

Studi Eksperimental Laju Perpindahan Panas dan Laju Aliran Massa Fluida Pada Karbon Aktif Bambu Betung Dengan Temperatur 600°C Holding Time 60 Menit

Manatap H.Ady Siregar, Hendra Wijaksana, dan I Gede Teddy Prananda Surya
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Saat ini siklus kompresi uap sangat dominan meskipun menggunakan energi yang sangat besar dan kurang efisien jika beroperasi pada iklim yang panas. Konsumsi energi ini meningkat drastis seiring peningkatan temperatur lingkungan. Maka dari itu, diperlukan sistem pendingin yang ramah lingkungan dan lebih hemat energi. Salah satu pendingin alternatif ialah sistem direct evaporative cooling. Dalam sistem direct evaporative cooling, efek pendinginan diberikan oleh proses penguapan yang terjadi pada material pad yang telah terbasahi oleh air. Material pad itu sendiri digunakan untuk pengaplikasian sistem pendingin evaporative, sebagai media pendingin. Penelitian ini menggunakan arang karbon aktif sebagai material pad untuk mengetahui pengaruh laju aliran massa fluida dan laju perpindahan panas pada sistem direct evaporative cooling dengan menggunakan temperatur karbonisasi 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C kemudian diaktivasi pada temperatur 600°C holding time 60 menit. Pengujian ini meliputi beberapa pengujian seperti uji SEM, uji sudut kontak, dan uji kapilaritas. Hasil dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa spesimen ABB 1 (400°C) memiliki laju aliran massa dan laju perpindahan panas tertinggi yakni sebesar 23.7×10^{-5} Kg/s dan 0.53 Watt yang bisa dijadikan potensi pada pembuatan material pad baru pada sistem direct evaporative cooling.

Kata kunci: Bambu betung, direct evaporative cooling, karbonisasi, aktivasi, Laju aliran massa fluida, Laju perpindahan panas.

Abstract

Currently the vapor compression cycle is very dominant although it uses a lot of energy and is less efficient when operating in a hot climate. This energy consumption increases dramatically as the ambient temperature increases. Therefore, a cooling system that is environmentally friendly and more energy efficient is needed. One alternative cooling system is direct evaporative cooling. In a direct evaporative cooling system, the cooling effect is provided by the evaporation process that occurs in the pad material that has been wetted by water. The pad material itself is used for the application of evaporative cooling systems, as a cooling medium. This study uses activated carbon charcoal as a pad material to determine the effect of fluid mass flow rate and heat transfer rate on a direct evaporative cooling system using carbonization temperatures of 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C then activated with a temperature of 600°C holding time 60 minutes. This test includes several tests such as SEM test, contact angle test, and capillarity test. The results of all tests show that the ABB 1 specimen (400°C) has the highest mass flow rate and heat transfer rate of 23.7×10^{-5} Kg/s and 0.53 Watt which can be used as potential for the manufacture of new pad materials in the direct evaporative cooling system.

Keywords: Bamboo betun, direct evaporative cooling, carbonization, activation, fluid mass flow rate, heat transfer rate

1. Pendahuluan

Sistem direct evaporative cooling mempunyai banyak komponen dan yang menjadi komponen utamanya adalah mechanical fan, cooling pad dan pompa air, dimana komponen yang terpenting dalam sistem direct evaporative cooling adalah cooling pad. Cooling pad merupakan media pendingin yang berpori yang memiliki daya tampung air yang cukup tinggi dan daya serap untuk memungkinkan terjadinya perpindahan panas dan massa antara air dalam material berpori tersebut dengan udara yang melewati pad untuk menjamin terjadinya proses evaporasi pada evaporative cooling wall. Dimana faktor jumlah massa air yang ada pada material merupakan factor penentu besarnya laju perpindahan panas dan laju perpindahan massa (laju evaporasi) yang terjadi. Dengan jumlah massa air yang lebih banyak pada permukaan material, maka akan lebih banyak pula panas yang dapat diserap oleh material

untuk menguapkan air tersebut. Keberadaan jumlah massa air yang signifikan dapat disediakan apabila material memiliki porositas yang tinggi dengan daya kapilaritas yang tinggi pula.

