

Studi Eksperimental Laju Perpindahan Panas Pada Aktivasi Karbon Bambu Betung Dengan Temperatur Aktivasi 600° C

Juan Axel Maruli Sembiring, Hendra Wijaksana, I Gede Teddy Prananda Surya
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pesatnya pertumbuhan penduduk hampir di seluruh negara menyebabkan meningkatnya jumlah permintaan akan sistem pendingin udara untuk mendapatkan tingkat kenyamanan yang tinggi. Penggunaan sistem pendingin udara berbasis kompresor atau biasa dikenal dengan AC memerlukan jumlah energi listrik yang besar dan dapat menyebabkan pemanasan global. Oleh sebab itu dibutuhkan sistem pendingin alternatif, salah satunya adalah sistem direct evaporative cooling. Dalam sistem ini efek pendinginan dihasilkan dari proses penguapan yang terjadi pada material pad yang dibasahi oleh fluida air. Sistem pendingin evaporative menggunakan material pad pada pengaplikasiannya. Penelitian ini ditujukan untuk mencari pengaruh variasi temperatur karbonisasi terhadap karakteristik laju perpindahan panas pada arang aktif bambu betung yang temperatur karbonisasinya di variasikan 400°C (AKBB 400), 500°C (AKBB 500), 600°C (AKBB 600), 700°C (AKBB 700), dan 800°C (AKBB 800). Penelitian ini meliputi beberapa pengujian seperti uji SEM dan uji sudut kontak. Hasil akhir dari penelitian ini menunjukkan bahwa specimen AKBB 500 memiliki potensi yang besar untuk dijadikan material pad pada system direct evaporative cooling. Dengan karakteristik laju perpindahan panas tertinggi $3,06 \times 10^{-4}$ watt.

Kata kunci: Direct Evaporative Cooling, bambu betung, karbonisasi, Aktivasi, porositas, permeabilitas, laju perpindahan massa fluida dan perpindahan panas

Abstract

The rapid population growth in almost all countries causes an increasing number of requests for air conditioning systems to get a high level of comfort. The use of a compressor-based air conditioning system or commonly known as AC requires a large amount of electrical energy and can cause global warming. Therefore, an alternative cooling system is needed, one of which is a direct evaporative cooling system. In this system the cooling effect results from the evaporation process that occurs in the pad material that is wetted by water fluid. The evaporative cooling system uses pad material in its application. This study was aimed at finding the effect of variations in carbonization temperature on the characteristics of the heat transfer rate in activated charcoal of bamboo betung whose carbonization temperatures were varied at 400°C (AKBB 400), 500°C (AKBB 500), 600°C (AKBB 600), 700°C (AKBB 700) and 800°C (AKBB 800). This research includes several tests such as SEM test and contact angle test. The final result of this study shows that the AKBB 500 specimen has great potential to be used as a pad material in a direct evaporative cooling system. With the characteristics of the highest heat transfer rate of 3.06×10^{-4} watt.

Keywords: Direct Evaporative Cooling, betung bamboo, carbonized, activated, porosity, permeability, fluid mass transfer rate and Heat transfer rate.

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk yang pesat di seluruh negara menyebabkan meningkatnya permintaan akan pendingin udara berbasis kompresor (AC). Hal ini juga menyebabkan permintaan akan energi listrik yang cukup tinggi. Sistem pendingin berbasis kompresor ini membutuhkan energi listrik yang cukup tinggi, $\pm 60\%$ energi listrik di gedung-gedung besar diperuntukkan untuk pengoperasian system AC dan juga system memberikan lingkungan dampak yang tidak baik. Dalam mengantisipasi penggunaan pendingin udara berbasis kompresor, maka diperlukan system pendingin yang ramah lingkungan dan hemat energi yaitu *evaporative air cooler*. Sistem pendingin ini menggunakan *material pad* untuk menurunkan suhu udara, *material pad* yang digunakan dalam system ini harus berpori (*porous pad material*), memiliki daya serap dan daya tampung air yang tinggi, dalam penelitian ini *material pad* yang akan diteliti adalah karbon aktif

bambu betung. Maka dilakukan pengujian laju perpindahan panas pada material pad system direct evaporative cooling untuk menentukan material pad yang memiliki daya serap panas tertinggi.

