

Ketangguhan Mode I Sambungan *Double Cantilever Beam* Komposit Jute-Polypropylene Menggunakan *Resistance Welding*

Mathias Noviantoro¹⁾, I.G.K Sukadana²⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Saat ini di seluruh dunia banyak dilakukan penelitian untuk mengembangkan komposit yang dibuat dengan menggunakan bahan plastik yang diperkuat serat alam. Serat jute/goni adalah salah satu serat alam yang ramah lingkungan, murah dan diproduksi dalam jumlah banyak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketangguhan mode I sambungan *Double Cantilever Beam (DCB)* komposit jute-polipropilena menggunakan *resistance welding*. Komposit dibuat dengan serat goni sebagai material penguat dan polipropilena (PP) sebagai material pengikat. Komposit dibuat dengan perbandingan 60% goni dan 40% PP sebanyak 3 lapisan, bahan komposit dipress hingga ketebalan komposit mencapai 3mm. Komposit dipotong sesuai dengan ukuran ASTM D-5528 standar untuk pengujian uji ketangguhan pada DCB. Kemudian dilakukan proses penyambungan menggunakan metode *electric resistance welding* dengan dua variasi kawat niklin yaitu kawat niklin dengan diameter 0,3mm dengan 23 lilitan dan 0,5mm dengan 21 lilitan. Pada penelitian ini pengulangan dilakukan dengan menggunakan 3 spesimen pada setiap variasi diameter. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode pengujian ketahanan retakan mode I dengan kecepatan tarik (*head speed*) 3mm/min dan beban penarikan (*load cell*) 5 kN. Hasil penelitian menunjukkan komposit yang disambung menggunakan kawat niklin memiliki kekuatan sambungan lebih kuat dari komposit itu sendiri.

Kata Kunci : Komposit, kawat niklin, tahanan sambungan, DCB, ketangguhan mode I

Abstract

Currently around the world a lot of research is being done to develop composites made using plastic materials that are natural fibers. Jute / jute fiber is one of the natural fibers that are environmentally friendly, cheap and produced in large quantities. This study aims to determine the toughness of mode I of the jute-polypropylene composite double cantilever beam (DCB) connection using resistance welding. The composite was made with jute fiber as a reinforcing material and polypropylene (PP) as a binder. The composite was made with a ratio of 60% jute and 40% PP in 3 layers, the composite material was pressed until the composite thickness reached 3mm. The composite was cut to standard ASTM D-5528 size for toughness testing on DCB. Then the connection process is carried out using the electrical resistance welding method with two variations of niklin wire, namely niklin wire with a diameter of 0.3mm with 23 turns and 0.5mm with 21 turns. In this study, 3 specimens were used for each variation in diameter. The test was carried out using the mode I crack resistance test method with a head speed of 3mm/min and a load cell of 5 kN. The results showed that the composite which was joined using niklin wire had a stronger connection strength than the composite itself.

Keywords: Composite, nikelin wire, welding resistance, DCB, mode I toughness

1. Pendahuluan

Penyambungan menjadi hal yang sangat penting dalam aplikasi bahan komposit, karena konstruksi kendaraan terbentuk dari susunan komponen satu dengan komponen lain. Proses penyambungan material komposit adalah sesuatu yang unik karena proses ini dipengaruhi oleh karakteristik dan sifat-sifat dari bahan pembentuk komposit. Penyambungan komposit pada umumnya dilakukan dengan menggunakan bahan perekat namun penggunaan dengan cara ini memiliki kelemahan, yaitu pada saat terjadi pembongkaran, sambungan material pembentuknya akan mengalami kerusakan. Hal ini tentu akan menjadi suatu yang merugikan karena akan mengubah ataupun mempengaruhi konstruksi kendaraan. Komposit dengan penguat serat Jute dan matrix *Polypropylene* (PP) merupakan salah satu bentuk dari material komposit serat alam-polimer yang

