. Begitu juga perkembangan teknologi dibidang alat pengkondisi udara atau AC (Air Conditionig) hasil perkembangan ini dapat dilihat dari berbagai bidang kehidupan contohnya setiap perkantoran, hotel, rumah makan, rumah tangga, maupun gedung-gedung pada umumnya memiliki AC sehingga nyaman digunakan untuk beraktifitas sehari – hari. AC juga adalah penyumbang penggunaan listrik terbesar dari sebuah gedung, mencapai 47%-54% dari total daya listrik keseluruhan (Suamir et al., 2019).

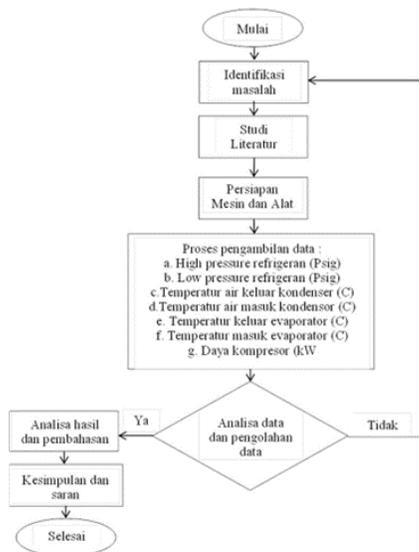
Salah satu jenis AC yang sering digunakan sebuah gedung adalah AC tipe *water cooled* salah satu contohnya memiliki kapasitas pendinginan

1245 TR, dengan refrigeran R-134A. AC jenis ini menggunakan refrigeran sekunder atau air sebagai media pendinginannya dimana air dengan temperatur rendah dievaporator di distribusikan menggunakan bantuanpompa ke masing-masing Air Handling Unit (AHU) dan Fan Coil Unit (FCU). Pendinginan kondenser juga menggunakan air dimana refrigran melepaskan kalornya ke media air selanjutnya air panas di kondenser di pompa menuju cooling tower untuk didinginkan selanjutnya air dari cooling tower kembali lagi ke kondenser. Sebuah studi dilakukan dengan mengoptimalkan set point air AC tipe *water cooled* di kondenser hasilnya menunjukkan bahwa dengan cara itu dapat dilakukan penghematan energi sekitar 9% (Sen Huang., 2014), namun air di kondenser dapat menyebabkan kerak dipermukaan pipa dimana timbulnya kerak pada kondenser akan

menyebabkan meningkatnya diferensial temperatur air dengan refrigeran. Diferensial temperatur di kondenser dan evaporator dapat memberikan dampak yang signifikan bagi penggunaan energi, ditemukan bahwa peningkatan 1 C diferensial temperatur di kondenser dan evaporator menyebabkan meningkatnya 3% konsumsi energi dan penurunan kapasitas pendinginan sebesar 1% (Suamir et al., 2015), hal ini tentunya dapat menurunkan COP dari AC tipe *water cooled*. Di salah satu studi menggunakan AC tipe *water cooled* yang dilakukan dipusat perbelanjaan ini menunjukkan bahwa konsumsi energi yang tinggi bukan hanya menurunkan COP namun menyebabkan meningkatnya emisi CO₂ yang mana tentunya dapat merusak lingkungan (Baliarta et al., 2014). Maka dari itu pada tugas akhir ini dilakukan analisis pengaruh diferensial temperatur di kondenser terhadap COP dengan metode termodinamika untuk mengoptimalkan performa AC tipe *water cooled*

2. Metodologi

Diagram alir merupakan sebuah diagram yang menggambarkan tahapan yang dilakukan meliputi identifikasi masalah, studi literatur, persiapan alat, proses pengambilan data, analisis data dan hasil hingga kesimpulan dan juga berfungsi untuk mempermudah proses penelitian dan penulisan, yang terdapat pada gambar.1



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan tahap pertama penelitian yang harus dilakukan. Identifikasi masalah merupakan salah satu proses penelitian yang paling penting untuk menentukan suatu masalah yang ada. Identifikasi masalah akan menjadi arah kemana penelitian akan diangkat. Permasalahan yang diteliti oleh penulis adalah pengaruh diferensial temperatur di

2.2 Studi Literatur

Selain identifikasi masalah tahapan awal dari suatu penelitian ini adalah melakukan sebuah studi literatur baik dari buku, jurnal dan artikel di beberapa situs internet yang membahas pengaruh diferensial temperatur terhadap COP di kondenser AC tipe *water cooled*. Dari studi literatur yang telah dilakukan, di dapat suatu gambaran prinsip kerja mesin AC tipe *water cooled* serta hal – hal yang mempengaruhi diferensial temperatur di kondenser yang telah dilakukan sebelumnya. Kemudian informasi yang telah didapatkan lalu di kumpulkan serta digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini.

2.3 Persiapan Mesin dan Alat

Selanjutnya proses yang dilakukan adalah melakukan persiapan pada mesin dan alat yang akan di analisis memastikan mesin dan alat dapat bekerja dengan baik sehingga data yang didapat akurat, dalam penelitian ini mesin yang digunakan adalah AC tipe *water cooled* dengan refrigeran R-134a dengan kapasitas 1245 TR. Adapun spesifikasi mesin tersebut adalah sebagai berikut,

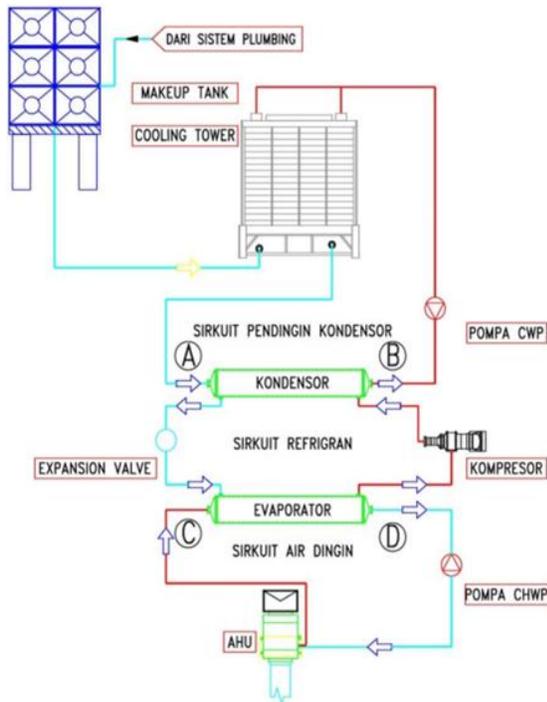
Unit Tag		Qty	Model No.	Capacity (tons)	Power	Refrigerant
CH-01---03		1	YKQOQRK25CXG	1245	380 3/50	R-134A
YORK A JOHNSON CONTROLS COMPANY						
YK MAXE CHILLER PERFORMANCE SPECIFICATION						
Unit Data		Evaporator		Condenser		
IWT (°F)	57.20	57.20		66.00		
LWT (°F)	42.80	42.80		95.11		
Flow Rate (gpm)	2072	2072		3750		
Pressure Drop (ft)	13.3	13.3		21.5		
Fluid Type (%)	WATER	WATER		WATER		
Circuit No. of Pumps	2	2		2		
Insulation Factor (ft ³ hr / ft ² Btu)	0.00010	0.00010		0.00025		
Tube No. / Description	272 - 0.028" Enhanced Copper	262 - 0.035" CHL. Enhanced Copper		262 - 0.035" CHL. Enhanced Copper		
Design Working Pressure (psig)	150	150		150		
Entering Water Nozzle @ Location	KK	KK		T		
Leaving Water Nozzle @ Location	JJ	JJ		U		
Water Box Weight, ea (lbs)	647	647		385		
Cover Plate Weight, ea (lbs)	N/A	N/A		N/A		
Return Head Weight (lbs)	495	495		276		
Water Weight (lbs)	3704	3704		3377		
Water Volume (gal)	445	445		405		
Performance Data						
Job KW	702	Job FLA	1180	Operating Wt. (lbs)	5073	
Motor KW	687	Motor FLA	1165	Pre Isolator (lbs)	1476a	
KW/Ton	0.564	I.R.A.	7404	Refrigerant Wt. (lbs)	4100	
NPLV (%)	0.347	Inrush Amps	1180	Oil Charge (gals)	20	
Gear Code	FB	Min Circuit Ampacity (Amps)	1475	Motor Wt. (lbs)	6800	
Optional Contr.	Yes	Min Fuse/Breaker	2500	Compressor Wt. (lbs)	4600	
Shalt HP	667			Starter Wt. (lbs)	1530	
Isolation Valves	YES			Shipping Wt. (lbs)	48202	
Oil Cooler Type	Standard					
Condenser Inlet	Diffuser					
		Type Starter	Variable Speed Drive			

Gambar 2. Spesifikasi AC tipe **water cooled**

2.4 Pengambilan Data

Pada pengujian ini data-data yang diambil menggunakan metode pengukuran otomatis dari optiview control center, lalu data data tersebut dicatat secara langsung, dan terus menerus dalam waktu yang bersamaan untuk berbagai parameter seperti tekanan refrigeran pada evaporator dan kondensor, daya yang dibutuhkan kompresor, dan temperatur air masuk dan keluar pada evaporator dan kondensor. Dilakukan setiap jam selama mesin

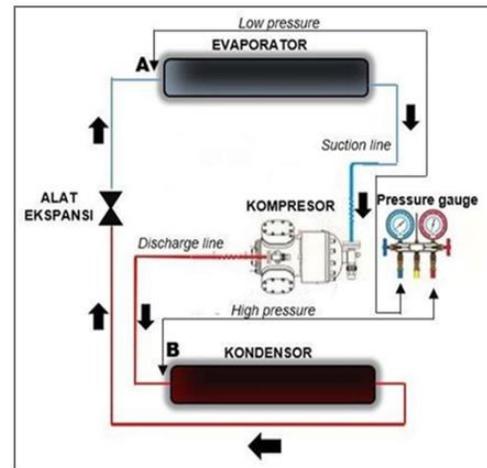
beroperasi kemudian di ambil rata-ratanya tiap bulan selama 3 bulan. Dan berikut adalah titik pengukuran sistem fluida jenis air pada AC tipe *water cooled* terdapat pada gambar 3



Gambar 3. Titik pengukuran refrigeran skunder
Dimana :

- Titik pada A merupakan temperatur air menuju kondensor yang kalornya sudah di buang pada cooling tower
- Titik pada B merupakan titik pengukuran temperatur air yang bertemperatur tinggi hasil perpindahan panas refrigeran pada kondensor jenis shell and tube
- Titik pada C merupakan titik pengukuran temperature air yang masuk ke evaporator dari FCU atau AHU
- Titik pada D merupakan titik pengukuran merupakan temperatur air yang keluar dari evaporator yang sudah melepas kalornya untuk didistribusikan ke AHU maupun FCU.

Dan berikut untuk titik pengukuran data tekanan refrigerant pada AC tipe *water cooled* :



Gambar 4. Titik pengukuran tekanan refrigeran primer
Dimana:

Dimana:

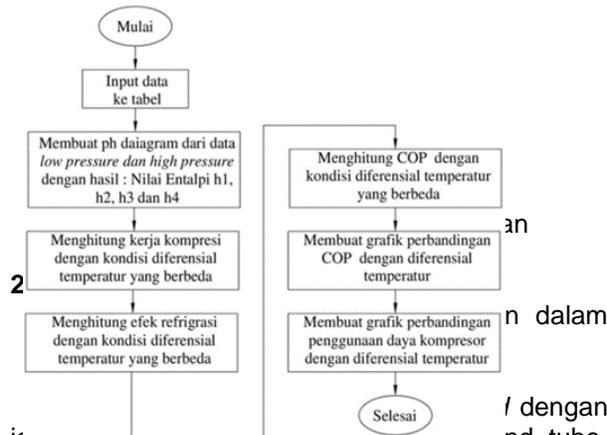
- Titik A merupakan titik pengukuran tekanan refrigeran primer jenis R123 pada posisi low pressure
- Titik B merupakan titik pengukuran tekanan refrigeran primer jenis R123 pada posisi high pressure

Kemudian data-data tersebut dirangkum dalam tabel dan dirata ratakan setiap bulannya selama 3 bulan dengan variasi diferensial temperatur yang berbeda.

2.5 Analisa Data dan Pengolahan Data

Tahap ini adalah suatu proses analisa data dan pengolahan data yang telah dikumpulkan. Proses perhitungan yang dilakukan dengan cara simulasi termodinamika mengenai efek refrigrasi, kerja kompresi, COP, diferensial temperature dan daya kompresor dengan variasi diferensial temperature yang berbeda. Perhitungan ini juga menggunakan diagram ph untuk menentukan enthalpy dari sistem AC tipe *water cooled* dengan

variasi diferensial temperatur yang berbeda. Berikut dibawah ini adalah diagram alir tahapan perhitungan dengan cara simulasi termodinamika setelah mendapatkan data yang sesuai.



jenis kondensator dan evaporator shell and tube, dalam penelitian ini berfokus pada komponen kondensator dimana pengaruh pengotoran air di kondensator diamati dan diteliti apa saja yang dipengaruhi oleh pengotoran air tersebut agar dapat diperoleh proses penyerapan kalor dan performa AC tipe *water cooled* yang maksimal. Gambar kondensator AC tipe *water cooled* dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 6. AC tipe *water cooled*

3. Hasil dan Pembahasan

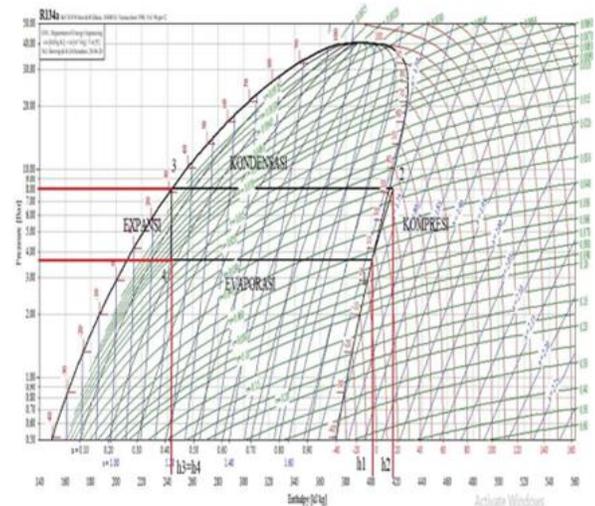
Data dari hasil pengukuran langsung diolah dan dianalisis. Untuk mengetahui pengaruh diferensial temperatur kondensator terhadap COP dari AC tipe *water cooled*. Data yang diolah adalah per jam yang telah dirata rata kan perbulannya selama 3 bulan pada bulan Agustus-Oktober 2023. Parameternya meliputi daya

Tabel 1. Data pengukuran

DATA AC TIPE WATER COOLED			
Time :	Agustus	September	Oktober
Evaporator			
Leaving water temperatur (C)	6.0	6.0	6.0
Standar deviasi	0.056	0.049	0.049
Return water temperatur (C)	11.6	11.8	11.9
Standar deviasi	0.229	0.211	0.204
Low pressure (Bar)	2.64	2.64	2.64
Standar deviasi	0.040	0.012	0.012
Evaporator saturation temp (C)	5.4	5.4	5.4
Standar deviasi	0.085	0.112	0.077
Condensator			
Condensator Water Inlet (C)	26.9	27.8	28.3
Standar deviasi	1.016	0.766	0.794
Condensator Water Outlet (C)	31.5	32.6	33.1
Standar deviasi	1.120	0.923	0.938
High pressure (Bar)	7.05	7.43	7.71
Standar deviasi	0.275	0.233	0.259
Condensator saturation Temp.(C)	31.6	33.3	34.4
Standar deviasi	1.194	1.046	1.074
Daya Compressor (kW)	554.4	611.1	642.6
Standar deviasi	43.274	42.018	41.681

3.1 Perhitungan Bulan Agustus

Perhitungan ini dilakukan menggunakan ph diagram dengan berdasarkan data yang sudah didapatkan pada saat pengujian dan berikut adalah hasil pengolahan datanya :



Gambar 9. ph diagram bulan Agustus

Diketahui :

$$h1 = 400.733 \text{ kJ/kg}$$

input kompresor, tekanan dan temperatur refrigeran kondensator, tekanan dan temperatur refrigeran pada sisi evaporator dan temperatur keluar masuk air pada setiap bulannya. Berikut adalah data hasil pengukuran

$$h2 = 417.072 \text{ kJ/kg}$$

$$h3 = h4 = 243.712 \text{ kJ/kg}$$

Ditanya : ER

Dijawab :

$$ER = h1 - h4$$

$$ER = 400.733 \text{ kJ/kg} - 243.712 \text{ kJ/Kg}$$

$$ER = 157.021 \text{ KJ/Kg}$$

Ditanya : Wk ?

Dijawab :

$$Wk = h2 - h1$$

$$Wk = 417.072 \text{ kJ/kg} - 400.733 \text{ kJ/kg}$$

$$Wk = 16.399 \text{ kJ/kg}$$

Ditanya: COP?

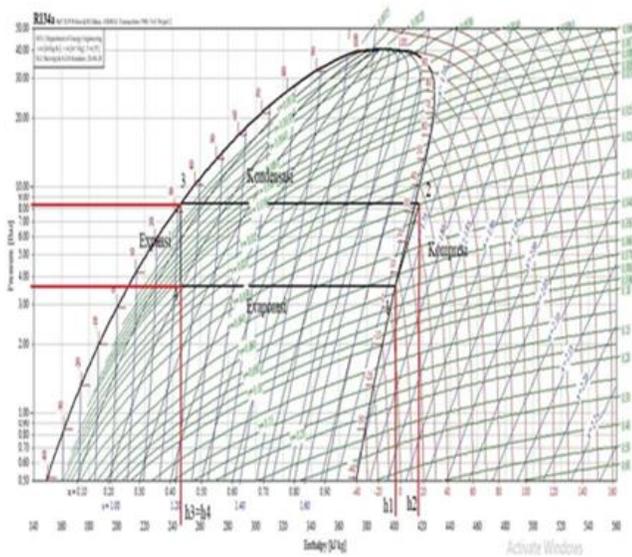
$$COP = ER/Wk$$

$$COP = (157.021 \text{ kJ/kg}) / (16.399 \text{ kJ/kg})$$

$$COP = 9.6$$

3.2 Perhitungan Bulan September

Perhitungan ini dilakukan menggunakan ph diagram dengan berdasarkan data yang sudah didapatkan pada saat pengujian dan berikut adalah hasil pengolahan datanya :



Gambar 10. ph diagram bulan September

Diketahui :

$$h1 = 400.688 \text{ kJ/kg}$$

$$h2 = 418.039 \text{ kJ/kg}$$

$$h3 = h4 = 247.798 \text{ kJ/kg}$$

Ditanya : ER ?

Dijawab :

$$ER = h1 - h4$$

$$ER = 400.688 \text{ kJ/kg} - 246.089 \text{ kJ/Kg}$$

$$ER = 154.599 \text{ kJ/kg}$$

Ditanya : Wk ?

Dijawab :

$$Wk = h2 - h1$$

$$Wk = 418.039 \text{ kJ/kg} - 400.688 \text{ kJ/kg}$$

$$Wk = 17.351 \text{ kJ/kg}$$

Ditanya : COP ?

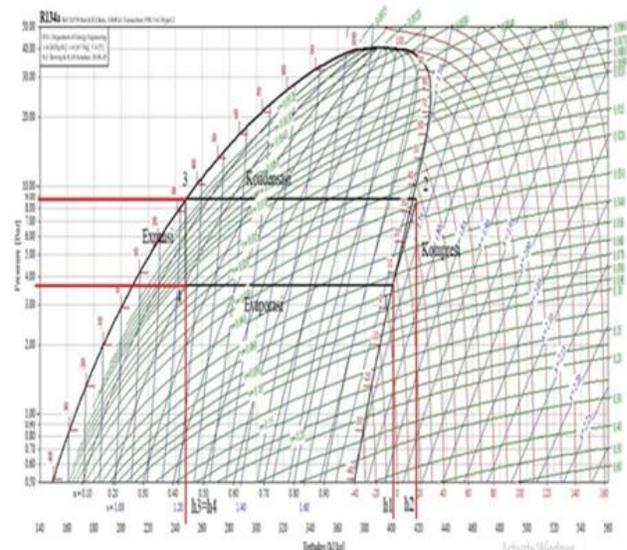
$$COP = ER/Wk$$

$$COP = (154.599 \text{ kJ/kg}) / (17.351 \text{ kJ/kg})$$

$$COP = 8.9$$

3.3 Perhitungan Bulan Oktober

Perhitungan ini dilakukan menggunakan ph diagram dengan berdasarkan data yang sudah didapatkan pada saat pengujian dan berikut adalah hasil pengolahan datanya :



Gambar 11. ph diagram bulan oktober

Diketahui :

$$h1 = 400.733 \text{ kJ/kg}$$

$$h2 = 418.704 \text{ kJ/kg}$$

$$h3 = h4 = 247.798 \text{ kJ/kg}$$

Ditanya : ER ?

Dijawab :

$$ER = h1 - h4$$

$$ER = 400.733 \text{ kJ/kg} - 247.798 \text{ kJ/Kg}$$

$$ER = 152.935 \text{ kJ/kg}$$

Ditanya : Wk ?

Dijawab :

$$Wk = h2 - h1$$

$$Wk = 418.704 \text{ kJ/kg} - 400.733 \text{ kJ/kg}$$

$$Wk = 17.971 \text{ kJ/kg}$$

Ditanya : COP ?

$$COP = ER/Wk$$

$$COP = (152.935 \text{ kJ/kg}) / (17.971 \text{ kJ/kg})$$

COP = 8.5

3.4 Diferensial Temperatur Kondenser

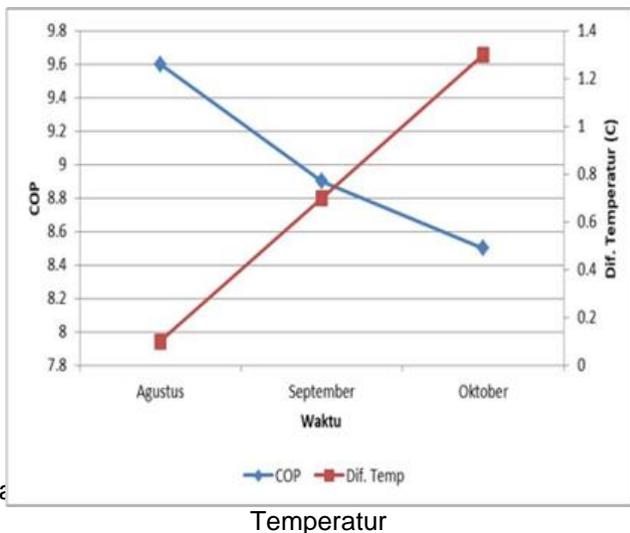
Hasil ini dihitung berdasarkan data yang sudah didapatkan pada saat pengujian dan berikut adalah hasil pengolahan datanya :

Tabel 3. Diferensial Temperatur Condenser

Diferensial Temp. Kondenser		
Air	Refrigran	
Temp. Keluar	Temp Saturasi	Dif Temp
C	C	C
31.5	31.6	0.1
32.6	33.3	0.7
33.1	34.4	1.3

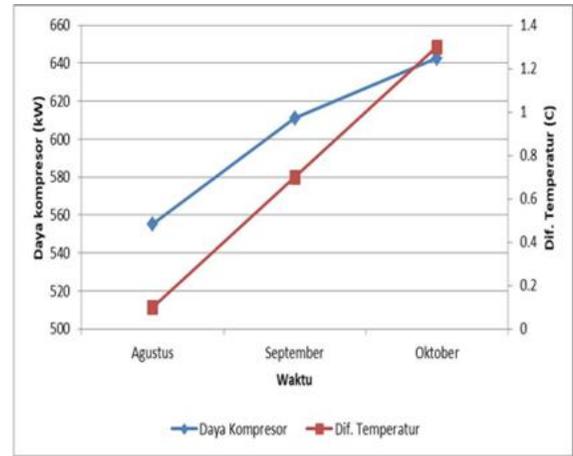
3.5

Dari hasil perhitungan 3.1 hingga 3.4 dibuatlah grafik perbandingan COP dengan diferensial temperatur, dan berikut adalah grafik perbandingannya



Gambar 12. Grafik perbandingan COP dengan Diferensial Temperatur

Dari gambar grafik 12 dapat dilihat bahwa kenaikan diferensial temperatur terjadi sangat signifikan selama 3 bulan terakhir. Dan pada grafik tersebut juga menunjukan bahwa saat diferensial temperatur rendah performa dari AC tipe *water cooled* dapat bekerja sangat baik sekitar 9.6, berbanding terbalik disaat diferensial temperatur meningkat pada gambar 12. terlihat bahwa COP mulai menurun secara drastis hingga 8.5. Dari grafik diatas dapat disimpulkan meningkatnya diferensial temperatur sebagai salah satu penyebabnya COP. Dalam hal ini 1.2 C peningkatan diferensial temperatur menyebabkan menurunnya COP sebesar 11.5 %. Dari gambar 12 terlihat bahwa COP mengalami penurunan yang cukup drastis, maka dari itu penulis mencoba membandingkan diferensial temperatur dengan daya yang dibutuhkan oleh kompresor, berikut adalah grafiknya



Gambar 13. Grafik perbandingan Daya kompresor dengan diferensial temperature

Dari gambar 13. dapat dilihat bahwa peningkatan diferensial temperatur juga mengakibatkan penggunaan daya kompresor meningkat dan dapat disimpulkan bahwa peningkatan 1.2 C diferensial temperatur mengakibatkan meningkatnya daya kompresor sebesar 13.7% atau sebesar 88.2 kW. Hal ini tentunya menjadi salah satu peluang untuk mengoptimalkan performa AC tipe *water cooled* dengan menjaga diferensial temperature serendah rendahnya.

4. Kesimpulan

Dari analisa serta pembahasan baik pada data-data yang telah diolah maupun yang dihasilkan dapat disimpulkan

1. COP mengalami penurun yang cukup drastis, dimana titik tertinggi yaitu 9.6 dan titik terendah 8.5 atau menurun sebesar 11.5 %. Hal ini mengakibatkan meningkatnya daya kompresor sebesar 13.7% atau sebesar 88.2 kW dalam 3 bulan terakhir
2. Meningkatnya diferensial temperatur dikondenser disebabkan oleh kerak yang muncul pada permukaan pipa kondenser. Dari analisis yang dilakukan ditemukan bahwa diferensial temperatur kondenser mengakibatkan meningkatnya tekanan tinggi dari refrigran yang dimana saat diferensial temperatur 0.1°C sisi tekanan tinggi dari refrigran yaitu 7.05 bar berbanding terbalik dengan kondisi diferensial 1.3 °C sisi tekanan tinggi dari refrigran mengalami peningkatan yang cukup signifikan yaitu sebesar 7.71 bar hal ini tentunya mengikat kerja kompresi dari AC tipe *water cooled* meningkat dan tentunya mengakibatkan penurunan COP di poin 1. Dari kedua hal ini disimpulkan

yaitu salah satu langkah penghematan energi dari AC tipe *water cooled* adalah menjaga diferensial temperatur serendah rendahnya.

Daftar Pustaka

- [1] Arsana, M. E., Subagia, I. W. A., Rasta, I. M., Midiani, L. P. I., Wibolo, A., & Suamir, I. N. (2019). Site investigation on *water cooled* chiller plant for energy conservation and environmental impact reduction of a large shopping mall. AIP Conference Proceedings, 2187(December) <https://doi.org/10.1063/1.5138297>
- [2] Baliarta, I. N. G., Suamir, I. N., & Arsana, E. (2014). Kajian Pengaruh Temperatur Approach Evaporator Dan Kondenser Terhadap Performansi Sistem Ac Sentral Tipe Water Chillers. JURNAL MATRIX, 6, 129–134.
- [3] Dr. Ir. Chandrasa Soekardi (2015) Termodinamika Dasar Mesin Konversi Energi. Jakarta : ANDI
- [4] ENERGI, H. A. K., NORD, T., & ASSIST. (2013). UPLIFT.
- [5] Huang, S., & Zuo, W. (2014). OPTIMIZATION OF THE WATER - COOLED CHILLER PLANT SYSTEM OPERATION. ASHRAE/IBPSA - USA, January 2014, 7.
- [6] I Nyoman Suamir, Baliarta, I. N. G., Arsana, M. E., & Negara, I. P. S. (2015). Condenser-Evaporator Approach Temperatures and their Influences on Energy Performance of *Water cooled* Chillers. ICSERA 2015, 428–423.
- [7] Nengah Ardita, I., Made Rasta, I., & Nyoman Suamir, I. (2018). Effects of Cooling Tower Performance to *Water cooled* Chiller Energy Use: A Case Study toward Energy Conservation of Office Building. Proceedings - 2018 International Conference on Applied Science and Technology, ICAST 2018, July 2019, 712–717. <https://doi.org/10.1109/iCAST1.2018.8751530>
- [8] Suamir, I. N., Sudirman, Ardita, I. N., & Santanu, G. (2020). Experimental and numerical optimization on chilled water configuration for improving temperature performance and economic viability of a centralized chiller plant. ICAST-ES 2019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012106>

Analisa Karakteristik Pembakaran Droplet Biodiesel Dengan Bioaditif Minyak Sereh Wangi - Kayu Putih

Muhammad Nizar Ramadhan¹⁾*, Defrihans Galang Putranto²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat, Kampus Banjarbaru

Abstrak

Biodiesel B30 merupakan salah satu bahan bakar yang terbuat dari bahan bakar nabati sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar fosil. Nilai strategis dari bahan bakar B30 dimana bahan bakar nabati merupakan satu satunya sumber energi terbarukan yang bisa menghasilkan bahan bakar. Salah satu solusi penghematan bahan bakar minyak yaitu dengan menambahkan bahan aditif ke dalam bahan bakar minyak, yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja pembakaran atau menyempurnakan pembakaran dalam ruang bakar mesin, tenaga yang dihasilkan menjadi lebih besar, menurunkan emisi gas buang serta volume penggunaan bahan bakar minyak lebih sedikit setiap jarak tempuh atau satuan waktu pemakaian bahan bakar minyak. Biodiesel B30 masih memerlukan pengembangan lagi agar dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif, salah satunya dengan penambahan zat aditif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan bioaditif minyak sereh wangi dan minyak kayu putih terhadap pembakaran droplet biodiesel B30. Persentase bioaditif minyak sereh wangi dan minyak kayu putih yang ditambahkan masing-masing adalah 10%, 20% dan 30%. Penelitian menggunakan metode pembakaran difusi, dengan mengubah sampel uji menjadi ukuran droplet, dengan tujuan memperbesar permukaan sampel uji agar lebih reaktif. Dari hasil pengujian karakteristik pembakaran droplet yang telah dilakukan, semakin banyak penambahan bioaditif minyak sereh wangi dan minyak kayu putih pada biodiesel B30 memberikan dampak antara lain berkurangnya nilai tinggi api, ignition delay, dan flash point, namun terjadi peningkatan pada nilai burning rate dan temperatur maksimal.

Kata kunci: Bioaditif, Biodiesel, Pembakaran droplet, Karakteristik pembakaran

Abstract

B30 biodiesel is a fuel made from biofuels so it is more environmentally friendly than fossil fuels. The strategic value of B30 fuel is that biofuel is the only renewable energy source that can produce fuel. One solution to saving fuel oil is by adding additives to fuel oil, which aims to improve combustion performance or perfect combustion in the engine combustion chamber, the energy produced will be greater, reduce exhaust emissions and the volume of fuel oil used will be greater. Lots. a little for every distance traveled or unit time used for fuel oil. Biodiesel B30 still requires further development so that it can be used as an alternative energy source, one of which is by adding additives. This research aims to determine the effect of adding citronella oil and eucalyptus oil bioadditives on the combustion of B30 biodiesel droplets. The percentages of citronella oil and eucalyptus oil bioadditives added were 10%, 20% and 30% respectively. The research uses a diffusion combustion method, by changing the test sample to droplet size, with the aim of enlarging the surface of the test sample to make it more reactive. From the results of tests on droplet combustion characteristics that have been carried out, the increasing number of bioadditives of citronella oil and eucalyptus oil in B30 biodiesel has impacts including reducing the high flame value, ignition delay and flash point, but there is an increase in the combustion rate and maximum temperature values.

Keywords: Bioadditives, Biodiesel, Droplet combustion, Combustion characteristics

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara berkembang saat ini menjalani pertumbuhan populasi yang pesat. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah penduduk Indonesia diproyeksikan sebanyak 278,8 juta jiwa pada 2023. Jumlah tersebut naik 1,1% dibandingkan pada tahun 2022 yang sebanyak 275,7 juta jiwa. Hal ini membuat Indonesia menjadi negara dengan penduduk terbanyak ke-3 di Asia. Ini artinya, Indonesia menyumbang sekitar 5,85% terhadap total penduduk Asia. Pertumbuhan penduduk yang teramat pesat inilah yang kemudian akan menimbulkan berbagai dampak di segala bidang kehidupan, termasuk kebutuhan penduduk Indonesia terhadap energi.

Saat ini, pemanfaatan energi masih didominasi dengan energi yang bersumber dari bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil sendiri merupakan jenis bahan bakar yang tidak terbarukan. Jika konsumsi bahan bakar fosil terus meningkat setiap tahunnya, Indonesia tentu akan

mengalami krisis permintaan energi dalam beberapa tahun ke depan. Hal ini dapat membuat Indonesia krisis BBM dan bergantung pada BBM impor.

Oleh karena itu, penggunaan energi yang bersumber dari energi terbarukan mulai masif diterapkan di Indonesia. Salah satu BBM yang bersumber dari energi terbarukan adalah biodiesel B30. Biodiesel B30 merupakan salah satu bahan bakar nabati yang bersifat ramah lingkungan karena mudah terurai (*biodegradable*), tidak beracun (*non toxic*), dan menghasilkan gas buang berbahaya yang lebih sedikit dibandingkan dengan diesel.

Biodiesel merupakan ester metil asam lemak atau *fatty acid methyl ester* (FAME) yang terbuat dari minyak nabati atau hewani yang memenuhi standar mutu yang distandarkan. Biodiesel memiliki sifat fisik yang sama dengan minyak solar sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif kendaraan bermesin diesel [1]. Secara umum karakteristik biodiesel memiliki angka setana yang lebih tinggi dari minyak solar, dapat

*Korespondensi: Tel./Fax.: 085248480490

E-mail: nizarramadhan@ulm.ac.id

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

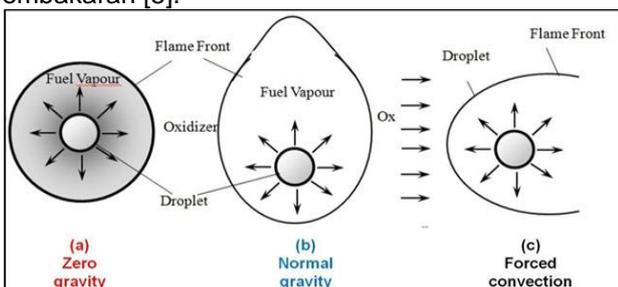
terdegradasi dengan mudah (*biodegradable*), tidak mengandung sulfur (atau sangat rendah, jika ada) dan senyawa aromatik, sehingga emisi pembakaran yang dihasilkan lebih ramah lingkungan dari pada bahan bakar minyak jenis minyak solar [2].

Salah satu solusi penghematan bahan bakar minyak dengan menambahkan bahan aditif ke dalam bahan bakar minyak yang bertujuan meningkatkan kinerja pembakaran atau menyempurnakan pembakaran dalam ruang bakar mesin, tenaga yang dihasilkan menjadi lebih besar, menurunkan emisi gas buang serta volume penggunaan bahan bakar minyak lebih sedikit setiap jarak tempuh atau satuan waktu pemakaian bahan bakar minyak [3].

