

Studi Eksperimental Karakteristik *Capillary Rise* Material Karbon Aktif *Bamboo Betung (Dendrocalamus Asper)* Sebagai Material Pad Sistem *Direct Evaporative Cooling*

Rony Standi Lumban Gaol, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kenaikan temperatur global termasuk Indonesia yang terjadi pada akhir abad 21, mengakibatkan peningkatan kebutuhan energi listrik untuk pemakaian sistem pendingin Air Conditioner (AC) yang berbasis kompresor. Refrigeran dalam skala besar dilepas di udara akan menyebabkan pencemaran berupa pemanasan global, serta dapat membahayakan kelestarian pada lingkungan sekitar. Oleh karena itu, diperlukannya sistem pendinginan yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. *Evaporative Air Cooler* dengan menggunakan sistem *direct evaporative cooling* dapat menjadi salah satu pilihan, yang dimana efek pendinginan yang didapat merupakan hasil dari material pad basah yang menguap. Bahan dasar material pad yang digunakan merupakan bambu betung lokal yang berasal dari Bali. Penelitian ini bertujuan mengetahui besarnya nilai *capillary rise* pada setiap spesimen uji yang berbeda. Dengan menggunakan temperatur karbonisasi 500°C, kemudian diaktivasi dengan temperatur 600°C serta variasi *holding time* yaitu 0 (tanpa *holding time*), 30 menit, 60 menit. Hasil dari seluruh pengujian ini menunjukkan bahwa spesimen karbonisasi 500°C dengan aktivasi 600°C variasi 30 menit *holding time* atau ACRB 500 HT 30 memiliki nilai *capillary rise* tertinggi yakni $42,79 \times 10^{-2}$ m dan menjadikan spesimen ini lebih berpotensi dipakai sebagai bahan material pad pada sistem *direct evaporative cooling*.

Kata kunci: *Direct evaporative cooling*, bambu betung, karbonisasi, aktivasi, *capillary rise*.

Abstract

The increase in global temperature, including Indonesia, which occurred at the end of the 21st century, resulted in an increase in the need for electrical energy for the use of Air Conditioner compressor-based (AC) systems. In addition to the high demand for electrical energy, the use of refrigerant in the air conditioning system can endanger environmental sustainability, where large amounts of refrigerant released into the surrounding air can cause unfavorable environmental pollution in the form of global warming. Therefore, a cooling system that is more energy efficient and environmentally friendly is needed. *Evaporative Air Cooler* using a *direct evaporative cooling* system can be an option, where the cooling effect obtained is the result of evaporation that occurs in the pad material that has been wetted by water. The basic material for the pad material used is local bamboo betung from Bali. This study aims to determine the value of *capillary rise* in each different test specimen. By using a carbonization temperature of 500°C, then activated with a temperature of 600°C and *holding time* variations, namely 0 (without *holding time*), 30 minutes, 60 minutes. The results of all these tests indicate that the carbonization specimen at 500°C with an activation of 600°C with a variation of 30 minutes *holding time* or ACRB 500 HT 30 has the highest *capillary rise* value of 42.79×10^{-2} m and makes this specimen more potential to be used as raw material. pad material in *direct evaporative cooling* system.

Keywords: *Direct evaporative cooling*, bamboo betung, carbonization, activation, *capillary rise*.

1. Pendahuluan

Pemanasan global (global warming) adalah fenomena kenaikan temperatur global dikarenakan terjadinya efek rumah kaca (greenhouse effect) yang disebabkan oleh kenaikan jumlah emisi gas-gas seperti karbondioksida sehingga energy matahari terperangkap dalam atmosfer bumi dari tahun ke tahun.

Sistem pendingin *Air Conditioning* (AC) mampu mengkondisikan suhu dalam ruangan lebih maksimal dan juga menjaga kualitas udara dengan stabil karena juga menggunakan filtrasi. Energi listrik dengan jumlah besar diperlukan untuk pengoperasiannya, dan kurang lebih 60% energi listrik pada gedung-gedung tinggi digunakan untuk pengoperasian sistem AC tersebut [1]. Refrigeran yang digunakan pada sistem ini akan mengancam kelestarian lingkungan, dimana dalam skala besar refrigeran yang dilepas ke udara sekitar, dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan yang berupa pemanasan global.