banyak diaplikasikan pada komponen dan konstruksi kendaraan[1]. Komposit serat alam-polimer dapat digunakan untuk bagian interior maupun eksterior komponen otomotif [2], karena komposit ini memiliki sifat-sifat yang lebih baik dari pada material logam seperti, ringan, tahan korosi, serta ramah lingkungan. Beberapa tahun banyak peneliti yang melakukan penelitian tentang proses sambungan pada komposit Seperti penelitian yang dilakukan[3] menggunakan *adhesive bonding* pada sambungan komposit serat gelas. Hasil penelitian tersebut adalah epoksi dan polyester mempunyai ikatan yang baik, sedangkan *chloroprene* mempunyai ikatan yang kurang baik. Selain itu, terdapat pula penelitian yang dilakukan oleh[4] mengenai “Pemanfaatan *Lignin Kraft* Dari Lindi Hitam Sebagai Perekat Kayu Komposit” dan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi sambungan dari perekat berbasis *lignin* untuk

aplikasi papan sambung mencapai 35,4 - 73,6%. Penelitian dengan judul “Kekuatan tarik sambungan paku keling tunggal pada komposit *polypropylene* hibrida laminasi serat goni/gelas”[5] hasil yang didapat laminasi susun urut hibrida serat memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan tegangan tarik dan modulus elastisitas tarik, kekuatan sambungan paku keling sangat tergantung pada perbandingan lebar dan diameter. Penelitian mengenai “*Ultrasonic welding of all-polypropylene composites*”[6] dimana menggunakan spesimen APPC ultrasonik yang dilas dan dipotong dari laminasi menurut ASTM D-3846 untuk memeriksa kekuatan laminasi dan sendi. Mesin las ultrasonik digunakan dengan mode kontrol waktu (dengan waktu pengelasan 0,1–1,0 d) dan lembaran yang dilas memiliki kekuatan yang lebih besar daripada kekuatan geser interlaminar dari lembar APPC yang tidak diinginkan, karena efek gabungan panas yang dihasilkan oleh getaran ultrasonik dan tekanan pengelasan yang diterapkan akan meningkatkan koneksi tape-matrix. Ketika waktu pengelasan di bawah atau sama dengan 0,6 – 0,7 s, sonotrode dan landasan meninggalkan hampir tidak ada tanda pada permukaan lembaran yang dilas sehingga mengakibatkan sendi memiliki sifat mekanis yang baik dan estetik.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa masih banyak yang harus dikembangkan pada metode penyambungan untuk komposit agar efisiensi yang didapatkan maksimal. Penelitian mengenai penyambungan pada komposit berbahan serat goni dan penguat PP yang nantinya akan dilakukan penelitian penyambungan menggunakan kawat nikelin dengan metode fraktur interlaminar mode I sehingga kawat nikelin yang dipanaskan dapat menempel pada komposit.

Sehingga dapat diketahui Bagaimana pengaruh variasi diameter kawat niklin sebagai pengantar panas dalam pencairan matrix *polypropylene* pada sambungan komposit terhadap ketangguhan mode I dan Bagaimana pengaruh variasi jumlah lilitan kawat niklin pada sambungan komposit terhadap ketangguhan mode I.

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini, yaitu untuk Mengetahui pengaruh variasi diameter kawat niklin sebagai perekat sambungan komposit terhadap ketangguhan mode I dan pengaruh variasi jumlah lilitan niklin pada sambungan komposit terhadap ketangguhan mode I, untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari luasnya permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan pembatasan antara lain:

1. Komposit disusun dengan metode laminasi.
2. Jumlah lapisan menggunakan 3 layer

goni.

3. Komposit dibuat dengan penekanan panas pada temperature 190°C selama 60 menit.
4. Spesimen diuji ketangguhan dengan metode uji tarik dibuat dengan penyambungan kawat niklin.
5. Diameter kawat niklin menggunakan 0,3 mm dengan 23 lilitan dan 0,5 mm dengan 21 lilitan.