Aditif merupakan sebuah zat dengan konsentrasi kecil yang ditambahkan kedalam suatu bahan, untuk meningkatkan kinerja bahan, tanpa merubah spesifikasi bahan tersebut. Aditif sendiri hampir memiliki kesamaan dengan katalis, namun aditif pada umumnya ikut bereaksi dengan bahan utamanya sedangkan katalis tidak akan ikut bereaksi. Aditif yang berasal dari tumbuhan disebut bioaditif. Salah satu bioaditif yang dapat dimanfaatkan adalah jenis minyak atsiri. Minyak atsiri merupakan minyak dari tanaman yang komponennya secara umum mudah menguap. Komposisi oksigen dalam struktur kimia minyak atsiri dan kemampuan mereduksi ikatan antarmolekul penyusun bahan bakar seharusnya mampu meningkatkan reaksi pembakaran biodiesel B30. Selain itu, minyak atsiri juga memiliki karakteristik yang sama seperti bahan bakar seperti berat jenis, titik didih, dan sifat mudah menguap selain itu struktur hidrokarbon juga merupakan kesamaan minyak atsiri dengan bahan bakar.

Sereh wangi (*Cymbopogon nardus L.*) adalah salah satu jenis rumput-rumputan yang termasuk ke dalam jenis tanaman tahunan yang membentuk rumpun tebal dengan tinggi sampai 2 meter. Komponen kimia dalam minyak sereh wangi cukup kompleks, namun komponen yang terpenting adalah *sitronellal* dan *geraniol* [4]. Kadar komponen kimia penyusun utama minyak sereh wangi tidak tetap, dan tergantung pada beberapa faktor. Biasanya jika kadar geraniol tinggi maka kadar sitronellal juga tinggi.

Kayu putih (*Melaleuca leucadendron Linn.*) merupakan salah satu tanaman penghasil minyak atsiri yang dapat dimanfaatkan sebagai bioaditif atau zat yang mempercepat reaksi pembakaran. Dalam kandungan minyak kayu putih, terdapat zat bernama *sineol* yang menjadi penyusun dominan. Selain itu minyak kayu putih memiliki unsur yang hampir sama seperti minyak atsiri lainnya. Senyawa hidrokarbon dalam minyak atsiri dapat berperan penting dalam menyempurnakan pembakaran [5].



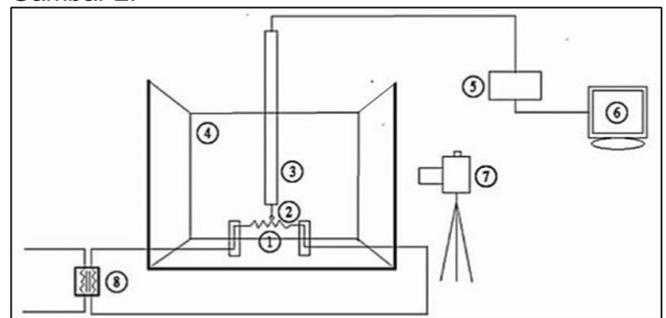
Gambar 1. Bentuk nyala api dalam pembakaran droplet

Proses pembakaran *droplet* termasuk ke dalam proses difusi, dikarenakan bahan bakar serta oksigen tidak dalam keadaan tercampur sebelum mendapatkan energi aktivasi. Saat mendapat energi panas maka droplet akan menguap serta tercampur dengan oksigen di sekitarnya sehingga menghasilkan api, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pembakaran *droplet* bertujuan untuk memperluas bidang kontak bahan bakar dengan oksigen semakin luas sehingga dapat terjadi reaksi pembakaran yang baik.

Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan bioaditif sebagai campuran bahan bakar berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran yang terjadi. Penambahan bioaditif minyak cengkeh dengan persentase 1%, 2%, 3% dan 4% ke dalam biodiesel minyak jarak menunjukkan hasil pembakaran berupa menurunnya temperatur pembakaran, *ignition delay*, *burning rate* dan dimensi nyala api [4]. Selain itu, ada juga penelitian tentang penambahan bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih terhadap kecepatan pembakaran minyak jarak pagar. Hasil penelitian menunjukkan penambahan bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih dapat meningkatkan laju pembakaran minyak jarak pagar [5]. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan bioaditif minyak sereh wangi dan minyak kayu putih terhadap karakteristik pembakaran *droplet* biodiesel B30, berupa tinggi api, *ignition delay*, *burning rate*, *flash point*, dan temperatur pembakaran.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Penelitian dilakukan sesuai dengan instalasi penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Instalasi penelitian

Keterangan:

1. Heater
2. Thermocouple
3. Penjepit thermocouple
4. Ruang uji
5. Data logger
6. Laptop
7. Kamera
8. Transformator

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pembakaran *droplet* pada biodiesel B30 dengan penambahan bioaditif minyak sereh wangi dan minyak kayu putih dengan variasi persentase 10%, 20%, dan 30%. Parameter yang diamati dalam penelitian ini

berupa tinggi api, *ignition delay*, *burning rate*, *flash point*, dan temperatur pembakaran. Pengambilan data dilakukan dengan pengulangan 3 kali pada setiap prosesnya..

Pembuatan *droplet* dilakukan dengan menggunakan suntikan insulin dan mendorong ujung pembuat tetesan ke bawah dengan diameter 1 mm toleransi $\pm 0,1$ mm. *Droplet* yang terbentuk kemudian diletakkan pada *thermocouple* yang berfungsi sebagai penyangga *droplet* sekaligus untuk mengukur temperatur api.

Proses pengambilan data dilakukan dengan *thermocouple* yang dihubungkan ke *data logger* pada laptop. Pencatatan dan perekaman temperatur menggunakan *software* WaveScan 2.0. Kemudian *heater* dihidupkan bersamaan dengan kamera yang dalam proses merekam. Proses perekaman berlangsung dari penguapan *droplet* hingga munculnya nyala api dari *droplet*. Setelah api mulai menyala, *heater* dimatikan. Selanjutnya perekaman data temperatur dihentikan melalui *software* WaveScan 2.0 dan proses perekaman pada kamera juga dihentikan. Data yang telah terekam disimpan untuk dilanjutkan ke proses pengolahan data.

3. Hasil dan Pembahasan

Data yang didapat pada penelitian ini merupakan karakteristik pembakaran yang dihasilkan dari biodiesel B30 murni, biodiesel B30 dengan tambahan bioaditif minyak sereh wangi, serta biodiesel B30 dengan tambahan bioaditif minyak kayu putih. Pengambilan data yang dilakukan meliputi visualisasi nyala api, *ignition delay*, *burning rate*, *flash point* dan temperatur tertinggi.

3.1. Visualisasi Nyala Api

Berikut merupakan hasil visualisasi nyala api yang didapatkan dari pengujian:



Gambar 2. Visualisasi api B30 100%

Gambar 3. Visualisasi api B30 100%



Gambar 3. Visualisasi api B30 90% : minyak sereh wangi 10%

Gambar 4. Visualisasi api B30 90% : minyak sereh wangi 10%



Gambar 4. Visualisasi api B30 80% : minyak sereh wangi 20%

Gambar 5. Visualisasi api B30 80% : minyak sereh wangi 20%



Gambar 5. Visualisasi api B30 70% : minyak sereh wangi 30%

Gambar 6. Visualisasi api B30 70% : minyak sereh wangi 30%



Gambar 6. Visualisasi api B30 90% : minyak kayu putih 10%

Gambar 7. Visualisasi api B30 90% : minyak kayu putih 10%



Gambar 7. Visualisasi api B30 80% : minyak kayu putih 20%

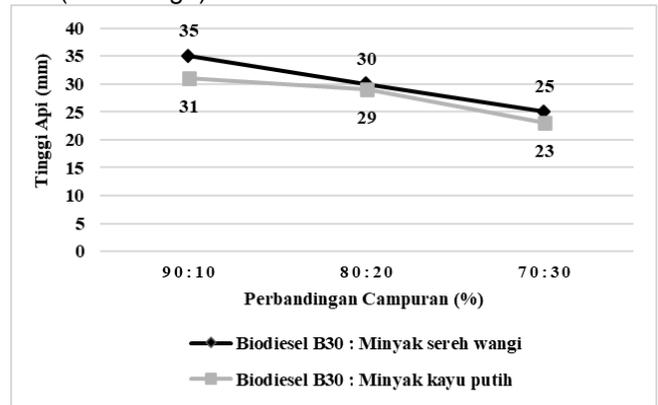
Gambar 8. Visualisasi api B30 80% : minyak kayu putih 20%



Gambar 8. Visualisasi api B30 70% : minyak kayu putih 30%

Gambar 9. Visualisasi api B30 70% : minyak kayu putih 30%

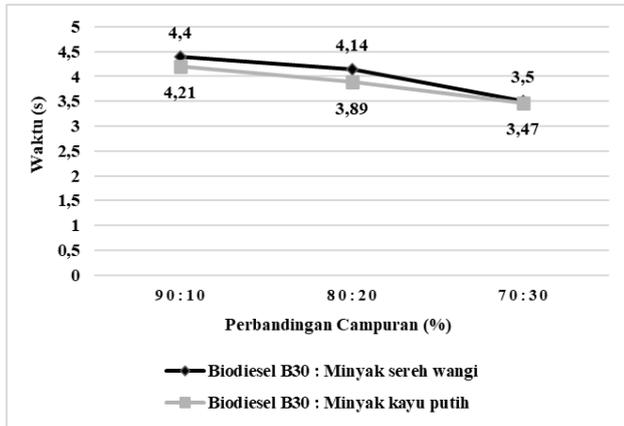
Pada gambar 3 sampai gambar 9, dapat dilihat bahwa visualisasi nyala api lebih didominasi dengan warna kuning. Gradasi warna tersebut menunjukkan temperatur pembakaran yang terjadi < 1500 °C. Pada gambar 3, tinggi api tertinggi terjadi pada pembakaran biodiesel B30 murni dengan ketinggian api 38 mm (kotak kuning). Sedangkan untuk pembakaran dengan penambahan bioaditif minyak sereh wangi seperti ditunjukkan pada gambar 4 sampai dengan gambar 6, didapatkan tinggi api tertinggi pada campuran 10% minyak sereh wangi dengan ketinggian 35 mm (kotak hijau) dan terpendek pada campuran 30% dengan ketinggian 25 mm (kotak merah). Kemudian untuk pembakaran dengan penambahan bioaditif minyak kayu putih seperti ditunjukkan pada gambar 7 sampai dengan gambar 9, tinggi api tertinggi didapatkan pada campuran minyak kayu putih 10% dengan ketinggian 31 mm (kotak biru) dan tinggi api terpendek pada campuran minyak kayu putih 30% dengan ketinggian 23 mm (kotak ungu).



Gambar 10. Grafik perbandingan tinggi api terhadap persentase campuran bioaditif pada pembakaran droplet. Pada gambar 10, grafik memperlihatkan penurunan tinggi api yang dihasilkan seiring dengan kenaikan persentase campuran bioaditif minyak sereh wangi dan minyak kayu putih pada pembakaran *droplet*. Kondisi ini mengindikasikan penambahan persentase bioaditif pada bahan bakar dapat menurunkan dimensi api [4]. Faktor lain yang berpengaruh terhadap tinggi nyala api yaitu kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar. Semakin cepat bahan bakar menguap dan berdifusi ke udara, maka nyala api yang dihasilkan akan lebih tinggi [6].

3.2. Ignition Delay

Ignition delay merupakan waktu yang diperlukan sebuah bahan bakar untuk menyala mulai dari saat menerima panas. Gambar 11 menunjukkan hasil *ignition delay* yang didapatkan pada penelitian ini.



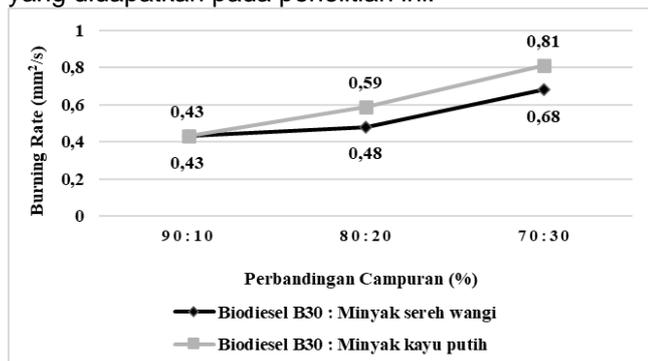
Gambar 11. Grafik perbandingan *ignition delay* terhadap persentase campuran bioaditif pada pembakaran *droplet*

Pada gambar 11, dapat dilihat adanya penurunan *ignition delay* yang dihasilkan seiring dengan naiknya persentase campuran minyak sereh wangi dan minyak kayu putih pada pembakaran *droplet*. Untuk *ignition delay* pada biodiesel B30 murni memperoleh waktu 4,6 s. Untuk persentase penambahan bioaditif minyak sereh wangi, *ignition delay* terlama pada campuran 10% dengan waktu 4,4 s dan *ignition delay* tercepat pada campuran 30% dengan waktu 3,5 s. Kemudian pada persentase penambahan bioaditif minyak kayu putih, *ignition delay* terlama didapatkan pada campuran 10% dengan waktu 4,21 s dan *ignition delay* tercepat pada campuran 30% dengan waktu 3,47 s. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa semakin besar persentase bioaditif pada bahan bakar, maka dapat menurunkan *ignition delay* [4].

Nilai *ignition delay* berhubungan dengan nilai *flash point* pembakaran. Tingginya nilai *flash point* membuat *ignition delay* berlangsung lama karena kecepatan penguapan bahan bakar yang lambat dan membutuhkan temperatur yang tinggi untuk penyalan api. *Flash point* sendiri merupakan titik nyala dari suatu bahan bakar pada suhu terendah dimana bahan bakar menghasilkan uap dan bercampur dengan udara dan membentuk campuran yang dapat menyala atau terbakar. Jadi bahan bakar yang memiliki *flash point* yang rendah akan memiliki waktu jeda pembakaran yang singkat.

3.3. Burning Rate

Burning rate adalah waktu yang diperlukan bahan bakar untuk terbakar sampai habis. *Burning rate* didapatkan dari hasil perbandingan antara diameter *droplet* terhadap lama waktu bahan bakar habis terbakar. Gambar 12 menunjukkan hasil *burning rate* yang didapatkan pada penelitian ini.

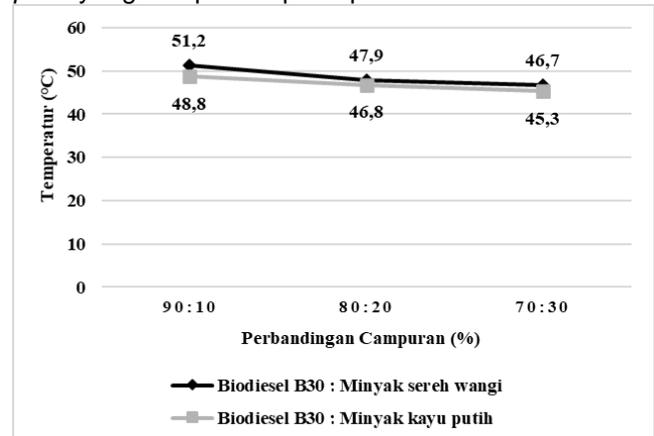


Gambar 12. Grafik perbandingan *burning rate* terhadap persentase campuran bioaditif pada pembakaran *droplet*. Pada gambar 12 terjadi peningkatan nilai *burning rate* yang dihasilkan seiring dengan naiknya persentase campuran bioaditif minyak sereh wangi dan minyak kayu putih pada pembakaran *droplet*. Untuk *burning rate* pada biodiesel B30 murni memperoleh 0,41 mm²/s. Sedangkan pada persentase penambahan bioaditif minyak sereh wangi, *burning rate* terendah didapatkan pada campuran 10% dengan nilai 0,43 mm²/s dan *burning rate* tertinggi pada campuran 30% dengan nilai 0,68 mm²/s. Kemudian pada persentase penambahan bioaditif minyak kayu putih, *burning rate* terendah didapatkan pada campuran 10% dengan nilai 0,43 mm²/s dan *burning rate* tertinggi pada campuran 30% dengan nilai 0,81 mm²/s.

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap *burning rate* adalah nilai *flash point*. Nilai *flash point* mempengaruhi *ignition delay* dan *burning rate* dimana bahan bakar yang mudah terbakar atau memiliki penyalan api dengan temperatur yang rendah, mempunyai penyalan api yang cepat dan waktu pembakaran yang singkat. *Burning rate* didapatkan dari hasil perbandingan antara diameter *droplet* terhadap lama waktu bahan bakar habis terbakar, dimana semakin lama waktu nyala api pembakaran *droplet*, maka kecepatan pembakarannya semakin lambat [5].

3.4. Flash Point

Flash point atau titik nyala adalah kondisi temperatur terendah dimana bahan bakar dapat menyala bila disulut oleh api. Gambar 13 menunjukkan hasil *flash point* yang didapatkan pada penelitian ini.



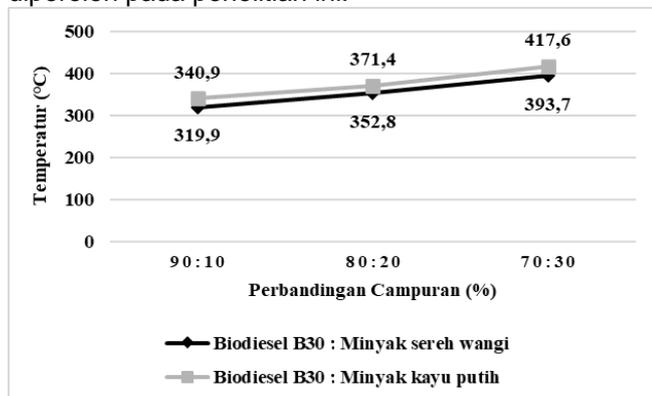
Gambar 13. Grafik perbandingan *flash point* terhadap persentase campuran bioaditif pada pembakaran *droplet*. Penurunan nilai *flash point* yang dihasilkan berbanding terbalik dengan kenaikan persentase campuran bioaditif minyak sereh wangi dan minyak kayu putih pada pembakaran *droplet*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 13. Untuk *flash point* yang dihasilkan pada pembakaran *droplet* biodiesel B30 murni berada pada angka 54,5 °C. Untuk pembakaran *droplet* dengan penambahan bioaditif minyak sereh wangi, *flash point* tertinggi didapatkan pada campuran 10% dengan nilai 51,2 °C dan *flash point* terendah pada campuran 30% dengan nilai 46,7 °C. Sedangkan pada pembakaran *droplet* dengan penambahan bioaditif minyak kayu putih, *flash point* tertinggi pada campuran 10% dengan nilai 48,2 °C dan *flash point* terendah pada campuran 30% dengan nilai 45,3 °C. Pada spesifikasi biodiesel

B30, terdapat titik nyala api minimum 52 °C dan penambahan bioaditif minyak sereh wangi dan minyak kayu putih mempercepat penyalaan api karena menurunkan *flash point* B30.

Flash point dipengaruhi oleh kecepatan penguapan (*volatility*) dimana penguapan ini tergantung oleh karakteristik bahan bakarnya sendiri apakah mudah menguap dan terbakar pada suhu rendah atau menguap dan terbakar pada suhu yang tinggi. *Flash point* juga dipengaruhi oleh densitas bahan bakar dimana kerapatan jenis variasi campuran bahan bakar menentukan kecepatan *flash point* terjadi. Karakteristik bioaditif dapat mempengaruhi laju pembakaran biodiesel B30, karena pengaruh kandungan *sitronelal* yang terkandung pada minyak sereh wangi dan *sineol* yang terkandung pada minyak kayu putih sebagai penyusun dominan memberikan efek untuk merubah struktur ikatan dari bahan bakar biodiesel B30.

3.5. Temperatur Tertinggi

Gambar 14 menunjukkan temperatur tertinggi yang diperoleh pada penelitian ini.



Gambar 14. Grafik perbandingan temperatur tertinggi terhadap persentase campuran bioaditif pada pembakaran *droplet*

Pada gambar 14, dapat dilihat adanya peningkatan temperatur tertinggi yang dihasilkan seiring dengan naiknya persentase campuran minyak sereh wangi dan minyak kayu putih pada pembakaran *droplet*. Untuk temperatur tertinggi pada biodiesel B30 murni, didapatkan pada temperatur 303,4 °C. Dengan penambahan bioaditif minyak sereh wangi, temperatur terendah didapatkan pada campuran 10% dengan nilai 319,9 °C dan temperatur tertinggi pada campuran 30% dengan nilai 393,7 °C. Kemudian dengan penambahan bioaditif minyak sereh kayu putih, temperatur terendah didapatkan pada campuran 10% dengan nilai 340,9 °C dan temperatur tertinggi pada campuran 30% dengan temperatur 417,6 °C. Nilai temperatur yang didapatkan tentunya sejalan dengan visualisasi nyala api pada gambar 3 sampai gambar 9, dimana nyala api didominasi warna kuning (efisien) dengan nilai temperatur yang berada pada nilai < 1500 °C.

Faktor lain penyebab tinggi rendahnya temperatur disebabkan oleh lama pembakaran. Penambahan persentase bioaditif minyak sereh wangi dan minyak kayu putih mengakibatkan kecepatan penguapan

bahan bakar biodiesel B30 dan kecepatan reaksinya terhadap oksigen lebih cepat dibandingkan biodiesel B30 murni, dan hal ini mengakibatkan laju pelepasan panas pada bahan bakar biodiesel B30 lebih besar.

4. Simpulan

Penambahan bioaditif minyak sereh wangi dan minyak kayu putih sebagai campuran bioediesel B30 pada pembakaran *droplet* memberikan dampak signifikan untuk menurunkan tinggi api, *ignition delay* dan *flash point*, tetapi tidak memberi dampak signifikan pada peningkatan *burning rate* dan temperatur tertinggi. Oleh karena itu, penambahan bioaditif minyak sereh wangi dan minyak kayu putih tidak terlalu mengubah karakteristik pembakaran *droplet*, tetapi hanya mempercepat penyalaan api (*ignition delay*) pada biodiesel B30.

Daftar Pustaka

- [1] Ningtyas, D.P., Budhiyanti, S.A., Sahubawa, L., *Pengaruh Katalis Basa (NaOH) pada Tahap Reaksi Transesterifikasi terhadap Kualitas Biofuel dari Minyak Tepung Ikan Sardin*, Jurnal Teknosains 2, 2013, hal. 71-158.
- [2] Nurhadi, I., *Pengaruh Penggunaan Biodiesel Terhadap Performa dan Komponen Utama pada Motor Pokok KRI Weling-822*, Tesis, Surabaya: Teknik Sistem dan Pengendalian Kelautan, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [3] Prahmana, R. A., Alfian, D. G. C., Supriyadi, D., Silitonga, D. J., & Muhyi, A., *Pengaruh Komposisi Campuran Minyak Sereh Wangi dan Minyak Cengkeh terhadap Unjuk Kerja Mesin Diesel*, Journal of Science and Applicative Technology, 4(2), 2020, hal. 82-85.
- [4] Pinandito, G. N., *Pengaruh Persentase Penambahan Minyak Cengkeh Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Biodiesel Minyak Jarak*, Thesis (Sarjana), Malang: Universitas Brawijaya, 2016.
- [5] Sasmita, K. D., *Pengaruh Penambahan Bioaditif Minyak Cengkeh Dan Minyak Kayu Putih Terhadap Kecepatan Pembakaran Droplet Minyak Jarak*, Thesis (Sarjana), Malang: Universitas Brawijaya, 2018.
- [6] Misbachudin., Yuliati, L., Novareza, O., *Pengaruh Persentase Biodiesel Minyak Nyamplung-Solar Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet*, Jurnal Rekayasa Mesin, v.8, n.1, pp. 9-14, Mei 2017.



Muhammad Nizar Ramadhan menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Lambung Mangkurat pada tahun 2014. Pendidikan magister Teknik Mesin diselesaikan di Universitas Brawijaya pada tahun 2017 dengan area riset tentang *solar technology*.

Analisa Kelayakan Pltmh Pada Kali Blumbang Tawangmangu Kabupaten Karanganyar

Medyawanti Pane^{1)*}, Rahmad Samosir²⁾

^{1,2)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia, Kampus Cawang Jakarta Timur

³⁾Departemen Teknik Mesin, Universitas Kristen Indonesia, Kampus Jakarta Timur

Abstrak

Daerah Tawangmangu Kabupaten Karanganyar merupakan salah satu daerah yang potensial untuk dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTMH). Hal yang mendukung pendapat ini adalah adanya kali Blumbang yang mendapat aliran dari air terjun Grojogan Sewu. Serta keadaan topografi daerah Tawangmangu yang terjal membuat daerah ini mempunyai selisih ketinggian yang potensial sebagai komponen penting PLTMH. Penelitian ini juga dilakukan untuk membuat analisa kelayakan ekonomi, yaitu mencari *Break Event Point* (BEP), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Net Present Value* (NPV). Titik pertama sebagai lokasi *intake* berada pada ketinggian 925 m dan titik kedua sebagai lokasi *power house* berada pada ketinggian 778 m. Dengan debit air sebesar 0.3 m³/detik, analisa kelayakan dilakukan dengan tiga diameter *penstock* yang berbeda yaitu 315 mm, 400 mm, dan 500 mm. *Head* efektif yang dihasilkan masing-masing *penstock* berbeda, *penstock* diameter 315 mm menghasilkan *head* efektif 49.89 m, *penstock* diameter 400 mm menghasilkan *head* efektif 117.12 m, dan *penstock* diameter 500 mm menghasilkan *head* efektif 137.07 m. Daya yang mampu dibangkitkan pertahun masing-masing diameter 315 mm, 400 mm, dan 500 mm adalah 925.144 kW, 2.171.779 kW, dan 2.541.714 kW. Berdasarkan hasil perhitungan analisa ekonomi, penggunaan *penstock* 315 mm menghasilkan BEP pada tahun ke-16, penggunaan *penstock* 400 mm menghasilkan BEP pada tahun ke-8, dan penggunaan *penstock* 500 mm menghasilkan BEP pada tahun ke-10. Kemudian dari parameter IRR dan NPV, penggunaan *penstock* diameter 315 mm tidak layak karena menghasilkan IRR < MARR yaitu sebesar 8.14% dan NPV < 0 yaitu sebesar RP -602.425.419, sedangkan *penstock* diameter 400 mm menghasilkan IRR dan NPV yang paling baik yaitu IRR sebesar 14.94% dan NPV sebesar Rp 6.160.472.335 sehingga menjadi pilihan yang paling baik untuk direalisasikan. Dari analisa ini dapat disimpulkan PLTMH pada Kali Blumbang Tawangmangu Kabupaten Karanganyar layak untuk direalisasikan menggunakan pipa diameter 400 mm.

Kata kunci : Analisa kelayakan, debit, *head*, daya.

Abstract

The Tawangmangu area, Karanganyar Regency is one of the potential areas for building a Mini Hydro Power Plant (PLTMH). What supports this opinion is the Blumbang River which gets its flow from the Grojogan Sewu waterfall. As well as the steep topography of the Tawangmangu area, this area has a potential height difference as an important component of PLTMH. This research was also carried out to make an economic feasibility analysis, namely looking for Break Event Point (BEP), Internal Rate of Return (IRR), and Net Present Value (NPV). The first point as the intake location is at an altitude of 925 m and the second point as the location for the power house is at an altitude of 778 m. With a water discharge of 0.3 m³/second, feasibility analysis was carried out with three different penstock diameters, namely 315 mm, 400 mm, and 500 mm. The effective head produced by each penstock is different, a 315 mm diameter penstock produces an effective head of 49.89 m, a 400 mm diameter penstock produces an effective head of 117.12 m, and a 500 mm diameter penstock produces an effective head of 137.07 m. The power that can be generated per year for diameters of 315 mm, 400 mm and 500 mm is 925,144 kW, 2,171,779 kW and 2,541,714 kW, respectively. Based on the results of economic analysis calculations, the use of a 315 mm penstock produces BEP in the 16th year, the use of a 400 mm penstock produces a BEP in the 8th year, and the use of a 500 mm penstock produces a BEP in the 10th year. Then from the IRR and NPV parameters, using a 315 mm diameter penstock is not feasible because it produces an IRR < MARR, namely 8.14% and an NPV < 0, namely IDR -602,425,419, while a 400 mm diameter penstock produces the best IRR and NPV, namely an IRR of 14.94% and an NPV of IDR 6,160,472,335 so it is the best choice to be realized. From this analysis it can be concluded that the PLTMH on the Blumbang Tawangmangu River, Karanganyar Regency is feasible to be realized using a 400 mm diameter pipe.

Keywords: Feasibility analysis, discharge, head, power.

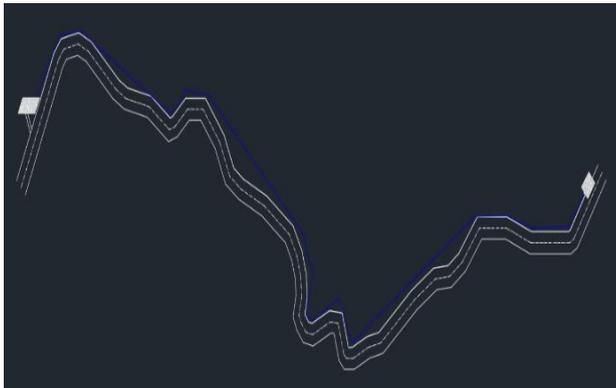
1. Pendahuluan

Kebijakan Pemerintah Indonesia yang kini lebih berorientasi menuju ekonomi hijau juga tidak terlepas dengan fokus bangsa ini sebagai Presidensi G20 hingga 2022. Presiden juga mengatakan, Indonesia memiliki potensi besar dalam mengembangkan ekonomi hijau. Salah satu contohnya adalah 4.400 sungai yang bisa dijadikan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)[1]. Disamping itu, berdasarkan data Perusahaan Listrik Negara terjadi peningkatan kebutuhan listrik nasional sebesar 8,5% per tahun, dan dalam kuartal I 2022 ini saja peningkatan konsumsi listrik sudah mencapai sebesar 8,42%[2]

Kali Blumbang yang berada di Tawangmangu Kabupaten Karanganyar yang diperlihatkan gambar 1 merupakan objek yang potensial untuk dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro. Mendapat aliran dari air terjun Grojogan Sewu, serta keadaan topografi yang terjal semakin mendukung pendapat ini.



Gambar 1. Letak Kali Blumbang Tawangmangu Kabupaten Karanganyar



Gambar 2. Sketsa Kali Blumbang dengan Perencanaan Pipa Penstock

2. Metode Penelitian

2.1. Prinsip Kerja PLTMH

Untuk bisa menghasilkan energi listrik dari air, ada beberapa tahapan yang harus dilalui. Pertama adalah energi potensial dari air berubah menjadi energi kinetik. Air pada ketinggian tertentu mempunyai energi potensial, semakin tinggi elevasinya maka energi potensialnya semakin besar. Ketika air pada ketinggian tertentu mengalir kebawah, maka terjadi perubahan energi potensial menjadi energi kinetik. Ketika air mengalir menabrak turbin, maka terjadi perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik. Dan yang terakhir ketika turbin berputar dan ikut menggerakkan rotor generator, maka terjadi perubahan energi mekanik menjadi energi listrik.

2.2. Debit

Debit adalah jumlah fluida yang mengalir tiap satuan waktu melalui suatu penampang, memiliki simbol Q dengan satuan m³/detik[3]. Dari hasil survey lapangan, didapatkan debit air sebesar 0.3 m³/detik.

2.3. Head

Head merupakan tinggi jatuh air dari posisi tertinggi menuju posisi terendah. Tinggi jatuh tersebut menentukan seberapa besar energi potensial air yang berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan PLTMH.

$$H_{eff} = EMAW - TWL - HL \tag{1}$$

Keterangan :
H_{eff} = Tinggi jatuh efektif

(m) EMAW= Elevasi muka air atas (m)

TWL = (Tail Water Level) Elevasi muka air di saluran bawah (m)

HL = Kehilangan ketinggian karena gesekan (m) Dimana kehilangan ketinggian karena gesekan (hl) dapat dihitung dengan rumus berikut :

- Untuk Pipa Lurus

$$hl = k \frac{v^2 L}{D 2g} \tag{2}$$

- Untuk Sambungan Elbow

$$hl = f \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Keterangan :

- L = Panjang pipa (m)
- g = Percepatan gravitasi (9.8 m/s²)
- D = Diameter pipa (m)
- k = Koefisien gesek pipa lurus
- V = Kecepatan (m/detik)
- f = Koefisien rugi aliran

2.4. Pemilihan Turbin dan Generator

Dari penentuan titik pertama sebagai lokasi intake dan titik kedua sebagai lokasi power house didapat head sebesar 147 m. Dalam penelitian kali ini dilakukan percobaan menggunakan tiga diameter penstock yang berbeda, yaitu 315 mm, 400 mm, dan 500 mm. Pipa yang digunakan adalah High Density Polyethylen (HDPE). Sesuai dengan head dan debit yang tersedia, jenis turbin yang paling digunakan adalah turbin Pelton dengan efisiensi 80%. Sedangkan generator yang digunakan adalah generator sinkron dengan efisiensi 0.85-0.90[4].

2.5. Perhitungan Daya

Cara kerja pembangkit listrik tenaga mini hidro ini sangat bergantung pada tiga faktor yaitu debit air, tinggi jatuh (Head), dan efisiensi. Dari tiga faktor itu maka dapat dirumuskan bagaimana potensi sungai jika dibangun pembangkit listrik tenaga mini hidro (PLTMH) dan berapa daya keluarannya.

$$P = Q \times H \times g \times \eta \tag{4}$$

Keterangan :

- P = Daya (kW)
- η = Efisiensi
- Q = Debit (m³/detik)
- g = Percepatan gravitasi (9.8 m/s²)
- H = Head (m)

2.6. Analisa kelayakan ekonomi

Analisa kelayakan adalah penilaian yang menyeluruh untuk suatu usaha atau proyek dari segi ekonomis. Beberapa parameter untuk menentukan suatu usaha atau proyek layak atau tidak adalah Break Event Point (BEP), Internal Rate of Return (IRR), dan Net Present Value (NPV)

1. Break Event Point (BEP)

Break Event Point (BEP) yaitu suatu titik impas yang ditentukan dari hubungan matematis antara pendapatan produk dengan biaya-biaya yang dikeluarkan produk tersebut.

$$BEP = \frac{FC}{r-V} \tag{5}$$

Keterangan :

FC = Fixed Cost

V = Variable Cost

r = Harga jual per unit

2. Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return (IRR) yaitu tingkat kemampuan cash flow dalam pengembalian investasi yang dijelaskan dalam bentuk persentase per periode waktu. Metode Internal Rate of Return (IRR) adalah mencari suku bunga pada saat NPV = 0. Pada saat NPV sama dengan nol (NPV=0), nilai i = i* disebut juga dengan IRR (Internal Rate of Return). Suatu rencana investasi secara ekonomi dapat dikatakan layak jika IRR ≥ MARR

3. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) yaitu analisis investasi dengan metode nilai sekarang (Present Worth Analysis) didasarkan pada konsep ekivalensi, dimana semua arus kas masuk dan arus kas keluar diperhitungkan terhadap titik waktu sekarang pada suatu tingkat suku bunga tertentu.

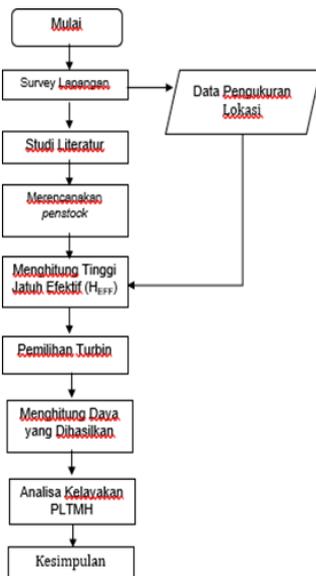
$$NPV = PW \text{ pendapatan} - PW \text{ pengeluaran} \tag{6}$$

Keterangan :
 PW pendapatan = Present Worth Pendapatan
 PW pengeluaran = Present Worth Pengeluaran

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Metode

Tahap penelitian analisa kelayakan PLTMH pada Kali Blumbang Tawangmangu Kabupaten Karanganyar dapat dilihat dari gambar 2



3.2. Perancangan Penstock

Sesuai gambar sketsa yang ada pada gambar 2, maka dapat ditentukan jumlah pipa dan sambungan-sambungannya sebagai berikut :

Bahan	Kuantitas
Pipa Lurus	2570 meter
Elbow 90°	3 buah
Elbow 60°	1 buah
Elbow 45°	5 buah
Elbow 30°	4 buah
Elbow 15°	2 buah
Gate Valve	2 buah

Tabel 1. Bahan-bahan yang digunakan

3.3 Menghitung tinggi jatuh efektif (Heff)

Setelah diketahui bahan-bahan yang digunakan, dapat dihitung tinggi jatuh air efektif (Heff).