Sistem pendingin *evaporative* menjadi salah satu pilihan baik untuk menggantikan penggunaan sistem AC karena efek buruknya dalam kebutuhan energi listrik yang besar serta efek negatif untuk lingkungan sekitar. *Evaporative cooling* adalah sistem pengaturan udara untuk mendinginkan dan menambahkan kandungan kadar air atau kelembaban pada udara lingkungan dengan menggunakan media air [2]. Temperatur udara panas menjadi lebih dingin dibanding sebelum terjadi proses penguapan, sistem pendingin ini hanya membutuhkan air dan udara sebagai media utama sistem pendinginannya, dan hanya sedikit menggunakan energi listrik untuk mechanical fan dan pompa air.

Proses *direct evaporative cooling* adalah proses pendinginan dimana udara sekitar di tarik oleh fan yang akan masuk melewati media pad yang basah. Didalam media pad basah terjadi semburan air melalui sprayer yang menyebabkan terjadi kontak langsung.

antar air dikabutkan dan udara, maka terjadi penguapan dan pendinginan [3].

Komponen yang utama dari sistem direct evaporative cooling adalah mechanical fan, cooling pad dan pompa air, dimana komponen yang terpenting dalam sistem direct evaporative cooling adalah cooling pad [4]. Dalam sistem tersebut membutuhkan material pad berpori lebih diutamakan karena mempunyai daya resap dan daya penyimpanan air yang tinggi agar memastikan terjadinya proses penguapan di muka material pad. Dikarenakan kedua daya tersebut semakin tinggi dari material cooling pad, maka zona cooling pad akan semakin besar, dan akan mempengaruhi banyaknya panas sensibel udara masuk yang dibutuhkan untuk menguapkan air, dan suhu udara hasil menjadi semakin rendah (lebih dingin) [5].

Untuk memenuhi kebutuhan air pada material pad dengan meningkatkan daya kapiler (capillary force) material tersebut, maka diperlukan karakteristik capillary pumping amount yang tinggi, sehingga daya kapiler material juga meningkat dan keperluan air untuk proses penguapan dapat maksimal. Cara meningkatkan capillary pumping amount pada material pad sistem ini dapat melakukan karbonisasi untuk meningkatkan struktur pori material. Material arang atau charcoal dengan perubahan ukuran pori, luas permukaan pori dan lainnya akan berubah dikarenakan proses tersebut [6]. Proses ini juga akan membentuk material yang struktur porinya kecil tetapi tetap terhitung lebih besar dari ukuran pori nano.

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan sesuai judul penelitian tersebut diatas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana karakteristik capillary rise material karbon bamboo betung sebagai material pad sistem direct evaporative cooling.

Beberapa batasan ditetapkan kedalam penelitian ini meliputi: Material uji digunakan merupakan bambu betung lokal bali; Temperatur saat proses karbonisasi 500°C dan temperatur aktivasi 600°C dengan variasi *holding time* 0, 30, 60 menit.

2. Dasar Teori

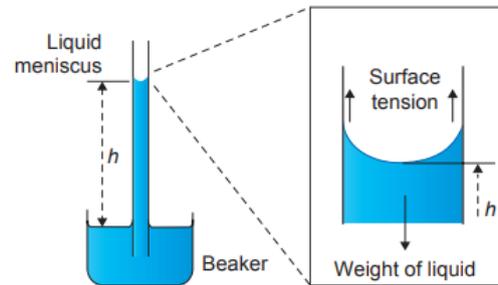
2.1. Spesimen Uji Karbon Aktif

Spesimen Uji Karbon Aktif melalui proses karbonisasi dan proses aktivasi. Sebelum dari proses karbonisasi terdapat proses pengurangan kadar air pada bambu dengan cara spesimen masuk ke dalam oven atau dapur listrik dengan suhu 105°C selama 6 jam selanjutnya tahap proses karbonisasi. Proses karbonisasi dilakukan untuk menambah kandungan karbon serta membentuk porositas awal pada material, Agar menaikkan daya resap arang, maka produk tersebut diproses menjadi karbon aktif dengan proses aktivasi. Proses tersebut dilakukan untuk membantu meningkatkan struktur porinya.

2.2. Capillary Rise

Capillary Rise dapat didefinisikan sebagai tingkat kenaikan (ketinggian) suatu cairan pada

media berpori akibat adanya gaya keatas (gaya kapiler) yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara molekul-molekul cairan terhadap permukaan padat material, dalam hal ini gaya adhesi antara cairan dan permukaan padat lebih besar dari gaya kohesi antara molekul-molekul cairan [7].