Dalam hal ini permasalahan yang akan dikaji, yaitu bagaimana laju perpindahan panas pada aktivasi karbon bambu betung dengan temperatur aktivasi 600°C

Adapun batasan masalah dari penelitian ini agar memperoleh hasil yang maksimal dan terarah antara lain:

1. Material yang digunakan adalah bambu betung lokal bali
2. Temperatur aktivasi ditetapkan 600°C (tanpa holding time)
3. Proses karbonisasi dilakukan pada temperatur lingkungan (outdoor)
4. Pengujian yang dilakukan hanya meliputi proses karbonisasi, pengujian uji SEM, pengujian sudut kontak.

2. Dasar Teori

2.1. Pembuatan Karbon Aktif Bambu Betung

Pembuatan karbon aktif bambu betung memiliki beberapa tahap yaitu proses karbonisasi lalu setelah itu akan dilakukan proses aktivasi. Sebelum menjalani proses karbonisasi, spesimen akan didehidrasi guna menghilangkan air, spesimen akan dipanaskan di dalam oven dengan suhu 105°C. Proses karbonisasi adalah proses pirolisis material organik dengan kondisi inert atmosphere (bebas oksigen) untuk mendapatkan residu solid dimana memiliki kandungan elemen 8 karbon yang tinggi. Sedangkan proses aktivasi dilakukan dengan harapan dapat mengembangkan dan memperbesar volume dari pori yang telah terbentuk ketika proses karbonisasi

2.2. Laju Perpindahan Panas

Energi panas ditransfer dari udara ke air melalui permukaan material pad. Udara akan kehilangan energi panas udara diakibatkan adanya tranfer energi panas udara ke air dan energi panas udara untuk proses penguapan air dalam material pad yang diberikan persamaan: (R.Ramkumar, A. Ragupathy, 2015) [1]

$$Q_t = Q_a + Q_w \quad (1)$$

Jika perpindahan panas udara total dapat dianggap sama dengan laju aliran kalor maksimum yang terdapat pada material pad berdasarkan prinsip kerja sumbu kapiler pipa kalor, maka dapat dituiskan persamaan

$$Q = \dot{m} \times L \quad (2)$$

\dot{m} : laju perpindahan massa fluida (kg/s)

L : kalor latent penguapan (kJ/kg)

2.3. Laju Perpindahan Massa Fluida

Laju alir massa maksimum dipengaruhi oleh jari-jari efektif pori (r_{eff}), tegangan permukaan sumbu kapiler (σ), viskositas fluida kerja pipa kalor (μ) dan permeabilitas sumbu kapiler (K), sehingga laju alir massa maksimum dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\dot{m} = \frac{\rho_1 \cdot K \cdot A_w}{\mu \cdot l_{eff}} \left\{ \frac{2\sigma}{r_{eff}} \cos\theta - \rho_1 \cdot g \cdot l_{eff} \cdot \sin\theta \right\} \quad (3)$$

2.4 Kinerja Kapiler Material Pad

2.4.1. Permeabilitas

Permeabilitas mencerminkan efektivitas interaksi antara cairan dan porous material, dan bukan merupakan properti dari cairan ataupun porous material (Berti et.al.,2011) [2]. Besarnya permeabilitas yang terjadi pada porous material dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$K = \frac{dp^2 \cdot \delta^3}{122 (1-\delta)^2} \quad (4)$$