2. Bahan dan Metode

2.1. Klasifikasi Komposit

Pengaplikasian komposit sebagai pengganti komponen dan struktur kendaraan bermotor membutuhkan komposit yang bersifat ringan, tahan korosi, serta ramah lingkungan, Sifat spesifik yang lebih tinggi dari material komposit dibandingkan dengan logam dapat mengurangi berat, meningkatkan kapasitas muatan, meningkatkan jangkauan operasional, dan meningkatkan kinerja mekanik dari struktur [7]. Pada klasifikasi komposit ada beberapa tipe matriks yang dapat digunakan seperti *metal matriks composite* (mmc), *ceramic matriks composite* (cmc), *polymer matriks composite* (pmc). Sedangkan penguat memiliki dua kategori berupa serat alam dan serat sintesis, *polymer matrix composite* memiliki beberapa keunggulan baik dari sifat dan keunggulannya sehingga matrix ini paling banyak digunakan pada pengganti komponen pada kendaraan bermotor.

2.2. Bahan Komposit

Dari penelitian ini menggunakan bahan penguat yang menggunakan serat alam yaitu goni atau serat jute. Serat jute memiliki kemampuan konduktivitas termal yang baik dengan nilai *thermal conductivity* 59,73 mW/mK, menurut penelitian yang dilakukan oleh [8]. Sedangkan matriks yang digunakan *Polypropylene* (PP). PP sebagai polimer *thermoplastik* karena PP memiliki beberapa sifat yang berguna seperti suhu distorsi panas tinggi, transparansi, ketahanan api, stabilitas dimensi dan IS tinggi yang memperluas penerapannya. Bahan penghantar panas yang digunakan pada saat penyambungan menggunakan kawat niklin. Penelitian ini menggunakan bahan penguat berupa serat goni pada gambar (A), goni/jute yang digunakan sebanyak 40% dari bahan dan bahan pengikat berupa PP (*Polypropylene*) pada gambar (B), PP yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 60% dari bahan, pada

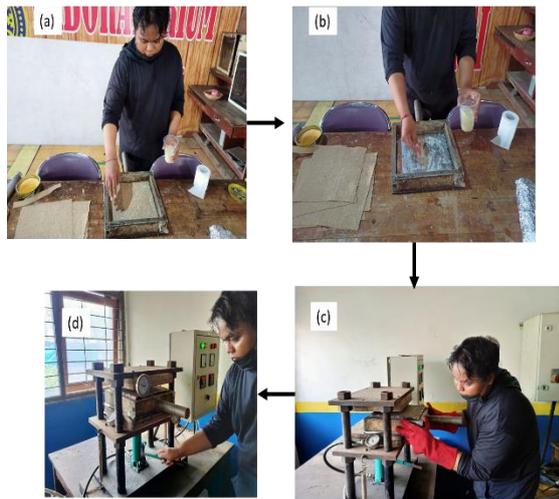
gambar (C) kawat nilein yang digunakan sebagai penyambung pada spesimen,