Jamبار 1. Skematik capillary rise pada sistem kapiler vertikal tunggal

Capillary pressure merupakan perbedaan antara tekanan pada fase tidak terbasahi dan tekanan pada fase terbasahi yang dapat dituliskan sebagai persamaan berikut:

$$P_c = \frac{2\sigma \cos \gamma}{R} \quad (1)$$

Bila jari-jari pori (capillary), R semakin kecil, maka perbedaan tekanan tersebut akan meningkat, sehingga dapat dikatakan bahwa daya kapiler (capillary force) akan meningkat dengan semakin kecilnya jari-jari pori material (material capillary). Dalam hal sudut kontak $\gamma < 90^\circ$, dimana $\cos \gamma$ adalah positif maka dinyatakan cairan menyebar (memasuki) pori-pori material dan sebaliknya jika sudut kontak $\gamma > 90^\circ$, maka $\cos \gamma$ adalah negatif dan hal ini akan menyebabkan terjadinya capillary depression dimana meniscus akan lebih rendah dari level cairan luar. Jika $\gamma = 90^\circ$, kemudian $\cos \gamma = 0$, hal ini berarti tidak akan terjadi capillary flow maupun capillary depression. Untuk sistem kapilaritas vertikal, peningkatan ketinggian (capillary rise) dibatasi oleh tekanan hidrostatik, yang dapat dirumuskan sebagai persamaan berikut [8]:

$$P_h = \rho g h \quad (2)$$

dimana ρ adalah kerapatan massa cairan, h adalah kenaikan ketinggian (*capillary rise*) dan g adalah percepatan gravitasi. Jika proses berada dalam keadaan kesetimbangan (equilibrium), maka capillary pressure akan setimbang dengan tekanan hidrostatik.

Berdasarkan hal tersebut, akan dihasilkan kesetimbangan ketinggian yang disebut juga sebagai Jurin's height (Barnes and Gentle, 2005), maka besarnya capillary rise dapat dirumuskan sebagai persamaan berikut:

$$h = \frac{2\sigma \cos \gamma}{\rho g R} \quad (3)$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa ketinggian yang dapat dicapai oleh cairan dalam

media berpori, tergantung pada tegangan permukaan yang terjadi pada permukaan material dan ukuran jari pori material.

3. Metode Penelitian

3.1 Pembuatan Spesimen Uji Karbon Aktif

Pembuatan spesimen uji karbon aktif menggunakan peralatan berupa reaktor karbonisasi untuk digunakan pada saat proses karbonisasi dan proses aktivasi.



Gambar 2. Peralatan proses karbonisasi

Proses karbonisasi 500°C : (a) 4 spesimen uji diletakkan pada reaktor untuk dikarbonisasi 500°C; (b) reaktor karbonisasi akan dialirkan nitrogen agar menjadikan kondisi tanpa oksigen (inert atmosfer), selanjutnya kontrol suhu karbonisasi diatur kenaikannya dengan laju pemanasan 8.5°C/menit dan diatur hingga mencapai 500°C; (c) setelah mencapai temperatur 500°C furnace dimatikan dan material didinginkan dalam temperatur furnace selama 6 jam, kemudian diambil salah satunya sebagai material karbon yang dinamakan CRB 500. Selanjutnya untuk sisa 3 material CRB 500 masing-masing diaktivasi pada temperature aktivasi 600°C tanpa holding time, holding time 30 menit dan holding time 60 menit secara berurutan.

3.2 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian SEM (Scanning Electron Microscope) dimaksudkan untuk mendapatkan karakteristik struktur pori material karbon CRB 500, material karbon aktif ACRB 500 HT0, ACRB 500 HT30, dan ACRB 500 HT60 yang meliputi ukuran pori, distribusi pori dan porositas sampel. Untuk penelitian ini, data yang diambil pada pengujian SEM berupa besarnya ukuran jari-jari pori material spesimen uji yang bertujuan untuk mendapatkan besarnya nilai *capillary rise* sesuai rumus yang sudah ditentukan.