2.4.2. Sudut Kontak

Sudut kontak merupakan sudut yang terbentuk antara permukaan datar material berpori dengan droplet cairan (air) yang diteteskan. Semakin kecil sudut kontak yang terbentuk antara

material dengan fluida, maka kemampuan basah (wettability) material akan semakin besar sehingga kapilaritas material juga akan semakin besar

3. Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Reaktor Pyrolisis sebagai tempat terjadinya proses karbonisasi dan aktivasi
2. Oven untuk menghilangkan kadar air spesimen
3. Pisau untuk memotong spesimen
4. Nitrogen sebagai gas untuk menghilangkan oksigen pada saat karbonisasi
5. *ImageJ* berfungsi sebagai aplikasi untuk menganalisa setelah dilakukan uji SEM
6. *Syringe pump* untuk meneteskan droplet air saat pengujian sudut kontak
7. *Sample Holder* untuk menaruh spesimen yang dalam pengujian sudut kontak
8. *High Speed Video Camera* sebagai alat pengambil gambar saat uji sudut kontak.

Bahan yang digunakan yaitu bambu betung lokal Bali yang berasal dari Baturiti, Tabanan, Bali.

3.1 Proses Karbonisasi dan Aktivasi

Dalam penelitian ini akan dilakukan proses karbonisasi terlebih dahulu ke masing-masing variasi spesimen. Adapun variasi temperatur karbonisasi yang telah ditetapkan yaitu suhu 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C. Tahapan proses karbonisasi yang akan dilakukan pada bambu betung untuk spesimen dengan variasi temperatur 400°C meliputi:

1. Sampel bambu yang telah dipotong dengan ukuran panjang 2,5cm, lebar 1,7cm dan tinggi 3,1cm dimasukkan kedalam cawan keramik lalu ditutup. Spesimen uji dimasukkan ke dalam reaktor pyrolisis untuk proses karbonisasi.
2. Reaktor karbonisasi dialiri nitrogen dengan laju aliran 1 liter/menit selama 12 detik untuk mendapatkan kondisi bebas oksigen (*inert atmosphere*), kemudian temperatur reaktor ditingkatkan dengan laju pemanasan 500°C/jam dan diatur hingga mencapai 400°C.
3. Spesimen didinginkan di dalam reaktor selama 12 jam dan akan menghasilkan arang bambu betung yang telah melalui proses karbonisasi dan diberi label Karbonisasi Bambu Betung 400 (KBB400).

Selanjutnya Proses karbonisasi dilakukan kepada spesimen lain dengan pengulangan langkah 1, 2 dan 3 dengan variasi temperatur 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C dan akan menghasilkan spesimen KBB500, KBB600, KBB700 dan KBB800.

1. Masing-masing spesimen KBB400, KBB500, KBB600, KBB700, dan KBB800 dimasukkan kedalam reaktor.
2. Reaktor dialiri nitrogen dengan laju aliran 1 Liter/menit selama 12 detik dan diatur hingga

mencapai temperatur 600°C dengan laju pemanasan 500°C/jam.

3. Ketika suhu sudah mencapai temperatur 600°C, reaktor dimatikan dan didinginkan selama 12 jam sebelum spesimen dikeluarkan dan akan menghasilkan spesimen AKBB 400, AKBB500, AKBB600, AKBB700 dan AKBB800.

3.2 Pengujian SEM

Pengujian SEM (Scanning Electron Microscope) dilakukan untuk mendapatkan nilai struktur pori spesimen yang akan diuji yaitu jari-jari pori, distribusi pori, volume pori, dan lain-lain. Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu 1 unit alat Scanning Elctron Microscope FEI Inspect-550 dan aplikasi Image-J untuk menganalisis hasil uji SEM. Adapun tahapan yang dilakukan pada pengujian SEM yaitu :

1. Memotong spesimen arang aktif AKBB400, AKBB500, AKBB600, AKBB700, dan AKBB800 masing-masing dengan ukuran 2 mm x 2 mm. 2.Meletakkan potongan masing-masing spesimen kedalam alat uji SEM.
3. Melakukan pengujian dengan mengambil gambar dikomputer.
4. Memproses gambar dengan aplikasi Image J untuk mendapatkan data karakteristik struktur pori dari spesimen yang di uji.