Berikut hasil tinggi jatuh air efektif (Heff) dengan masing- masing diameter penstock.

Diameter Penstock (mm)	Heff (m)
315	49.89
400	117.12
500	137.07

Tabel 2. Head efektif (Heff) yang dihasilkan

3.4 Pemilihan turbin dan Generator

Sesuai dengan diagram hubungan head dan debit[1] yang ada pada gambar 2.2, untuk tinggi jatuh air efektif (Heff) yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan penstock diameter 315 mm, 400 mm, dan 500 mm yaitu masing-masing 49.89 m, 117.12 m, dan 137.07 m dan debit air 0.3 m3/detik, turbin yang paling cocok adalah turbin pelton. Dan pada perencanaan ini akan digunakan dua buah nozzle. Daya turbin yang dihasilkan oleh tinggi jatuh air efektif dan debit air tersebut dapat dihitung dengan efisiensi turbin sebesar 80%

Generator yang digunakan adalah generator sinkron, yang man untuk menghasilkan daya dibawah 10 MW dibutuhkan kecepatan putaran sebesar 1000 rpm, frekuensi 50 Hz dan jumlah kutub 6.

3.5 Perhitungan daya yang dihasilkan

Potensi daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga mini hidro ini merupakan besar daya yang akan dihasilkan dengan memperhitungkan efisiensi dari turbin dan generator yang digunakan. Berikut tabel daya yang dihasilkan masing- masing diameter penstock.

Diameter Penstock (mm)	Diameter Nozzle (mm)	Diameter Runner (mm)	Daya yang Dihasilkan (kW)
315	78.2	300	105.61
400	63	460	247.92
500	60.8	500	290.15

Tabel 3. Diameter nozzle, diameter runner, dan daya yang dihasilkan

3.6 Analisa Kelayakan Ekonomi

Analisa kelayakan ekonomi dimulai dengan menghitung biaya untuk bahan-bahan yang dibutuhkan seperti pipa lurus HDPE, kemudian elbow pipa HDPE, gate valve, serta turbin dan generator, kemudian menghitung proyeksi pendapatannya.

Setelah biaya dan proyeksi pendapatan diketahui, dapat ditentukan kelayakannya dengan menghitung *Break Event Point* (BEP), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Net Present Value* (NPV) sebagai parameter yang digunakan pada penelitian kali ini.

1. Biaya

Investasi Awal	Pipa 315 mm	Pipa 400 mm	Pipa 500 mm
Komponen Mekanikal	6.318.815.580	9.438.519.820	13.616.086.020
HDPE SDR 11 (PN16)	3.510.748.500	5.651.301.500	8.830.134.500
Elbow 90	10.038.000	18.143.400	29.706.600
Elbow 60	3.275.000	5.377.840	9.110.800
Elbow 45	1.692.000	26.295.000	43.064.000
Elbow 30	11.393.800	11.393.800	16.958.480
Elbow 15	5.648.280	5.648.280	7.911.640
Gate Valve	28.500.000	57.000.000	100.000.000
Biaya Pabrikasi	2.747.520.000	3.663.360.000	4.579.200.000
Turbin dan Generator	1.467.610.228	1.467.610.228	1.467.610.228
Komponen Bangunan Sipil	100.000.000	100.000.000	100.000.000
Intake dan Power House	150.000.000	150.000.000	150.000.000
Total	7.936.425.800	11.056.130.000	15.233.696.200

08	048	48
----	-----	----

Tabel 4. Total investasi awal

Uraian	Pipa 315 mm	Pipa 400 mm	Pipa 500 mm
Pemeliharaan	158.728.516	221.122.601	304.673.925
Upah Karyawan	60.000.000	60.000.000	60.000.000

Tabel 5. Biaya operasional dan pemeliharaan

2. Proyeksi pendapatan

Untuk menghitung proyeksi pendapatan diperlukan besarnya harga jual listrik ke PLN. Harga maksimal penjualan listrik ke PLN dapat ditentukan dengan besarnya BPP provinsi Jawa Tengah yang dikalikan dengan faktor pengali 85%. BPP provinsi Jawa Tengah tahun 2020 sebesar Rp 907,77 dengan dikalikan faktor 85%, maka harga jual listrik ke PLN maksimal sebesar Rp 771,6. Dengan total operasional setiap tahun selama 8760 jam, maka proyeksi pendapatan energi listrik yang dijual ke PLN dengan masing-masing diameter pipa penstock adalah sebagai berikut.

Diameter Penstock (mm)	Proyeksi Pendapatan (Rp)
315	713.840.801
400	1.675.744.830
500	1.961.186.522

Tabel 6 Proyeksi pendapatan per tahun

3. Parameter kelayakan ekonomi

Dengan menggunakan suku bunga 9% per tahun, hasil analisa ekonomi ditampilkan dalam tabel berikut.

Parameter	pipa 315 mm	Pipa 400 mm	Pipa 500 mm
BEP	16 Tahun	8 Tahun	10 Tahun
IRR	8.14%	14.94%	12.58%
NVP	Rp - 602.425.419	Rp 6.160.472.335	Rp 4.915.534.079

Tabel 7 Hasil analisa ekonomi

4. Simpulan

Berdasarkan analisa kelayakan PLTMH pada Kali Blumbang Tawangmangu Kabupaten Karanganyar ini dapat disimpulkan bahwa penstock yang paling layak digunakan adalah

penstock dengan diameter 400 mm, dengan *head* efektif sebesar 117.12 m, dan daya total yang dihasilkan sebesar 247.92 kW, dengan menggunakan turbin Pelton dan akan kembali modal (BEP) pada tahun ke-8 dengan tingkat IRR sebesar 14.94% dan NPV sebesar Rp 6.160.472.335.

Sedangkan penggunaan *Penstock* dengan diameter 315 mm tidak layak karena *headloss* yang dihasilkan terlalu besar, sehingga dari analisa kelayakan ekonomi akan menghasilkan BEP yang cukup lama yaitu pada tahun ke-16 dengan tingkat IRR < MARR yaitu sebesar 8.14%, dan NPV < 0 yaitu sebesar Rp - 602.425.419.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terimakasih kepada Tuhan yang Maha Esa dan rekan-rekan sejawat untuk mendukung penelitian ini

Daftar Pustaka

- [1] Presidensi G20, Indonesia Fokus Menuju Energi Hijau –<http://www.indonesia.go.id/kategori/kabar-terkini-g20/3765/presidensi-g20-indonesia-fokus-menuju-energi-hijau..>
- [2] Konsumsi Listrik Melejit 8.42%, Kegiatan Ekonomi Mulai Pulih ? – <http://www.https://www.cnbcindonesia.com/news/20220412123210-4-330930/konsumsi-listrik-melejit-842-kegiatan-ekonomi-mulai-pulih>.
- [3] Arismunandar A, Kuwahara S, (1972), Teknik Tenaga Listrik, Jakarta
- [4] Blank L, Tarquin A, (2012), Engineering Economy Seventh Edition, New York.
- [5] Pudjanarsa A, (2008), Mesin Konversi Energi, Surabaya.
- [6] Stephenson D, (2001), Pipeflow Analysis, Johannesburg, South Africa
- [7] Soemarno C, (1986), Hidrolika Teknik, Surabaya, Indonesia.
- [8] Penche C, Minas I, (1998), Layman's Guide Book On How To Develop A Small Hydro Site, Brussel, Belgia.
- [9] Abdulla M, (2016), Fisika Dasar I, Bandung, Jawa Barat.
- [10] Dirjen Listrik Dan Pemanfaatan Energi, Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral, (2008), Pedoman Teknik Standardisasi Peralatan Dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), Jakarta.
- [11] Nafian M, Haryudo S, Ariwibowo W, Widyartono M, "Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Menggunakan Turbin Tipe Cross-Flow", Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, 2021.
- [12] Nugroho D, Suprajitno A, Gunawan G, "Desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Air Terjun Kedung Kayang", Universitas Islam Sultan Agung, Banda Aceh, 2017
- [13] Ramadhany Aprilianto R, Fungkas A, Eko Wahyuni S, Suharyanto, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Karangtalun Kabupaten Temanggung", Universitas Diponegoro, Semarang, 2013.
- [14] Darius I, Bahar F, "Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Desa Batu Pataneteang Kabupaten Bantaeng", Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar, 2020..
- [15] Ma'ali N, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Kepung Kabupaten Kediri", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [16] Pane M, Samosir R, Usia Siahaan A, "Perencanaan Transmisi Dan Poros Bagi PLTMH Dengan Head 28 Meter Dan Debit Air 50 Liter Per Detik Pada Air Terjun Curug Pelangi", Universitas Kristen Indonesia, Jakarta, 2020.
- [17] Antony Suatan R, Ayu Dwi Giriantari I, Wayan Sukareyasa I, "Kajian Ekonomi Rencana PLTMH Di Desa Panji", Universitas Udaya, Bali, 2020.
- [18] BI Website, https://www.bi.go.id/seki/tabel/TABEL1_26.pdf
- [19] Perhitungan Biaya Bangun Rumah Per Meter2022, <https://www.rumah.com/panduan-properti/biaya-bangun-rumah-per-meter-57394>
- [20] Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, (2020), Kepmen No.169.K/HK.02/MEM.M/2021 Tentang Besaran Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2020, Jakarta, Indonesia.
- [21] Harga Pipa, www.ragampipa.com, Sidoarjo, Jawa Timur.

- [22] Harga Pipa, www.pipawavin.info/harga-pipa-hdpe-harga-pipa-pe100-2022, Sidoarjo, Jawa Timur

Analisis Unjuk Kerja Kolektor Surya Plat Datar Dengan Aliran *Impinging Jet* dalam proses Pengeringan

Ketut Astawa¹⁾, I N Suarnadwipa²⁾, I Gusti Ngurah Putu Tenaya³⁾, I G Teddy Prananda Surya⁴⁾

^{1,2,3,4)}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali 80361

Abstrak

Kolektor Surya plat datar adalah salah satu alat yang digunakan untuk mengoptimalkan pengkonversian energi radiasi matahari menjadi energi panas dalam proses pengeringan. Modifikasi kolektor surya plat datar dilaksanakan dengan penambahan sirip-sirip berlubang dari diameter besar menuju diameter lubang sirip kecil yang disusun secara *staggered*, yaitu dari diameter 90 mm, 70 mm, 50 mm, 30 mm, dan 10 mm, sehingga aliran udara yang dihasilkan akan menghasilkan aliran *Impinging Jet* dimana aliran udara dari lubang sirip di depannya akan menabrak permukaan sirip berikutnya. Selain berfungsi sebagai laluan aliran udara, penambahan sirip berlubang juga akan menambah luas bidang perpindahan panas. Sirip-sirip yang disusun secara *staggered* juga menimbulkan aliran *turbulen*, yang menyebabkan meningkatnya temperatur udara di dalam kolektor surya, sehingga temperatur udara yang keluar dari kolektor akan lebih panas dibandingkan dengan udara masuk kolektor surya. Udara panas yang keluar dari kolektor surya ini digunakan untuk memanaskan material seperti hasil-hasil pertanian, salah satunya dengan cara menghubungkan kolektor surya plat datar dengan rak pengering bertingkat. Dalam penelitian ini udara panas yang dihasilkan kolektor surya plat datar digunakan untuk mengeringkan tempurung kelapa sebagai bahan dasar *souvenir*. Hasil pengujian dan analisis terhadap penggunaan kolektor surya plat datar dengan *Impinging Jet* ini dihasilkan perbandingan massa akhir dari bahan yang diuji sebesar 0,69 kg dan 1,25 kg dengan cara penjemuran alami. Selama pengujian yang sudah dilakukan, penurunan kadar air yang dapat dicapai sebesar 14,8 %. Efisiensi pengeringan tertinggi yaitu 1,3% dan selanjutnya menurun untuk waktu berikutnya.

Kata kunci: Kolektor surya plat datar, *Impinging Jet*, Unjuk kerja, Pengering bertingkat

Abstract

A flat plate solar collector is a tool used to optimize the conversion of solar radiation energy into heat energy in the drying process. Modification of flat plate solar collectors is carried out by adding perforated fins from large diameters to small fin hole diameters which are arranged staggered, namely from diameters of 90 mm, 70 mm, 50 mm, 30 mm and 10 mm, so that the resulting air flow will be produces an *Impinging Jet* flow where the air flow from the fin hole in front will hit the surface of the next fin. Apart from functioning as a passageway for air flow, the addition of perforated fins will also increase the area of heat transfer. The staggered fins also create turbulent flow, which causes the air temperature inside the solar collector to increase, so that the temperature of the air leaving the collector will be hotter than the air entering the solar collector. The hot air coming out of the solar collector is used to heat materials such as agricultural products, one of which is by connecting a flat plate solar collector with a multi-level drying rack. In this research, the hot air produced by a flat plate solar collector is used to dry coconut shells as a base for *souvenirs*. The results of testing and analysis of the use of a flat plate solar collector with *Impinging Jet* resulted in a final mass ratio of the material tested of 0.69 kg and 1.25 kg by natural drying. During the tests that have been carried out, the reduction in water content that can be achieved is 14.8%. The highest drying efficiency was 1.3% and then decreased for the following time.

Keywords: Flat plate solar collector, *Impinging Jet*, Performance, Multilevel dryer

1. PENDAHULUAN

Pengering energi surya (*solar dryer*) digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan sinar matahari dalam proses pengeringan, dengan cara mengkonversi sinar matahari menjadi energi panas yang dilakukan dengan menggunakan suatu alat pengumpul radiasi surya atau kolektor surya. Penelitian sebelumnya tentang kolektor surya plat datar dengan modifikasi penambahan sirip

berbentuk plat melintang dan besi bulat dengan diameter tertentu yang dipasang secara *staggered* dan *aligned*. Dengan cara ini diperoleh hasil terjadi peningkatan temperatur keluar kolektor lebih tinggi, sehingga efisiensi kolektor juga semakin tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan sirip

*Korespondensi: Tel./Fax.: +62 853-8744-6255

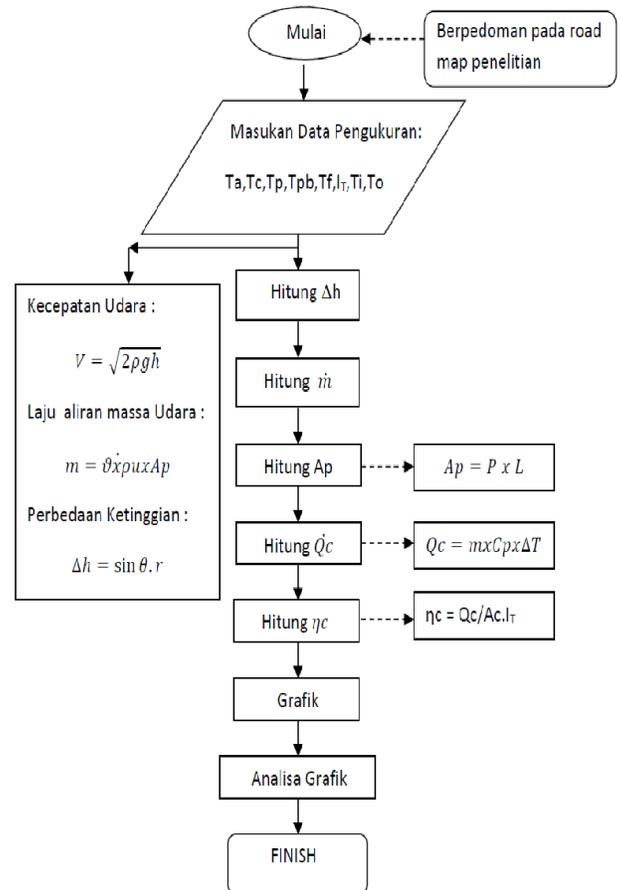
E-mail: ketutblentut2020@gmail.com

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

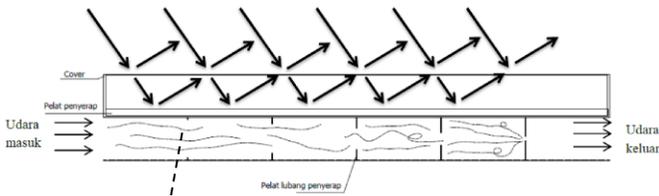
[1]. Pada penelitian ini untuk meningkatkan unjuk kerja dari kolektor surya plat datar dilakukan modifikasi, yaitu dengan penambahan sirip-sirip berlubang dari diameter besar menuju diameter lubang sirip kecil yang disusun secara *staggered*, yaitu dari diameter 90 mm, 70 mm, 50 mm, 30 mm, dan 10 mm, sehingga aliran udara yang dihasilkan akan menghasilkan aliran *Impinging Jet* dimana aliran udara dari lubang sirip di depannya akan menabrak permukaan sirip berikutnya. Selain berfungsi sebagai luan aliran udara, penambahan sirip berlubang juga akan menambah luas bidang perpindahan panas. Sirip-sirip yang disusun secara *staggered* juga menimbulkan aliran *turbulen*, yang menyebabkan meningkatnya temperatur udara di dalam kolektor surya, sehingga temperatur udara yang keluar dari kolektor akan lebih panas dibandingkan dengan udara masuk kolektor surya. Udara panas yang keluar dari kolektor surya ini digunakan untuk memanaskan material seperti hasil-hasil pertanian, dengan cara menghubungkan kolektor surya plat datar ke rak pengering bertingkat dimana material yang akan dikeringkan ditempatkan. Dalam penelitian ini udara panas yang dihasilkan kolektor surya plat datar digunakan untuk mengeringkan tempurung kelapa sebagai bahan dasar *souvenir*.

2. METODE PENELITIAN

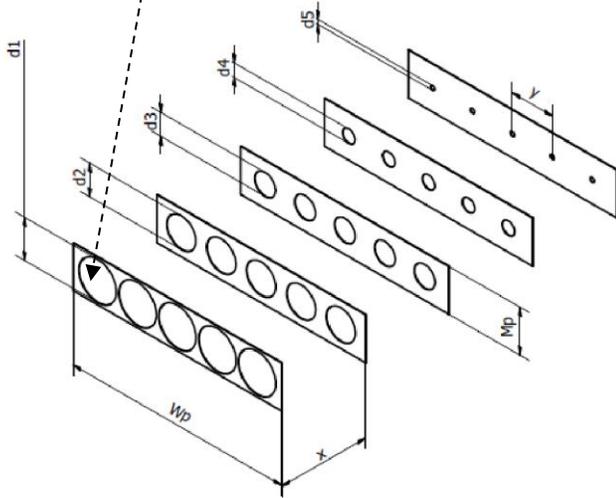
Metode Penelitian dalam pengujian kolektor surya plat datar dengan indikator capaian setiap kegiatan penelitian yaitu pengujian unjuk kerja kolektor surya plat datar dengan aliran *Impinging jet* melalui sirip berlubang dengan variasi diameter lubang beda sebagai luan aliran udara dari sisi *inlet* ke sisi *out let* yang dimanfaatkan untuk pengeringan tempurung kelapa sebagai bahan *souvenir* dilaksanakan dengan metode eksperimen. Udara panas yang keluar dari kolektor surya plat datar disalurkan ke rak pengering bertingkat sebagai tempat tempurung kelapa yang akan dikeringkan.



Gambar 2.1 Diagram alir pengujian
2.1 Rancangan Kolektor surya plat datar dengan Impinging Jet



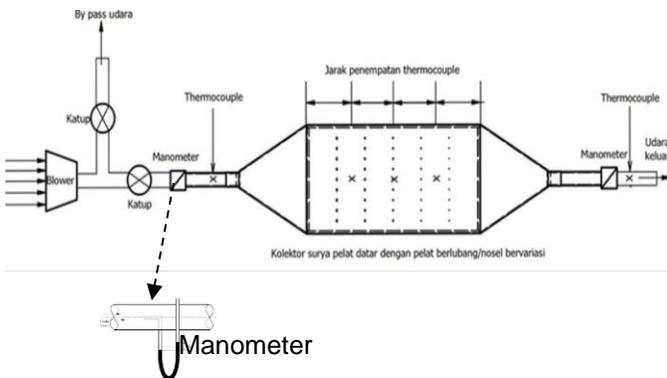
Gambar 2.2 Distribusi radiasi surya dan aliran udara di kolektor surya



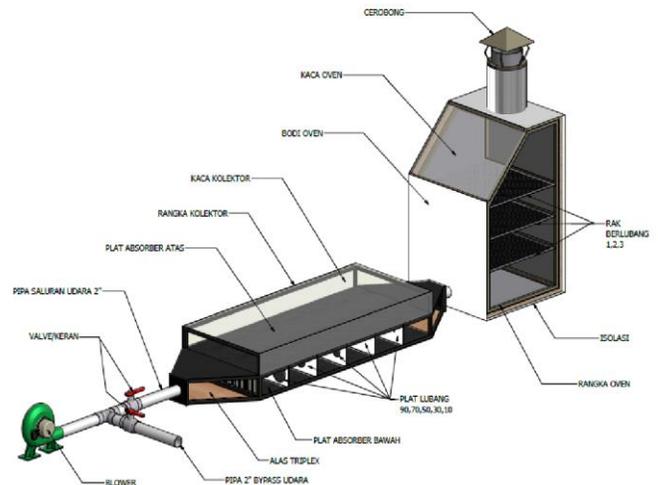
Gambar 2.3 Konstruksi Sirip berlubang (Aliran *Impinging jet*) pada kolektor surya plat datar

Pada penelitian ini didalam kolektor surya plat datar ditambahkan plat berlubang dengan diameter lubang bervariasi. Panjang plat $L_p = 1,2$ m dan lebar kolektor $W_p = 0,5$ m. Diameter lubang dari diameter besar ke diameter kecil yaitu 90 mm, 70 mm, 50 mm, 30 mm, dan 10 mm. Plat dan sirip sebagai absorber dicat hitam (*doff*) untuk menambah kualitas penyerapan radiasi matahari. Untuk konstruksi plat berlubang dapat dilihat pada Gambar 2.3.

2.2 Pengujian Unjuk Kerja Kolektor surya Plat datar dengan *Impinging Jet*



Gambar 2.4 Mekanisme Pengujian Unjuk Kerja Kolektor Surya Plat datar



Gambar 2.5 Mekanisme pengeringan tempurung kelapa pada rak bertingkat dengan Aliran *Impinging Jet*

Sirkulasi udara yang masuk ke dalam kolektor surya plat datar dibantu dengan Blower, tekanan udara dari blower diukur dengan manometer yang dipasang sebelum udara masuk ke kolektor. Manometer juga dipasang di ujung kolektor untuk mengetahui tekanan udara keluar kolektor surya plat datar. Udara masuk dari sirip berlubang dengan diameter yang besar mengarah ke lubang sirip yang kecil menjadikan aliran udaranya sebagai aliran *Impinging Jet*. Perbedaan lubang sirip ini akan menyebabkan perbedaan tekanan udara yang masuk ke dalam kolektor sehingga akan mempengaruhi temperatur sirip dalam kolektor dan dengan demikian temperatur keluaran yang dihasilkan kolektor pun akan berbeda.

2.3 Energi Berguna dan Efisiensi Kolektor Surya Plat Datar

2.3.1 Energi Berguna Kolektor Surya Plat Datar

Energi berguna pada kolektor surya plat datar adalah besarnya energi yang diserap dan digunakan untuk memanaskan kolektor surya, besarnya energi berguna dihitung menggunakan persamaan [4]

$$Q_U = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i) \tag{1}$$

dengan: Q_u = Panas berguna (W), \dot{m} = laju aliran massa fluida (kg/s), C_p = panas jenis fluida (J/kg °C), T_o = temperatur fluida keluar (°C) dan T_i = temperatur fluida masuk (°C).

2.3.2 Efisiensi Kolektor Surya Plat Datar

Effisiensi dari kolektor dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan [4]

$$\eta = \frac{Q_U}{A_a I_T} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{A_a I_T} \tag{2}$$

dengan: η = efisiensi kolektor, A_a = luas bidang penyerapan kolektor (m^2), I_T = radiasi surya yang jatuh pada bidang kolektor (W/m^2)

A_s = Luas permukaan perpindahan panas (m^2)
 T_s = Temperatur permukaan (K)
 T_∞ = Temperatur fluida (K)

2.4 Mekanisme Perpindahan Panas pada Kolektor Surya Plat Datar

Dalam kasus ini terjadi tiga fenomena perpindahan panas yaitu secara konduksi, yang terjadi pada udara yang diam dan pada plat penyerap. Selain itu terjadi perpindahan panas secara konveksi antara permukaan plat penyerap dengan fluida kerja yang mengalir, dalam hal ini udara. Kemudian pertukaran panas radiasi terjadi di atas penutup transparan, diantara penutup transparan dengan plat penyerap bagian atas, dan antara plat penyerap bagian bawah dengan permukaan isolasi.

2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah merupakan perpindahan panas yang terjadi pada suatu media padat atau pada media fluida yang diam akibat adanya perbedaan temperatur antara permukaan yang satu dengan permukaan yang lain pada media tersebut. [3]. Laju konduksi dikenal dengan Hukum Fourier tentang Konduksi (*Fourier Law of Heat Conduction*), yang persamaannya matematikanya sebagai berikut:[5]

$$q_{kond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

dengan:

q_{kond} = laju perpindahan panas konduksi (W)

k = konduktivitas termal bahan ($W/m.K$)

A = luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ = gradien temperatur pada penampang tersebut (K/m)

(-) = perjanjian Fourier

2.4.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari suatu permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir atau bergerak atau sebaliknya akibat adanya perbedaan temperatur.[5]. Laju perpindahan panas konveksi adalah merupakan hukum Newton tentang pendinginan (*Newton's Law of Cooling*) yaitu:[5]

$$q_{konv} = h_c A_s (T_s - T_\infty) \quad (4)$$

dengan:

q_{konv} = Laju perpindahan panas konveksi (W)

h_c = Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2.K$)

2.4.3 Perpindahan Panas Radiasi

Energi dari medan radiasi ditransportasikan oleh pancaran atau gelombang elektromagnetik (photon), dan asalnya dari energi dalam material yang memancar. Transportasi energi pada peristiwa radiasi tidak harus membutuhkan media, justru radiasi akan lebih efektif dalam ruang hampa. Berbeda dengan perpindahan panas konduksi dan konveksi yang mutlak memerlukan media perpindahan.[3]. Laju pertukaran panas radiasi keseluruhan antara permukaan dengan sekelilingnya (*surrounding*), dengan temperatur sekeliling, T_{sur} :[3]

$$q_{rad} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (5)$$

dengan:

q_{rad} = perpindahan panas radiasi (W)

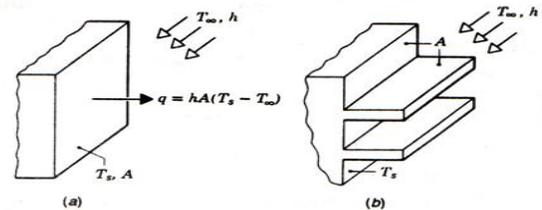
σ = konstanta Stefan Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$)

A = Luas permukaan perpindahan panas (m^2)

T = temperatur permukaan perpindahan panas (K)

2.5 Sirip

Untuk meningkatkan laju perpindahan dapat dilakukan dengan menambah luas penampang permukaan, dimana konveksi terjadi. Cara ini dapat dilakukan dengan menggunakan sirip yang meluas dari permukaan media padat ke dalam fluida yang berada di sekelilingnya [4]. seperti Gambar 2.6



Gambar 2.6 Kegunaan sirip untuk memperbesar perpindahan panas media padat [4]

2.6 Aliran Impinging Jet

Perpindahan panas dengan menggunakan metoda aliran *Impinging Jet*, merupakan perpindahan panas dimana fluida dipancarkan melalui lubang-lubang atau nosel menuju permukaan/plat yang memiliki perbedaan temperatur.[5]. *Impinging* disini berarti "tabrakan", dimana terjadi tabrakan antara fluida pendingin dengan permukaan suatu target dalam kecepatan aliran yang tinggi.[5]

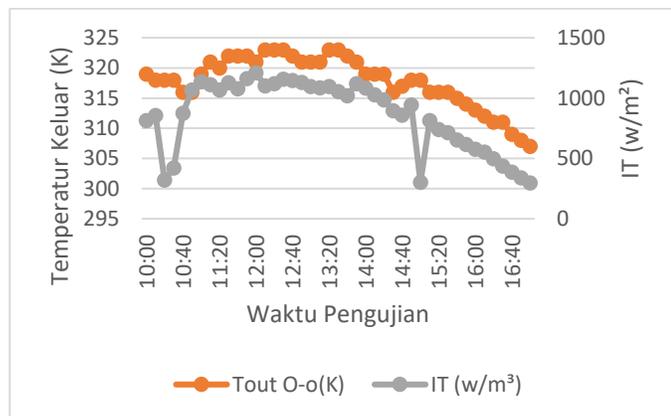
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian yang telah dilakukan terhadap unjuk kerja kolektor surya plat datar dengan aliran Impinging Jet, untuk selang waktu setiap jam diperoleh hasil seperti pada Tabel 3.1. Sedangkan Gambar 3.1

menggambarkan grafik hubungan antara temperatur keluaran kolektor dengan waktu pengujian, dimana terjadi peningkatan temperatur keluar kolektor yang sebanding dengan peningkatan besarnya intensitas radiasi matahari. Hal tersebut disebabkan karena pada kolektor surya plat datar dengan aliran Impinging Jet tersebut distribusi panas yang terjadi lebih cepat sementara aliran udaranya lambat (lebih bersifat turbulen) sehingga temperatur keluarannya menjadi tinggi. Pada sore hari temperatur udara keluar masih tinggi dimana intensitas radiasi matahari sudah mulai menurun, hal ini disebabkan karena sirip-sirip yang ditambahkan masih menyimpan panas radiasi matahari sebelumnya.

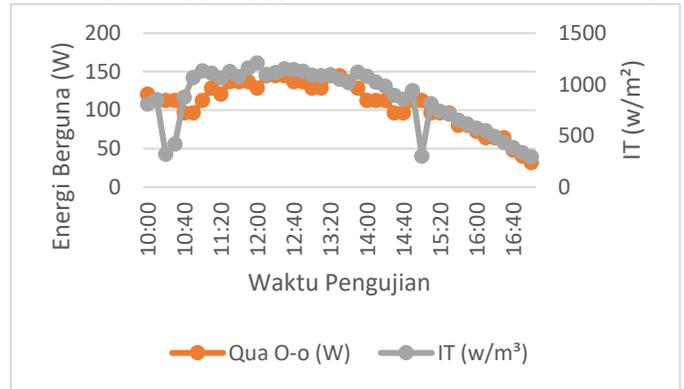
Tabel 3.1 Data unjuk kerja kolektor surya plat datar dengan aliran *Impinging Jet*

WAKTU	T _a (°C)	I _T (W/m ²)	T _{in} (K)	T _{out} (K)	ΔT (K)	T _{fluida} (K)	C _p (J/kg.K)	Q _{u,a} (W)	η _a (%)
10:00	29	813	304	319	15	311.5	1007,46	120.9	24.8
11:00	30	1135	304	316	14	312	1007,48	112.8	21.9
12:00	31	1211	305	321	16	313	1007,52	112.8	58.4
13:00	31	1095	305	321	16	313	1007,52	112.8	44.8
14:00	31	1083	305	319	14	312	1007,48	96.7	18.4
15:00	30	303	304	318	14	311	1007,44	96.7	15.1
16:00	29	578	305	313	9	308.5	1007,34	112.8	16.6
17:00	29	297	303	307	15	311.5	1007,46	128.9	19.3



Gambar 3.1 Grafik hubungan temperatur keluar kolektor dengan waktu pengujian

Sedangkan untuk Gambar 3.2 dapat dijelaskan bahwa energi berguna yang dihasilkan kolektor surya juga lebih besar, hal ini karena volume fluida yang mengalir antar sirip berbeda dimana fluida yang mengalir melalui lubang sirip berdiameter besar menuju lubang-lubang yang semakin kecil (*Impinging Jet*) mendapatkan temperatur panas keluaran yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya energi berguna yang dihasilkan merupakan fungsi dari laju aliran massa kolektor, koefisien panas jenis udara dan temperatur udara keluar kolektor. Semakin besar temperatur panas keluaran pada kolektor maka energi berguna yang didapat juga semakin besar.



Gambar 3.2. Grafik perbandingan energi berguna (Qu) terhadap waktu

3.1 Pemakaian Energi Pada Proses Pengeringan Energi radiasi matahari pada ruang pengering (Q_{rp}):

$$Q_{rp} = A_p \cdot I_T$$

$$\text{Jadi, } Q_{rp} = 0,25 \cdot 0,72 \frac{\text{kJ/s}}{\text{m}^2} = 0,18 \text{ kJ/s}$$

Energi masuk ruang pengering ($Q_{in,p}$):

$$Q_{in,p} = Q_{c,out,tot} + Q_{rp} = 7,37 \text{ kJ/s} + 0,18 \text{ kJ/s} \\ = 7,55 \text{ kJ/s}$$

Energi yang digunakan untuk proses pengeringan (Q_p):

Massa awal bahan yang dikeringkan, $m_1 = 1,6 \text{ kg}$

Massa bahan setelah mengalami pengeringan,

$m_2 = 1,45 \text{ kg}$

hfg pada $29^\circ \text{C} = 2.439,3 \text{ kJ/kg}$

$$Q_p = hfg \cdot \dot{m}_p$$

Menentukan laju pengeringan :

$$\dot{m}_p = \frac{m_1 - m_2}{t} = \frac{1,6 \text{ kg} - 1,4 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} = 0,000042 \text{ kg/s}$$

Sehingga, $Q_p = hfg \cdot \dot{m}_p$

$$= 2.439,3 \text{ kJ/kg} \cdot 0,000042 \text{ kg/s} = 0,1 \text{ kJ/s}$$

Panas yang keluar ruang pengering ke-lingkungan ($Q_{p,out}$):

C_p pada $42^\circ \text{C} = 1,0054 \text{ kJ/kg.K}$

$T_{p,out} = 42^\circ \text{C} = 315,15^\circ \text{K}$

$\dot{m}_a = 0,028 \text{ kg/s}$

$$Q_{p,out} = \dot{m}_a \cdot C_p \cdot T_{p,out}$$

Sehingga:

$$Q_{p,out} = 0,0199 \text{ kg/s} \cdot 1,0054 \text{ kJ/kg.K} \cdot 315,15^\circ \text{K} \\ = 6,305 \text{ kJ/s}$$

3.2 Efisiensi pengeringan (η_p):

$$Q_p = 0,1 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{in,p} = 7,55 \text{ kJ/s}$$

$$\eta_p = \frac{Q_p}{Q_{in,p}} \times 100 \%$$

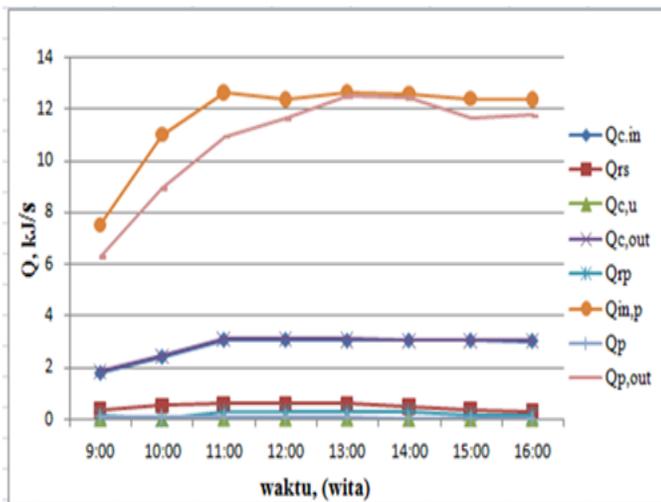
Sehingga,

$$\eta_p = \frac{0,1}{7,55} \times 100 \% = 1,3 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat digambarkan seperti Gambar 3.3. dimana udara memasuki ruang kolektor dengan rata – rata energi sebesar 2,73 kJ/s, selanjutnya udara menyerap energi pada kolektor rata – rata sebesar 0,02 kJ/s. Energi ini didapatkan dari energi radiasi matahari yang dipancarkan ke permukaan kolektor dengan energi rata – rata sebesar 0,46 kJ/s. Serapan energi oleh udara pengering di dalam kolektor menyebabkan peningkatan energi pada udara pengering tersebut, sehingga energi udara pengering yang keluar kolektor menjadi 2,73 kJ/s. Kandungan kadar air awal pada bahan yang dikeringkan adalah sebesar 88,8%.