Gambar 1. (a) Serat Jute, (b) Polypropylene, (c) Kawat Nikelin

2.3. Pembuatan komposit

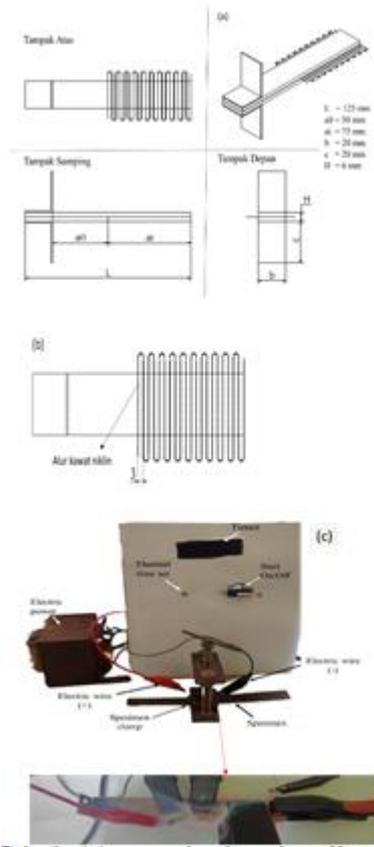
Komposit dibuat dengan menggunakan metode hotpress, panas yang digunakan selama pembuatan komposit sebesar 190°C . bahan yang digunakan dalam pembuatan komposit ditumpuk pada cetakan komposit berukuran $260\text{mm} \times 260\text{mm}$ gambar 2a. pada tahap ini bahan PP ditaburkan pada serat sebanyak 3 lapisan 2b. selanjutnya cetakan yang telah berisi jute dan pp diletakkan pada mesin hotpress 2c. Pada proses pencetakan penekanan yang diberikan sebesar 180 Kg/m^3 2d.



Gambar 2. (a-b) proses laminasi serat, (c) penempatan cetakan pada alat, (d) pemberian tekanan

2.3 Proses Penyambungan

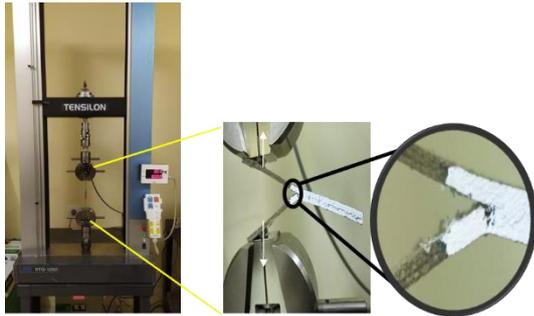
Komposit yang telah dicetak selanjutnya dipotong sesuai dengan ukuran ASTM D 5528 dengan ukuran seperti pada gambar 3a. Proses selanjutnya kawat niklin dibikin alur seperti pada gambar 3b, banyak lilitan pada kawat sebanyak 21lilitan dengan diameter kawat 03mm dan 21 lilitan dengan diameter kawat $0,5\text{mm}$. spesimen disambung menggunakan kawat niklin yang dipanaskan menggunakan alat ARC welding 3c. Arc Welding berfungsi sebagai pemanas untuk memanaskan kawat yang nantinya membuat komposit meleleh dan menyambung kedua specimen. Kawat nikelin dipanaskan selama 10 detik dan ditekan selama proses penyambungan. Pada alat ini menggunakan daya sebesar 60watt , Arus 10A , dan Tegangan 12 V .



Gambar 3. (a) desain spesimen, (b) alur kawat niklin (c) proses penyambungan

2.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan mengacu pada standar uji ASTM D 5528, agar mengetahui karakteristik mekanik bahan data dianalisis berdasarkan pada hasil uji tarik (*tension test*) menggunakan *Universal Tension Machine* (UTM). Metode pengujian pada sambungan kawat niklin dilakukan dengan kecepatan tarik (*head speed*) 3 mm/min dan beban penarikan (*load cell*) 5000 N. Data yang didapatkan setelah spesimen diuji tarik menghasilkan beban dan defleksi pada spesimen uji.