3.3. Pengujian Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak bertujuan untuk mendapatkan nilai sudut kontak spesimen. Adapun tahap pengujian sudut kontak yang dilakukan pada penelitian ini yaitu:

1. Mempersiapkan spesimen AKBB400, AKBB500, AKBB600, AKBB700, dan AKBB800.
2. Meletakkan salah satu spesimen pada sample holder.
3. Meneteskan droplet air pada spesimen di bagian pori-pori spesimen yang rata dan ambil video tetesan dengan menggunakan kamera hispeed dandi set dengan resolusi 90 fps.
4. Pindahkan video ke computer dan convert video menjadi foto dengan aplikasi freestudio.
5. Pilih 1 frame yang sudah ditetapkan untuk dianalisis sudut kontaknya dengan menggunakan aplikasiimageJ.
6. Ulangi Langkah 1-5 dengan menggunakan spesimen lainnya

3.4. Pengujian Kapilaritas

Pengujian kapilaritas bertujuan untuk mencari nilai tegangan permukaan dan berat spesimen setelah mengalami penyerapan. Adapun tahapan pengujian kapilaritas yang akan dilakukan yaitu:

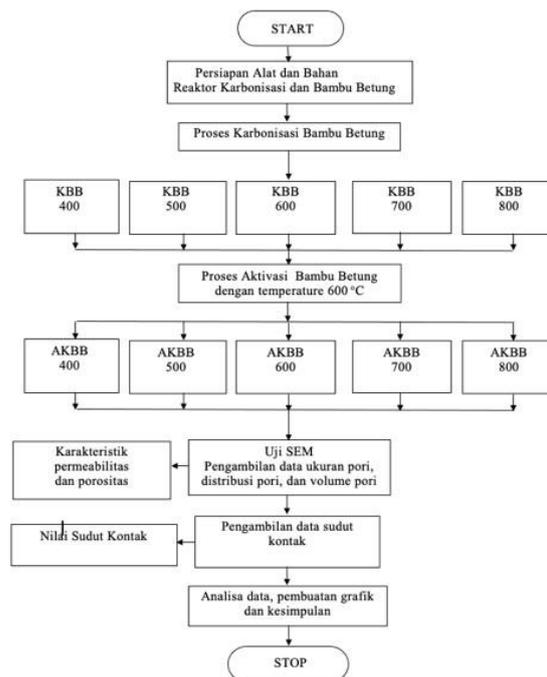
1. Siapkan salah satu spesimen AKBB400, AKBB500, AKBB600, AKBB700, dan AKBB800. Timbang untuk mendapat nilai

massa spesimen sebelum menyerap air.

2. Lakukan pengujian dengan menempelkan tisu dipermukaan atas salah satu spesimen yang akan diuji.
3. Mengisi gelas beker dengan air dan letakkan diatas timbangan.
4. Memegang spesimen dengan posisi bagian bawah spesimen menempel dengan permukaan air di gelas beker.
5. Bersamaan dengan langkahno. 4 hidupkan stopwatch.
6. Ketika seluruh bagian tisu sudah basah, matikan stopwatch dan angkat spesimen dari gelas beker dan timbang massa spesimen setelah penyerapan.
7. Catat data ketinggian air (tinggi spesimen), waktu penyerapan, dan perubahan massa air dari sebelum terjadi penyerapan dan sesudah proses penyerapan sebagai data kapilaritas karbon aktif dan teganganpermukaan.
8. Ulangi langkah 1-7 dengan menggunakan spesimenlainnya.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir pebelitian yang telah dilakukan.