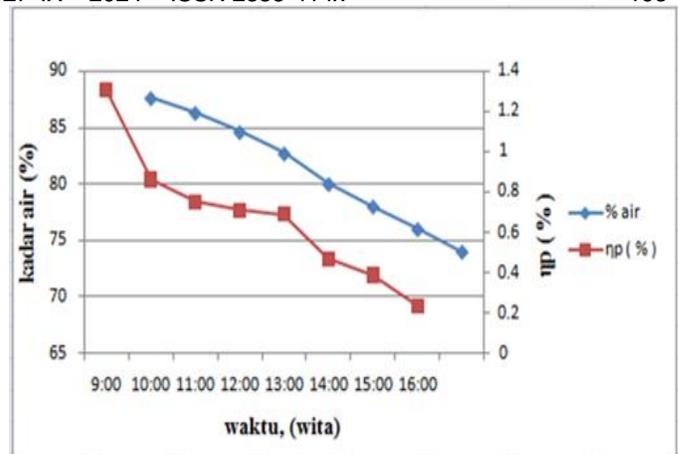
3.2 Kadar Air Bahan Batok kelapa

Pada Gambar 3.4, terjadi penurunan kadar air hingga mencapai 74%. Penurunan kadar air terjadi sepanjang waktu pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa udara panas yang menyerap kandungan air pada bahan yang di



Gambar 3.3. Grafik pemakaian energi pada proses pengeringan

keringkan telah bersirkulasi. Pada awal dimulainya proses pengeringan tidak terjadi perpindahan massa sehingga efisiensi pengeringannya nol. Efisiensi pengeringan terbesar terjadi pada pukul 09.00 Wita yaitu sebesar 1,3% Selanjutnya efisiensi menurun untuk waktu berikutnya sampai akhir proses pengeringan.



Gambar 3.4. Grafik Kadar air bahan dan Efisiensi pengeringan

4. SIMPULAN

Dari hasil perbandingan dengan pengeringan menggunakan cara alami, dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan kolektor surya plat datar dengan *Impinging Jet* akan dapat mempercepat proses pengeringan. Perbandingan massa akhir dari bahan yang diuji menggunakan kolektor surya plat datar sebesar 0,69 kg dan 1,25 kg dengan cara penjemuran alami. Selama pengujian yang sudah dilakukan, penurunan kadar air yang dapat dicapai sebesar 14,8% .Efisiensi pengeringan tertinggi yaitu 1,3% dan selanjutnya menurun untuk waktu berikutnya.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini adalah bagian dari hibah penelitian yang diajukan di LPPM Unud. Terimakasih kepada LPPM (Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat) Unud, Fakultas Teknik Unud serta Program Studi Teknik Mesin Unud atas pendanaan penelitian ini serta bantuan fasilitas yang telah diberikan di Program Studi.

Daftar Pustaka

- [1] Astawa,dkk, *Pengaruh penggunaan pipa kondensat sebagai heat recovery pada basin tipe solar still terhadap efisiensi.* Jurnal Energi dan Manufaktur, Vol.2 No.1.pp.34-41. 2018
- [2] David Febraldo, Wayan Nata Septiadi, Ketut Astawa, *Kinerja Termal Pipa Kalor Tembaga pada Fluida Kerja Air.* Jurnal METTEK Volume 5 No 1. pp 52 – 56 ISSN 2502-3829. 2019
- [3] Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Denpasar
- [4] Duffie and etc, *Solar Engineering of Thermal Processes,* John Wiley & Sons, Inc, United State of America. 1991

- [5] Incropera and Dewit, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, Inc, New York. 1996
- [6] Jansen, T. J. alih bahasa oleh Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta. 1995
- [7] Yuniyanto, Bambang, *Analisa Transien Perpindahan Panas Pada Heat Plate Dengan Metoda Confined Impinging Jet*, Teknik Mesin FT-UNDIP, Semarang. 2005
- [8] Ketut Astawa, dkk. *Pengaruh Variasi Ketinggian Cerobong Terhadap Unjuk Kerja Kolektor Surya Plat Datar Dengan Penambahan Sirip Berlubang Berdiameter Beda* Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan X – 2019 (27-28 Juni, Bali) Issn 2338-414x. 2019
- [9] Ketut Astawa, dkk, *Analisis Efektivitas Perpindahan Panas pada Alat Penukar Panas Jenis Water to Water*, Jurnal Material dan Proses Manufaktur, Vol. 6, No. 1, p26-30, Juni 2022
- [10] M. Fathuddin Noor, *Analisa Penggunaan Bahan Penyimpan Panas Pada Kolektor Alat Pengering Benih Energi Surya*, Jurnal TURBO, Vol.2 No.2, pp 13 – 16,ISSN 2301-6663. 2013
- [11] Diah Mufti Erlina, Imam Tazi, *Uji Model Alat Pengering Tipe Rak Dengan Kolektor Surya (Studi Kasus Untuk Pengeringan Cabai Merah (Capsium Annum Var. Longum)* Jurnal Neutrino Vol. 2, No.1,pp.1-14. 2009
- [12] Astawa,K.22789-1-44440-1-10-20160728. *Pengaruh Penempatan Sirip Berbentuk Segitiga Yang Dipasang Secara Aligned Dan Staggered Terhadap Performansi Kolektor Surya Pelat Datar*. 2015
- [13] Rahayoe, S. (2017, October 28). *Teknik Pengeringan*. Departemen Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada.



Pengaruh Beban Kerja terhadap Stres Kerja dan Dampak Kinerja Karyawan pada Perusahaan Jasa di Kota Makassar

Dirgahayu A. Lantara^{1)*}, Anis Saleh²⁾, Rahmaniah Malik³⁾, Titania Nurul Latifah Hapsa⁴⁾
^{1,2,3)}Program Studi Teknik Industri, Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh beban kerja terhadap stres kerja dan dampaknya pada kinerja karyawan di PT. RRI, sebuah perusahaan jasa di Kota Makassar. Metode penelitian kuantitatif digunakan dengan pengumpulan data melalui kuesioner kepada karyawan. Analisis regresi linear berganda digunakan untuk menguji hubungan antara beban kerja, stres kerja, dan kinerja karyawan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban kerja memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap stres kerja karyawan, serta pengaruh positif yang signifikan terhadap kinerja karyawan. Selain itu, stres kerja juga memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap kinerja karyawan. Rekomendasi untuk perusahaan adalah memperhatikan beban kerja karyawan dan memastikan agar tidak melebihi kapasitas yang dapat mereka hadapi, dengan langkah-langkah seperti redistribusi tugas atau penambahan sumber daya. Perusahaan juga perlu mengurangi faktor-faktor yang menyebabkan stres kerja. Penelitian selanjutnya dapat melibatkan faktor-faktor lain yang mempengaruhi kinerja karyawan, serta strategi untuk meningkatkan kesejahteraan dan kinerja mereka. Dengan demikian, perusahaan dapat menciptakan lingkungan kerja yang lebih baik, meningkatkan kesejahteraan karyawan, dan meningkatkan kinerja mereka.

an Kerja, Stres Kerja, Kinerja Karyawan, Regresi linear berganda

Abstract

This study aims to investigate the influence of workload on job stress and its impact on employee performance at PT. RRI, a service company in Makassar, Indonesia. A quantitative research method was employed, and data were collected through questionnaires distributed to employees. Multiple linear regression analysis was conducted to examine the relationships between workload, job stress, and employee performance. The results revealed that workload has a significant positive influence on job stress among employees, as well as a significant positive effect on employee performance. Additionally, job stress was found to significantly affect employee performance. Recommendations for the company include paying attention to employee workload and ensuring it does not exceed their capacity, through measures such as task redistribution or resource addition. The company should also work on reducing factors that contribute to job stress. Further research could explore other factors influencing employee performance and develop strategies to enhance employee well-being and performance. By doing so, the company can create a better work environment, improve employee welfare, and enhance their performance.

Keywords: Workload, Job Stress, Employee Performance, Multiple Linear Regression

1. Pendahuluan

SDM memiliki peran dengan menjadi penggerak utama dari sebuah perusahaan dalam menjalani semua kegiatan dalam upaya mencapai tujuan dari perusahaan [1]. Dalam usaha untuk mencapai tujuan dari perusahaan diperlukan SDM yang memiliki kompetensi yang baik dalam melakukan semua pekerjaannya [2].

Faktor yang paling berpengaruh agar permintaan dapat diselesaikan atau terpenuhi sesuai dengan jadwal yang ditetapkan yaitu faktor sumber daya manusia yang meliputi tenaga kerja yang terlibat langsung didalam bagian proses produksi [3]. Perencanaan sumber daya manusia merupakan hal yang penting dalam mengembangkan strategi dan kinerja perusahaan [4]. Kemampuan sumber daya manusia dalam menyelesaikan pekerjaannya dapat terlihat dari hasil pekerjaannya tersebut [5]. Dengan adanya sumber daya manusia yang berkualitas dengan kuantitas yang tepat tersebut, sangat diperlukan di setiap perusahaan untuk mengembangkan tenaga kerja di perusahaan [6]. Tujuan yang hendak dicapai oleh perusahaan tidak terlepas dari permasalahan, baik dari dalam maupun dari luar perusahaan [7]. Permasalahan yang berasal

dari dalam perusahaan salah satunya yaitu kinerja karyawan [8]. Kinerja karyawan pada dasarnya merupakan hasil yang dicapai dan prestasi yang dibuat di tempat kerja, hal ini dapat dilihat dari segi kuantitas dan kualitas hasil kerja berdasarkan standar yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Kinerja karyawan sangat penting dalam menentukan efektivitas suatu organisasi [9]. Dengan kata lain kinerja organisasi atau perusahaan sangat dipengaruhi dan bergantung pada kualitas dan kemampuan kompetitif sumber daya manusia yang dimiliki [10].

Berdasarkan observasi awal yang dilakukan pada PT. RRI yang merupakan perusahaan penyedia jasa yang bergerak dibidang Konsultan Perencanaan, Manajemen dan Supervisi/ Pengawasan yang sejak berdirinya senantiasa mendapat kepercayaan dari berbagai kalangan baik pemerintah provinsi, kabupaten/kota maupun pihak swasta. Memiliki jumlah karyawan 69 orang terdiri dari tenaga tetap dan tidak tetap, terdapat 7 orang perempuan sedangkan laki-laki sebanyak 62 orang. Diketahui bahwa beban kerja pada setiap karyawan berbeda-beda sesuai dengan bidangnya [11]. Sehingga setiap bidang mempunyai permasalahan beban kerja yang berbeda-beda. Karyawan di PT. RRI pada pemberian tugas tidaklah

*Korespondensi: Tel./Fax.: No telp atau hp anda / No fax anda

E-mail: dirgahayu.lantara@umi.ac.id¹, anis.saleh@umi.ac.id², rahmaniah.malik@umi.ac.id³

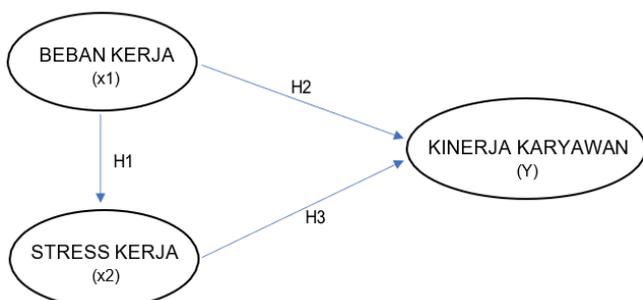
♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

sesuai pada posisi yang didudukinya saat ini dan cenderung sudah tidak sesuai lagi dengan job description pada perjanjian kontrak kerja. Maka para karyawan yang diberikan beban kerja yang tidak sesuai dengan job description serta karyawan yang harus mengerjakan pekerjaan yang seharusnya dikerjakan merasakan ketidakpuasan dalam bekerja yang pada akhirnya mereka bersifat pasif dalam menanggapi target yang sudah ditetapkan oleh atasan [12].

Hal ini sering terjadi pada bidang administrasi yang diharuskan menyelesaikan pekerjaan sesuai dengan waktu yang ditetapkan [13]. Demikian pula bagian Drafter yang harus memenuhi target tetapi tidak terpenuhi dikarenakan banyaknya pekerjaan yang secara bersamaan harus diselesaikan dengan waktu yang sangat sedikit selain itu hal yang mempengaruhi. Terhambatnya proses pengerjaan desain/ gambar seperti Team Sorveyor lambat mengumpulkan data serta mengolah data tersebut akibat sulit kelengkapan kondisi pandemi saat ini, serta pada bagian Estimator dalam menghitung kualitas dan Rencana anggaran biaya tidak tercapai target pekerjaannya karena gambar yang belum rampung, begitupun Tenaga Ahli yang bertugas menyusun laporan teknis kegiatan juga mengalami kesulitan dalam menyusun dan mengekspose/ mempresentasikan hasil pekerjaan tersebut sementara perusahaan menetapkan target sesuai waktu kontrak yang telah disepakati dengan pengguna jasa dan harus bekerja di luar jam kerja. Hal tersebut akhirnya menyebabkan stres kerja pada karyawan yang harus menyelesaikan tugas- tugas pada waktu yang telah ditentukan. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh beban kerja terhadap stres kerja dan kinerja karyawan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat kuantitatif karena data diperoleh dengan mengukur nilai suatu variabel dalam sampel populasi melalui kuesioner. Dengan melihat sebaran data kuesioner mana yang mempengaruhi beban kerja stres kerja dan dampaknya terhadap kinerja karyawan. Data dikumpulkan berdasarkan jumlah karyawan, dengan analisis data berdasarkan pengujian instrumen data, uji asumsi klasik, analisis regresi linear berganda, dan pengujian hipotesis. Dengan kerangka kerja pada penelitian dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini,



Gambar 1. Kerangka kerja penelitian

H1: Beban Kerja Berpengaruh pada Stres Kerja

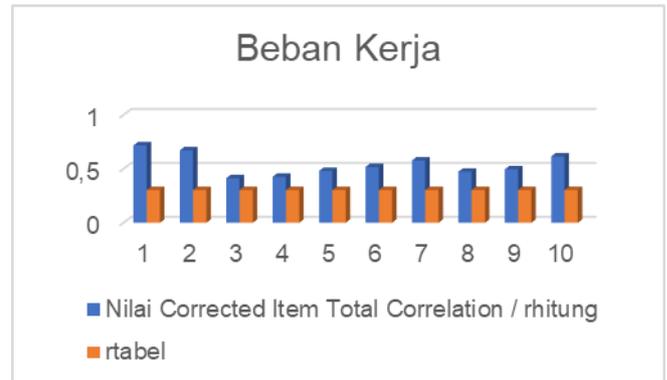
H2: Beban Kerja Berpengaruh pada Kinerja Karyawan

H3: Stres Kerja Berpengaruh pada Kinerja Karyawan.

3. Hasil dan Pembahasan

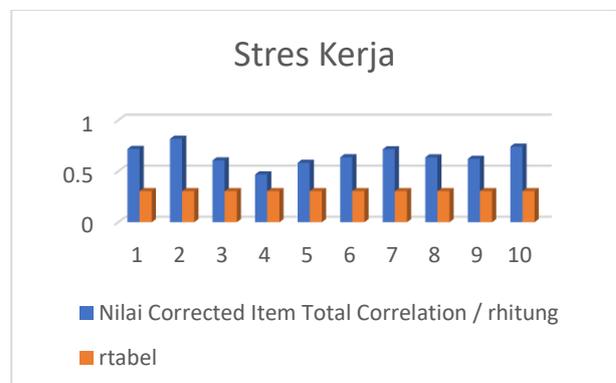
3.1 Hasil pengujian Instrumen Data

• Uji Validitas



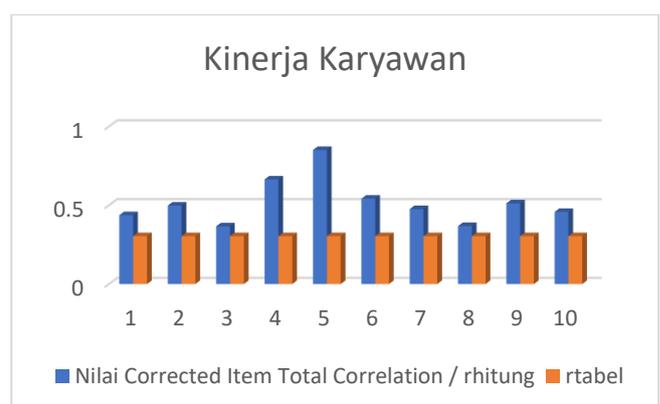
Gambar 2. Hasil uji validitas variabel X1

Pada Gambar 2 diatas, dapat dilihat bahwa nilai 10 item pernyataan berada pada nilai korelasi berada di atas nilai rtabel ini menunjukkan bahwa semua pernyataan dinyatakan Valid.



Gambar 3. Hasil uji validitas variabel X2

Pada Gambar 3 diatas, dapat dilihat bahwa nilai 10 item pernyataan berada pada nilai korelasi berada di atas nilai rtabel ini menunjukkan bahwa semua pernyataan dinyatakan Valid.



Gambar 4. Hasil uji validitas variabel Y

Pada Gambar 4 diatas, dapat dilihat bahwa nilai 10 item pernyataan berada pada nilai korelasi berada di atas nilai rtabel ini menunjukkan bahwa semua pernyataan dinyatakan Valid.

• Uji Realibilitas

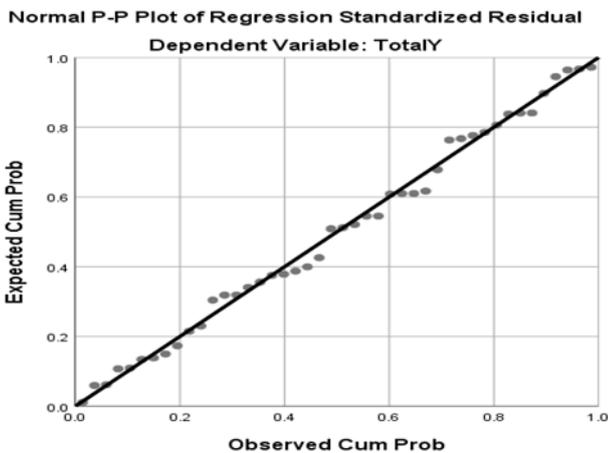
Tabel 1. Hasil uji Reabilitas Variabel

No	Variabel	r alpa	r kritis	Kriteria
1	Beban Kerja (X1)	0,779	0,600	Reliabel
2	Stres Kerja (X2)	0,761	0,600	Reliabel
3	Kinerja (Y)	0,713	0,600	Reliabel

Pada tabel 1 diatas, dapat dilihat bahwa semua data berdasarkan pengujian r alpa dan r kritis, semua data pada r alpa berada diatas nilai r kritis ini menunjukkan bahwa semua variabel dinyatakan reliabel.

3.2 Uji Asumsi Klasik

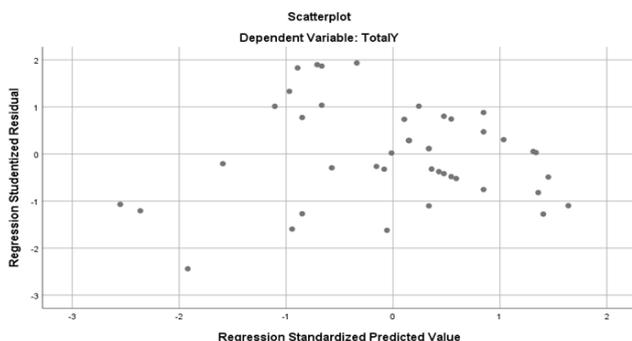
- Uji Normalitas



Gambar 5. Hasil pengujian Normalitas data

Dari gambar 5 diatas, dapat dilihat bahwa sebaran data berada pada kurva maka data dinyatakan dalam sebaran normal.

- Uji Heteroskedastisitas



Gambar 6. Hasil pengujian Heteroskedastisitas

Dari gambar 6 diatas, dapat dilihat bahwa sebaran data berada pada standar regresi maka data dinyatakan dalam sebaran normal dengan hasil dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. Hasil Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	8.495	2.007		4.233	.000
	Stres Kerja	-.033	.063	-.132	-.520	.605
	Beban Kerja	-.022	.048	-.085	-.448	.656

a. Dependent Variable: Abs_Res

Pada tabel 2 diatas, dapat dilihat bahwa nilai koevisien pada variabel stres kerja berada pada 0,605 dan nilai koefisien dari beban kerja berada pada 0,656.

- Uji Multikolinieritas

Tabel 3. Hasil Multikolinieritas Coefficients

Model		Coefficients ^a						Collinearity Statistics	
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.	Tolerance	VIF	
		B	Std. Error	Beta					
1	(Constant)	20.259	3.838		5.279	.000			
	Beban Kerja	.667	.136	.780	4.898	.000	.529	1.889	
	Stres Kerja	-.103	.093	-.178	-1.116	.271	.529	1.889	

a. Dependent Variable: Kinerja

Pada tabel 3 diatas, dapat dilihat bahwa hasil pengujian variabel, dapat dilihat bahwa nilai variabel yang memiliki pengaruh signifikan berada pada stres kerja dengan nilai 0,271 dan beban kerja tidak memiliki pengaruh.

3.3 Analisis Regresi Linear Berganda

Tabel 4. Hasil Pengujian Regresi Linear Berganda

Model		Coefficients ^a				t	Sig.
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Beta		
		B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	20.259	3.838		5.279	.000	
	Beban Kerja	.667	.136	.780	4.898	.000	
	Stres Kerja	.208	.084	.357	2.479	.017	

a. Dependent Variable: Kinerja

Pada tabel 4 diatas, dapat dilihat bahwa pengujian variabel dengan metode regresi linear berganda, diketahui variabel yang paling berpengaruh adalah stres kerja dengan nilai signifikan sebesar 0,017 sedangkan variabel beban kerja tidak berpengaruh.

3.4 Hasil Uji Hipotesis

- Uji F

Tabel 5. Hasil uji F (simultan)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	209.082	2	104.541	16.750	.000 ^b
	Residual	255.895	41	6.241		
	Total	464.977	43			

a. Dependent Variable: Kinerja
b. Predictors: (Constant), Stres Kerja, x1_total

Pada tabel 5 diatas, dapat dilihat bahwa nilai pengujian regresi nilai hubungan simultan pada dengan nilai total hubungan sebanyak 16.750.

- Uji t

Tabel 6. Hasil uji t Varibel X1 terhadap X2

Coefficient ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-.268	6.394		-.042	.967
	Beban Kerja	1.009	.165	.686	6.111	.000

a. Dependent Variable: Stres Kerja

Pada tabel 6 diatas, dapat dilihat bahwa nilai konstrain pengaruh antara beban kerja dengan stres kerja senyakin 0,967 ini menandakan bahwa beban kerja sangat berpengaruh pada stres kerja.

Tabel 7. Hasil uji t Varibel X1 dan X2 terhadap Y

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	20.259	3.838		5.279	.000
	Beban Kerja	.667	.136	.780	4.898	.000
	Stres Kerja	.208	.084	.357	2.479	.017

a. Dependent Variable: Kinerja

Pada tabel 7 diatas, dapat dilihat bahwa kinerja dari stres kerja paling berpengaruh pada kinerja karyawan karena memiliki nilai signifikan pengaruh sebanyak 0,017.

Pembahasan

- H1: Beban Kerja Berpengaruh pada Stres Kerja

Berdasarkan hasil uji statistic *t* yang dilakukan dengan aplikasi SPSS 25.0 diperoleh nilai signifikan antara beban kerja dengan stres kerja adalah 0,000 atau $p \leq 0,05$. Hal tersebut menunjukkan bahwa ada hubungan yang sangat signifikan antara beban kerja dengan stres kerja pada karyawan PT. RRI. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa tingkat beban kerja sedang menjadi yang terbanyak dialami oleh pegawai, hal tersebut sebanding dengan hasil pengukuran stres kerja yaitu stres kerja pada tingkat sedang menjadi tingkat stres yang paling banyak dialami oleh pegawai. Dapat disimpulkan bahwa kedua variabel pada penelitian ini memiliki hubungan yang positif [14].

- H2: Beban Kerja Berpengaruh pada Kinerja Karyawan

Pada pernyataan sebelumnya, diketahui bahwa variabel yang berasal dari beban kerja memberikan pengaruh kepada variabel kinerja karyawan sehingga diperlukan pengelolaan beban kerja dengan melakukan pembagian secara merata mengenai beban dari kerja karyawan sesuai dengan kemampuan yang dimiliki setiap karyawan [15], sehingga dapat dinyatakan bahwa terjadi atau adanya pengaruh secara positif dan cukup besar yang berasal dari variabel beban kerja memiliki kepada variabel dari kinerja karyawan PT. RRI.

- H3: Stres Kerja Berpengaruh pada Kinerja Karyawan.

Dari hasil pengujian secara keseluruhan, didapatkan besaran nilai dari probabilitas signifikan yaitu 0,017 lebih rendah dari besaran nilai taraf signifikan yaitu 0,05. Maka artinya H3 diterima terbukti bahwa terjadi atau adanya pengaruh positif antara variabel stress kerja terhadap kinerja karyawan di PT. RRI.

Sesuai hasil uji secara sebagian dari variabel stress kerja kepada variabel dari kinerja karyawan, diketahui secara sebagian variabel yang berasal dari stress kerja memberikan pengaruh secara positif kepada variabel dari kinerja karyawan. Hasil tersebut dapat dibuktikan melalui uji *t* yaitu nilai probabilitas dari variabel stress kerja 0,017 lebih rendah dari 0.005 dan adanya pengaruh secara positif yang berasal dari variabel stress kerja kepada variabel dari kinerja karyawan. Nilai koefisien beta, yaitu 0.208 dari variabel stress kerja kemudian dapat dibuat sebuah asumsi dengan pernyataan bila terjadi peningkatan senilai 1 dari variabel stress kerja maka terjadi penurunan senilai 0,208 dari nilai variabel kinerja nilai signifikan 0,05 sehingga dari perbandingan tersebut maka H ditolak dan kemudian H1 diterima, dan hal tersebut membuktikan sehingga dapat dinyatakan bahwa terjadi atau adanya pengaruh yang cukup besar yang berasal dari variabel stress kerja kepada variabel kinerja karyawan [16].

4. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara beban kerja dan stress kerja terhadap kinerja karyawan di PT. RRI. Variabel beban kerja memiliki pengaruh positif dan cukup besar terhadap stress kerja karyawan, sedangkan variabel beban kerja juga memiliki pengaruh positif terhadap kinerja karyawan. Selain itu, variabel stress kerja juga memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap kinerja karyawan. Oleh karena itu, rekomendasi untuk perusahaan adalah memperhatikan beban kerja karyawan dan memastikan bahwa beban kerja yang mereka tanggung tidak melebihi kapasitas yang dapat mereka hadapi. Langkah-langkah dapat diambil untuk mengurangi beban kerja yang berlebihan, seperti redistribusi tugas atau penambahan sumber daya. Perusahaan juga perlu memperhatikan tingkat stress kerja karyawan dan mengambil langkah untuk mengurangi faktor-faktor yang menyebabkan stress. Selain itu, perusahaan harus terus memantau dan mengevaluasi kinerja karyawan, serta melakukan penelitian selanjutnya untuk meneliti faktor-faktor lain

yang berpotensi mempengaruhi kinerja karyawan dan strategi untuk meningkatkan kesejahteraan karyawan serta kinerja mereka. Dengan demikian, perusahaan dapat menciptakan lingkungan kerja yang lebih baik, meningkatkan kesejahteraan karyawan, dan meningkatkan kinerja mereka.

Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan terima kasih kepada pihak perusahaan yang telah memberikan kami keleluasaan dalam memberikan kesibukan tambahan kepada karyawan PT. RRI dalam melakukan perolehan hasil kuesioner. Kepada pihak Jurusan teknik industri yang telah memberikan bimbingan dan dukungan terselesainya penelitian ini

Daftar Pustaka

- [1] F. Amelyawati, N. Herachwati, F. Niska Dinda Nadia, and P. Studi Pengembangan Sumber Daya, "Meningkatkan Daya Saing melalui Manageman Sumber Daya Manusia (MSDM) sebagai Strategi Peningkatan Kinerja," *BRILIANT: Jurnal Riset dan Konseptual*, vol. 8, no. 1, pp. 22–37, 2023, doi: 10.28926/briliant.v8i1.
- [2] K. Piowar-Sulej, "Human resources development as an element of sustainable HRM – with the focus on production engineers," *J Clean Prod*, vol. 278, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124008.
- [3] E. A. Sinambela, D. Darmawan, and & V Mendrika, "Effectiveness of Efforts to Establish Quality Human Resources in the Organization," *Journal of Marketing and Business Research*, vol. 2, no. 1, pp. 2807–9175, 2022, doi: 10.56348/mark.v2i1.43.
- [4] G. Anwar and N. N. Abdullah, "The impact of Human resource management practice on Organizational performance," *International journal of Engineering, Business and Management (IJEEM)*, vol. 5, no. 1, pp. 2456–8678, doi: 10.22161/ijeem.5.1.
- [5] A. A. M. Davidescu, S. A. Apostu, A. Paul, and I. Casuneanu, "Work flexibility, job satisfaction, and job performance among romanian employees-Implications for sustainable human resource management," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 15, pp. 1–53, Aug. 2020, doi: 10.3390/su12156086.
- [6] D. Darmawan *et al.*, "The quality of human resources, job performance and employee loyalty," *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, vol. 24, no. 3, pp. 2580–2592, 2020, doi: 10.37200/IJPR/V24I3/PR201903.
- [7] C. Mayer, "The Future of the Corporation and the Economics of Purpose," 2020. [Online]. Available: http://ssrn.com/abstract_id=3731539www.ecgi.global/content/working-papers
- [8] R. N. Ichsan, L. Nasution, S. Sinaga, and D. Marwan, "The influence of leadership styles, organizational changes on employee performance with an environment work as an intervening variable at pt. Bank sumut binjai branch," *Journal of Contemporary Issues in Business and Government*, vol. 27, no. 02, pp. 258–264, Feb. 2021, doi: 10.47750/cibg.2021.27.02.032.
- [9] P. T. Nguyen, A. Yandi, and M. R. Mahaputra, "Factors That Influence Employee Performance: Motivation, Leadership, Environment, Culture Organization, Work Achievement, Competence and Compensation (A Study Of Human Resource Management Literature Studies)," *Dinasti International Journal of Digital Business Management*, vol. 1, no. 4, pp. 645–662, 2020, doi: 10.31933/DIJDBM.
- [10] F. Alfawaire and T. Atan, "The effect of strategic human resource and knowledge management on sustainable competitive advantages at Jordanian universities: The mediating role of organizational innovation," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 15, pp. 1–35, Aug. 2021, doi: 10.3390/su13158445.
- [11] M. Akca and M. T. Küçükoglu, "Relationships between mental workload, burnout, and job performance: A research among academicians," in *Evaluating Mental Workload for Improved Workplace Performance*, IGI Global, 2019, pp. 49–68. doi: 10.4018/978-1-7998-1052-0.ch003.
- [12] D. Soraya AAminartha, "PENGARUH STRES KERJA DAN LINGKUNGAN KERJA TERHADAP KINERJA PEGAWAI DI KANTOR DINAS PERHUBUNGAN KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG," *Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, vol. 4, no. 2, pp. 309–318, 2023, doi: 10.31850/decision.v4i2.2627.
- [13] L. Rahmawati, N. Umi Ati, and J. Administrasi Negara, "EFEKTIVITAS PELAYANAN PUBLIK BIDANG ADMINISTRASI KEPENDUDUKAN DI MASA PANDEMI COVID-19 (Studi Kasus Pada Kelurahan Samaan Kecamatan Klojen Kota Malang)," 2021.
- [14] E. Hermawan, "Pengaruh Lingkungan Kerja, Stres Kerja, dan Beban Kerja Terhadap Kinerja PT. Sakti Mobile Jakarta," 2022. [Online]. Available: <http://ejurnal.ubharajaya.ac.id/index.php/JKI>
- [15] A. Nurhandayani, "Pengaruh Lingkungan Kerja, Kepuasan Kerja, dan Beban Kerja terhadap Kinerja," 2022. [Online]. Available: <https://jurnal.smartindo.org/index.php/ekobil>
- [16] B. W. Kusuma, N. Ferdinand, and D. Sunarsi, "Pengaruh Lingkungan Kerja dan Stres Kerja Terhadap Kinerja Karyawan pada PT. Gema Perkasa Electronic Jakarta Barat," *Jurnal Ekonomi Utama*, vol. 2, no. 1, pp. 6–9, Mar. 2023, doi: 10.55903/juria.v2i1.30.



Dirgahayu Lantara menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Muslim Indonesia. Pendidikan magister Teknik Industri diselesaikan di ITB Bandung. Dan menyelesaikan program doktor Teknik Industri di Universitas Brawijaya. dengan area riset tentang perancangan sistem.

Saat ini ia bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Industri Universitas Muslim Indonesia. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah desain sistem yang ada di bidang teknik industri

Studi Kasus Head Pompa Hydrum dengan Variasi Panjang Langkah Katup Limbah

I Putu Widiarta^{1)*}, Made Suarda²⁾, I Gusti Ketut Sukadana³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pompa hydrum adalah pompa yang digerakan oleh daya air, sehingga dalam operasionalnya tidak membutuhkan energi listrik ataupun energi bahan bakar, sehingga sangat cocok diterapkan di daerah pegunungan untuk pemenuhan kebutuhan air bersih. Unjuk kerja pompa hydrum sangat dipengaruhi oleh parameter desain, seperti model katup tekan, dan dimensi dari masing-masing komponen. Efisiensi pemompaan dipengaruhi oleh kapasitas pemompaan dan kapasitas limbah yang dihasilkan. Pengujian-pengujian pompa terdahulu dilakukan pada head pemompaan yang rendah dan pada penelitian ini dilakukan pengujian prototype pompa hydrum yang di uji pada kondisi lapangan untuk mendapatkan unjuk kerja pompa hydrum sebenarnya dengan memvariasikan 5 titik head pemompaan dimana head tertingginya adalah 122m dan 3 variasi panjang langkah katup limbah. Hasil dari penelitian ini adalah: meningkatkan panjang langkah katup limbah berpengaruh pada peningkatan kapasitas pemompaan di setiap variasi head pemompaan dan meningkatnya debit limbah. Dengan meningkatnya head pemompaan besar pengaruhnya terhadap penurunan kapasitas pemompaan. Kapasitas pemompaan tertinggi terjadi pada head pemompaan yang paling rendah yaitu 37 m dan panjang langkah katup limbah 3,5 cm sebesar 0,00074 m³/s. efisiensi total pompa hydrum tertinggi terjadi pada pada panjang langkah katup limbah 3,5cm dengan head 37 m sebesar 41,63%. Meningkatkan panjang langkah katup limbah, dapat meningkatkan daya efektif pemompaan.

pa hydrum, kapasitas pemompaan, kapasitas limbah, daya efektif pemompaan dan efisiensi total.

Abstract

Hydraulic ramp pump is the pump wich driven by water power, so that, in operational didn't need to electrick energy or fuel energy, so that very suitable application at mountainous area for fulfillment of clean water needs. The performance of hydraulic ramp very affected by design parameter, such as pressure valve model and dimensions of each component. Pumping efficiency affected by pumping capacity and waste capacity. The earlier reasearch of hydraulic ramp did in low pumping head and this reasearch, hydraulic ramp pump testing is carried out under field conditions to get the actual hydraulic ramp performance with 5 pumping head variations where the highest head is 122m and 3 variations of waste valve strokes. The result of reaseachr is: increase of waste valve stroke be affected on increase pumping capacity at every variations of head pumping and also that increasing of waste capacity. The large affect on increasing pumping head is decrease of pumping capacity. The highest pumping capacity occurs at the lowest pumping head, wich is 37m and the waste valve stroke is 3,5 cm at 0,00074 m³/s. The total efficiency of hydraulic ramp occurs at waste valve stroke is 3,5 cm with head 37m equal to 41,63%. Increasing waste valve stroke can be increase of pumping effective power.