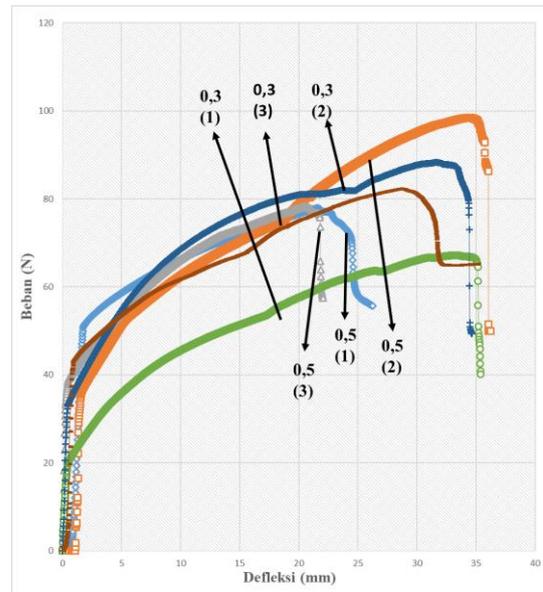
Gambar 4. Proses uji tarik spesimen

3. Hasil dan Pembahasan

Spesimen diuji dengan mesin tarik dilakukan dengan peningkatan beban secara bertahap sebesar 5 kN adanya peningkatan beban membuat spesimen merenggang, regangan ini mengakibatkan defleksi pada spesimen, semakin besar beban yang bertambah membuat defleksi pada spesimen semakin besar pula. Bertambahnya beban membuat komposit menegang pada bagian awal sambungan, apabila sambungan tidak lepas atau komposit patah lebih dahulu sebelum sambungan terbuka menandakan sambungan pada komposit lebih kuat dari pada kekuatan komposit tersebut. Sehingga didapatkan data hasil pengujian kekuatan sambungan menggunakan kawat niklin diameter 0,3 mm dengan 23 lilitan dan 0,5 mm dengan 21 lilitan ditunjukkan pada table 1.

Tabel 1. Hasil uji kekuatan sambungan

0,3mm (23 Lilitan)	Percobaan	Beban Max (N)	Defleksi Max (mm)
	1	67.19226844	33.2422
2	88.29990654	31.6065	
3	82.29464694	28.5962	
Σ	79.26227398	31.1483	
0,5mm (21 Lilitan)	1	77.79746748	21.3961
	2	98.46271315	34.2796
3	78.25893368	20.5382	
Σ	84.83970477	15.24278	



Gambar 5. Grafik hasil penelitian menggunakan uji tarik dengan perbandingan beban aksimal dan defleksi Pada kawat 0.3mm dan Pada kawat 0.5mm

Pada gambar 5 dapat dilihat kenaikan beban yang bermula dari nilai 0 naik secara bertahap, kenaikan dari beban diikuti pula dengan bertambahnya panjang nilai defleksi, kenaikan nilai beban terhenti pada saat titik tertinggi nilai dari komposit untuk menahan beban dimana pada saat akan melakukan pembukaan *crack* pada sambungan komposit mengalami patah, kejadian ini terjadi pada semua spesimen baik yang disambung dengan kawat berdiameter 0,3mm dengan 23 lilitan maupun 0,5mm dengan 21 lilitan. Patahnya komposit terjadi pada area panjang delaminasi awal (a0), pada gambar juga dapat terlihat dimana pada sambungan 0,3mm yang tertinggi dalam menahan beban terdapat pada spesimen ke-2 dengan beban sebesar 88,3N dan pada sambungan 0,5mm yang tertinggi pada spesimen ke-2 dengan beban sebesar 98,5N.

Berdasarkan hasil penelitian diatas dapat terlihat sambungan kawat niklin dengan diameter 0,5 mm lebih mampu dalam menahan beban daripada sambungan kawat niklin 0,3 mm. Hal ini dikarenakan jumlah lilitan kawat niklin pada sambungan kawat niklin 0,5 mm lebih sedikit, sehingga membuat panas yang disalurkan ke komposit terdistribusi merata. Panas yang dialirkan dari kawat niklin 0,5mm ke spesimen dengan jumlah 21 lilitan sebesar 2100 J, perbedaan ini sangat besar apabila dibandingkan dengan panas yang dialirkan kawat niklin 0,3mm dengan jumlah 23 lilitan memperoleh nilai panas sebesar 8900 J. Akibat dari panas yang sedikit pada sambungan dengan 21 lilitan membuat sambungan menjadi lebih kuat untuk menahan beban, hal ini dikarenakan panas kawat niklin hanya mengenai lapisan permukaannya saja sehingga hanya membuat pp yang meleleh tidak sampai merusak s