4. Hasil dan Pembahasan

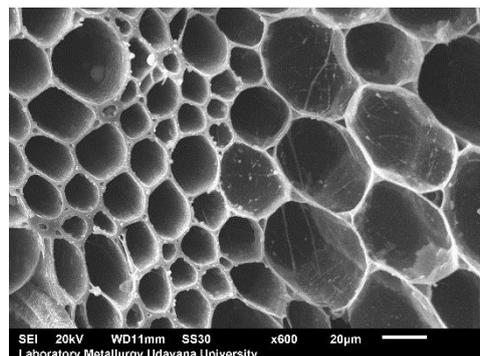
4.1 Karakteristik Struktur Pori

Gambar 3. merupakan gambar hasil bambu betung setelah melalui proses karbonisasi dengan temperatur 500°C dan diaktivasi suhu temperatur

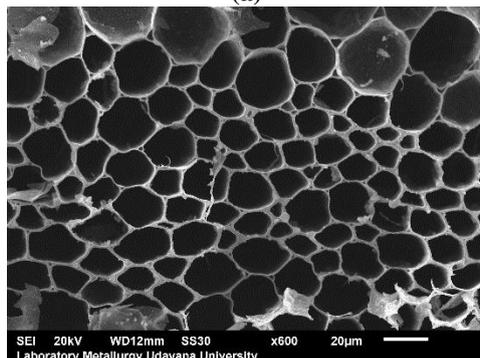
600°C dengan variasi *holding time* yang berbeda. *Scanning electron microscope* (SEM) menentukan dan mengambil gambar struktur pori pada masing-masing spesimen dengan resolusi 20 µm, gambar struktur pori tersebut akan dianalisis menggunakan aplikasi Image J.



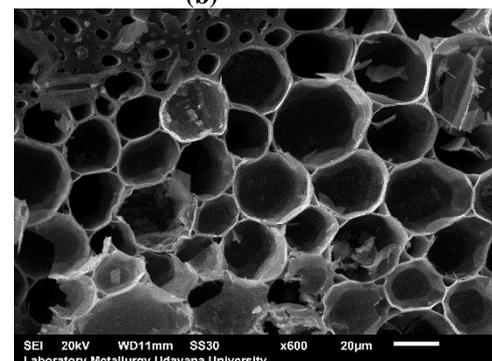
Gambar 3. Spesimen uji karbon aktif setelah proses karbonisasi dan aktivasi



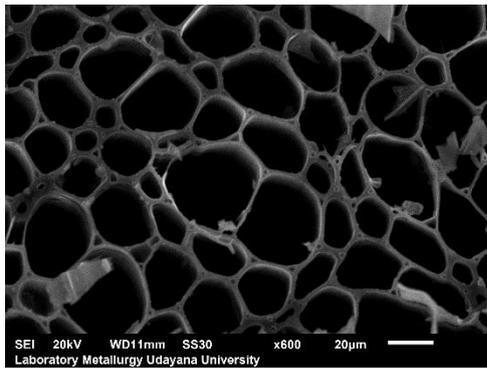
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4. Struktur Pori Pada Spesimen (a)CRB 500, (b)ACRB 500 HT0, (c)ACRB 500 HT30, (d)ACRB 500 HT60

Pada Tabel 1. merupakan hasil analisa uji *scanning electron microscope* (SEM), data analisa didapat dengan menggunakan bantuan aplikasi image J dan diproses kedalam microsoft excel.

Tabel 1. Hasil Uji Struktur Pori

Nama Spesimen	Jari-Jari Pori(µm)
CRB 500	41.37
ACRB 500 HT 0	41.67
ACRB 500 HT 30	34.78
ACRB 500 HT 60	40.97

4.1 Karakteristik Capillary Rise

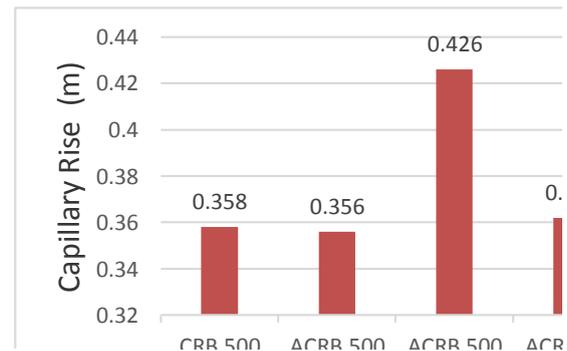
Metode pengujian dilakukan sesuai dengan konsep capillary rise, dimana dengan mengetahui tegangan permukaan cairan atau fluida (Aquades), mengetahui jari-jari pori pada spesimen, dapat ditentukan besarnya nilai capillary rise pada setiap spesimen uji.