Keywords: Hydraulic ramp, pumping capacity, waste capacity, pumping effective power and total efficiency.

1. Pendahuluan

Pompa hydrum adalah sebuah mesin konversi energi yang berfungsi untuk menambah engeri tekanan fluida air sehingga fluida yang berada pada elevasi lebih rendah dapat dipindahkan menuju ke titik elevasi yang lebih tinggi, konstruksi pompa hydrum tergolong sangat sederhana terdiri dari beberapa komponen yaitu: bak penggerak, pipa penggerak, badan pompa, tabung udara, katup tekan, dan katup limbah [1]. Pompa hydrum digerakan oleh tenaga air yang dimiliki oleh fluida air karena adanya beda elevasi keetinggian, sehingga pada pompa hydrum tidak membutuhkan sumber energi dari bahan bakar fosil ataupun energy Listrik sebagai enegi penggerak, jadi pompa hydrum merupakan kategori mesin mesin fluida yang *free energy* [2].

Kinerja pompa hydrum sangat dipengaruhi oleh design pompa itu sendiri, seperti model katup tekan (*pressure valve*). Katup tekan model mebran memberikan kinerja terbaik untuk pompa hydrum dibandingkan dengan katup model datar, model bola, dan model setengah bola, hal ini dipengaruhi oleh efek

dari fenomena aliran yang terjadi karena bentuk dari masing-masing model katup tekan tersebut [3]. Tabung udara (*air chamber*) pada pompa hydrum juga memberikan pengaruh terhadap performansi pompa, semakin tinggi tekanan yang bisa diciptakan dalam tabung maka performa pompa dapat meningkat karena terjadi perbedaan tekanan yang signifikan antara tabung udara dan outlet pompa sehingga energi fluida yang mengalir dari tabung udara ke outlet pompa semakin besar [4]. Tekanan outlet juga dipengaruhi oleh pangjang pipa penggerak (*drive pipe*), dengan penambahan panjang dari pipa penggerak maka tekanan yang bisa diciptakan semakin tinggi [5].

Kinerja pompa hydrum sangat dipengaruhi oleh peningkatan tekanan fluida kerja yang terjadi akibat dari terbentuknya fenomena palu air (*water hammer*) saat katup limbah menutup secara cepat, dengan demikian fluida air dari pipa penggerak yang memiliki kecepatan dihentikan secara tiba-tiba yang menyebabkan terjadi peningkatan tekanan fluida kerja di badan pompa sehingga katup tekan (*pressure valve*) dapat terbuka akibat dari fluida kerja yang memiliki tekanan tinggi dan

*Korespondensi: Tel./Fax.: 083806361799

E-mail: iputuwidiarta@unud.ac.id

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

menyebabkan permukaan dari *orifice* katup tekan menyebabkan terjadinya gaya yang dapat menyebabkan pergerakan katup [6]. Pada pompa hidram, peningkatan tekanan palu air sangat dipengaruhi oleh faktor kecepatan fluida air yang menutup katup limbah, sehingga dalam kasus ini setinggi langkah dan berat katup limbah pompa hidram memiliki peranan yang penting untuk mendapatkan performa pompa hidram yang maksimal [7]. Selain itu, kapasitas pemompaan akan menurun dengan meningkatnya head pemompaan, hal ini akan berpengaruh terhadap penurunan efisiensi pompa [8].

Studi literatur telah dilakukan, penelitian pompa hidram dengan variasi panjang langkah katup limbah (*stroke length*) banyak dilakukan pada model pompa hidram yang kecil dan *head* pemompaan yang relatif rendah sekitar 2-3 meter (skala laboratorium), akan tetapi, pada penelitian ini dilakukan studi kasus pada prototype pompa hidram yang mengkaji performa dan efisiensi pompa hidram yang dioperasikan pada kondisi lapangan dengan head pemompaan lebih dari 100 m sehingga seluruh parameter desainnya teridentifikasi. Penelitian ini, memvariasikan panjang langkah katup limbah serta *head* pemompaan.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan menguji kinerja *prototype* pompa hidram dengan parameter yang teridentifikasi diantaranya: *head* penggerak pompa hidram = 5,17m, *drive pipe* (pipa penggerak) = 18m, diameter *orifice* pipa penggerak 0,05m (2,5in), diameter *orifice* badan pompa hidram = 0,10m (4in), diameter tabung udara (*air chamber*) = 0,20m (8in), model *pressure valve* adalah model membran, masa dari katup limbah adalah 3,5kg dan pipa distribusi dari pompa ke reservoir adalah ¾ in. Gambar 1 menunjukkan *prototype* dari pompa hidram yang diuji.



Gambar 1. *Prototype* pompa hidram dilapangan

Pada penelitian ini, parameter yang di variasikan adalah: panjang langkah katup limbah yaitu 1,5cm, 2,5cm, 3,5cm dan variasi *head* ketinggian pemompaan adalah: 37m, 62m, 78m, 99m, dan 122m.

Palu air atau *water hammer* adalah terjadinya peningkatan nilai tekanan fluida kerja karena kecepatan aliran fluida yang dihentikan secara tiba-tiba. Tekanan *water hammer* (palu air) dapat dihitung menggunakan persamaan yang merupakan hubungan antara kecepatan fluida, densitas dan kecepatan suara dalam pipa penggerak (1) [6]:

$$P_h = \rho \cdot c \cdot v_c \quad (1)$$

Dimana ρ adalah densitas fluida (kg/m^3), c adalah kecepatan suara di dalam pipa (m/s) dan v_c adalah kecepatan air keluar katup limbah (m/s).

Head loss merupakan kerugian energi aliran pada sistem perpipaan yang diakibatkan oleh kekasaran permukaan diameter dalam pipa dan gesekan (*friction*) fluida dengan dinding pipa disebut dengan *head loss mayor*. *Head loss mayor* dihitung menggunakan persamaan (2) [9]:

$$H_{L.ma} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (2)$$

Dimana f adalah koefisien gesek pipa, L adalah panjang pipa (m), D adalah Diameter pipa (m), v adalah kecepatan fluida dan g adalah gravitasi (m/s^2). Sedangkan *head loss minor* adalah kerugian energi aliran diakibatkan oleh adanya penambahan aksesoris yang menyebabkan teradinya pembelolakan arah aliran maupun penyempitan atau pembesaran luas efektif area aliran disebut *head loss minor*. *Head loss minor* pada umumnya dihitung menggunakan persamaan berikut (3) [10]:

$$H_{L.mi} = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (3)$$

Dimana K adalah koefisien kerugian dari aksesoris yang terpasang pada sistem perpipaan.

Daya efektif pemompaan (*water horse power*) merupakan fungsi dari kapasitas pemompaan dengan *head* pemompaan. WHP atau daya efektif pemompaan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4) [3]:

$$WHP = \rho \cdot g \cdot q \cdot H \quad (4)$$

Dimana ρ adalah densitas fluida (kg/m^3), g adalah gravitasi (m/s^2), q adalah kapasitas pemompaan (m^3/s) dan H adalah head pemompaan (m).

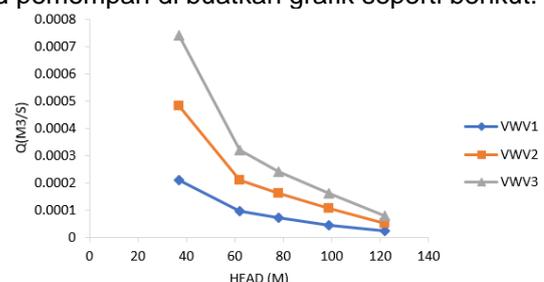
Efisiensi pompa hidram merupakan perbandingan antara energi *input* dengan energi *output* yang dihasilkan oleh pompa hidram. Efisiensi total pompa hidram dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (5) [11]:

$$\eta = \frac{Q_d \cdot H_d}{(Q_w + Q_d) \cdot H_s} \cdot 100\% \quad (5)$$

Dimana Q_d adalah kapasitas pemompaan (m^3/s), H_d adalah head pemompaan (m), Q_w adalah kapasitas limbah (m^3/s), dan H_s adalah head penerjun (m).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran kapasitas pemompaan pada setiap variasi panjang langkah katup limbah dan variasi head pemompaan di buatkan grafik seperti berikut:



Grafik 1. Kapasitas vs head pemompaan.

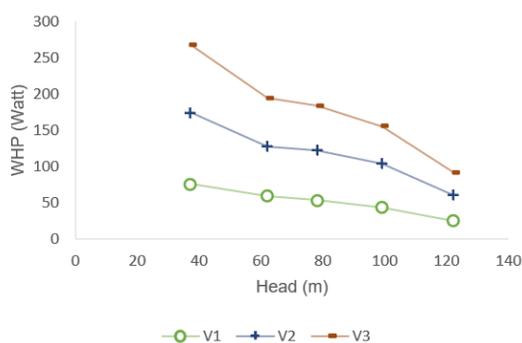
Grafik 1 diatas adalah grafik hubungan antara head pemompaan dengan kapasitas pemompaan dari masing-masing variasi pemompaan dimana: VVV1 adalah variasi panjang langkah 1, VVV 2 adalah variasi panjang langkah 2 dan VVV 3 adalah variasi panjang

langkah 3. Dari grafik 1 diatas dapat di analisis bahwa dengan bertambahnya head pemompaan, maka debit pemompaan akan menurun hal ini di akibatkan oleh adanya kehilangan energi aliran akibat *head loss* dan *pressure drop* yang terjadi pada sistem pipa distribusi. Dari grafik 1 juga dapat dianalisis bahwa menambah panjang langkah katup limbah dapat meningkatkan debit pemompaan di masing-masing head pemompaan, peningkatan debit pemompaan tertinggi terjadi pada variasi panjang langkah katup limbah 3 dengan panjang langkhanya yaitu 3,5 cm. Debit pemompaan tertinggi bisa di dapatkan pada variasi head pemompaan 1.

Meningkatnya debit pemompaan akibat dari ditambah panjang langkah dari katup limbah yang menyebabkan terjadi peningkatan *tekanan water hamer*. Dari hasil pengukuran bahwa debit limbah bertambah dengan ditambahkan panjang langkah katup limbah, sehingga kecepatan aliran yang keluar katup limbah akan meningkat. Dari persamaan (1), bahwa tekanan *water hammer* sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida yang menutup katup limbah. Dengan demikian menambah panjang katup limbah dapat meningkatkan tekanan *water hammer* yang mengakibatkan meningkatnya daya pompa hidram.

Selain itu, dengan ditambahkan panjang langkah katup limbah pompa hidram, dapat membuat frekuensi gerakan katup limbah yang melambat. Hal ini dikarenakan katup menempuh jarak yang lebih panjang untuk bisa menutup, akibat dari itu maka air dari pipa penggerak (*bak drive*) yang menuju ke badan pompa dan keluar melalui saluran katup limbah kecepatannya akan meningkat, hal ini dibuktikan dengan adanya penambahan debit limbah (Q_{waste}) saat panjang langkah katup di tingkatkan.

Hasil perhitungan daya efektif pemompaan (WHP) di buatkan dalam bentuk grafik seperti dibawah ini:

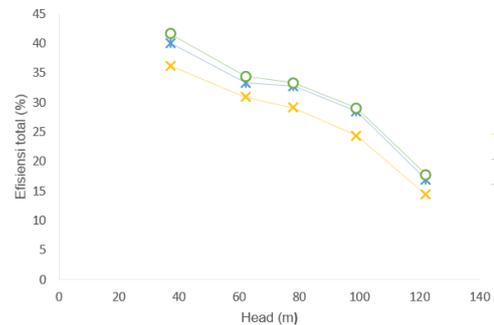


Grafik 2. WHP vs head pemompaan

Grafik 2 diatas adalah hubungan antara WHP dengan head pemompaan, dimana V1 adalah variasi panjang langkah katup limbah 1, V2 adalah panjang langkah katup limbah 2 dan V3 adalah variasi panjang langkah katup limbah 3. Dari grafik 2 diatas bisa dilihat bahwa, menambah panjang langkah katup limbah dapat meningkatkan WHP atau daya efektif pompa karena adanya peningkatan kapasitas pemompaan. WHP merupakan fungsi dari head dan kapasitas, bila head pemompaan tetap dan kapasitas meningkat maka nilai WHP akan ikut meningkat, sedangkan dengan bertambahnya head pemompaan maka akan terjadi penurunan WHP yang disebabkan oleh penurunan kapasitas pemompaan. Penurunan kapasitas pemompaan disebabkan oleh bertambah panjang pipa

distribusi yang menyebabkan meningkatnya *head loss* hal ini berakibat terjadi kehilangan energi aliran.

Efisiensi total pompa hidram dihitung dengan persamaan (5) berikut adalah hasil perhitungan efisiensi total yang dibuatkan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Grafik 3. Efisiensi vs head

Grafik 3 diatas adalah hubungan antara efisiensi dengan head pemompaan dari masing masing variasi panjang langkah limbah katup dimana V1 adalah variasi 1, V2 adalah variasi 2 dan V3 adalah variasi 3. Dari grafik diatas dapat dianalisis bahwa dengan meningkatnya head akan diikuti oleh menurunnya efisiensi total pompa hidram karena terjadi penurunan debit pada setiap head pemompaan yang di tingkatkan, sehingga dari persamaan 6, bila debit pemompaan menurun akan berdampak terhadap penurunan efisiensi total pompa hidram karena efisiensi merupakan fungsi debit dan head pemompaan. Efisiensi tertinggi terjadi pada variasi panjang langkah katup 3 (V3) di head pemompaan 37 m dengan nilai efisiensinya yaitu sebesar 41,63%.

4. Simpulan

Penambah panjang langkah katup limbah dapat meningkatkan debit pemompaan serta diikuti peningkatan debit limbah dan diikuti dengan kenaikan nilai WHP, serta dapat meningkatkan efisiensi pompa hidram.

Peningkatan head pemompaan maka debit pemompaan akan menurun. Selain itu, penurunan debit akibat dari *head loss* berdampak terhadap penurunan nilai efisiensi dan WHP. 1 meter head pompa hidram, dapat memompa air sampai 20 meter, namun titik optimalnya adalah 1 meter head pompa di aplikasikan pada head 10meter.

Daftar Pustaka

- [1]. Hussin N S M, *Design and Analysis Hydraulic Ram Water Pumping System*, Journal of Physics: Conf. Series 908, 2017.
- [2]. Seemin Sheikh, CC Handa, and AP Niwawe, *A Generalized Design Approach for Hydraulic Ram Pump*, International Journal of Engineering and Science Research, e-ISSN 2277-2685, Vol.3, 2013.
- [3]. Made Suarda dan Nengah Swarnadwipa, *Perancangan dan Pengujian Katup Membran*

- Pada Katup Tekan Pompa Hydram*, Jurnal Mechanical, Vol.4, No.1 2013.
- [4]. Gan Shu San, dan Gunawan Santoso, *Studi Karakteristik Volume Tabung Udara dan Beban Katup Limbah Terhadap Efisiensi Pompa Hydraulic Ram*, Jurnal Teknik Mesin, Vol.4, No.2, 2002.
- [5]. Gatut Prijo Utomo, Supardi, dan Edi Santoso, *Analisa Pengaruh Tinggi Jatuhan Air Terhadap Head Pompa Hydram*, Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya, Vol.1, No.2, 2015.
- [6]. Faktur Rohman dan Dwi Khusna, *Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Tinggi Reetrance Terhadap Effect Water Hammer Pada Variasi Pembebanan Disk Valve*, Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII, ISSN 2685-6875, 2019.
- [7]. Vaishnavi Taskar, *Optimizing Hydram Performance By Using Variable Stroke Waste Valve*, Proceeding of the Fortieth National Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power, India, 2013.
- [8]. Muhamad Jafri and Arifin Sanusi, *Analysis Effect of Supply Head and Delivery Pipe Length Toward The Efficiency Hydraulic Ramp 3 Inches*, International Research Journal of Advance Engineering and Science, ISSN 2455-9024, Vol.4, 2019.
- [9]. Piyush b. Shende, *Analytical Calculation for The Hydraulic Ram Pump Using Average Head Loss*, International Journal for Scientific Research and Development, ISSN 2321-0613, Vol.3, 2015.
- [10] Piyush b. Shende, *Design and Analytical Calculation for a Hydram Using Individual Head Loss*, International Journal of Science Technology and Engineering, ISSN 2349-784X, Vol.2, 2015.
- [11]. Dariusz Grygo, *Effect of The Heigh of Delivery Water on Performance of Water Ram*, Journal Technical Science, 2016.



I Putu Widiarta menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 2020. Pendidikan magister Teknik Mesin diselesaikan di Universitas Udayana pada tahun 2022 dengan area riset tentang computational fluid dynamics.

Saat ini ia bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Mesin Uinversitas Udayana. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah internal dan eternal flow, mesin - mesin fluida, dan CFD.

Uji Performansi Sistem Pirolisis Sampah Plastik Jenis *Polypropylene* Dengan Memvariasikan Temperatur Pirolisis

I N. Suarnadwipa^{1)*}, Ketut Astawa²⁾, Made Ricki Murti³⁾, I Wayan Bandem A.⁴⁾

Izhar Adji Arta⁵⁾

^{1,2,3,4,5)}PS Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sampah pada saat ini menjadi ancaman serius bagi lingkungan hidup. Pemakaian plastik di masyarakat sangat tinggi pemakaiannya sehingga berujung pada penumpukan sampah plastik. Salah satu jenis sampah yang sering dijumpai adalah jenis *polypropylene* (PP). Tingginya tingkat pencemaran lingkungan akibat sampah plastik berdampak serius bagi kesehatan lingkungan maupun masyarakat sekitar. Sampah plastik juga termasuk sumber polusi lingkungan terbesar di seluruh dunia. Akibat hal tersebut diperlukan upaya untuk menanggulangi ancaman sampah plastik, salah satunya dengan cara mengubah sampah plastik menjadi minyak dengan sistem pirolisis. Sistem pirolisis adalah proses dekomposisi material menjadi unsur-unsur pembentuknya melalui proses pemanasan tanpa oksidasi. Penelitian ini dilakukan untuk menguji performansi sistem pirolisis sampah plastik PP pada perlakuan temperatur pirolisis yang berbeda, yaitu 300 °C, 350 °C, dan 400 °C. Unjuk kerja sistem pirolisis meliputi: volume minyak, densitas minyak, massa residu, dan laju aliran volume minyak yang dihasilkan. Massa sampah yang digunakan 1 kg dengan ukuran 1cm x1cm dengan melewati air pendingin di kondensor 4,8 liter/menit. Di setiap pengujian menggunakan 1 kg sampah plastik. Adapun bahan utama dalam penelitian adalah plastik bening dengan jenis plastik PP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume minyak yang dihasilkan meningkat seiring peningkatan suhu. Volume minyak maksimum yang dihasilkan 830 ml pada temperatur pirolisis 400°C. Densitas minyak relatif konstan atau tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap perubahan temperatur pirolisis. Nilai densitas rata-rata 734 kg/m³. Laju aliran volume minyak atau laju produksi minyak berbanding lurus dengan temperatur pirolisis. Laju produksi minyak tertinggi pada temperatur 400 °C dengan nilai 4,97 ml/menit. Massa residu yang dihasilkan semakin berkurang atau berbanding terbalik seiring meningkatnya perlakuan temperatur pirolisis. Massa residu terendah terjadi pada 400°C yaitu 9,6 gram. Temperatur pirolisis 400 °C memiliki performansi terbaik.

Kata kunci: Uji Performansi, Sistem Pirolisis, Temperatur Pirolisis, Sampah Plastik *Polypropylene*

Abstract

Garbage is currently a serious threat to the environment. The use of plastic in society is very high, which leads to the accumulation of plastic waste. One type of waste that is often encountered is polypropylene (PP). The high level of environmental pollution due to plastic waste has a serious impact on the health of the environment and surrounding communities. Plastic waste is also one of the largest sources of environmental pollution throughout the world. As a result of this, efforts are needed to overcome the threat of plastic waste, one of which is by converting plastic waste into oil using a pyrolysis system. The pyrolysis system is a process of decomposition of material into its constituent elements through a heating process without oxidation. This research was conducted to test the performance of the PP plastic waste pyrolysis system at different pyrolysis temperature treatments, namely 300 °C, 350 °C, and 400 °C. The performance of the pyrolysis system includes: oil volume, oil density, residue mass, and flow rate of the volume of oil produced. The mass of waste used is 1 kg with a size of 1cm x 1cm by passing cooling water through the condenser at 4.8 liters/minute. In each test, 1 kg of plastic waste was used. The main material in the research is clear plastic of the PP plastic type. The results showed that the volume of oil produced increased with increasing temperature. The maximum oil volume produced was 830 ml at a pyrolysis temperature of 400oC. The oil density is relatively constant or does not show significant differences with changes in pyrolysis temperature. The average density value is 734 kg/m³. The oil volume flow rate or oil production rate is directly proportional to the pyrolysis temperature. The highest oil production rate was at a temperature of 400 oC with a value of 4.97 ml/minute. The mass of residue produced decreases or is inversely proportional as the pyrolysis treatment temperature increases. The lowest residue mass occurred at 400oC, namely 9.6 grams. The pyrolysis temperature of 400 °c has the best performance.

Keywords: Performance Test, Pyrolysis System, Pyrolysis Temperature, Polypropylene Plastic Waste

1. Pendahuluan

Salah satu sumber permasalahan sampah terbesar adalah sampah plastik. Sampah yang tidak ditangani akan berdampak pada pencemaran lingkungan. Plastik merupakan kategori sampah anorganik yang dapat

menimbulkan dampak negatif bagi kehidupan makhluk hidup apabila tidak dimanfaatkan dan ditanggulangi dengan cara yang benar [1]. Indonesia berada dalam peringkat kedua di dunia setelah China menempati peringkat pertama kategori negara penghasil sampah terbanyak di dunia. Sampah yang dihasilkan oleh

*Korespondensi: HP/WA.: 081338656500

E-mail: n.suarnadwipa@unud.ac.id

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

manusia yaitu sekitar sebesar 60%-70% adalah sampah organik, 30%-40% adalah sampah anorganik. Sebesar 14% dari sampah anorganik tersebut adalah sampah plastik[2].

Plastik merupakan polimer dengan rantai monomer yang panjang menjadikannya alasan lain dibalik lama atau susahnya sampah plastik dapat terurai secara alami. Waktu yang diperlukan untuk sampah plastik dapat terurai sempurna secara alami, yaitu selama 450 tahun untuk terurai di air dan 1000 tahun untuk terurai di tanah [3]. Melihat sangat lamanya sampah plastik dapat terurai secara alami membuatnya menjadi kemungkinan yang sangat besar terjadinya penumpukan dan hal tersebut menjadi pengaruh yang sangat buruk bagi lingkungan. Untuk menangani masalah penumpukan sampah plastik tentunya diperlukan tindakan pengelolaan. Berdasarkan peraturan yang ditetapkan oleh pemerintah yang termuat di dalam UU RI Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, tindakan dalam pengelolaan sampah dilakukan dengan menggunakan metode 3R, yaitu *reduce* (mengurangi), *reuse* (menggunakan kembali), dan *recycle* (mendaur ulang). Dengan metode 3R tersebut, tindakan *reduce* tentu saja dapat mengurangi laju pertumbuhan timbunan sampah plastik, akan tetapi hal tersebut tidak dapat menyelesaikan permasalahan timbunan sampah plastik yang telah ada sebelumnya, oleh karena itu perlu adanya tindakan lanjutan yaitu dengan melakukan *reuse* ataupun *recycle*. Oleh karena itu, tindakan yang lebih efektif adalah melakukan *recycle* yang mengubahnya secara kimia, yaitu mengubah sampah plastik menjadi zat lain dengan disertai perubahan pada wujudnya, dengan begitu sampah plastik yang telah ada sebelumnya dapat berkurang. Salah satu tindakan *recycle* sampah plastik secara kimia adalah dengan cara membakarnya, tetapi tindakan itu tidak tepat karena akan menimbulkan dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan. Pembakaran sampah plastik akan menghasilkan polutan berupa gas CO₂, CO, NO_x, dan SO_x yang mencemari udara dan apabila terhirup oleh manusia akan berbahaya bagi kesehatan [4]]. Oleh karena itu, diperlukan suatu tindakan *recycle* sampah plastik secara kimia yang bersifat ramah lingkungan dan produknya dapat dimanfaatkan kembali di dalam kehidupan.

Pirolisis merupakan salah satu tindakan *recycle* secara kimia yang apabila diberlakukan pada sampah plastik akan menghasilkan produk yang dapat dimanfaatkan kembali dan tentunya lebih ramah lingkungan. Pirolisis sendiri adalah proses dekomposisi suatu bahan pada temperatur tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas [5]. Pirolisis apabila diberlakukan pada sampah plastik dapat memecah rantai panjang polimer menjadi rantai pendek monomer dalam rupa residu (karbon) pada fase padat; H₂, CO, H₂O, dan CH₄ pada fase gas; dan cairan hasil pirolisis (*pyrolytic oil*) pada fase cair [6]. Pada proses pirolisis, temperatur yang digunakan bervariasi yang bergantung pada jenis pirolisis yang akan digunakan. Pirolisis dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *slow pyrolysis* pada temperatur di bawah 400°C, *fast pyrolysis* pada temperatur 400°C – 600°C, dan *flash pyrolysis* pada temperatur di atas 600°C. Jenis pirolisis tersebut harus disesuaikan pula

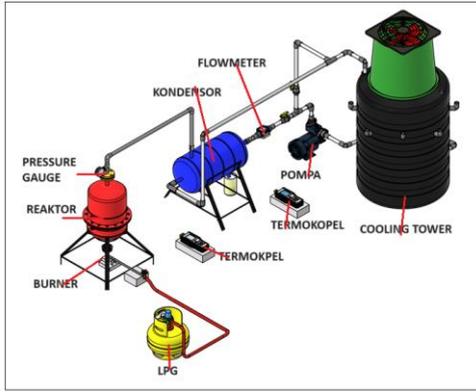
dengan material yang akan digunakan sebagai bahan baku pirolisis dan juga dengan produk yang akan dibuat [7]. Dengan melakukan pirolisis pada sampah plastik merupakan wujud nyata dalam mengurangi sampah plastik yang menjadikannya salah satu solusi dalam mengatasi tumpukan sampah plastik yang telah ada, tetapi tetap harus diimbangi dengan tindakan mengurangi penggunaan material plastik. Selain itu, dengan melakukan pirolisis pada sampah plastik tidak akan mencemari lingkungan apabila produknya yang berupa bahan bakar dikelola dan digunakan dengan tepat.

Sampah plastik dapat diklasifikasikan menjadi 7 jenis yaitu: PET atau PETE (*Polyethylene Terephthalate*) contohnya botol air mineral, botol soda, botol minyak; HDPE (*High-Density Polyethylene*), contohnya kemasan deterjen, kemasan susu, meja lipat; PVC (*Polyvinyl Chloride*), contohnya bahan pakaian, atap, pipa; LDPE (*Low Density Polyethylene*), contohnya wadah makanan, kantong plastik, alat elektronik; PP (*Polypropylene*), contohnya tali, karpet, alat tulis; dan PS (*polystyrene*), contohnya sendok dan garpu plastik, gelas plastik, tempat makanan dari styrofoam; dan OTHER, contohnya galon. Dari 7 jenis plastik yang ada, penulis memilih untuk menggunakan jenis *Polypropylene* (PP). Alasan penulis menggunakan sampah plastik jenis ini dikarenakan sampah plastik tersebut kebanyakan ditemukan pada produk sekali pakai, sehingga kemungkinan keberadaannya akan lebih banyak dan mudah ditemukan.

Tujuan penelitian ini menganalisis performansi sistem pirolisis sampah plastik jenis PP pada perlakuan temperatur pirolisis yang berbeda yaitu pada temperatur 300 °C, 350 °C, dan 400 °C. Unjuk kerja sistem pirolisis meliputi: volume minyak, densitas minyak, massa residu, dan laju aliran volume minyak (laju produksi minyak) yang dihasilkan. Massa sampah yang digunakan 1 kg dengan ukuran 1cm x 1cm dengan melewati air pendingin di kondensor 4,8 liter/menit. Di setiap pengujian menggunakan 1 kg sampah plastik. Bahan utama yang diuji adalah plastik PP bening dan bersih.

2. Metode Penelitian

Sebagai variabel bebas adalah temperatur pirolisis 300 °C, 350 °C, dan 400 °C. Variabel kontrol adalah material sampah plastik PP, debit air pendingin kondensor 4,8 liter/menit, massa plastik 1 kg, ukuran cacah plastik 1cm x 1 cm. Sebagai variabel terikat adalah hasil volume minyak (bahan bakar cair), density, laju aliran volume minyak (laju produksi minyak), dan massa residu. Rancangan sistem pirolisis ditunjukkan pada gambar 1. Sistem pirolisis terdiri dari beberapa komponen diantaranya: reaktor, burner (kompor), gas LPG, kondensor, pompa, cooling tower. Dan dilengkapi dengan alat ukur diantaranya: termokopel, timbangan, pressure gauge, flow meter, stop watch, dan gelas ukur.



Gambar 1. Rancangan Sistem Pirolisis

Setelah dilakukan seting alat rancangan sistem pirolisis, kemudian dilakukan penelitian dengan prosedur sebagai berikut di bawah ini. Cacah material plastik PP yang akan diuji dengan ukuran 1cm x 1cm sejumlah massa 1 kg, lalu masukkan cacahan plastik kedalam reaktor. Air pendingin disirkulasikan ke kondensor dengan debit 4,8 liter/menit. Nyalakan burner dengan mengatur regulator LPG dimulai dengan perlakuan temperatur reaktor terjaga 300 °C. Catat waktu proses, catat temperatur gas pirolisis masuk dan keluar kondensor, catat temperatur air masuk dan keluar kondensor, catat volume minyak yang dihasilkan dengan gelas ukur, kemudian hentikan proses jika produksi minyak sudah tidak menetes. Jika reaktor sudah dingin pada suhu lingkungan, buka reaktor dan timbang residu yang dihasilkan. Prosedur ini diperlakukan sama dengan perlakuan temperatur 350 °C dan 400 °C dengan material jenis plastik PP yang sama.

3. Hasil Dan Pembahasan

Hasil uji dapat ditabelkan seperti tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Uji

Temp. Pirolisis (°C)	Massa Minyak (gram)	Volume Minyak (ml)	Residu (gram)
300	238,9	332	274,3
350	486,3	658	156,2
400	619,1	830	9,6

Massa jenis (densitas) merupakan rasio massa minyak yang dihasilkan terhadap volume minyak. Densitas dapat dihitung dari hasil volume minyak yang diukur pada gelas ukur kemudian dibagi dengan massa yang diperoleh dari hasil minyak yang ditimbang pada timbangan.

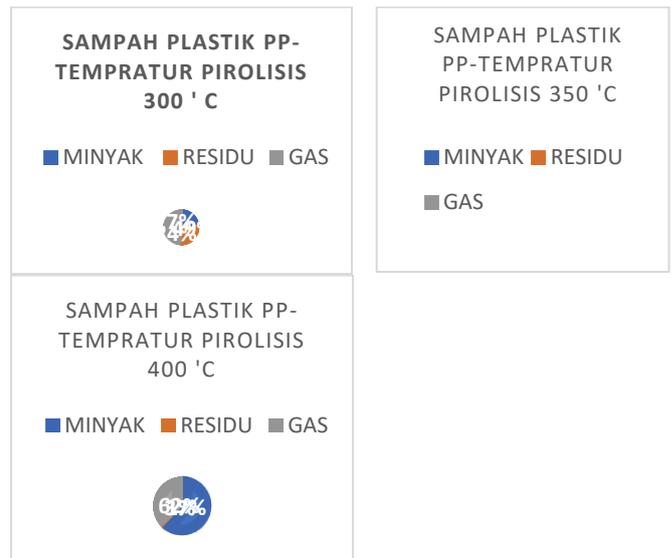
Tabel 2. Denstas dan Laju Produksi Minyak

Temp. Pirolisis (°C)	Densitas (kg/m ³)	Waktu Produksi (menit)	Laju Produksi Minyak ml/menit
300	719,578	204	1,64
350	738,601	203	3,42
400	745,783	167	4,97

Laju aliran volume minyak atau yang disebut laju produksi minyak adalah volume minyak hasil pirolisis

dibagi dengan waktu produksi. Waktu produksi yang dimaksud adalah selisih antara waktu mulai minyak berhenti menetes dengan waktu minyak mulai menetes. Sehingga densitas dan laju produksi minyak dapat ditabelkan seperti tabel 2.

Dalam proses pirolisis sebagai hasil dari pirolisis mula-mula dihasilkan gas dan residu. Dari hasil gas yang dihasilkan kemudian dikondensasikan untuk mendapatkan cairannya (minyak). Namun tidak semua gas bisa diproses menjadi minyak dan sebagiannya berupa gas yang keluar ke lingkungan. Dengan menerapkan hukum kekal massa bahwa jumlah massa bahan sebelum proses akan sama dengan jumlah massa setelah proses. Dalam hal ini jumlah massa plastik yang diproses pirolisis akan sama jumlah massa residu ditambah dengan massa cairan yang dihasilkan dan massa gas yang keluar ke lingkungan. Dari data penelitian didapat massa residu, massa minyak, sedangkan untuk mengetahui massa gas yang keluar ke lingkungan dapat dihitung dengan jumlah massa sebelum proses dikurangi massa residu dan dikurangi massa minyak dengan menerapkan konsep kekal massa. Sehingga dari data diatas hasil pirolisis minyak, residu, gas dapat dinyatakan dalam prosentase seperti pada gambar 2.

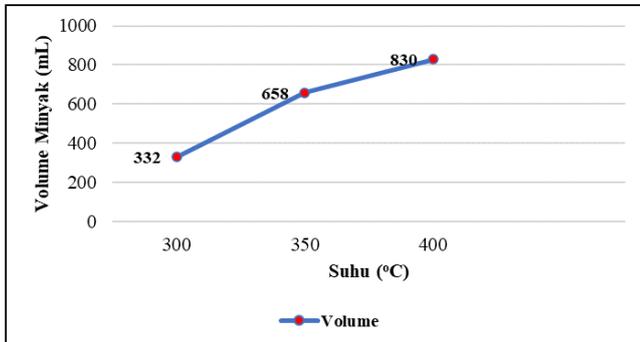


Gambar 2. Prosentase Hasil Pirolisis Sampah Plastik PP pada Variasi Temperatur Pirolisis 300 °C, 350 °C, dan 400 °C

Pada gambar 2 menunjukkan bahwa pada temperatur pirolisis 300 °C material plastik tidak terdekomposisi dengan baik karena minyak dihasilkan hanya 24% (prosentase massa) dan residu 27% dan gas yg tidak terkondensasikan 49% yang terlepas ke udara lingkungan. Pada temperatur pirolisis 350 °C mengalami peningkatan proses dekomposisi, peningkatan prosentase massa minyak menjadi 49% dan residu menurun menjadi 15% sedangkan gas yang terbuang ke sekeliling juga mengalami penurunan menjadi 36%. Kemudian pada temperatur pirolisis 400 °C proses dekomposisi sangat baik atau sangat sempurna, hal ini dapat ditinjau dari hasil minyak yang dihasilkan hingga 62%, sedangkan residu sangat sedikit yang terbentuk hanya 1% dan gas yang terbuang ke sekeliling juga mengalami penurunan menjadi 37%.

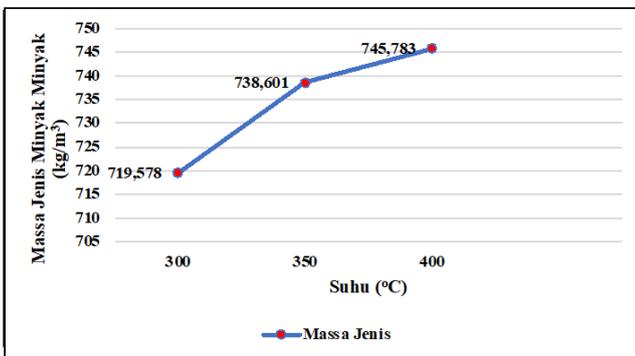
Dalam rentang variasi temperatur pirolisis dapat dinyatakan bahwa temperatur pirolisis terbaik untuk sistem pirolisis sampah plastik jenis PP adalah pada temperatur pirolisis 400 °C.