Pada saat penyambungan, terjadi peristiwa homogen yaitu bergabungnya dua material yang sejenis menjadi satu yaitu *polypropylene* atas dan bawah. *polypropylene* atas dan *polypropylene* bawah yang meleleh akibat panas dari kawat niklin akan masuk melalui celah serat jute, kemudian *polypropylene* tersebut akan menyatu satu sama lain. Hal ini lah yang membuat komposit dengan sambungan kawat niklin 0,5mm menjadi tangguh.

Pada saat dilakukan pengujian ketahanan retakan dengan metode mode I, spesimen diberi beban secara bertahap mengakibatkan spesimen mengalami delaminasi pada daerah delaminasi awal (a0). Berlanjut pada nilai delaminasi yang didapat sehingga nilai G_I dapat dicari berdasarkan pada persamaan DCB (*Double Cantiliver Beam*)

$$G_I = \left(\frac{3 P \delta}{2 b a} \right)$$

$$P = 98.46271 \text{ N}$$

$$\delta = 34,3 \text{ mm} = 0,343 \text{ m}$$

$$b = 20 \text{ mm} = 0,02 \text{ m}$$

$$a_0 = 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}$$

$$G_I = \left(\frac{3 \times 98.46271 \text{ N} \times 0,343 \text{ m}}{2 \times 0,02 \text{ m} \times 0,03 \text{ m}} \right)$$

$$G_I = \left(\frac{10,132 \text{ Nm}}{0,0012 \text{ m}^2} \right)$$

$$G_I = 4602,6 \text{ Nm/m}^2 \longrightarrow = 8438,2 \text{ J/m}^2$$

Dari perhitungan mencari laju energi (G_I) mendapatkan hasil pada table 2

Tabel 4.2 Perolehan nilai G_{Ic} pada sambungan 0,3mm dan sambungan 0,5mm

Sambungan Dengan Kawat Niklin 0,5mm				
a(mm)	δ (mm)	P (N)	b (mm)	G_{Ic} (J/m ²)
30	21.3961	77.79747	20	4161
30	34.2796	98.46271	20	8438
30	20.5382	78.25893	20	4018
Sambungan Dengan Kawat Niklin 0,3mm				
a(mm)	δ (mm)	P (N)	b (mm)	G_{Ic} (J/m ²)
30	33.2422	67.19227	20	5584
30	31.6065	88.29991	20	6977
30	28.5962	82.29465	20	5883

Pada tabel 4.2 didapatkan nilai pelepasan energi (G_I) pada panjang delaminasi awal (a_0) dapat dilihat kenaikan nilai G_I pada sambungan 0,5mm pada spesimen kedua memiliki nilai yang paling tinggi dari semua percobaan dengan nilai sebesar 8438,2 J/m² sedangkan pada sambungan 0,3mm nilai yang tertinggi terjadi pada spesimen kedua dengan nilai 6977,1 J/m². Perbedaan besar nilai G_I sambungan 0,5 mm dan 0,3 mm yang pada mulanya, sambungan 0,5 mm memiliki kemampuan menahan beban yang tinggi sehingga