Tabel 2. menunjukkan hasil pengolahan data capillary rise pada setiap spesimen uji. Ditampilkan data jari-jari pori (m) dan capillary rise pada setiap spesimen uji. Dimana tegangan permukaan cairan aquades adalah $72,7 \times 10^{-6}$ N/m, sudut kontak ($\approx 0^\circ$) diasumsikan yang berarti ($\cos 0 = 1$), massa jenis air adalah 1000 kg/m^3 , gaya gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$).

Dapat dilihat Gambar 5. bahwa nilai capillary rise tertinggi diperoleh pada spesimen ACRB 500 HT 30, dikarenakan memiliki nilai jari-jari pori paling terkecil. Ukuran Jari-jari pori ini merupakan hasil dari proses karbonisasi dan juga aktivasi yang dimana pada proses tersebut salah satunya dapat memperkecil ukuran pori, tetapi berbeda pada spesimen ACRB 500 HT 60 yang memiliki jari-jari pori lebih besar yang mungkin dikarenakan adanya dinding pori pecah dan menyatu akibat pemanasan yang diberikan lebih lama. Besarnya nilai capillary rise merupakan ukuran tinggi maksimal pada desain pad. Desain pad tidak boleh melebihi besarnya nilai capillary rise dikarenakan air tidak akan terangkat ke permukaan apabila ukuran tinggi pada nya lebih besar daripada nilai capillary rise.

Tabel 2. Hasil Pengolahan Data Capillary Rise

Nama Spesimen	Jari-jari Pori (µm)	Capillary Rise (m)
CRB 500	41.37	0,358
ACRB 500 HT 0	41.67	0,356
ACRB 500 HT 30	34.78	0,426
ACRB 500 HT 60	40.97	0,362



Gambar 5. Grafik perbandingan nilai capillary rise CRB 500, ACRB 500 HT0, ACRB 500 HT30, ACRB 500 HT60

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, pengaruh variasi waktu holding time pada proses aktivasi material karbon aktif bamboo betung, dapat disimpulkan bahwa material karbon aktif bamboo betung ACRB 500 HT30 memiliki nilai capillary rise tertinggi yakni sebesar 0,426 m, sedangkan nilai capillary rise terendah pada ACRB 500 HT0 yakni sebesar 0,356 m. Semakin rendah nilai jari-jari pori material akan menghasilkan nilai capillary rise yang lebih tinggi sehingga material tersebut akan lebih berpotensi digunakan sebagai material pad sistem direct evaporative cooling.

Daftar Pustaka

- [1] Talarosa, Basaria, 2005, *Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan*, Jurnal Sistem Teknik Industri, Vol. 6 No.3.
- [2] Rizky P.R., Bambang Y., 2014, *Pengaruh Jenis Sprayer Terhadap Efektivitas Direct Evaporative Cooling Dengan Cooling Pad Serabut Kelapa*, Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Vol. 2, No. 2, pp.78-82.
- [3] Karpiscak, Martin., Marion, Mary H., 1994, *Evaporative Cooler Water Use*, Arizona: College of Agriculture and Life Sciences, University of Arizona (Tucson, AZ).

- [4] Lateef L., Akintunji., Ibrahim U., Haruna et al.,2014, *Theoretical performance analysis of coconut coir as media in evaporative coole.*, International Jurnal of Scientific & Technology Research.
- [5] Niyomvas, Banyat., Potakarat, Bunjerd, 2013, *Performance study of cooling pads*, *Advanced Materials Research*. 664:931–935.
- [6] Byon, C., Sung J.K., Daejeon, 2012, *Capillary performance of bi-porous sintered metal wicks*, pp. 305-701.
- [7] Midiani L.P., Suprpta I.N.S., Septiadi,W.N., Sucipta M., 2019, *Characterization of capillary pumping amount in novel sintered zeolites and hybrid zeolite-Cu for heat pipe applications*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 145

	<p>Rony Standi Lumban Gaol Telah mengampukan sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari 2014 selesai 2021.</p>
<p>Pada penelitian ini terpakai materi-materi berhubungan dengan mekanika fluida, sistem pendinginan evaporative</p>	