Dari data tabel 1 dapat digambarkan hubungan variasi temperatur pirolisis terhadap volume minyak yang dihasilkan, dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Variasi Temperatur Pirolisis terhadap Volume Minyak yang dihasilkan

Pada gambar 3 menunjukkan peningkatan temperatur atau suhu pirolisis (suhu reaktor) menyebabkan peningkatan volume minyak yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan semakin tinggi temperatur pirolisis menyebabkan proses dekomposisi unsur-unsur pembentuknya lebih sempurna dan mempercepat proses penguraiannya. Didalam reaktor lebih banyak gas yang dihasilkan dibandingkan sisa padatan dalam reaktor.

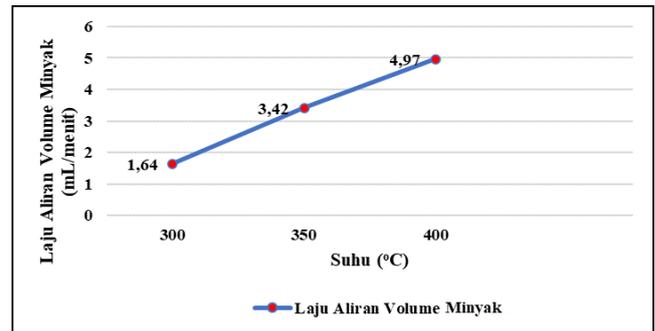


Gambar 4. Hubungan Temperatur Pirolisis terhadap Massa Jenis Minyak

Gambar 4 menunjukkan bahwa peningkatan temperatur pirolisis pada proses pirolisis sampah plastik PP terjadi peningkatan massa jenis minyak yang tidak signifikan. Menurut teori, densitas minyak dari bahan yang sama adalah massa jenis tetap walaupun temperatur proses pirolisis berbeda karena densitas yang diukur pada temperatur lingkungan yang sama. Minyak merupakan jenis fluida inkompresibel dimana densitas konstan pada temperatur tetap, densitas minyak akan berubah jika temperatur minyaknya mengalami kenaikan suhu. Hasil rata-rata massa jenis minyak adalah 734 kg/m³.

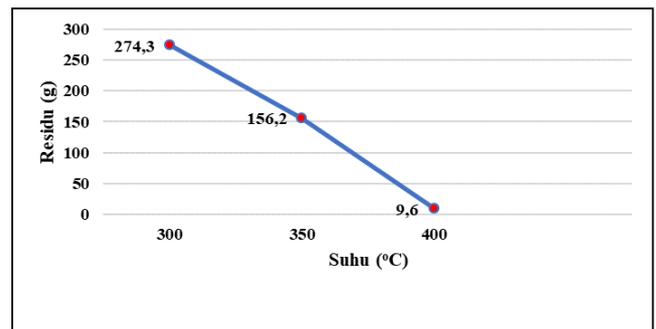
Pada gambar 5 berikut ini menunjukkan bahwa peningkatan temperatur menyebabkan peningkatan laju volume minyak yang dihasilkan (laju produksi minyak). Peningkatan ini sudah dijelaskan pada pembahasan gambar 3 dimana peningkatan temperatur pirolisis akan mempercepat proses dekomposisi

menjadi unsur-unsur pembentuknya. Dengan demikian material pirolisis akan cepat diproses sehingga proses produksi minyak akan lebih cepat dan waktu proses lebih pendek.

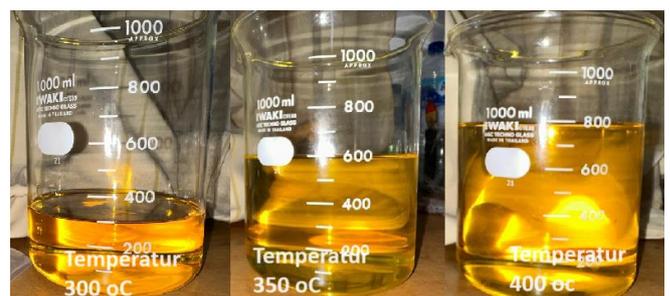


Gambar 5. Hubungan Temperatur Pirolisis terhadap Laju Aliran volume Minyak

Gambar 6 berikut ini menunjukkan bahwa peningkatan temperatur pirolisis pada proses pirolisis menurunkan massa residu dalam reaktor. Hal ini disebabkan material plastik akan lebih mudah atau lebih cepat dan lebih terdekomposisi menjadi unsur-unsur dalam bentuk gas. Dengan kata lain gas yang dihasilkan lebih banyak dari pada residu.



Gambar 6. Hubungan Temperatur Pirolisis terhadap Residu



Gambar 7. Hasil Visual Minyak Hasil Pirolisis Plastik Jenis PP Pada Temperatur Pirolisis 300 °C, 350 °C, dan 400 °C

Secara visual minyak dihasilkan memiliki warna yang sama kuning keemasan, pada temperatur pirolisis yang berbeda menghasilkan volume yang berbeda seperti yang nampak pada gelas ukur. Temperatur pirolisis dalam hal ini adalah temperatur pirolisis 400 °C memiliki performa yang terbaik.

4. Simpulan

Dalam rentang temperatur pirolisis 300 °C sampai 400 °C untuk 1 kg material sampah plastik PP, volume minyak yang dihasilkan meningkat seiring peningkatan suhu. Volume minyak maksimum yang dihasilkan 830 ml pada temperatur pirolisis 400°C. Densitas minyak relatif konstan atau tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap perubahan temperatur pirolisis. Nilai densitas rata-rata 734 kg/m³. Laju aliran volume minyak atau laju produksi minyak berbanding lurus dengan temperatur pirolisis. Laju produksi minyak tertinggi pada temperatur 400 °C dengan nilai 4,97 ml/menit. Massa residu yang dihasilkan semakin berkurang atau berbanding terbalik seiring meningkatnya perlakuan temperatur pirolisis. Massa residu terendah terjadi pada 400°C yaitu 9,6 gram. Pada sistem pirolisis sampah plastik jenis PP dapat dinyatakan bahwa temperatur pirolisis yang menghasilkan performa terbaik adalah pada temperatur pirolisis 400 °C.

Daftar Pustaka

- [1] Nirmalasari, R., Khomsani, A. A., & Rahayu, D. N. (2021). Pemanfaatan Limbah Sampah Plastik Menggunakan Metode Ecobrick di Desa Luwuk Kanan. *Jurnal Solma*, 469-477.
- [2] Purwaningrum, P. (2016). Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik di Lingkungan. *JTL*, 141-147.
- [3] Arwini, N. P. (2022). sampah plastik dan upaya pengurangan timbulan sampah plastik. *vastuwidya*, vol 5 no 1.
- [4] Wisnujati, A. and Yudhanto, F. (2020) 'Analisis karakteristik pirolisis limbah plastik low density polyethylene (LDPE) sebagai bahan bakar alternatif', *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 9(1). Available at: <https://doi.org/10.24127/trb.v9i1.1158>.
- [5] Ridhuan, K. and Suranto, J. (2016) 'Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori', *Turbo : Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro*, 5(1).
- [6] Dhaniswara, T.K. and Fahriani, D.D. (2021) 'Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) dari Sampah Botol Plastik Bekas Air Minum dengan Metode Pirolisis', *Journal of Research and Technology*, VII, pp. 83–92.
- [7] Novita, S. A., Santosa, Novialdi, Ardasuryani, & Fudholi, A. (2021, Juni 30). Parameter Operasional Pirolisis Biomassa. hal. Hal 53-67.



I Nengah Suarnadwipa

sebagai dosen pengajar di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana. Mengambil Rumpun Ilmu Terapan, Pohon Ilmu Teknik atau Rekayasa-rekayasa, Cabang Ilmu Teknologi Konversi Energi dengan Ranting Ilmu Energi Terbarukan.

Distribusi Tekanan di Sekitar Katup Limbah Pada Variasi Panjang Spacer Cabang Tee Badan Pompa Hydrum

Made Suarda^{1)*}, Barron Benvico Masoelili²⁾, Ainul Ghurri³⁾, I Putu Widiarta⁴⁾, I Gusti Komang Dwijana⁵⁾

^{1,2,3,4,5)}Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pompa hydrum bekerja dengan memanfaatkan palu air yang terjadi di dalam badan pompa. Pada badan pompa hydrum terpasang katup limbah dan katup hantar. Palu air merupakan gelombang tekanan yang terjadi akibat menutupnya katup limbah secara tiba-tiba setelah siklus akselerasi aliran. Distribusi tekanan di bawah disk katup limbah tidak merata mengakibatkan momen gaya tekan pada poros katup limbah sehingga dapat mengakibatkan patahnya poros tersebut. Alternatif solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menambahkan pipa *spacer* antara tee cabang badan pompa dan flangeudukan katup limbah. Akan tetapi semakin panjang atau tinggi pipa *spacer* tersebut mengakibatkan menurunnya gaya tekan palu air yang terjadi dalam badan pompa hydrum. Oleh sebab itu pada penelitian ini menginvestigasi distribusi tekanan yang terjadi di sekitar katup limbah pada variasi panjang *spacer* tersebut dengan metode simulasi CFD. Simulasi dilakukan pada kondisi dimana posisi katup limbah terbuka dan katup hantar tertutup. Variasi panjang atau tinggi *spacer*: 0,25D, 0,5D, 0,75D, 1D, 1,25D, 1,5D, 1,75D, dan 2D, dimana D adalah diameter tee badan pompa. Penambahan *spacer* mempengaruhi pola aliran dan distribusi tekanan aliran air dibawah disk katup limbah. Spacer dengan tinggi 1,25D dan 1,5D memiliki distribusi tekanan yang lebih merata pada bagian bawah disk katup buang. Oleh sebab itu, penambahan spacer 1,5D disarankan pada pembuatan badan pompa hydrum.

Kata kunci: Pompa hydrum, CFD, tekanan, *spacer*

Abstract

Hydraulic ram (hydrum) pumps work by utilizing water hammer that occurs inside the pump body. On the hydrum pump body is installed a waste valve and a delivery valve. Water hammer is a pressure wave that occurs due to the sudden closing of the waste valve shortly after the flow acceleration cycle. The pressure distribution under the waste valve disk is uneven resulting in a compressive force moment on the waste valve shaft which can result in the shaft breaking. An alternative solution to overcome this problem is to add a spacer pipe between the pump body branch tee and the waste valve seat flange. However, the longer or higher the spacer pipe results in a decrease in the water hammer compressive force that occurs in the hydrum pump body. Therefore, this research investigates the pressure distribution that occurs around the waste valve at varying spacer lengths using the CFD simulation method. The simulation is carried out under conditions where the waste valve is open and the delivery valve is closed. Variations in spacer length or height: 0.25D, 0.5D, 0.75D, 1D, 1.25D, 1.5D, 1.75D, and 2D, where D is the tee diameter of the pump body. The addition of a spacer affects the flow pattern and pressure distribution of the water flow under the waste valve disk. Spacers with a height of 1.25D and 1.5D have a more even pressure distribution on the bottom of the waste valve disk. Therefore, the addition of a 1.5D spacer is recommended when constructing the hydrum pump body.

Keywords: hydrum pump, CFD, pressure, spacer

1. Pendahuluan

Pompa hydrum adalah salah satu dari sekian banyak pompa yang digunakan untuk memindahkan air dari suatu tempat ke tempat lainnya. Pompa hydrum adalah suatu sistem pompa yang dapat bekerja tanpa menggunakan daya listrik sebagai energinya, tetapi menggunakan energi kinetik yang didapatkan dari aliran air pada pompa itu sendiri [1]. Penemu pertama pompa hydrum adalah John Whitehurst pada tahun 1771, yang kemudian dipatenkan pada tahun 1809 oleh J. Cerneau dan S. S. Hallet di New York [2].

Prinsip kerja dari pompa hydrum adalah konversi energi dari energi kinetik aliran air menjadi tekanan dinamik, yaitu gaya tekan palu air atau water hammer pressure. Aliran air yang dihentikan secara tiba-tiba menghasilkan lonjakan tekanan pada aliran air, yang dapat diartikan sebagai water hammer pressure atau gaya tekan palu air [3].

Pompa hydrum terdiri dari dua komponen yang bergerak yaitu katup buang dan katup hantar yang terpasang pada badan pompa hydrum [4]. Ram hidrolis bekerja terus menerus karena adanya siklus buka tutup katup buang dan katup hantar. Saat penutupan katup buang secara tiba-tiba mengakibatkan peningkatan tekanan yang disebut palu air. Langkah kompresi tersebut berlangsung dalam waktu yang sangat singkat, sekitar 0,03 detik atau 0,027 periode siklus [5].

Katup buang (*waste valve*) merupakan bagian di mana water hammer pressure terjadi, di mana katup buang akan terbuka dan menutup bergantian secara berulang. Katup buang memiliki poros yang digunakan sebagai alur pergerakan katup yang seringkali mengalami tekanan akibat pola aliran yang tidak merata di sekitarnya. Studi simulasi yang dilakukan oleh Harith menemukan bahwa desain katup limbah berulir dapat mengurangi kehilangan air [6]. Diameter lubang katup limbah yang optimal adalah 0,68 kali diameter badan

*Korespondensi: Tel./Fax.: 081999915718

E-mail: made.suarda@unud.ac.id

©Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

pompa, atau sekitar 1,35 kali diameter pipa penggerak jika diameter badan pompa dua kali diameter pipa penggerak [7].

Selain itu, diameter pipa yang kecil membatasi aliran air yang masuk ke badan pompa, sehingga air yang dialirkan dari pompa menjadi lebih sedikit [8]. Head suplai adalah ketinggian dari pompa ke saluran masuk air. Semakin tinggi ketinggian saluran masuk air maka semakin tinggi pula gaya gravitasi yang membuat tinggi kecepatan aliran air pada pipa penggerak pipa. Head suplai yang tinggi juga membawa masalah pada pompa utama. Aliran air yang masuk ke dalam pompa terlalu banyak, sehingga air yang keluar dari katup limbah jauh lebih banyak. Selain itu turbulensi yang terjadi pada badan pompa juga membawa kerugian pada pompa karena tidak dapat berfungsi dengan lancar [9].

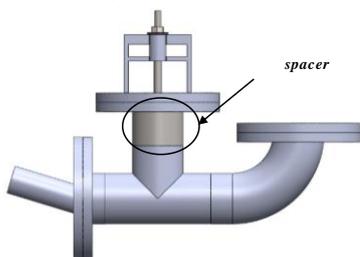
Berdasarkan hasil penelitian Inversion [10], dan Allan Mills [11] mempresentasikan rezim diagram tekanan di ruang badan pompa hydam. Najm mengembangkan model numerik untuk analisis gelombang tekanan water hammer pada pompa ram dan dampak gelombang pada komponen pompa ram diuji [12]. Pola aliran yang tidak merata tersebut dapat mengakibatkan tekanan yang berbeda pada salah satu sisi pemberat katup buang, sehingga dapat menyebabkan momen tekuk pada poros dan mengakibatkan poros mengalami pembengkokan. Kerusakan akibat pola aliran yang tidak merata selain berdampak pada poros katup buang juga mengakibatkan kerusakan pada bagian atas katup buang karena pergerakan poros tidak pada alurnya.

Berdasarkan fenomena tersebut, penambahan variasi spacer atau pipa tambahan pada cabang tee badan pompa sebagai dudukan katup buang diharapkan dapat menghasilkan distribusi tekanan serta pola aliran air yang merata di sekitar katup. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir momen tekuk pada poros katup buang.

2. Metode Penelitian

2.1. Rancangan penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui pengujian menggunakan analisis CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan perangkat lunak Ansys Fluent pada desain model tiga dimensi instalasi pompa hydam, dengan menambahkan variasi panjang spacer di antara badan pompa dan katup buang, seperti pada Gambar 1. Pipa penggerak yang digunakan memiliki diameter 1,25 inch dengan panjang 100 mm sebagai inlet dari badan pompa serta membentuk sudut sebesar 17 derajat dengan badan pompa. Tee badan pompa hydam berdiameter 2,5 inch. Outlet katup buang pada penelitian ini memiliki diameter 42 mm, dan langkah katup buang terbuka penuh sebesar 7,5 mm.



Gambar 1. *Spacer* pada pompa hydam

Variasi ukuran spacer yang digunakan berdasarkan pada rasio antara panjang spacer (L) dibagi dengan diameter pipa (D) yang berukuran 2,5 inch. Variasi ukuran spacer pada penelitian ini adalah 0,25D, 0,5D, 0,75D, 1D, 1,25D 1,5D, 1,75D, dan 2D.

2.2. Prosedur Simulasi

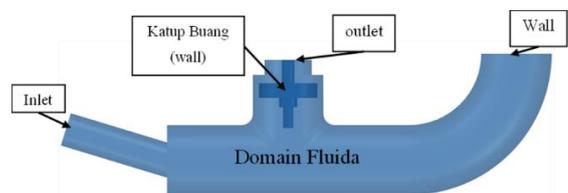
Proses simulasi ini menggunakan software ANSYS-Fluent. Simulasi dilakukan dalam siklus di mana katup buang terbuka dan katup tekan tertutup, dengan tujuan untuk mengidentifikasi pola aliran serta tekanan yang terjadi di sekitar katup buang. Terdapat tiga tahapan pada simulasi ini, yaitu: *pre-processing*, *processing* dan *post-processing*.

Pre-processing meliputi: pembuatan desain geometri pompa hydam beserta spacer yang akan digunakan menggunakan software Solidworks 2020; permodelan domain fluida terhadap desain geometri pompa hydam pada software Spaceclaim; dan penentuan grid, jumlah node, meshing method, serta boundry conditions menggunakan menu Meshing. Adapun data meshingnya adalah seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistik parameter *meshing*

Statistic	
Meshing Method	Tetrahedron
Element Size	0,0007 m
Max Size	0,003 m
Defeature Size	0,00000635 m
Curvature Min Size	0,00000635 m
Curvature Normal Angle	12°
Growth Rate	1,2
Target Skewness	0,7
Target Orthogonal	0,2
Elements	6.493.718
Nodes	1.228.854
Minimum Orthogonal Quality	0,31807
Maximum Skewness Quality	0,68193

Tahap *processing* meliputi: membaca *mesh* model *domain* fluida pompa hydam; *setup* aktivasi faktor gravitasi; memilih persamaan *viscous model* yaitu k-omega SST; memilih material fluida yaitu *water-liquid*; menentukan kondisi batas (*boundary conditions*) pada sistem simulasi; memilih *solution method* yaitu *Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation (SIMPLE)* untuk penyelesaian simulasi; inialisasi *domain* fluida dengan dengan metode *hybrid initialize*; dan *running* simulasi dengan target konvergensi lebih kecil 10⁻⁴.



Gambar 2. Domain fluida dan kondisi batas

Selanjutnya, tahap post-processing meliputi: memastikan target konvergensi telah tercapai; dan melakukan pengolahan data dan analisa fenomena aliran fluida yang terjadi pada tiap simulasi.

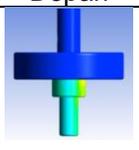
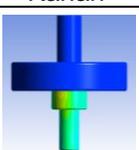
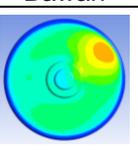
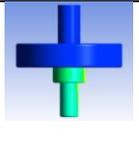
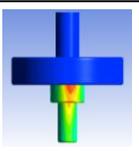
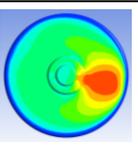
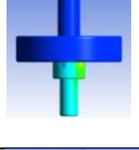
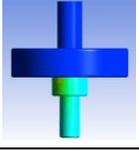
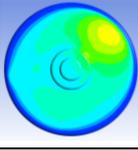
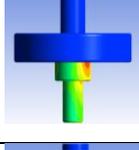
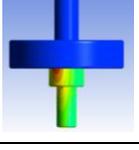
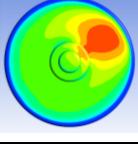
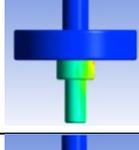
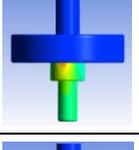
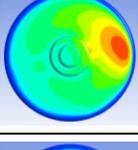
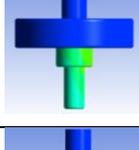
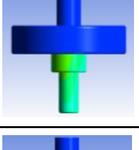
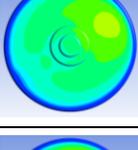
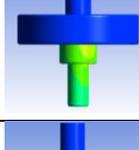
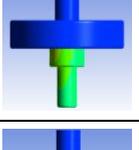
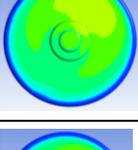
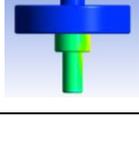
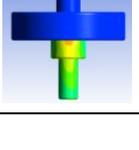
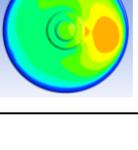
Kondisi batas simulasi pompa hidram meliputi kondisi batas pada *inlet* yaitu *velocity inlet* dengan nilai 0.8 m/s, sedangkan pada sisi *outlet* aliran dikondisikan *pressure outlet* dan dinding pompa hidram dikondisikan sebagai *wall* dengan *no slip condition* serta part katup limbah dikondisikan sebagai *wall*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kontur tekanan disekeliling katup limbah

Kontur tekanan disekeliling katup limbah pada masing-masing variasi adalah seperti pada Tabel 2. Tekanan pada katup buang dianalisis pada tiga arah, yaitu pada sisi xy (depan), yz (kanan), dan xz (bawah). Persebaran tekanan yang terjadi dapat dilihat pada gambar-gambar dibawah.

Tabel 2. Kontur tekanan pada masing-masing variasi

Variasi	Posisi		
	Depan	Kanan	Bawah
Tanpa Spacer			
Spacer 0.25D			
Spacer 0.5D			
Spacer 0.75D			
Spacer 1D			
Spacer 1.25D			
Spacer 1.5D			
Spacer 1.75D			

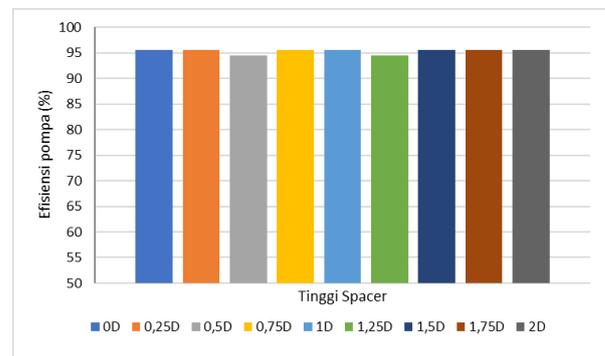
Tabel 2 menunjukkan, bahwa distribusi tekanan mengalami perubahan di tiap penambahan spacer. Penambahan spacer pada pompa hidram dapat mempengaruhi tekanan pada bagian bawah katup buang dan di sekitar poros katub buang. Secara umum konsentrasi tekanan tinggi terjadi pada bagian kanan katup limbah, yaitu posisi yang berseberangan dengan posisi inlet aliran dalam badan pompa hidram. Pada penambahan spacer 1,5D memiliki distribusi tekanan yang lebih merata dibandingkan dengan penambahan spacer lainnya.

Dengan membandingkan nilai laju aliran massa pada inlet dan outlet dari data simulasi maka diperoleh nilai efisiensi dari tiap penambahan spacer. Efisiensi volumetris pada masing-masing variasi didapatkan dari hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Efisiensi volumetris pompa pada masing-masing variasi memiliki nilai yang hampir sama. Jadi penambahan tinggi spacer sampai 2D hampir tidak mempengaruhi nilai efisiensi volumetris pompa hidram.

Tabel 3. Efisiensi pompa hidram

Spacer	Efisiensi (%)
0D	95,601
0,25D	95,596
0,5D	94,436
0,75D	95,604
1D	95,603
1,25D	94,441
1,5D	95,597
1,75D	95,598
2D	95,599

Gambar 3 menunjukkan nilai efisiensi pada variasi penambahan spacer, dimana penambahan 0,75D memiliki efisiensi tertinggi dan penambahan 0,5D memiliki efisiensi terendah.



Gambar 3. Efisiensi pompa hidram pada variasi panjang spacer

Jadi dengan penambahan spacer dengan panjang tertentu dapat meningkatkan pemerataan distribusi tekanan khususnya di bagian bawah katup limbah. Dengan distribusi tekanan yang lebih merata akan dapat mengurangi momen bending yang terjadi pada poros katup limbah sehingga umur pakai katupnya menjadi lebih panjang. Dimana pada tiap penambahan spacer nilai gaya pada arah y lebih besar dan nilai gaya

pada x serta z lebih kecil daripada tanpa penggunaan spacer. Untuk nilai gaya terbesar pada arah y terjadi pada penambahan spacer 1,75D, sedangkan untuk nilai gaya terendah pada arah x dan z terjadi pada penambahan spacer 1,5D.

4. Simpulan

Penambahan spacer dapat mempengaruhi pola aliran pada pompa hydram. Pola aliran mengalami perubahan di tiap penambahan spacer, di mana pada penambahan ukuran spacer 1,25D dan 1,5D, pola aliran yang terjadi bergerak lebih merata ke atas sehingga dapat meminimalisir perbedaan gaya yang dapat menyebabkan bending pada bagian katup limbah. Penambahan spacer menyebabkan tekanan di sekitar katup buang memiliki peningkatan pada arah gaya vertikal dan penurunan pada arah gaya horizontal. Pemerataan distribusi tekanan terjadi pada penambahan tinggi spacer 1,25D dan 1,5D.

Daftar Pustaka

- [1] M. Suarda dan N. Suarnadwipa, "Perancangan Dan Pengujian Katup Membran Pada Katup Tekan Pompa Hydram (Design And Performance Assesment Of Membran Delivery Valve In Hydram Pump)," *Jurnal Mechanical*, vol. 4, 2013.
- [2] M. Rizalihadi, Mahmuddin dan Ziana, "Studi Awal Penggunaan Pompa Vakum-Hidram Dalam Mengatasi Kekurangan Air Pada Lahan Perbukitan," dalam *Konferensi Nasional Teknik Sipil 13*, Banda Aceh, 2019.
- [3] I. P. Widiarta, M. Suarda, I. G. K. Sukadana dan I. G. K. Dwijana, "Pengujian dan Analisis Unjuk Kerja Prototipe Pompa Hydram yang telah Beroperasi di Dusun Bon Desa Belok/Sidan," *Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan XI, Universitas Udayana*, 2021.
- [4] Maratos DF. 2002. Technical feasibility of wave power for seawater desalination using the hydram (hydram). Elsevier Science B.V.: Desalination 153(2002): 287-293.
- [5] Suarda M., Kusuma I G.B.W., Sucipta M., and Ghurri A. 2017. Visualization of Water Flow Phenomenon in Hydraulic Ram Pump Working Cycle by Different Colors Dyes Injection. Proceeding of 15th International Conference on Quality in Research (QiR 2017). ISSN 1411-1284. pp. 447-454.
- [6] M.N. Harith, R.A. Bakar, D. Ramasamy, K. Kardigama and Ma Quanjin. 2018. A Study of Waste and Delivery Valve Design Modification to the Pump Performance. *iCITES 2018. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 342 (2018) 012090.* doi:10.1088/1757-899X/342/1/012090.
- [7] Suarda M., Ghurri A., Sucipta M., and Kusuma I G.B.W. 2018. Investigation on Characterization of Waste Valve to Optimize the Hydraulic Ram Pump Performance. AIP Conference Proceedings 1984, 020023 (2018), pp. 1-9; International Conference on Thermal Science and Technology (ICTST) 2017, doi: 10.1063/1.5046607.
- [8] Diwan P., Patel A. and Sahu L. 2016. Design and Fabrication of Hydraulic Ram with Methods of Improving Efficiency. *International Journal of Current Engineering and Scientific Research (IJCESR)*, Vol. 3, No. 4, pp. 5-13.
- [9] Shende P.B., Choudhary S.K. dan Ninawe A.P. 2015. Design and Analytical Calculation for a Hydram using Individual Head Losses. *IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering*. Vol 2 No. 02, pp 107-111.
- [10] Iversen H.W. 1975. An Analysis of the Hydraulic Ram. *Journal of Fluids Engineering*. Vol 97 No.2, pp 191-196.
- [11] Mills A. 2014. The Hydraulic Ram (or Impulse) Pump. *IOP Publishing Ltd, Journal of Physics Education*, Vol. 49, No. 2, pp. 211-215.
- [12] Najm H.N., Azoury, P.H. and Piasecki, M. 1999. Hydraulic Ram Analysis: a New Look at an Old Problem. *Proceeding of Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 213, Part A, pp 127-141.

Karakteristik Kerja Kapiler Karbon Aktif Bambu Betung Sebagai Material Pad Alternatif

Hendra Wijaksana^{1)*}, Ketut Astawa²⁾, I Gusti Ngurah Putu Tenaya³⁾,
I Gede Teddy Prananda Surya⁴⁾

^{1,2,3,4)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penggunaan sistim pendingin kompresi uap yang semakin meluas, telah memicu peningkatan penggunaan energi listrik serta kian meningkatnya kerusakan lingkungan akibat penggunaan refrigerant. Sistem pendingin evaporative merupakan salah satu sistem pendingin alternatif untuk sistem pendingin kompresi uap. Komponen penting sistem ini adalah material pad, biasanya digunakan material berpori yang dapat menahan air. Material pad yang banyak digunakan saat ini adalah material berbasis selulosa (*cellulose pad*), dengan harga yang cukup tinggi serta memerlukan tambahan energi listrik bagi pompa air untuk membasahi material pad. Dalam penelitian ini dikembangkan material pad berbasis karbon aktif bambu betung, yang dibuat dengan melakukan proses karbonisasi dan aktivasi pada bambu betung. Proses karbonisasi dilakukan pada kondisi bebas oksigen pada variasi temperatur 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C. Setelahnya, arang karbon (*charcoal*) hasil karbonisasi akan diaktivasi pada kondisi bebas oksigen, pada temperatur aktivasi 600°C, dengan *holding time* 60 menit, dimana proses ini akan menghasilkan karbon aktif bambu betung yang berpori (*porous betung bamboo activated carbon*). Dengan uji SEM akan dapat dihasilkan struktur pori dan distribusi ukuran pori dari karbon aktif bambu betung. Dengan distribusi ukuran pori akan dapat ditentukan kenaikan kapiler (*capillary rise*), gaya kapiler dan kerja kapiler yang terjadi dalam pori karbon aktif bambu betung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa karbon aktif bambu betung yang dikarbonisasi pada temperatur 700°C dan diaktivasi pada temperatur 600°C dengan *holding time* 60 menit (ACR 760) menghasilkan kerja kapiler yang tertinggi sebesar 6.64×10^{-6} N.m (J) dan yang terendah oleh karbon aktif bambu betung hasil karbonisasi 600°C dan aktivasi 600°C dengan *holding time* 60 menit (ACR 660) sebesar 6.62×10^{-6} J. Material pad ini dapat membasahi dirinya sendiri tanpa bantuan pompa air, dengan gaya kapiler dan kerja kapiler yang dimilikinya.

Kata kunci: Karbon aktif bambu betung, kerja kapiler, material pad alternatif

Abstract

The widespread use of vapor compression cooling systems has triggered an increase in electrical energy and environmental damage due to the use of refrigerants. The evaporative cooling system is an alternative cooling system for it. An important component of this system is the pad material, usually porous material is used that can hold water. The pad material that is widely used is cellulose-based material, with a fairly high price and requires electrical energy for the water pump to wet the pad material. In this research, betung bamboo activated carbon based – pad material was developed, through a carbonization and activation process on betung bamboo. The carbonization process was conducted in oxygen-free conditions at varying temperatures of 400°C, 500°C, 600°C, 700°C and 800°C. Then, the carbonized charcoal will be activated in oxygen-free conditions, at an activation temperature of 600°C, with a holding time of 60 minutes, and produced the porous betung bamboo activated carbon. With the SEM test, the pore structure and pore size distribution of betung bamboo activated carbon can be produced. By using the pore size distribution, the capillary rise, capillary force and capillary work in the pores of Betung bamboo activated carbon can be determined. The test results showed that betung bamboo activated carbon which was carbonized at a temperature of 700°C and activated at a temperature of 600°C with a holding time of 60 minutes (ACR 760) produced the highest capillary work of 6.64×10^{-6} J and the lowest capillary work of 6.62×10^{-6} J was produced by betung bamboo activated carbon which carbonized at 600°C and activated at the same condition. This pad material can wet itself within its capillary force and capillary work only without the use of water pump.

Keywords: Betung bamboo activated carbon, capillary work, alternative pad material.

1. Pendahuluan

Sistem *direct evaporative cooling* (DEC) merupakan sistem pendingin yang memiliki efisiensi energi yang sangat tinggi, tapi memiliki kebutuhan air yang cukup signifikan. Sistem ini bekerja berdasarkan kontak mekanik dan thermal antara air dan udara. Pada sistem DEC, penggunaan pompa air untuk membasahi material pad, akan membutuhkan sejumlah energi tambahan dan ini akan menurunkan rasio energi sistem. Diketahui bahwa kebutuhan akan air yang cukup signifikan merupakan satu-satunya kelemahan

sistem DEC.[1]. Dengan demikian perlu dikembangkan material pad yang memiliki performansi kapilaritas dan thermal yang tinggi, sehingga material pad secara kapiler dapat membasahi dirinya sendiri serta menguapkan air untuk mengurangi energi pompa dan konsumsi air. Pada sistem pendinginan evaporative, material pad berpori dengan performansi kapiler dan thermal yang tinggi merupakan kebutuhan yang sangat esensial, karena padanya akan terjadi perpindahan panas dan massa untuk proses pendinginan. Material penukar panas dan massa yang baik pada sistem DEC harus memiliki konduktivitas termal yang tinggi dan juga

*Korespondensi: Tel./Fax.: 081239175006

E-mail: hendrawjks@gmail.com

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

gaya kapiler yang besar [2]. Hal ini untuk memastikan material pad memiliki kemampuan menyerap panas yang cukup tinggi serta kemampuan memompakan secara kapiler dan menahan air yang cukup besar, sehingga dapat dipastikan terjadinya proses evaporasi pada material pad. Banyak telah dilakukan penelitian tentang material pad seperti serabut kelapa [3], *aspen dan cellulose material* [4], *curtain fabric dan raw curtain fabric* [5], *porous ceramic material* [6], *local fiber* [7]. Selanjutnya penelitian mengenai pemanfaatan bambu untuk berbagai aplikasi telah banyak dilakukan. Studi properti higrothermal natural bamboo fiber dan bamboo charcoal sebagai bahan tambahan pada konstruksi selubung bangunan [8]. Studi tentang kemampuan penyerapan nanoscale dan microscale arang bambu pada berbagai jenis minyak [9]. Studi kapasitas penyerapan nitrogen menggunakan karbon aktif bambu Tabah [10]. Pembuatan material penyerap kelembaban berbasis semen menggunakan arang bambu [11]. Hal diatas menunjukkan bahwa belum banyak studi yang dilakukan tentang pemanfaatan material karbon aktif bambu untuk aplikasi sistem pendinginan. Dalam penelitian ini akan dikembangkan microporous activated carbon betung bamboo (*dendrocalamus asper*) sebagai material pad alternatif pada sistem direct evaporative cooling.