menyebabkan penyerapan energi yang besar untuk dapat membuat spesimen terbuka dan patah, sehingga dapat dikatakan bahwa spesimen menggunakan kawat niklin 0,5 mm dengan jumlah 21 lilitan memiliki nilai ketangguhan yang besar. Tingginya nilai G_I 0,5 mm disebabkan karena menyatunya material *polypropylene* pada saat proses penyambungan panas yang dialirkan lebih merata sehingga membuat sambungan semakin solid dan tangguh saat diberi perlakuan. Ketangguhan sendiri adalah kemampuan bahan untuk menyerap energi tanpa menyebabkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja pada suatu kondisi tertentu. G_I 0,3 mm lebih kecil disebabkan karena panas dalam jumlah yang dialirkan oleh kawat niklin akan mengubah tingkat kelenturan dari PP sehingga spesimen menjadi lebih lentur dari pada spesimen yang dihasilkan dari sambungan kawat niklin 0,5 mm yang mengalirkan jumlah panas nya lebih rendah, sehingga membuat komposit tidak mampu untuk dapat menahan beban yang besar. Akibat dari memiliki nilai ketahanan beban yang sedikit lebih kecil dari sambungan 0,5 mm kemampuan untuk menyerap energi pada sambungan lebih kecil, sehingga dapat dikatakan bahwa sambungan 0,3 mm dengan jumlah 23 lilitan memiliki nilai ketangguhan yang kecil.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan menghasilkan ketangguhan spesimen dengan nilai rata-rata dalam menahan beban antara komposit yang disambung dengan kawat 0,3mm dan 0,5mm memiliki selisih sebesar 5, % dengan selisih nilai rata-rata defleksi sebesar 15% sehingga dari perbedaan nilai beban dan perbedaan nilai defleksi menghasilkan nilai G_I antara spesimen 0,3 mm dengan 23 lilitan dan 0,5 mm dengan 21 lilitan memiliki selisih sebesar 15%, maka dapat disimpulkan bahwa diameter dan jarak antara kawat niklin yang digunakan sebagai penghantar panas saat proses penyambungan komposit, sangat mempengaruhi ketangguhan komposit jute-*polypropylene*. Baik pada komposit yang disambungkan dengan kawat niklin berdiameter kecil maupun besar dan jumlah lilitan kawat niklin yang lebih banyak dan lebih sedikit mempengaruhi luas area yang dipanaskan, sehingga sambungan menjadi lebih kuat dari pada komposit itu sendiri.

5. Daftar Pustaka

- [1] O. . Pribadi, *Proses Pembuatan Bodi Pada Mobil Listrik Menggunakan Bahan Komposit*, vol. 53, no. 9. 2019.
- [2] M. Gopar, "Tinjauan Penelitian Terkini tentang Pemanfaatan Komposit Serat Alam untuk Komponen Otomotif

- Review on Current Research on Utilization of Natural Fiber Composites for Automotive Components,” vol. 7, no. 2, pp. 92–97, 2009.
- [3] Sugiyanto, K. Diharjo, and W. WR, “Pengaruh Variasi Adhesive terhadap Kekuatan Sambungan Komposit Serat Gelas,” *Semin. Nas. Tek. Mesin* 7, pp. 1–3, 2012.
- [4] S. Adi, “Pemanfaatan Lignin Kraft Dari Lindi Hitam Sebagai Perekat Kayu Komposit,” pp. 0–4, 2003.
- [5] I. D. . Ary Subagia, A. H. Yuwono, and I. G. A. K. . Adhi, “Kekuatan Tarik Sambungan Paku keling tunggal pada Komposit Polypropylene Hibrida Laminasi Serat Goni/Gelas,” *Din. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, p. 110, 2019, doi: 10.29303/dtm.v9i2.284.
- [6] Z. Kiss, T. Temesi, E. Bitay, T. Bárány, and T. Czigány, “Ultrasonic welding of all-polypropylene composites,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 137, no. 24, pp. 1–7, 2020, doi: 10.1002/app.48799.
- [7] A. Yousefpour, M. Hojjati, and J. Immarigeon, “Composite Materials Fusion Bonding / Welding of,” 2004, doi: 10.1177/0892705704045187.
- [8] S. K. Bandyopadhyay, P. K. Ghose, S. K. Bose, and U. Mukhopadhyay, “The thermal resistance of jute and jute-blend fabrics,” *J. Text. Inst.*, vol. 78, no. 4, pp. 255–260, 2008, doi: 10.1080/00405008708658249.