Berdasarkan pemaparan diatas, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui laju perpindahan panas dan laju aliran massa pada material pad sistem direct evaporative cooling.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Bahan material yaitu bambu betung lokal Bali
2. Temperatur Karbonisasi 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C dan 800 °C
3. Temperatur aktivasi ditetapkan 600°C
4. Menahan waktu temperature aktivasi selama 60 menit
5. Reaktor karbonisasi dalam lingkungan bebas oksigen (inert atmosphere)

6. Proses aktivasi dilakukan pada temperature lingkungan (outdoor)

2. Dasar Teori

2.1 Kinerja Kapiler Material Pad

2.1.1 Kapilaritas

Proses karbonisasi dan aktivasi karbon pada material pad akan menghasilkan peningkatan struktur pori dan surface morfologi material menjadi material yang berstruktur mikropori, yang diharapkan dapat meningkatkan daya kapiler (capillary force) material pad dan dengan daya kapiler yang tinggi akan dihasilkan laju aliran fluida yang maksimum pada material pad, dan dengan peningkatan karakteristik kapilaritas ini, nantinya diharapkan dapat memperluas wetted area dan memperbesar volume air pada material pad karbon aktif yang akan digunakan untuk sistim *direct evaporative cooling*.

Kapilaritas adalah kemampuan cairan mengalir pada ruang sempit tanpa adanya bantuan atau energi tambahan dan bertentangan dengan kekuatan eksternal seperti grafitasi [1]. Besarnya daya kapiler (*capillary force*) pada material berpori dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\Delta P_{cap} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r_p} \quad (1)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \Delta P_{cap} &= \text{Tekanan Kapiler (N/m}^2\text{=kg/m.s}^2\text{)} \\ \sigma &= \text{Tegangan permukaan (N/m)} \\ \cos \theta &= \text{Sudut kontak (}^\circ\text{)} \\ r_p &= \text{jari-jari pori (m)} \end{aligned}$$

Sedangkan besarnya jari-jari efektif pori dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$r_{eff} = \frac{r}{\cos \theta} \quad (2)$$

Dimana r_{eff} adalah jari-jari efektif pori dan r adalah jari-jari pori

2.1.2 Porositas

Porositas material adalah perbandingan antara volume pori yang terbentuk pada material dan volume total material tersebut. Pada material berpori, besarnya porositas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan[2]

$$\text{Porosity } (\epsilon) = \frac{v_{pori}}{v_m} \quad (3)$$

$$v_{pori} = M_{air} \times v_{spesifik} \quad (4)$$

Dimana V_{pw} adalah volume pori yang terbentuk (m^3/g), V_w adalah volume total material berpori (m^3/g), M_{air} adalah massa air yang tertahan (gr), dan $V_{spesifik}$ adalah volume spesifik (m^3/g)

2.1.3 Permeabilitas

Permeabilitas dianggap sebagai makroskopik ukuran kemudahan yang mengalir cairan melalui rongga media pori. Demikian permeabilitas bukanlah properti dari cairan atau properti media berpori, tetapi mencerminkan efektivitas interaksi di antara cairan dan media berpori [3]. Permeabilitas dihitung menurut rumus berikut :

$$K = \frac{dp^2 \cdot \epsilon^3}{c (1-\epsilon)^2} \quad (5)$$

K adalah permeabilitas material, dp adalah diameter pori (μm), C adalah faktor geometrik yaitu 122[4] dan ϵ adalah porositas (%)

2.1.4 Sifat mampu basah (*wettability*)

Sifat mampu basah (*wettability*) adalah kemampuan suatu fluida untuk membasahi permukaan zat padat, dan *wettability* sangat mempengaruhi kapilaritas dari suatu material. Untuk memiliki kapilaritas suatu material harus memiliki sifat mampu basah sebagai syarat utamanya. *wettability* material sangat dipengaruhi oleh sudut kontak. Makin kecil sudut kontak yang terbentuk antara fluida dan material padat, maka material tersebut akan memiliki *wettability* yang makin besar[5] dan sebaliknya *wettability* dan kapilaritas material akan menurun dengan bertambah besarnya sudut kontak yang terbentuk.