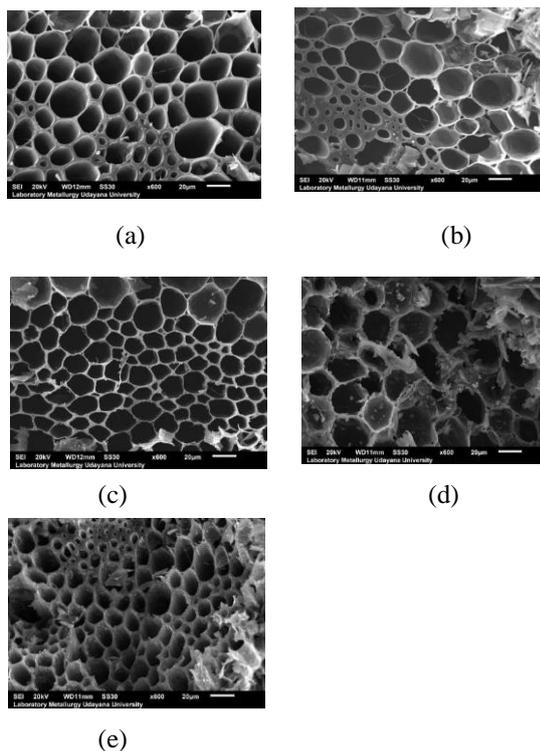
Gambar 1. Diagram alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Karakteristik Struktur Pori

Dapat dilihat pada gambar 2 menunjukkan struktur pori pada spesimen AKBB400, AKBB500, AKBB600, AKBB700 dan AKBB800. Berdasarkan gambar tersebut, hasil gambar di analisa dengan aplikasi *ImageJ* untuk setiap spesimen dengan pembesaran 600x agar memudahkan analisa. Hasil dari analisa *ImageJ* yaitu total, fraksi dan distribusi

pori.



Gambar 2. Struktur Mikro Spesimen (a) AKBB400, (b) AKBB500, (c) AKBB600, (d) AKBB700, dan (e) AKBB800.

Berikut data yang ditampilkan Pada Tabel 1 berdasarkan hasil analisis uji SEM yang diolah dengan aplikasi Image J dan sudah di proses dengan Microsoft Excel. Dari Microsoft Excel akan didapat data distribusi pori pada permukaan spesimen yang diuji SEM. Dari data distribusi pori tersebut akan di dapatkan nilai jari-jari pori sebagai berikut pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengolahan Data Struktur Pori

Nama	Jari-Jari Pori
AKBB400	3.03
AKBB500	3.17
AKBB600	2.58
AKBB700	2.91
AKBB800	1.91

4.3. Karakteristik Pori

Porositas adalah perbandingan antara volume pori yang terbentuk pada material dan volume total material tersebut. Pada penelitian ini, perhitungan nilai porositas dilakukan dengan mengukur massa awal spesimen saat dalam keadaan kering dan massa akhir spesimen saat jenuh dengan air. Pengurangan antara keduanya adalah volume air yang terserap atau volume rongga yang ada pada arang. Dimana volume pori diketahui dari hasil perkalian volume air yang terserap dengan volume spesifik air saat jenuh.

Diketahui volume spesifik air saat jenuh adalah $1,003 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$.

Besarnya porositas untuk material karbon aktif bambu betung dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut:

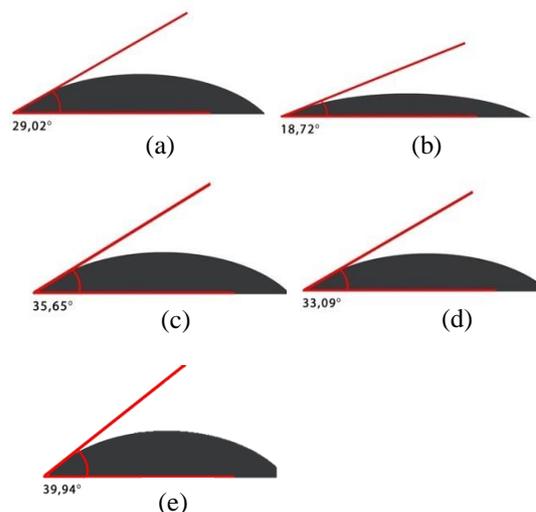
$$\begin{aligned} \text{Porositas (AKBB 400)} &= \frac{2.433,1777(\text{mm}^3)}{13.787(\text{mm}^3)} \times 100\% \\ &= 17,64835\% \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil Pengolahan Data Porositas