2. Metode Penelitian

2.1. Pembuatan Material Karbon Aktif Bambu Betung.

Proses pembuatan karbon aktif bambu betung dilakukan melalui proses karbonisasi dan aktivasi. Sebelumnya bambu betung yang telah dikeringkan dengan penjemuran dibawah paparan sinar matahari selama 3 hari, akan dipotong dalam bentuk empat persegi panjang dengan ukuran panjang 25 mm, lebar/tebal 17 mm, tinggi 35 mm. Selanjutnya potongan bambu tersebut akan dikeringkan lagi di dalam oven pada temperatur 120°C selama 1 jam. Potongan-potongan bambu yang sudah kering tersebut kemudian akan dikarbonisasi dalam electric furnace dengan variasi temperatur karbonisasi 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C. Dalam tahap ini akan dihasilkan arang bambu (*bamboo charcoal*) dan diberi pengkodean nama material sebagai masing-masing secara berurutan untuk variasi temperatur karbonisasi CR 400, CR 500, CR 600, CR 700 dan CR 800. Pada tahap selanjutnya, material arang bambu betung tersebut diatas, secara bergantian akan diaktivasi dalam electric furnace yang dikondisikan bebas oksigen (*inert atmosphere*), dengan temperatur aktivasi 600°C dan *holding time* 60 menit. Hasil proses aktivasi ini berupa karbon aktif bambu betung akan diberi pengkodean nama material secara berurutan untuk variasi temperatur karbonisasi dan *holding time* nya sebagai ACR 460, ACR 560, ACR 660, ACR 760, dan ACR 860.

Tahap berikutnya adalah pengujian SEM (JSM 6510) untuk mendapatkan struktur mikro masing-masing material karbon aktif bambu betung ACR 460, ACR 560, ACR 660, ACR 760, dan ACR 860. Dari hasil uji SEM berupa gambar struktur pori dengan pembesaran 300X, akan dianalisa menggunakan aplikasi Image-J dan akan didapatkan distribusi ukuran

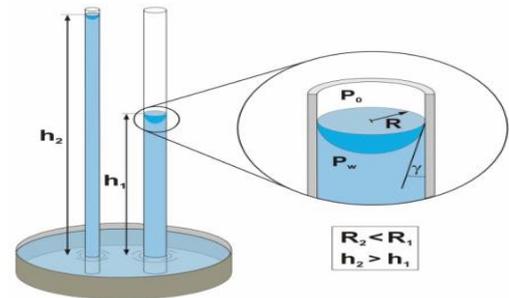
pori, jumlah pori dari masing-masing material karbon aktif bambu betung tersebut.

2.2. Menentukan Ketinggian Kenaikan Fluida

Ketinggian kenaikan fluida (*capillary rise*) merupakan ketinggian kenaikan fluida yang dapat dicapai oleh material akibat gaya kapiler yang dimilikinya. Ketinggian kenaikan fluida dapat ditentukan dari kesetimbangan gaya vertikal pada pori, dimana gaya keatas (gaya kapiler) sama dengan gaya kebawah (gaya berat air) dan dapat dituliskan sebagai:[12]

$$2\pi.r.\sigma.\cos\gamma = \pi.r^2.h.\rho_w.g \quad (1)$$

(gaya kapiler) (gaya berat air)



Gambar 1. Kenaikan kapiler [12]

Sehingga ketinggian kenaikan permukaan fluida (h) dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$h = \frac{2.\sigma.\cos\gamma}{\rho_w.g.r} \quad (2)$$

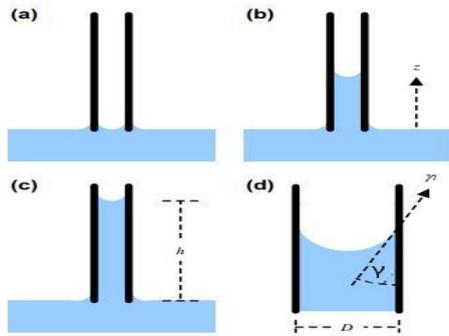
h = ketinggian kenaikan kapiler (m)
 r = jari-jari meniscus = jari-jari pori (m)
 σ = tegangan permukaan cairan = 0,0727 N/m (air 20°C)
 γ = sudut antara meniscus cairan dan dinding pori (°)
 ρ_w = massa jenis air = 1000 kg/m³
 g = percepatan gravitasi = 10 m/s²

2.3. Menentukan Gaya Kapiler dan Kerja Kapiler

Kerja kapiler pada pori material dapat ditentukan dengan mengintegrasikan gaya kapiler (*capillary force*) dari ketinggian permukaan fluida $z = 0$ hingga $z = h$, [13]

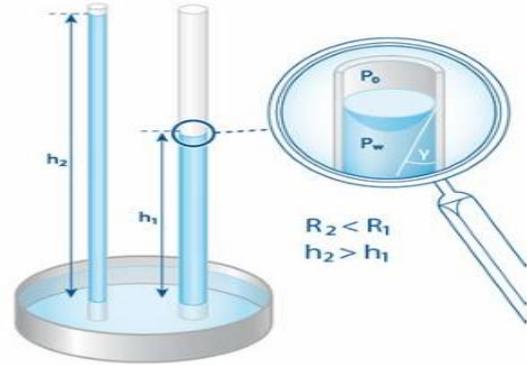
$$w = \int_0^h f_c.dz = \int_0^h (\pi.D.\sigma.l.\cos\gamma) dz = \pi.D.h.\sigma.l.\cos\gamma \quad (3)$$

w = kerja kapiler (N.m)
 f_c = gaya kapiler (N)
 D = diameter meniscus = diameter pori (m)



Gambar 2. Mekanisme kenaikan kapiler [13]

kapiler, semakin besar ukuran jari pori, gaya kapilernya semakin besar

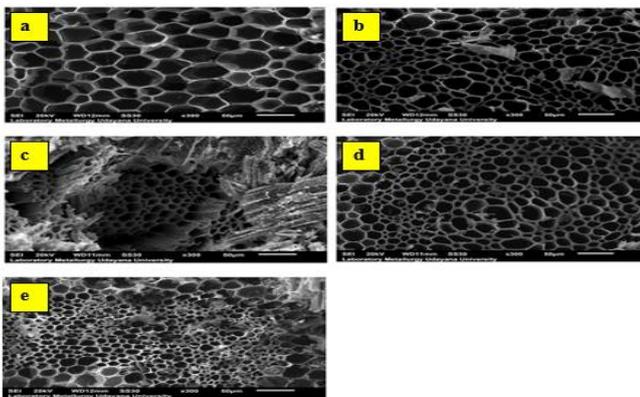


Gambar 4. Kenaikan kapiler pada pori

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Struktur Pori Karbon Aktif Bambu Betung

Hasil pengujian SEM pada masing-masing material karbon aktif bambu betung menunjukkan adanya bukaan pori yang cukup bervariasi. Bukaan pori ini terjadi karena adanya proses dekomposisi padatan pada material bambu seperti *lignin*, *selulose*, *hemiselulose*, yang meninggalkan rongga kosong berupa pori. Proses dekomposisi padatan pada bambu terjadi akibat proses karbonisasi dan aktivasi yang dilakukan pada material bambu betung. Dengan memberikan proses karbonisasi dan aktivasi dalam keadaan bebas oksigen (*inert atmosphere*) menghasilkan pori yang relatif utuh dan tidak rusak menjadi abu.



Gambar 3. Struktur pori karbon aktif bambu betung
a) ACR 460; b) ACR 560; c) ACR 660; d) ACR 760; e) ACR 860

Pori yang terbentuk ini nantinya akan menghasilkan gaya kapiler pada material karbon aktif bambu betung. Gaya adhesi antara molekul-molekul air dan dinding pori yang lebih besar dari pada gaya kohesi antar molekul cairan, akan menghasilkan kenaikan permukaan cairan pada pori secara kapiler. Pada Gambar 3 terlihat, semakin kecil ukuran pori semakin tinggi kenaikan kapiler. Cairan pada pori akan membentuk meniscus pada garis kontakannya dengan udara dan akan berbentuk cekung bila cairan membasahi dinding pori [14]. Sedangkan untuk gaya

Gaya kapiler berbeda dengan tekanan kapiler, dimana tekanan kapiler merupakan beda tekanan yang terjadi antara bagian pori yang belum terbasahi dengan bagian pori yang telah terbasahi oleh cairan. Semakin kecil ukuran jari pori, semakin tinggi tekanan kapilernya.

3.2. Menentukan Tinggi Kenaikan Kapiler

Hasil uji SEM dan penggunaan aplikasi image-J pada material karbon aktif bambu betung, akan menghasilkan distribusi ukuran jari-jari pori dan jumlah pori sehingga kemudian dapat ditentukan ukuran jari-jari pori rata-rata dan tentunya juga tinggi kenaikan kapiler (*h*) untuk masing-masing material seperti pada Tabel 1

Tabel 1. Tinggi kenaikan kapiler

Material	Ukuran jari pori, <i>r</i> 10 ⁻⁶ (m)	Tinggi kenaikan kapiler, <i>h</i> (m)
ACR 460	5.76	0.51
ACR 560	3.66	0.79
ACR 660	2.68	1.09
ACR 760	3.35	0.86
ACR 860	2.43	1.20

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa material karbon aktif bambu betung yang dikarbonisasi pada temperatur 800°C dan diaktivasi pada temperatur 600°C dengan *holding time* selama 60 menit (ACR 860) dan dengan ukuran jari pori yang paling kecil (2,43 μm), menghasilkan ketinggian kenaikan kapiler yang paling tinggi sebesar 1,20 m. Hal ini disebabkan oleh besarnya tekanan kapiler yang dihasilkan pada ukuran jari pori terkecil. Tekanan kapiler menjadi sangat tinggi karena gaya adhesi yang terjadi sangat besar sekali pada pori yang sangat kecil. Namun demikian, pada kapilaritas vertikal, ketinggian kenaikan kapiler ini dibatasi oleh tekanan hidrostatisnya [14].

3.3. Menentukan Gaya Kapiler dan Kerja Kapiler

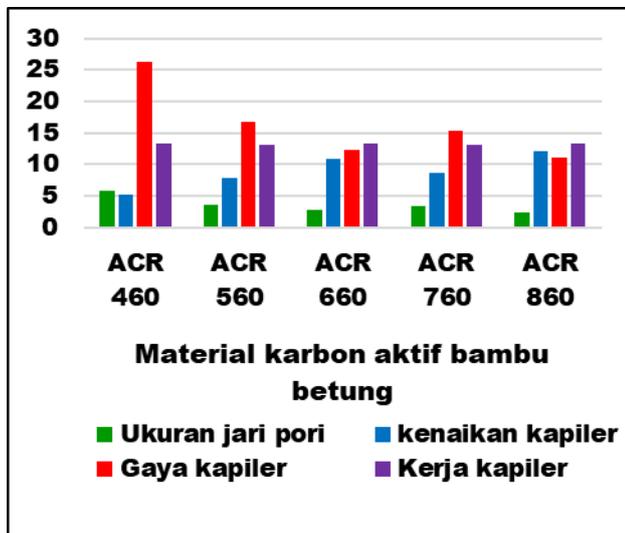
Besarnya gaya kapiler tergantung pada ukuran pori sedangkan kerja kapiler sangat ditentukan oleh ukuran pori dan kenaikan kapiler dan tegangan permukaan

cairan. Besarnya gaya kapiler dan kerja kapiler untuk masing-masing material karbon aktif bambu betung dapat dilihat seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Gaya kapiler dan kerja kapiler

Material	Kenaikan kapiler (m)	Gaya kapiler. $10^{-6}(N)$	Kerja kapiler. $10^{-6}(N.m)$
ACR 460	0.51	2.60	1.3282
ACR 560	0.79	1.67	1.3193
ACR 660	1.09	1.22	1.3298
ACR 760	0.86	1.53	1.3158
ACR 860	1.20	1.11	1.3320

Pada Tabel 2 terlihat bahwa gaya kapiler tertinggi sebesar 2.6×10^{-6} N dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung yang dikarbonisasi pada temperatur 400°C dan diaktivasi pada temperatur 600°C dengan *holding time* 60 menit (ACR 460) dengan ukuran pori yang paling besar yakni $5.76 \mu\text{m}$. Gaya kapiler terbesar pada material ini terjadi karena semakin besar ukuran pori semakin besar gaya tarik-menarik antara molekul-molekul air dengan dinding pori. Dengan kata lain, gaya kapiler yang terjadi berbanding lurus dengan ukuran jari pori material.



Gambar 5. Gaya dan kerja kapiler

Pada Gambar 5 ditunjukkan hubungan ukuran jari pori, kenaikan kapiler, gaya kapiler dan kerja kapiler. Dapat dijelaskan bahwa semakin kecil ukuran jari pori, semakin tinggi kenaikan kapiler yang dapat dicapai oleh cairan. Di lain sisi, ukuran jari pori berbanding lurus dengan gaya kapiler, dimana semakin besar ukuran jari pori, gaya kapilernya juga semakin besar. Sedangkan besarnya kerja kapiler yang merupakan integrasi gaya kapiler sepanjang ketinggian kenaikan kapiler, dimana

tegangan permukaan akan mengangkat cairan kedalam pori adalah bervariasi.

Secara umum dapat dilihat bahwa kerja kapiler yang dilakukan oleh pori dari masing-masing material yakni bervariasi dari 1.3158×10^{-6} hingga 1.332×10^{-6} N.m.

Hal ini terjadi karena tegangan permukaannya sama yakni 0.0727 N/m untuk air pada suhu 20°C [12]. Kerja kapiler akan berbeda secara signifikan bila cairan yang akan diangkat oleh pori material berbeda, karena masing-masing cairan memiliki tegangan permukaan yang berbeda. Misalkan etanol yang pada suhu 20°C memiliki tegangan permukaan sebesar 0.02239 N/m [12] kemungkinan akan memiliki kerja kapiler yang lebih rendah dari kerja kapiler oleh air untuk material uji yang sama.

4. Simpulan

Dari hasil pengujian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin kecil ukuran jari pori pada material berpori akan menghasilkan ketinggian kenaikan kapiler yang lebih tinggi.
2. Semakin besar ukuran jari pori pada material berpori, akan menghasilkan gaya kapiler yang lebih besar.
3. Kerja kapiler yang dihasilkan oleh material berpori utamanya sangat tergantung pada tegangan permukaan cairan yang digunakan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada LPPM UNUD yang telah membiayai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Porumb B., Unguresan P., Tutunaru L.F., Serban A., Balan M. 2016. Indirect Evaporative Cooling Operating Condition and Performance. *Energy Prodia* 85, 452-46
- [2] Zhao X., Liu S., Riffat S. 2008. Comparative Study of Heat and Mass Exchanging Materials for Indirect Evaporative Cooling System, *Building and Environment* 43, 1902-1911.
- [3] Akintunji, L.L., Haruna, I.U. et al., 2014. Theoretical Performance Analysis of Coconut Coir as Media in Evaporative Cooler, *International Journal of Scientific & Technology Research* (3)
- [4] Kulkarni, R.K., Rajput S.P.S. 2011. Comparative Performance of Evaporative Cooling Pads of Alternative Materials, *IJAEST*.2011; 10; 239-244.
- [5] Niyomvas, B., & Potakarat, B. 2013. Performance study of cooling pads, *Advance Material Research* 664, 931-935.

- [6] Boukhanouf, R., Investigation of An Evaporative Cooler for Building in Hot and Dry Climates, *Journal of Clean Technologies*, Vol. 2 No.3.
- [7] Al-Sulaiman, F., 2002. Evaluation of the performance of new materials, *Energy Conversion and Management* 43, 2267-2273
- [8] Huang,Z., Sun, Y., Musso, F., 2018. Hygrothermal Performance of Natural Bamboo Fiber and Bamboo Charcoal as Local infills in Building Envelope, *Construction and Building Materials* 177, 342-35
- [9] Qiu, C., He, Y., Brookes, P., Xu, J., 2016. The Systematic Characterization of Nanoscale Bamboo Charcoal and its Sorption on Phenanthrene: A Comparison with Microscale, *Science of Total Environment*.
- [10] Putra Negara, D.N.K., Tirta Nindhia, T.G., Surata, I.W., Hidayat, F., Sucipta M., 2019. Nanopore Structure, Surface Morphology and Adsorption Capacity of Tabah Bamboo Activated Carbon, *Surface and Interfaces*, <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2019.04.002>.
- [11] Ren, Q., Zeng, Z., Jian, Z., Chen, Q.,2019. Incorporation of Bamboo Charcoal for Cement based Humidity Adsorption Material, *Construction and Building Materials* 215, 244-251.
- [12] Dani Or, 2018. Capillary Processes in Porous Media. Department of Environmental System Science (D-USYS) Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zurich).
- [13] Extrand, C.W., Moon, S.I., 2013. Experimental Measurement of Forces and Energies Associated with Capillary Rise in a Vertical Tube, *Journal of Colloid and Interface Science* 407, 488-492.
- [13] Extrand, C.W., Moon, S.I., 2013. Experimental Measurement of Forces and Energies Associated with Capillary Rise in a Vertical Tube, *Journal of Colloid and Interface Science* 407, 488-492.

Karakteristik Gaya Berat Air Bambu Betung Berpori Karbon Sebagai Material Pad Pendingin Evaporative

I Gusti Ngurah Putu Tenaya¹⁾, Hendra Wijaksana^{2*)}, Ketut Astawa³⁾, Teddy Prananda Surya⁴⁾,

^{1,2,3,4)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pembangunan di perkotaan yang meningkat tajam, menyebabkan meningkatnya kebutuhan kenyamanan udara untuk gedung perkantoran, mall, super market dan lain lain menggunakan sistim pendingin berbasis kompresor. Luasnya penggunaan sistim pendingin ini, telah memicu peningkatan kebutuhan akan energi listrik, serta menimbulkan kerusakan lingkungan yang cukup parah. Sebagai alternative diperlukan sistim pendingin yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan, salah satunya adalah sistim pendingin evaporative. Sistim ini mendinginkan udara memanfaatkan panas laten penguapan air Material pad merupakan media tempat terjadinya proses evaporasi dan merupakan komponen utama sistim pendingin evaporative. Umumnya material pad yang digunakan saat ini adalah material pad berpori yang sifatnya hanya mampu menahan air (*water retention*) dan tidak memompakan air secara kapiler kedalam porinya (*capillary pumped water*) sehingga memerlukan tambahan energi listrik bagi pompa air untuk membasahi material pad. Dalam penelitian ini dikembangkan material pad berbasis bambu betung berpori karbon (*carbon porous betung bamboo*), yang difabrikasi melalui proses karbonisasi bebas oksigen pada material bambu betung, dengan variasi temperatur karbonisasi 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C. Struktur pori dan distribusi ukuran pori dari material tersebut didapat melalui uji SEM, yang kemudian akan ditentukan kenaikan kapiler (*capillary rise*) dan gaya berat air masing-masing material. Gaya berat air merupakan gaya yang melawan gaya kapiler material. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bambu betung yang dikarbonisasi pada temperatur 700°C (CRR700) dengan ukuran jari-jari pori terkecil sebesar 2.59 µm, dengan kenaikan kapiler tertinggi sebesar 0.56 m, memberikan gaya berat air terendah sebesar 1.186×10^{-5} N. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa ukuran jari-jari pori material yang lebih kecil akan menghasilkan gaya berat air yang lebih rendah, walaupun memiliki kenaikan kapiler yang lebih tinggi.

Kata kunci: Bambu betung berpori karbon, gaya berat air, material pad pendingin evaporative.

Abstract

The development in urban areas has increased sharply, caused an increase in the need for air comfort for office buildings, malls, super markets and others, using compressor-based cooling systems. The widespread use of this cooling system has triggered an increase in the need for electrical energy, and causing quite serious environmental damage. As an alternative, a cooling system that is more energy efficient and environmentally friendly is needed, one of which is an evaporative cooling system. This system cools the air using the latent heat of vaporization. The pad material is the medium in which the evaporation process occurs and is the main component of the evaporative cooling system. Generally, the pad material used today is a porous pad material which is only capable of holding water and does not pump water capillaryly into the pores, so it requires additional electrical energy for the water pump to wet the pad material. In this research, a pad material based on carbon porous betung bamboo was developed, which was fabricated through an oxygen-free carbonization process on betung bamboo material, with variations in carbonization temperature of 500°C, 600°C, 700°C and 800°C. The pore structure and pore size distribution of these materials are obtained through SEM tests, which then determine the capillary rise and water gravity of each material. The gravity of water is a force that opposes the capillary force of the material. The test results show that betung bamboo carbonized at a temperature of 700°C (CRR700) with the smallest pore radius of 2.59 µm, and the highest capillary rise of 0.56 m, provides the lowest water gravity of 1.186×10^{-5} N. Thus it can be concluded that the smaller pore radius of the material will produce a lower water gravity, even though it has a higher capillary rise

.Keywords: Carbon porous betung bamboo, water gravity, evaporative cooling pad material.

1. Pendahuluan

Sistim pendingin evaporative banyak dikembangkan saat ini, sebagai sistim pendingin alternatif bagi penggunaan sistim pendingin konvensional berbasis kompresor yang kian meluas, yang mengakibatkan peningkatan kebutuhan akan energi listrik dan kerusakan lingkungan yang sangat tinggi. Sistim direct evaporative cooling (DEC) merupakan sistim pendingin yang bekerja dengan cara mendinginkan udara dengan

penguapan, dimana saat udara mengalami kontak dengan media pad yang basah, panas udara akan diserap untuk proses penguapan lapisan air pada media pad, sehingga menghasilkan udara yang lebih dingin [1]. Material pad merupakan komponen yang paling esensial pada sistim DEC, karena pendinginan udara yang lebih besar akan terjadi pada material pad yang mampu menampung jumlah massa air yang lebih banyak [2]. Penggunaan evaporative cooling dapat menurunkan temperatur sebesar 4-13°C [3]

*Korespondensi: Tel./Fax.: 081239175006

E-mail: hendrawjks@gmail.com

♥Teknik Mesin Universitas Udayana 2024

Material pad komersial yang umum digunakan saat ini adalah cellulose pad dengan serat kertas sebagai bahan dasarnya, biasa disebut CELdek, namun material pad ini harganya cukup mahal [4] Sehingga banyak peneliti mengembangkan material non-cellulose pad yang berbahan dasar material lokal dan menghasilkan efisiensi pendinginan yang cukup tinggi (ditulis dalam kurung) diantaranya material pad cardboard (79%), hazelnut rind (48%), wood shavings (69%) [5], expanded clay, sawdust, vegetable fibre, coal [6], fine fabric (47.22-85.51%), coarse fabric (63.88-86.32%), polyvinyl chloride, sponge [7], coir fibre (89.6-92.8%) [8]. Untuk mendapatkan performansi pendinginan yang tinggi pada sistim DEC, material pad harus cukup berpori, mampu menyerap air dan memungkinkan terjadinya evaporasi, harus memiliki permukaan basah yang cukup luas untuk memungkinkan kontak air dan udara yang lebih lama sehingga tercapai kondisi mendekati jenuh, juga harus tersedia secara lokal dan tidak mahal [9].

Secara umum, hampir semua material non-cellulose pad diatas harus dibasahi menggunakan pompa air, sehingga dibutuhkan adanya tambahan energi listrik. Material tersebut hanya memiliki kemampuan menampung air (*water retention*) yang tinggi dan kurang memiliki kemampuan untuk memompakan air secara kapiler (*water capillary pumped*) ke dalam porinya, sehingga dapat membasahi dirinya sendiri serta mampu mengurangi kebutuhan energi listrik untuk pompa.

Menurut penelitian Jiang et.al., (2010), bambu yang dikarbonisasi pada temperatur tinggi dan dalam kondisi bebas oksigen akan menghasilkan material karbon yang relatif murah yang memiliki struktur yang terinterkoneksi, multipori dan berpori [10]. Sehubungan dengan kondisi tersebut diatas, dalam penelitian ini dikembangkan material pad berbasis material lokal bambu betung yang dikarbonisasi sehingga menjadi material bambu betung berpori karbon yang diharapkan akan memiliki kemampuan kapilaritas yang cukup tinggi dan kemampuan menampung air yang cukup tinggi juga, yang mana hal ini sangat sesuai dengan karakteristik material pad untuk sistem *direct evaporative cooling*.

Di sisi lain, penelitian mengenai pemanfaatan karbon bambu telah banyak dilakukan. Huang et.al., (2019) melakukan penelitian pengembangan superkapasitor simetrik dari cangkang bambu yang dikarbonisasi secara hidrotermal [11]. Bambu berstruktur pori karbon dapat dimanfaatkan juga sebagai material elektrode untuk aplikasi kimiaelektro seperti superkapasitor, baterai Li-ion, baterai litium sulfur. [12]. Wenjun Wu et.al., (2024) meneliti pemanfaatan karbon aktif bambu hasil aktivasi menggunakan K_2CO_3 untuk adsorpsi karbondioksida, dimana material karbon aktif ini mampu melakukan adsorpsi karbondioksida secara spontan dan eksotermik [13]. Fei Gu et.al., (2023) mengembangkan bambu yang dikarbonisasi menggunakan $HCOOK/(HCOO)_2Ca$ untuk penyerapan *diethyl phthalate* dari larutan aqua, dimana memiliki daya serap sebesar 761mg/g.[14]. Kemudian Yue Guo dan Qingyue Wang (2023) mengembangkan bambu berpori karbon yang diaktivasi menggunakan Na_2SiO_3 untuk

meningkatkan penyerapan *ciprofloxacin* secara cepat dari air limbah.[15]. Shilun Liu et.al., (2023) meneliti penggunaan arang bambu untuk mengurangi emisi karbon dalam geopolimer mortar.[16]. Selanjutnya Ganmao Su et.al., (2023) mengembangkan mikrofiber bambu berpori karbon yang difabrikasi melalui proses karbonisasi, ledakan uap dan aktivasi plasma sebagai material penyerap gas-gas *formaldehyde* yang ramah lingkungan. [17].

Dari beberapa penelitian mengenai bambu berpori karbon diatas, belum ada penelitian mengenai penggunaan bambu berpori karbon untuk aplikasi sistim pendinginan, khususnya sebagai material pad sistim pendingin direct evaporative. Hal tersebut diatas mendorong penulis untuk mengembangkan material bambu betung (*dendrocalamus asper*) berpori karbon sebagai material pad. Dari review literatur diatas, diketahui bahwa bambu berpori karbon dan atau karbon aktif bambu memiliki multipori dimana untuk pori yang berukuran nano dan mesometer akan menghasilkan kemampuan adsorpsi material tersebut, yakni penyerapan pada permukaan pori, sedangkan untuk pori yang berukuran mikrometer, yang lebih besar, akan menghasilkan kemampuan absorpsinya, yaitu penyerapan hingga masuk kedalam porinya. Kemampuan absorpsi ini nantinya akan menghasilkan kemampuan kapilaritas pada material bambu, sehingga sangat memungkinkan untuk digunakan sebagai material pad alternatif sistim pendingin direct evaporative.

2. Metode Penelitian

2.1. Pembuatan Bambu Betung Berpori Karbon.

Proses pembuatan bambu betung berpori karbon dilakukan dalam dua tahap yakni proses pengeringan dan karbonisasi. Untuk proses pengeringan juga dilakukan dalam dua tahap, pengeringan pertama material bambu betung dijemur dibawah terik matahari, kemudian material bambu betung dipotong-potong menjadi bentuk empat persegi panjang sebanyak 16 sampel dengan ukuran panjang, lebar/tebal dan tinggi masing-masing secara berurutan 25 mm, 17 mm dan 35 mm. Potongan bambu empat persegi panjang ini kemudian dikeringkan untuk kedua kalinya di dalam oven dengan temperatur 120°C selama 1 jam, sebelum dilakukan proses karbonisasi. Selanjutnya kedalam potongan-potongan bambu tersebut diinjeksikan nitrogen untuk menghilangkan udara yang masih terperangkap dalam potongan bambu tersebut. Berikutnya dibungkus dengan aluminium foil, ditaruh dalam cawan keramik anti panas. kemudian dimasukkan kedalam *furnace* untuk proses karbonisasi. Proses karbonisasi dilakukan dengan variasi temperatur karbonisasi 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C. Proses karbonisasi pertama dengan temperatur karbonisasi 500°C, 4 sampel material dimasukkan ke dalam furnace yang sudah dialiri nitrogen untuk menghilangkan kandungan oksigen dalam furnace. menghindari terjadinya pembakaran. Setelah tercapai temperatur karbonisasi 500°C, furnace dimatikan dan didinginkan hingga mencapai temperatur lingkungan. Selanjutnya material bambu betung dengan temperatur karbonisasi 500°C diberi pengkodean nama material sebagai CRR500.

Demikian seterusnya untuk variasi temperatur karbonisasi 600°C, 700°C dan 800°C dan diberi nama material masing-masing secara berurutan sebagai CRR600, CRR700 dan CRR800, seperti terlihat pada Tabel 1. Dari masing-masing 4 sampel hasil proses karbonisasi dipilih satu sampel terbaik, untuk dilakukan tahap pengujian selanjutnya.

Tabel 1. Nama material

No	Temperatur Karbonisasi (°C)	Nama Material
1	500	CRR500
2	600	CRR600
3	700	CRR700
4	800	CRR800

Selanjutnya dilakukan uji SEM (JSM 6510) dengan pembesaran 600X pada masing-masing material bambu betung berpori karbon tersebut diatas. Hasil uji SEM diperlukan untuk mendapatkan gambar struktur pori material. Gambar struktur pori material kemudian dianalisis menggunakan aplikasi Image-J dan akan menghasilkan distribusi jumlah pori dan ukuran jari pori (μm), seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Ukuran jari pori

No	Material	Σ pori	Σ Ukuran pori (μm)	Jari pori rata-rata (μm)
1	CRR500	89	319,6159	3.59
2	CRR600	46	202,8868	4.41
3	CRR700	136	353,3679	2.59
4	CRR800	131	388,1399	2.96

2.2. Menentukan Ketinggian Kenaikan Kapiler

Dalam penelitian ini, istilah kapiler (*capillary*) merujuk pada pori (*tube*) dengan penampang berbentuk lingkaran. Jika cairan memiliki gaya adhesi yang cukup besar terhadap dinding pori material, maka cairan akan naik kedalam pori secara kapiler dan melawan gaya berat air (*weight of liquid*). [18]. Cairan akan membentuk meniscus pada garis kontakannya dengan udara dan meniscus akan berbentuk cekung (*concave*) bila cairan membasahi dinding pori. Hal ini menghasilkan beda tekanan antara bagian pori yang telah terbasahi cairan dengan bagian pori yang belum terbasahi, beda tekanan ini disebut sebagai tekanan kapiler.

$$P_c = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \gamma}{r} \quad (1)$$

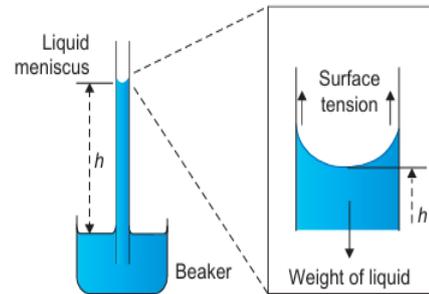
Untuk kapilaritas vertikal, ketinggian kenaikan kapiler dibatasi oleh tekanan hidrostatisnya.

$$P_h = \rho_w \cdot g \cdot h \quad (2)$$

Jika prosesnya dalam keadaan setimbang, maka tekanan kapiler akan sama dengan tekanan

hidrostatiknya, dan ketinggian kenaikan kapiler dapat ditentukan dengan persamaan

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \gamma}{\rho_w \cdot g \cdot r} \quad (3)$$



Gambar 1. Skematik kenaikan kapiler [18]

- h = ketinggian kenaikan kapiler (m)
- r = jari-jari meniscus = jari-jari pori (m)
- σ = tegangan permukaan cairan = 0,0727 N/m (air 20°C)
- γ = sudut antara meniscus cairan dan dinding pori (°)
- ρ_w = massa jenis air = 1000 kg/m³
- g = percepatan gravitasi = 10 m/s²

2.3. Menentukan Gaya Berat Air

Gaya berat air merupakan gaya yang melawan gaya kapiler karena sejumlah massa cairan yang naik akibat gaya kapiler, akan dipengaruhi oleh gravitasi. Dalam keadaan setimbang, gaya kapiler akan sama dengan gaya berat air seperti pada persamaan berikut [19].

$$2\pi \cdot r \cdot \sigma \cdot \cos \gamma = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho_w \cdot g \quad (4)$$

(gaya kapiler, F_c) (gaya berat air, F_w)

Dengan mengetahui besarnya jari pori rata-rata dari hasil uji SEM dan ketinggian kenaikan kapiler, h , maka dapat ditentukan besarnya gaya berat air sebagai

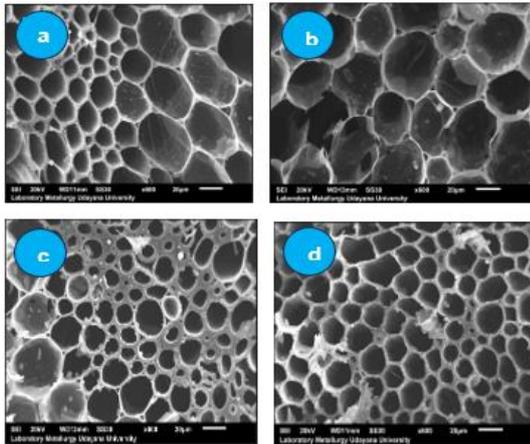
$$F_w = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho_w \cdot g \quad (5)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Struktur Pori Karbon Aktif Bambu Betung

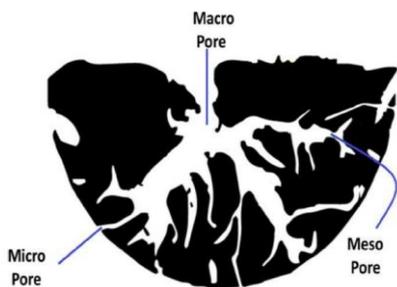
Pada Gambar 2 dapat dilihat hasil pengujian SEM material bambu betung berpori karbon masing-masing secara berurutan CRR500, CRR600, CRR700 dan CRR800. Proses karbonisasi sebenarnya adalah proses pembukaan pori awal dari material, dimana terjadi dekomposisi thermal dari unsur-unsur organik dalam bambu, yang mana akan mengeliminasi atom-atom non-karbon dan menghasilkan arang (*char*) dengan struktur pori yang belum sempurna. Pada beberapa bagian pori masih tertutup lapisan tipis dan pori semacam ini disebut sebagai *cavern pore* (pori berbentuk gua) yang belum sepenuhnya terbuka seperti pada CRR600. Hal ini disebabkan karena penetrasi

panas pada proses karbonisasi belum sepenuhnya bisa membuka pori material. Demikian juga dinding pori material masih ada yang tebal. Untuk membersihkan dan membuka lebih banyak pori, diperlukan proses aktivasi.



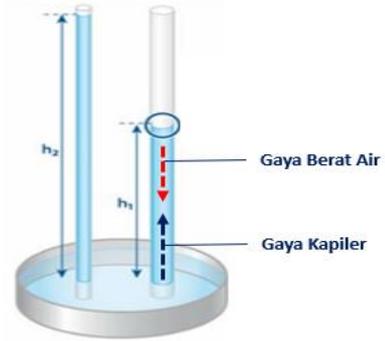
Gambar 2. Struktur pori bambu betung pori karbon
a) CRR500; b) CRR600; c) CRR700; d) CRR800

Namun demikian secara umum, ukuran pori yang terjadi sangat bervariasi ukurannya, tapi semua masih dalam ukuran mikro (makropori). Makropori adalah ukuran pori yang paling besar setelah mikropori dan mesopori. Tetapi justru makropori ini yang memiliki kemampuan absorpsi, karena untuk mencapai mikropori dan mesopori, partikel atau molekul cairan harus melalui makropori terlebih dahulu.



Gambar 3. Struktur pori material karbon

Gaya adhesi pada pori akan menentukan besarnya gaya kapiler yang dihasilkan dan akan diimbangi oleh gaya berat air. Bila gaya kapiler dipengaruhi oleh gaya adhesi molekul cairan dengan dinding pori, maka gaya berat air akan dipengaruhi oleh jumlah massa cairan sepanjang ketinggian kapiler dan gaya gravitasi. Seperti tampak pada Gambar 4, pada ketinggian kenaikan kapiler tertentu, akan terjadi kesetimbangan antara gaya kapiler dan gaya berat air dan ketinggian yang dihasilkan merupakan ketinggian maksimum. Pada ketinggian kapiler maksimum, tidak ada lagi kenaikan permukaan cairan dalam pori material.