Nama Spesimen	Volume Pori (mm ³)	Volume Material (mm ³)	Porositas (%)
AKBB400	2.433,1777	13.787	17,64835
AKBB500	3.364,4632	15.597	21,57122
AKBB600	3.479,7079	14.26	24,40188
AKBB700	3.248,3158	13.431	24,18521
AKBB800	3.1957586	14.479	22,07168

Tabel 2 menunjukkan hasil pengolahan data porositas, berdasarkan tabel tersebut spesimen AKBB 600 memiliki nilai porositas tertinggi yaitu 24,40% sedangkan spesimen AKBB400 memiliki hasil terendah yaitu 17,64%. Nilai ini disebabkan karena nilai porositas sangat dipengaruhi oleh volume total material dan volume pori.

4.3 Sudut Kontak



Gambar 3. Nilai sudut kontak pada spesimen (a) AKBB 400, (b) AKBB 500, (c) AKBB 600, (d) AKBB 700, dan (e) AKBB 800.

Gambar 3 menunjukkan nilai sudut kontak dari setiap spesimen. Berdasarkan gambar, spesimen AKBB 800 memiliki nilai sudut kontak terbesar yaitu $39,94^\circ$ sedangkan spesimen AKBB500 memiliki nilai sudut kontak terkecil yaitu $18,72^\circ$. Hal ini disebabkan karena semakin besar nilai jari-jari pori maka nilai sudut kontak akan semakin kecil. Berdasarkan pengujian sudut kontak pada specimen diatas, dapat dilihat nilai sudut kontak untuk masing-

masing material tersebut seperti pada tabel 3. Dengan membagi jari-jari pori dengan cosinus sudut kontak akan menghasilkan jari-jari pori efektif.

Tabel 3. Data sudut kontak dan jari pori efektif

Nama spesimen	Sudut Kontak (°)	Jari-jari Pori Efektif (µm)
AKBB 400	29,06	3,48
AKBB 500	18,73	3,35
AKBB 600	35,65	3,17
AKBB 700	33,09	3,47
AKBB 800	39,94	2,49

4.4. Permeabilitas

Nilai permeabilitas spesimen karbon aktif bambu betung dipengaruhi nilai diameter pori dan nilai porositas dari spesimen itu sendiri. Spesimen yang memiliki nilai porositas dan diameter pori yang besar akan menghasilkan nilai permeabilitas yang besar pula. Besarnya permeabilitas untuk material karbon aktif bambu betung dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4. Nilai permeabilitas specimen arang aktif bamboo betung

Spesimen	Faktor geometrik	Diameter pori (mm)	Porositas (%)	Permeabilitas (m ²) x 10 ⁻¹⁵
AKBB 400	122	6.05	0.176	2.41
AKBB 500	122	6.34	0.216	5.41
AKBB 600	122	5.16	0.244	5.55
AKBB 700	122	5.82	0.242	6.85
AKBB 800	122	3.82	0.221	2.31

4.5. Laju Aliran Massa

Terdapat beberapa pengujian dalam menentukan nilai laju aliran massa fluida pada spesimen arang aktif bambu betung yaitu pengujian sudut kontak, uji permeabilitas, uji *scanning electron microscope* (SEM) dan uji kapilaritas.

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat nilai laju aliran massa tertinggi dimiliki oleh spesimen karbon aktif AKBB 500 yaitu 13.6 x 10⁻⁸ kg/s sedangkan spesimen AKBB 400 memiliki nilai laju aliran massa terendah yaitu 4.90 x 10⁻⁸ kg/s.