Gambar 4. Kesetimbangan kapilaritas

Seperti pada Gambar 5, terlihat bahwa ketinggian kenaikan kapiler akan semakin tinggi pada ukuran pori yang lebih kecil. Namun sebaliknya gaya kapiler dan gaya berat air, akan berbanding lurus dengan ukuran pori. Semakin kecil ukuran pori, maka akan semakin kecil gaya kapiler dan gaya berat airnya. Pada keadaan setimbang di dalam pori, gaya kapiler akan sama besarnya dengan gaya berat air, namun memiliki arah yang berbeda. Berdasarkan persamaan (1) dan (2) diketahui bahwa pada ketinggian kenaikan kapiler maksimum, tekanan kapiler akan sama dengan tekanan hidrostatisnya.



Gambar 5. Kenaikan kapiler pada pori

Di sisi lain, tekanan kapiler berbeda dengan gaya kapiler, dimana tekanan kapiler akan bekerja pada luas penampang pori, sedangkan gaya kapiler adalah gaya dorong keatas akibat gaya adhesi cairan. Juga tekanan kapiler akan berbanding terbalik dengan ukuran jari pori, seperti pada persamaan (1). Semakin kecil ukuran pori, semakin tinggi tekanan kapiler yang dihasilkan.

3.2. Menentukan Tinggi Kenaikan Kapiler

Berdasarkan pada persamaan kesetimbangan gaya pada kapilaritas vertika pada persamaan (4) menunjukkan adanya kesetimbangan gaya kapiler dan gaya berat air pada ketinggian kenaikan kapiler maksimum. Dengan demikian ketinggian kenaikan kapiler dapat ditentukan berdasarkan ukuran jari pori material hasil uji SEM. Besarnya ketinggian kenaikan kapiler untuk masing-masing material bambu betung berpori karbon dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tinggi kenaikan kapiler

Material	Ukuran jari pori, r 10^{-6} (m)	Tinggi kenaikan kapiler, h (m)
CRR500	3.59	0.41
CRR600	4.41	0.33
CRR700	2.59	0.56
CRR800	2.96	0.49

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa material bambu betung yang dikarbonisasi pada temperatur 700°C (CRR700) dengan ukuran jari pori yang paling kecil (2,59 μm), menghasilkan ketinggian kenaikan kapiler yang paling tinggi (maksimum) sebesar 0.56 m. Tingginya kenaikan kapiler pada material ini disebabkan dengan ukuran pori yang paling kecil, maka tekanan kapiler yang dihasilkan akan paling tinggi juga dan ini akan mengangkat cairan ke permukaan pori lebih tinggi, bila dibandingkan dengan material dengan ukuran pori yang lebih besar.

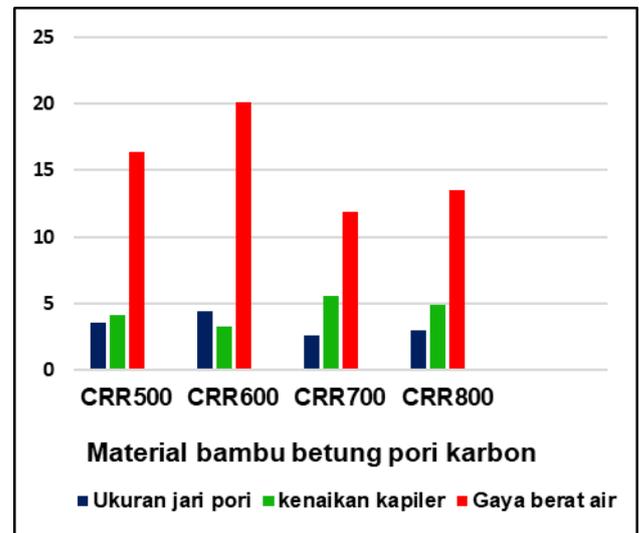
3.3. Menentukan Gaya Berat Air.

Besarnya gaya berat air sangat dipengaruhi oleh ukuran jari pori, kenaikan kapiler dan juga massa jenis cairan. Besarnya gaya kapiler dan kerja kapiler untuk masing-masing material karbon aktif bambu betung dapat dilihat seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Gaya berat air

Material	Ukuran jari pori 10^{-6} (m)	Kenaikan kapiler (m)	Gaya berat air. 10^{-5} (N)
CRR500	3.59	0.41	1.639
CRR600	4.41	0.33	2.013
CRR700	2.59	0.56	1.186
CRR800	2.96	0.49	1.353

Tabel 4 menunjukkan bahwa gaya berat air tertinggi sebesar 2.013×10^{-5} N dihasilkan oleh material bambu betung yang dikarbonisasi pada temperatur 600°C (CRR600) yang memiliki ukuran pori yang paling besar yakni sebesar 4.41 μm . Hal ini menunjukkan bahwa ukuran pori yang lebih besar akan menghasilkan gaya berat air yang lebih besar pula, dibandingkan dengan material lain dengan ukuran pori yang lebih kecil. Besarnya gaya berat air yang dihasilkan oleh material dengan ukuran pori yang lebih besar disebabkan oleh lebih banyaknya jumlah massa cairan yang naik ke permukaan pori. Sebagai acuan jumlah volume cairan yang naik kedalam pori dapat dihitung dengan persamaan volume air $= \pi \cdot r^2 \cdot h$. Sehingga untuk material CRR600 dapat mengangkat jumlah volume air sebesar $\pi \cdot (4.41 \times 10^{-6})^2 \cdot (0.33 \text{ m}) = 2.013 \times 10^{-9} \text{ m}^3$. Volume air sebesar ini, akan menghasilkan gaya berat air yang lebih besar.



Gambar 6. Gaya berat air

Gambar 6 menunjukkan hubungan gaya berat air dengan kenaikan kapiler dan ukuran pori. Ditunjukkan bahwa gaya berat air akan sangat ditentukan oleh ukuran pori, dimana ukuran pori yang lebih besar akan memberikan gaya berat air yang lebih besar melawan gaya kapiler. Dapat dijelaskan juga bahwa walaupun gaya berat air sama besarnya dengan gaya kapiler untuk setiap kenaikan kapiler, akan tetapi sebelum mencapai ketinggian maksimum, cairan akan tetap naik ke permukaan pori. Hal ini disebabkan oleh masih tingginya gaya adhesi cairan terhadap dinding pori, sehingga beda tekanan antara permukaan yang telah terbasahi dan belum terbasahi oleh cairan masih tinggi dan belum dalam keadaan setimbang dengan tekanan hidrostatisnya.

4. Simpulan

Dari hasil pengujian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Ketinggian kenaikan kapiler akan mencapai tinggi maksimum, bila telah terjadi kesetimbangan antara gaya kapiler dan gaya berat air.
2. Gaya berat air yang lebih besar akan dihasilkan oleh material dengan ukuran pori yang lebih besar.
3. Ukuran pori yang lebih kecil, akan memberikan kenaikan kapiler yang lebih tinggi, namun gaya berat air yang dihasilkan akan menjadi lebih kecil.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UNUD yang telah membiayai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] J.K. Jain, D.A. Hindoliya. 2011. Experimental performance of new evaporative cooling pad materials, *Sustainable Cities and Society* 1, (2011), 252-256.
- [2] Porumb B., Unguresan P., Tutunaru L.F., Serban A., Balan M. 2016. Indirect Evaporative Cooling Operating Condition and Performance. *Energy Prodia* 85, 452-46
- [3] Ozturk H.H., 2003. Evaporative cooling efficiency of a fogging system for greenhouse. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27(1), 49-57.
- [4] Al-Sulaiman F (2002). Evaluation of the performance of local fibers in evaporative cooling, *Energy Conversion and Management*, 43, 2267-2273.
- [5] Daktekin M., Gurdil G.A.K., Yildiz Y., Uluocak A.N., 1998. A research on determination of the efficiency of a different type pad materials of using in evaporative cooling system (fan-pad) in poultry houses. *Proceedings* pp 850-857, *Tarimsal Mekanizasyon* 18, Ulusal Kongresi.
- [6] Tinoco I F F et.al., 2001. Comparison of the cooling effect of different materials used in evaporative cooling pads. pp 438-442, *Agribuilding* 3, 6 September, Campinas, SP. Brazil.
- [7] Liao C M., Chiu K.H., 2002. Wind tunnel modelling the system performance of alternative evaporative cooling pads in Taiwan Region, *Building and Environment*, 37, 177-187.
- [8] Liao C M., Singh S., Wang T.S., 1998. Characterizing the performance of alternative evaporative cooling pad in thermal environmental control applications. *Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic Hazardous Substance and Environmental Engineering*, 33(7) 1391-1417.
- [13] Wenjun Wu, Chenlei Wu, Jun Liu, Huangyu Yan, Guojie Zhang. 2024. Nitrogen-doped porous carbon through K₂CO₃-activated bamboo shoot shell for an efficient CO₂ adsorption. *Fuel* Volume 363.
- [14] Fei Gu et.al., 2023. Coassisted carbonization with HCOOK/(HCOO)₂Ca for the fabrication of bamboo-derived oxygen-doped porous carbons exhibiting high-performance sorption of diethyl phthalate from aqueous solutions. *Biosource Technology* Volume 367.
- [15] Yue Guo, Qingyue Wang. 2023. Exploring the adsorption potential of Na₂SiO₃-activated porous carbon materials from waste bamboo biomass for ciprofloxacin rapid removal in waste water. *Environmental Technology & Innovation*, Volume 32.
- [16] Shinlun Liu et.al., 2024. Investigating the use of bamboo charcoal to reduce carbon emissions in geopolymers mortar. *Construction and Building Materials*, Volume 434.
- [17] Ganmao Su et.al., 2023. Gaseous formaldehyde adsorption by eco-friendly, porous bamboo carbon microfibers obtained by steam explosion, carbonization, and plasma activation. *Chemical Engineering Journal*, Volume 455.
- [18] Johanna Andersson, 2018. An Investigation of The Mechanism of Capillary Flow in Soft Hydrophilic Microchannel. Department of Chemistry and Chemical Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- [19] Dani Or, 2018. Capillary Processes in Porous Media. Department of Environmental System Science (D-USYS) Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zurich).
- [20] Marzia Sultana, Mahbub Hasan Rownok, Meherunnesa Sabrin, Md Hafezur Rahaman S.M. A review on experimental chemically modified activated carbon to enhance dye and heavy metals adsorption. *Cleaner Engineering and Technology* 6 (2022) 100382



I Gusti Ngurah Putu Tenaya menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 1994. Menyelesaikan studi program magister di Universitas Brawijaya pada tahun 2007 dengan topik penelitian: Pengaruh temperatur reaktan terhadap kecepatan rambat api premixed berbahan bakar gas pada ruang bakar model Helle Shaw Cell

	<p>I Gede Teddy Prananda Surya menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2006. Ia menyelesaikan studi program magister di Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) pada tahun 2010.</p>
---	--

	<p>Ketut Astawa Dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana . Pendidikan Sarjana (S1) diselesaikan di Jurusan Teknik Mesin, Fak. Teknik, Univ. Udayana dan melanjutkan studi S2 dan memperoleh gelar Magister Teknik bidang Konversi Energi di Universitas Brawijaya. Aktif mengajar kembali sejak tahun 2006 di Program Studi Teknik Mesin Fak. Teknik, Univ. Udayana</p>
---	---

	<p>Hendra Wijaksana menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Institute Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya pada tahun 1990. Pendidikan magister Teknik Mesin diselesaikan di Salford University, UK pada tahun 2002 dengan area riset tentang sistem pendingin absorpsi pada cogeneration power plant</p>
<p>Pada tahun 2021 ia menyelesaikan pendidikan doktoral di Program Studi Doktorat Ilmu Teknik (PSDIT), Universitas Udayana. Saat ini ia bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Mesin Uinversitas Udayana. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah sistem pendingin evaporative, refrigerasi dan kapilaritas material karbon aktif dan soft material.</p>	

Pengujian eksperimental dan simulasi numerik aliran melintasi truk dengan penambahan penutup samping kolong truk

Ainul Ghurri^{1)*}, AA Adhi Suryawan²⁾, Faris Reynaldi³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Salah satu komponen gaya hambat yang terjadi pada kendaraan diakibatkan oleh aliran udara yang melintasi bagian bawah kendaraan. Aliran udara tersebut berbenturan dengan ban kendaraan kemudian sebagian masuk ke kolong kendaraan, berinteraksi dengan permukaan bawah kendaraan dan permukaan jalan sedemikian hingga menimbulkan hambatan aliran yang berkontribusi meningkatkan konsumsi bahan bakar kendaraan. Makalah ini membahas perbandingan hasil eksperimen dan hasil simulasi aliran di bagian bawah (kolong) truk, serta dampak pemasangan penutup samping kolong truk (*side skirt*) terhadap gaya hambat yang terjadi. Pengujian eksperimental dilakukan menggunakan model truk yang diuji dalam terowongan angin, dilengkapi dengan *blower* untuk menghasilkan aliran udara melintasi truk dan alat ukur gaya hambat pada truk. Simulasi dilakukan menggunakan *software* Ansys dalam keadaan steady, 3D dan aliran turbulen. Penutup samping kolong truk divariasikan dengan sudut 0° (lurus sepenuhnya) dan tekukan 30° pada bagian depan dan belakangnya. Hasil pengujian eksperimental menunjukkan bahwa gaya hambat truk berkurang sampai 10-13% dengan 2 variasi penambahan penutup samping kolong truk tersebut. Hasil simulasi memiliki perbedaan sebesar 15% dibandingkan hasil eksperimen, namun memiliki *trend* perubahan yang sama pada pengujian variasi kecepatan.

Kata kunci: Gaya hambat, truk, penutup samping

Abstract

One of components of the drag force on a vehicle is caused by air flow across the bottom of the vehicle. The air flow firstly collides with the vehicle tires and flows into under the vehicle, interacting with the vehicle's lower surface and the road surface in such a way that it creates flow resistance which contributes to increasing of the vehicle's fuel consumption. This paper discusses the comparison between the experimental and flow simulation results air flow at the bottom of the truck, as well as the impact of installing side skirts under the truck on the truck's drag forces. The experimental testing was carried out using a truck model tested in a wind tunnel, equipped with a blower to produce air flow across the truck and a device for measuring drag force on the truck. Simulations were performed using Ansys software in steady state, 3D and turbulent flow, respectively. The side covers under the truck are varied with an angle of 0° (flat and straight) and a 30° bend at the front and rear of side skirt. The experimental results show that the truck's drag force is reduced by 10-13% with those 2 variations of adding side covers under the truck. The simulation results have a discrepancy of drag coefficient by 15% compared to the experimental results, but having the same changing trend in the speed variation test.

Keywords: Drag force, truck, side skirt

1. Pendahuluan

Pengangkutan barang melalui jalan darat dengan menggunakan truk masih menjadi salah satu pilihan transportasi yang paling efisien. Fakta ini terlihat dari jumlah angkutan truk yang semakin meningkat di jalan dan peningkatan total volume bahan bakar yang dikonsumsi. Harga bahan bakar yang meningkat memaksa perusahaan transportasi untuk memotong biaya agar tetap kompetitif dalam persaingan yang agresif dalam pasar yang cepat berubah dan berkembang. Permintaan transportasi jalan raya yang signifikan diperkirakan akan terusterjadi pada masa mendatang. Peningkatan perhatian pada lingkungan telah memperbaiki pentingnya perhatian terhadap desain truk, karena setiap pengurangan konsumsi bahan bakar truk dapat dikaitkan dengan biaya bahan bakar tahunan yang besar dan penghematan emisi yang cukup besar. Umumnya ada dua cara untuk mengurangi konsumsi bahan bakar kendaraan. Hal ini bisa dilakukan dengan meningkatkan efisiensi daya yang disalurkan oleh mesin, atau dapat dengan mengurangi tenaga tau gaya untuk mengatasi gaya-gaya yang bekerja pada truk yang melaju di jalan raya. pilihan yang kedua tersebut dapat dicapai dengan mengurangi bobot kendaraan, mengurangi hambatan

aerodinamis, dan dengan mengurangi ketahanan gesekan ban. Saat berkendara dengan kecepatan jalan raya tinggi, lebih dari 40% konsumsi bahan bakar truk disebabkan oleh hambatan aerodinamisnya [1].

Pengurangan konsumsi bahan bakar truk dengan cara aerodinamis telah menjadi hal yang penting, dan merupakan solusi yang digunakan dalam beberapa dekade terakhir dengan memasang kombinasi perangkat tambahan untuk traktor dan trailer, dengan tetap mempertahankan bentuk truk sebagaimana aslinya. Selain itu modifikasi bentuk umum kendaraan juga dilakukan untuk meningkatkan efisiensi aerodinamis secara menguntungkan. Beberapa perangkat aerodinamis telah dikembangkan untuk bagian depan dan atas kepala truk, yaitu bagian belakang badan truk (bak) dan celah antara kepala dan bak, [2, 3, 4]. Selain itu beberapa alat bantu aerodinamis untuk bagian bawah truk diteliti dan diuji di terowongan angin (wind tunnel). Demikian juga

solusi untuk bagian bawah bodi truk termasuk semacam penutup samping yang dipasang sebagai plat panjang [5]. Hasil pengujian mencapai pengurangan hambatan maksimum sebesar 6,25% dalam desain sudut yaw nol. Wood dan Bouer [4] mengembangkan flap bermomentum tinggi yang

berhasil mencapai pengurangan drag lebih dari 10%. Storms [6] melaksanakan

beberapa pengujian terowongan angin dengan model truk di terowongan angin bertekanan dengan skala skala 1/8, termasuk solusi untuk bagian bawah badan truk. Mereka menguji beberapa jenis side skirt dan memperoleh pengurangan drag antara 6,2% dan 11,8%.

Salah satu bagian dari truk dengan badan truk (bak truk) yang berkontribusi besar terhadap koefisien hambatan pada sisi bawah truk adalah kolong truk, dimana dalam ruang yang sempit antara permukaan jalan dan permukaan bagian bawah badan truk pola aliran terjadi secara kompleks dan menghasilkan gaya hambat yang sulit dikendalikan. Aliran udara yang melintasi bagian bawah truk-kontainer berkontak secara langsung dengan desain struktur yang sangat kompleks antara lain roda, as roda (*axles*), rangka, dan komponen mekanikal lainnya. Wood [7], menyebutkan bahwa aliran udara pada sisi bawah truk-kontainer berkontribusi menghasilkan setidaknya 30% dari total hambatan aerodinamik. Dari data tersebut.

Dengan mempertimbangkan hal tersebut maka penambahan penutup samping kolong truk yang berfungsi sebagai penyearah aliran udara di kolong truk bisa dipertimbangkan sebagai salah satu solusi untuk mengurangi koefisien hambat truk. Dalam makalah ini ini akan disajikan hasil pengujian eksperimen dan simulasi numerik penambahan *penutup samping kolong truk* dengan variasi sudut 0°, 15°, 30°, dan 45° terhadap gaya koefisien hambat truk secara keseluruhan.

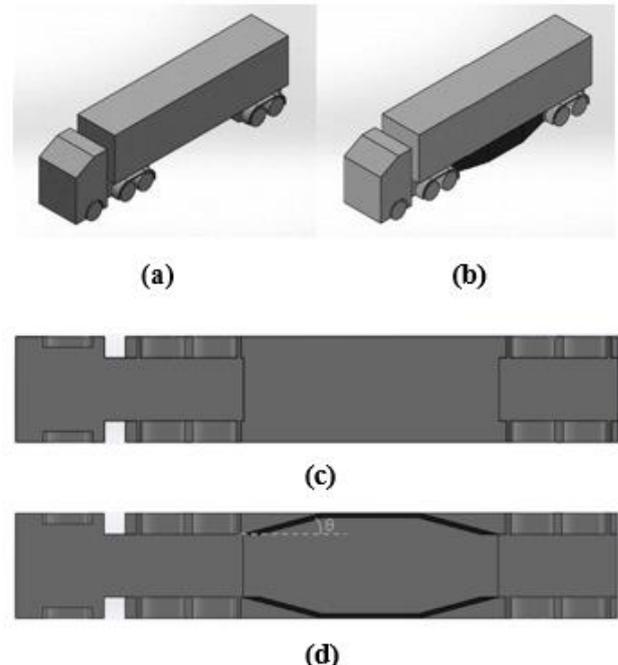
2. Metode Penelitian

2.1. Simulasi Numerik

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan proses simulasi CFD dengan menggunakan software ANSYS 2020. Adapun prosedur penelitian yang digunakan sebagai berikut :

1. Menyiapkan model 3D truk-kontainer dan model *side skirts* yang akan digunakan dengan variasi sudut 0°, 15°, 30°, dan 45°. Model truk yang digunakan berbasis pada Truk komersial Trago Xcient, Hyundai dengan skala 1:50, seperti pada Gambar 1.
2. Mengimport model truk-kontainer ke Ansys Fluent dan langsung melakukan proses enclosure untuk menentukan daerah batas relatif penelitian terhadap model uji, ditunjukkan dalam Gambar 2.
3. Melakukan proses meshing, dimana pada proses ini menggunakan *Auto Generate Mesh* dengan beberapa perubahan level pada submenu *Sizing*.
4. Menentukan model *viscous* yang akan digunakan, yaitu *standard k-epsilon*, dimana pada pengujian, variasi kecepatan relative udara V^∞ disetting dari 22-28 m/s dengan rentang Reynolds number $3,39 \times 10^5 \leq Re \leq 4,28 \times 10^5$.
5. Menentukan *Boundary Conditions* dimana pada bidang velocity-inlet diinput kecepatan dengan variasi 22 m/s, 25 m/s, dan 28 m/s. Sedangkan pada bidang pressure-outlet diinput 0 Pa (gauge).

6. Melakukan proses perhitungan iterasi, dimana nilai konvergensi disetting hingga 10e-04.
7. Melakukan *checking report* untuk mengetahui besar gaya drag dan koefisien drag yang dialami oleh model truk-kontainer



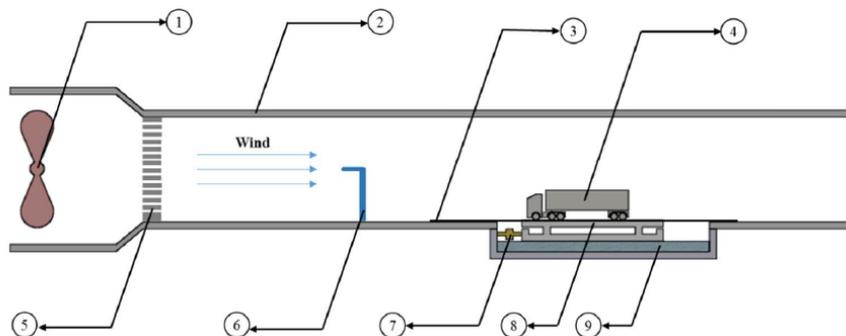
Gambar 1. Model 3D Truk-Kontainer (a) Tanpa *Side Skirts*, (b) Dengan *Side Skirts*, (c) Pandangan Bawah Tanpa *Side Skirts*, (d) Pandangan Bawah Dengan *Side Skirts*

2.2. Pengujian Eksperimental

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan menggunakan 1 unit *wind tunnel* dengan benda uji berupa model truk-kontainer skala 1:50 dengan penambahan *device* berupa *side skirts*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *side skirts* dengan variasi sudut 0°, 15°, 30°, dan 45° terhadap gaya hambat aerodinamik (F_D) pada model truk-kontainer. Skematik *wind tunnel* dapat dilihat pada Gambar 2.

Dalam melakukan pengukuran gaya hambat aerodinamik (F_D) pemasangan instalasi *wind tunnel* (2) harus sudah terpasang sesuai dengan perencanaan, dimana bagian permukaan atas elemen apung (8) yang telah diletakkan model truk-kontainer di atasnya, harus memiliki level ketinggian yang sama dengan permukaan dalam *wind tunnel*. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah dengan menghidupkan blower (1), tunggu beberapa saat agar aliran udara konstan melewati *wind tunnel*.

Gambar 3 menunjukkan alat uji *wind tunnel* yang digunakan dalam pengujian eksperimental. Selanjutnya Gambar 4(a) menunjukkan gambar model truk yang digunakan termasuk peralatan penutup samping kolong truknya (*side skirt*). Model dibuat persis dengan yang simulasikan yang dibuat dengan 3D printing; dan 4(b) memperlihatkan model truk diletakkan di dalam terowongan pengujian.



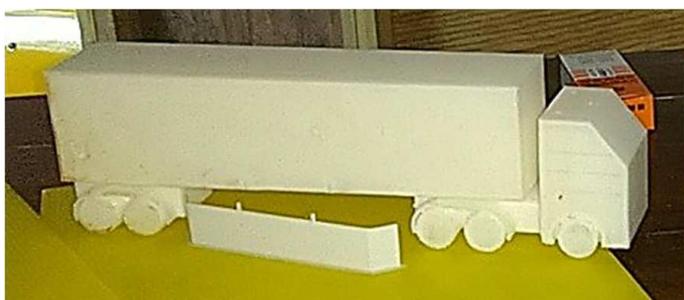
Keterangan gambar:

1. Blower
2. Testing section wind tunnel
3. Plat penyangga
4. Model truk
5. Penyearah aliran
6. Pitot tube
7. Force gauge
8. Elemen Apung
9. Air

Gambar 2. Skematik wind tunnel pengujian gaya hambatan



Gambar 3. Wind tunnel



Gambar 4. (a). Model truk



(b). Peletakan di test section

Rentang kecepatan udara (V^∞) yang digunakan dalam penelitian ini berkisar antara 22 – 28 m/s dan dengan *Reynolds number* $3,39 \times 10^5 \leq Re \leq 4,28 \times 10^5$. Kedua, kecepatan udara diukur dengan menggunakan pipa pitot (6) untuk mengetahui kecepatan udara rata-rata dan memastikan kecepatan udara (V^∞) masih berada di rentangan kecepatan yang telah direncanakan ketika melewati *wind tunnel*. Ketiga, proses dilanjutkan dengan melihat perpindahan elemen apung akibat dari resistansi udara terhadap model truk kontainer

Besar gaya hambatan aerodinamik (FD) total yang terjadi dapat dilihat dari nilai yang tertera pada timbangan digital (7) yang digunakan. Langkah terakhir yaitu, menambahkan *side skirts* sudut 0° , 15° , 30° , dan 45° secara bergiliran pada model truk-kontainer, lalu mencatat besar gaya hambatan aerodinamik (FD) yang didapatkan.

3. Hasil dan Pembahasan

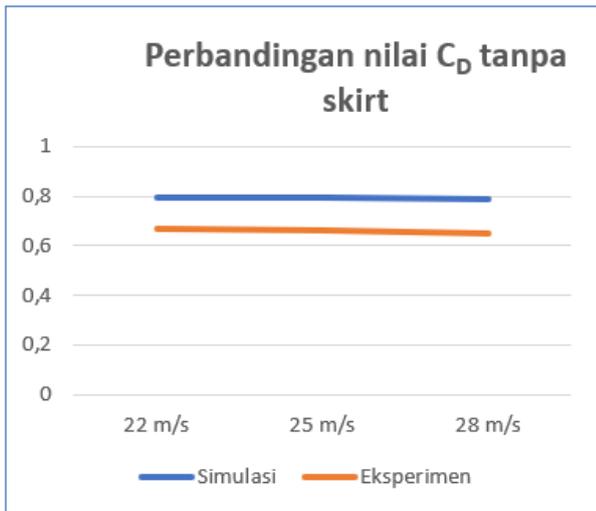
3.1. Nilai C_D Hasil simulasi dan eksperimental

Nilai C_D hasil simulasi berada pada rentang 0,77-0,79 sedangkan hasil eksperimen berada pada rentang 0,5 - 0,7 ; sementara nilai umum C_D truk dengan bok kontainer yang paling banyak

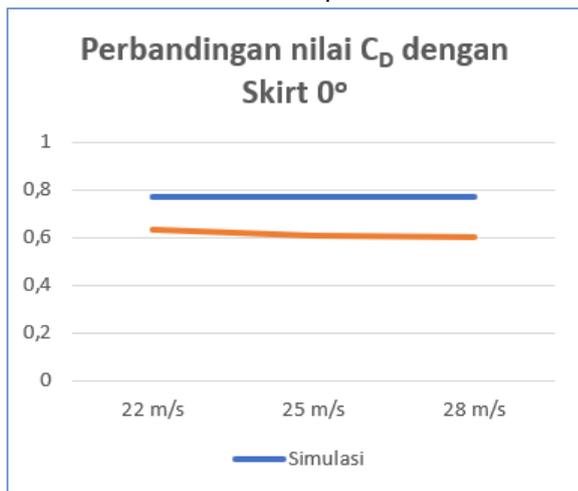
dipublikasikan adalah 0,7. Nilai C_D hasil simulasi lebih tinggi dari nilai standar kemungkinan disebabkan oleh pemilihan model turbulensi yang kurang tepat, atau dikarenakan gambar domain truk dalam simulasi yang rumit di bagian roda, sehingga menghasilkan nilai C_D yang besar. Sebaliknya, hasil eksperimen yang cenderung lebih rendah dibandingkan nilai standar kemungkinan dikarenakan ukuran model yang relatif terlalu besar dibandingkan luas penampang wind tunnel, yang menyebabkan efek dinding mempengaruhi aliran di sekitar truk sehingga menghasilkan C_D yang cukup bervariasi; dan juga disebabkan kesalahan peralatan ukur.

Sementara itu hasil eksperimen pengukuran C_D sebagai dampak pemasangan penutup samping kolong truk memiliki rentang 10-13%, yang mana nilai tersebut tidak jauh berbeda dengan hasil-hasil penelitian yang telah dipublikasikan. Dengan demikian, data hasil eksperimen dengan wind tunnel yang digunakan dalam penelitian ini cukup mewakili nilai yang secara umum digunakan sebagai nilai C_D truk dengan boks kontainer.

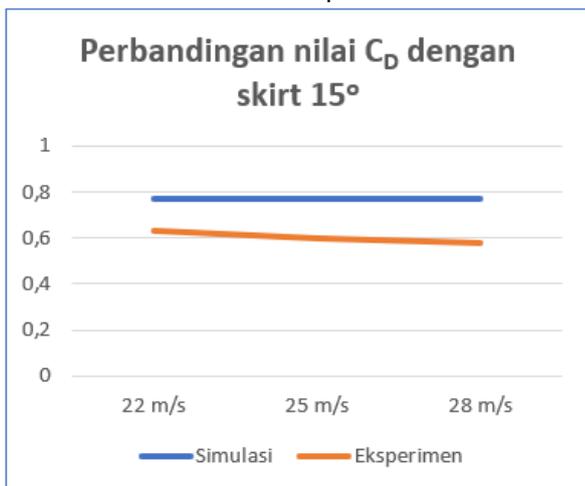
3.2. Perbandingan Nilai C_D simulasi dan eksperimental
Perbandingan antara nilai C_D simulasi dan eksperimental disajikan dalam grafik-grafik pada Gambar 5 – 9 di bawah ini.



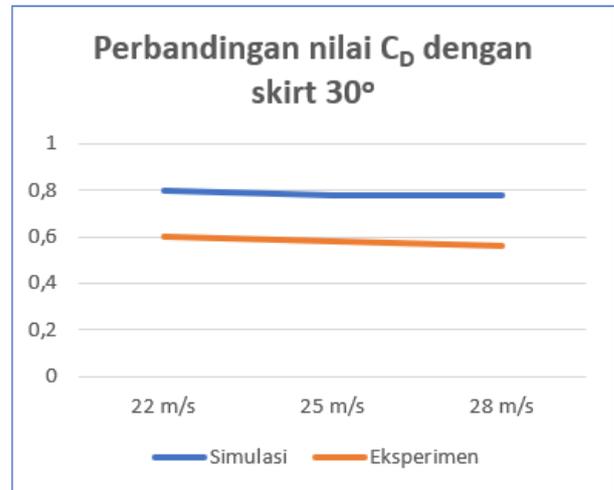
Gambar 5. C_D truk tanpa penutup samping (skirt) simulasi vs eksperimental



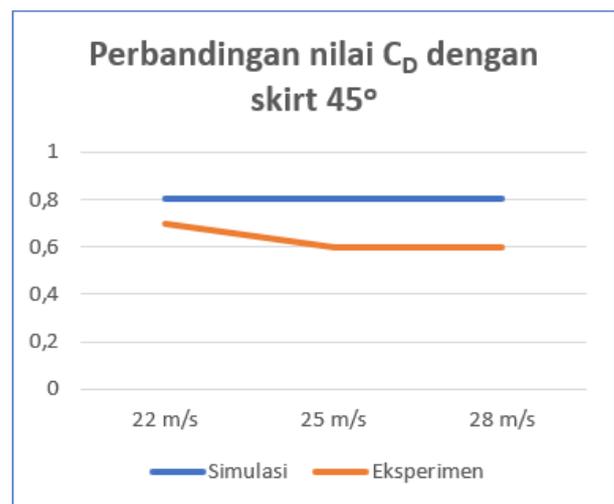
Gambar 6. C_D truk dengan penutup samping (skirt) 0° simulasi vs eksperimental



Gambar 7. C_D truk dengan penutup samping (skirt) 15° simulasi vs eksperimental



Gambar 8. C_D truk dengan penutup samping (skirt) 30° simulasi vs eksperimental



Gambar 9. C_D truk dengan penutup samping (skirt) 45° simulasi vs eksperimental

Gambar 5 menunjukkan bahwa hasil simulasi dan eksperimental memiliki tren yang serupa (paralel), dengan beda nilai C_D tanpa skirt sebesar sekitar 15%. Nilai perbedaan ini relatif bisa diterima, dan menjadi catatan untuk pemilihan setting simulasi yang lebih tepat. Pada Gambar 6 – 9 perbedaan antara hasil simulasi terhadap eksperimental cenderung mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan penutup samping kolong truk (side skirts) menambah kompleks baik simulasi maupun eksperimentalnya. Hal ini menjadi catatan untuk perbaikan baik setting eksperimen maupun simulasi untuk penelitian selanjutnya.

4. Kesimpulan

1. Hasil eksperimen menghasilkan nilai C_D yang lebih mendekati nilai standar sebagaimana tersedia di berbagai publikasi.
2. Nilai C_D hasil simulasi cenderung lebih tinggi dibanding nilai yang standar disebabkan desain gambar atau domain komputasi yang memiliki kerumitan tinggi di sekitar roda.
3. Perbandingan hasil simulasi terhadap eksperimen memiliki tren yang bagus pada pengujian tanpa penutup samping kolong truk (side skirts)

4. Pemasangan side skirts menghasilkan aliran yang lebih kompleks baik secara eksperimental maupun simulasi.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Konversi Energi dan Laboratorium Komputer atas fasilitas yang diberikan untuk pelaksanaan eksperimen dan simulasi.

Daftar Pustaka

- [1] Van Raemdonck, G., **Data Acquisition System of a Tractor-Trailer Combination to Register Aerodynamic Performances. Aerodynamic of Heavy Duty Vehicles II: Trucks, Busses and Trains.**
- [2] Harwell and Didcot, **Truck Aerodynamic Styling.** Oxfordshire, 2001.
- [3] Wood, R., **Impact of Advanced Aerodynamic Technology on Transportation Energy Consumption.** SAE Paper 2004-01-1306, 2004.
- [4] Wood, R. and Bauer, S., **Simple and Low-Cost Aerodynamic Drag Reduction Devices.** SAE Paper 2003-01-337, 2003
- [5] Ortega, J. and Salari, K., **An Experimental Study of Drag Reduction Devices for a Trailer Uderbody and Base.** AIAA Journal 2004-2252, 2004.
- [6] Storms, B., Satran, D., Heinick, J., and Walker, S., **A Study of Reynolds Number Effects on Drag Reduction Concepts on a Generic Tractor-Trailer.** AIAA Journal 2004-2251, 2004.
- [7] Wood, Richard M., 2003. **Aerodynamic Drag and Drag Reduction: Energy and Energy Savings.** AIAA Pap. 2003-0209.



Ainul Ghurri menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Brawijaya pada tahun 1995. Pendidikan magister Teknik Mesin diselesaikan di Universitas Indonesia pada tahun 1998 dengan area riset tentang computational fluid dynamics.

Pada tahun 2012 ia menyelesaikan pendidikan doktoral di Chonbuk National University, Korea Selatan. Saat ini ia bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Mesin Uinversitas Udayana. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah fuel spray, spray technology, internal combustion engine, dan CFD.



TEKNIK MESIN
UDAYANA



Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80361
Telp./Fax.: +62 361 703321
<http://www.mesin.unud.ac.id>



9 772338 414002