Nilai ini disebabkan oleh nilai porositas yang cukup tinggi dan ukuran pori yang cukup besar pada spesimen AKBB500 akan menghasilkan sudut kontak yang kecil dan permeabilitas yang cukup besar dibandingkan dengan spesimen lainnya. Dengan demikian, besarnya nilai laju aliran massa fluida yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh nilai permeabilitas dan sifat mampu basah material.

Tabel 5. Hasil perhitungan laju aliran massa fluida

Nama Spesimen	Permeabilitas (m ²) x 10 ⁻¹⁵	Panjang efektif material (mm)	Luas penampang material (mm ²)
AKBB 400	2.41	0.028	4.94
AKBB 500	5.41	0.032	4.88
AKBB 600	5.55	0.029	5.00
AKBB 700	6.85	0.033	4.60
AKBB 800	2.13	0.034	4.71

Jari-jari efektif pori (µm)	Sudut kontak (°)	ṁ (kg/s) x 10 ⁻⁸
3.48	29.06	4.90
3.35	18.73	13.6
3.17	35.65	12.1
3.47	33.09	13.3
2.49	39.94	6.50

4.6. Karakteristik Laju Perpindahan Panas

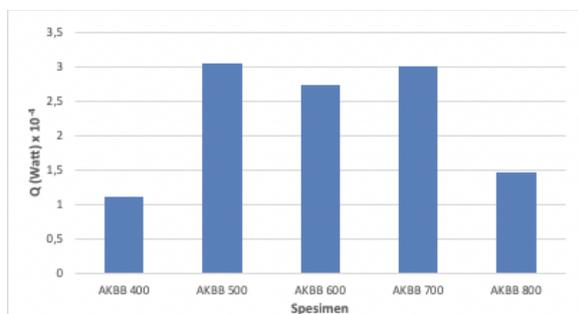
Pengujian karakteristik laju perpindahan panas karbon aktif bambu betung dimulai setelah nilai laju aliran massa fluida setiap spesimen didapat massa pada spesimen AKBB 400. Pada Tabel 6 dapat dilihat hasil perhitungan laju aliran massa material karbon aktif bambu betung. Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa material karbon aktif AKBB 500 memiliki laju aliran massa tertinggi.

Tabel 6. Hasil perhitungan laju perpindahan panas

Nama Spesimen	Permeabilitas (m ²) x 10 ⁻¹⁵	Panjang efektif material (mm)	Luas penampang material (mm ²)
AKBB 400	2.41	0.028	4.94
AKBB 500	5.41	0.032	4.88
AKBB 600	5.55	0.029	5.00
AKBB 700	6.85	0.033	4.60
AKBB 800	2.13	0.034	4.71

Jari-jari efektif pori (μm)	Sudut kontak ($^\circ$)	\dot{m} (kg/s) $\times 10^{-8}$	Q (Watt) 10^{-4}
3.48	29.06	4.90	1.10
3.35	18.73	13.6	3.06
3.17	35.65	12.1	2.73
3.47	33.09	13.3	3.0
2.49	39.94	6.50	1.46

*Koefisien kalor laten (L) = 2257



Gambar 4. Grafik perbandingan nilai laju perpindahan panas dengan variasi temperatur karbon aktif

Berdasarkan grafik tersebut, ditunjukkan bahwa spesimen AKBB 500 memiliki nilai laju perpindahan panas tertinggi yaitu 3.06×10^{-4} watt dan spesimen AKBB 400 memiliki nilai laju perpindahan panas terendah yaitu 1.10×10^{-4} watt. Hal ini disebabkan oleh ukuran pori yang cukup besar dan porositas yang cukup tinggi pada material AKBB 500 akan menghasilkan permeabilitas yang cukup besar dan dengan sudut kontak yang paling kecil material akan bersifat lebih hidrofilik (lebih mampu basah) dibandingkan dengan yang lainnya. Dengan demikian, semakin tinggi permeabilitas dan sifat mampu basah (wettability) material, maka semakin besar laju aliran massa fluida yang dihasilkan dan dengan nilai laju aliran massa fluida yang besar, akan menghasilkan nilai laju perpindahan panas yang besar pula.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai laju perpindahan panas pada pengaruh tahap aktivasi tanpa holding time dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Material karbon aktif bambu betung yang telah di karbonisasi dengan temperatur 500°C dan di aktivasi dengan suhu 600°C memiliki karakteristik laju aliran panas tertinggi yakni sebesar $3,06 \times 10^{-4}$ watt sedangkan laju aliran

massa fluida terkecil dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung yang telah di karbonisasi dengan temperatur 400°C dan di aktivasi dengan suhu 600°C yakni sebesar $1,10 \times 10^{-4}$ watt.

2. Dengan karakteristik laju aliran panas fluida tertinggi yang dimiliki oleh material karbon aktif bambu betung yang telah di karbonisasi dengan temperatur 500°C dan di aktivasi dengan suhu 600°C , maka material ini sangat berpotensi digunakan sebagai material pad sistim direct evaporative cooling, karena akan mampu menyerap panas udara lebih banyak, sehingga proses evaporasi pada material pad menjadi semakin besar dan menghasilkan efek pendinginan yang lebih besar pula.
3. Semakin tinggi permeabilitas dan sifat mampu basah (wettability) material, maka semakin besar laju aliran massa fluida dan juga laju aliran panas fluida yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- [1] Ramkumar, Ramakrishnan, 2017, *Experimental Investigation Of Indirect Evaporative Cooler Using Clay Pipe*. Journal of Thermal Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 1163-1180.
- [2] Berti, L. F., Bazzo, E., Santos, P.H.D., Janssen, R., 2011, *Evaluation of permeability of ceramic wick structures for two phase heat transfer devices*.
- [3] Lago, M. & Araujo, M., 2001, *Capillary Rise In Porous Media*. Physica A: Statistical Mechanics And Its Applications, 289, 1-17.
- [4] Lempang, M., 2014, *Pembuatan Dan Kegunaan Arang Aktif*, Info Teknis EBONI 2 (11):65-80. Makassar: Balai Penelitian Kehutanan Makassar.
- [5] Solomon, A. B., Mahto, A. K., Joy, R. C., Rajan, A. A., Jayprakash, D. A., Dixit, A., Sahay, A., 2020, *Application of bio-wick in compact loop heat pipe*, Applied Thermal Engineering, 169, 114927.
- [6] Xu, B., Liu, D., Xu, G., Zhang, X. & Bi, L. 2013. *A Measurement Method For Contact Angle Based On Hough Transformation*. Measurement, 46, 1109-1114.
- [7] Isa, S.S.M., Ramli, M.M., Hambali, N.A.M.A., Kasjoo, S.R., Isa, M.M., Nor, N.I.M., Ahmad, N., 2016, *Adsorption Properties and Potential Applications of Bamboo Charcoal*, A Review, MATEC Web of Conferences, 78, 01097.

- [8] Shirazy, M. R., Blais, S. & Fr chet, L. G. 201, *Mechanism Of Wettability Transition In Copper Metal Foams: From Superhydrophilic To Hydrophobic.*, Applied Surface Science, 258, 6416-6424..
- [9] Rizky Pratama Rachman, Bambang Yunianto., 2014, *Pengaruh Jenis Sprayer Terhadap Efektivitas Direct Evaporative Cooling Dengan Cooling Pad Serabut Kelapa.* Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Vol. 2, No. 2. 78-82.
- [10] 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



Juan Axel Maruli Sembiring menyelesaikan studi S1 program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2017 dan menyelesaikannya pada tahun 2021.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan perpindahan panas dan manajemen energi.