2.2 Kinerja Thermal Material Pad

2.2.1 Laju Perpindahan Panas

Adanya aliran udara basah (humid) terhadap permukaan material, maka perpindahan panas akan terjadi bila terjadi beda temperatur udara dengan permukaan material pad yang telah dialirir air. Laju perpindahan panas dan massa akan dilakukan dengan konsep bahwa energi panas udara akan ditransfer ke massa air yang ada dalam material melalui permukaan material dan untuk energi penguapan air. Massa air yang mengalir pada material pad *direct evaporative cooling* dengan laju aliran massa yang sama sepanjang material pad akibat daya kapiler material, akan menerima panas sensibel dan panas laten udara luar. Perpindahan panas sensibel terjadi antara udara luar dengan massa air melalui permukaan material pad, sehingga besarnya laju perpindahan panas sensibel ini, dapat dianggap sama dengan panas yang didapat oleh air yang besarnya tergantung pada laju aliran massa fluida air pada material pad [6]. Besar laju perpindahan panas dapat ditentukan dari persamaan :

$$Q = \dot{m} \times L \quad (6)$$

Dimana, Q adalah laju perpindahan panas (watt), \dot{m} adalah laju aliran massa (kg/s) dan L adalah kalor laten (J/kg)

2.2.2 Laju Perpindahan Massa

Laju perpindahan massa dalam hal ini adalah jumlah massa fluida yang dapat dipompakan secara kapiler kedalam material berpori per satuan waktu. Dimana \dot{m} adalah laju aliran massa fluida kapiler dalam material pad, yang besarnya dapat dituliskan sebagai :

$$\dot{m} = \frac{\rho_l K A_w}{\mu_{eff} l_{eff}} \left\{ \frac{2\sigma_1}{r_{eff}} \cos \theta - \rho_l g l_{eff} \sin \phi \right\} \quad (7)$$

K : Permeabilitas (m^2)

μ_1 : viskositas fluida kerja ($kg/s \cdot m$)

l_{eff} : panjang efektif (m)

r_{eff} ; Jari-jari efektif (m)

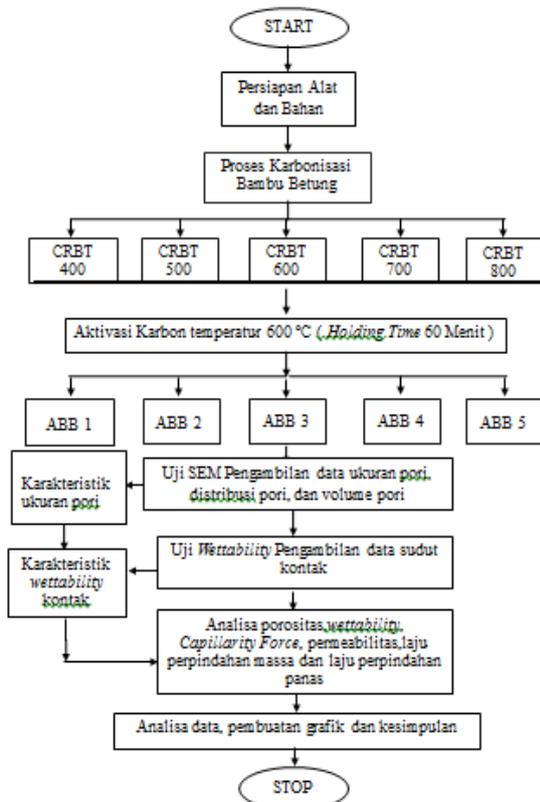
3. Metode Penelitian

3.1 Bahan dan Alat

Penelitian dan pengujian ini mempergunakan bahan dan peralatan sebagai berikut:

1. Bambu betung Bali
2. Pisau
3. Gergaji
4. Timbangan
5. Oven
6. Reaktor pyrolysis
7. Stopwatch
8. Nitrogen
9. Image J
10. Sample Holder
11. Syringe pump
12. Lampu
13. Kamera

3.2 Diagram Alir Penelitian

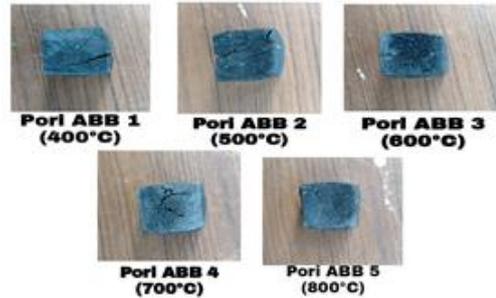


Gambar 1. Diagram alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Aktivasi

Dalam hal ini, diharapkan struktur pori yang dihasilkan dalam pengujian aktivasi mempunyai diameter pori yang relatif besar agar spesimen bambu betung yang telah diaktivasi pada temperatur 600°C *holding time* 60 menit memiliki porositas tinggi dengan ukuran pori berskala nano dan daya kapilaritas yang tinggi, sehingga menyebabkan material bambu khususnya mampu menyerap dan menahan massa air yang lebih banyak dan lama (*high water retention capability*) sehingga cukup memadai untuk proses penguapan.



Gambar 2. Arang karbon aktif bambu betung

4.2 Hasil Uji SEM

Pada saat pengujian SEM ditunjukkan struktur pori pada layar monitor dan dilakukan analisis terhadap struktur pori bambu betung. Tahap akhir dari pengujian SEM adalah mengambil gambar struktur pori pada masing-masing spesimen dengan temperatur yang telah ditentukan dengan resolusi gambar 20 μm . Resolusi tersebut digunakan untuk mempermudah proses analisis Gambar struktur pori yang sudah didapatkan lalu dianalisis menggunakan aplikasi ImageJ. Sementara itu, data *output* yang ditentukan dari hasil analisis menggunakan aplikasi Image J adalah distribusi luas permukaan pori, total luas permukaan pori, dan fraksi luas permukaan pori. Kemudian dilakukan pengolahan data menggunakan aplikasi Microsoft Excel, sebagai tahap akhir untuk mengetahui karakteristik struktur pori pada bambu betung.

Tabel 1 Menunjukkan hasil pengolahan data karakteristik struktur pori pada karbon aktif bambu betung yang didapat dari hasil analisis uji SEM dan aplikasi *image J* yang sudah diolah pada microsoft excel .Berdasarkan tabel dibawah, spesimen ABB 1 (400 °C) memiliki jari-jari pori tertinggi, 5,761 μm dan spesimen ABB 5 (800°C) memiliki ukuran jari-jari pori terendah sebesar 2,432 μm jika dibandingkan dengan spesimen lainnya.

Tabel 1. Hasil struktur pori karbon aktif bambu betung

Nama Spesimen	Jari Pori rata-rata (μm)
ABB 1	5,761
ABB 2	3,615
ABB 3	2,682
ABB 4	3,351
ABB 5	2,432

4.3 Karakteristik Porositas

Porositas merupakan perbandingan antara volume pori yang terbentuk pada material dan volume total material tersebut. Pada penelitian ini, perhitungan nilai porositas berdasarkan pada perhitungan yang telah dilakukan Midiani, dimana pengukuran 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 $1003 \text{ mm}^3/\text{gr}$. Tabel 2, menunjukkan hasil pengolahan data karakteristik porositas pada karbon aktif bambu betung.

Tabel 2. Data Nilai Porositas

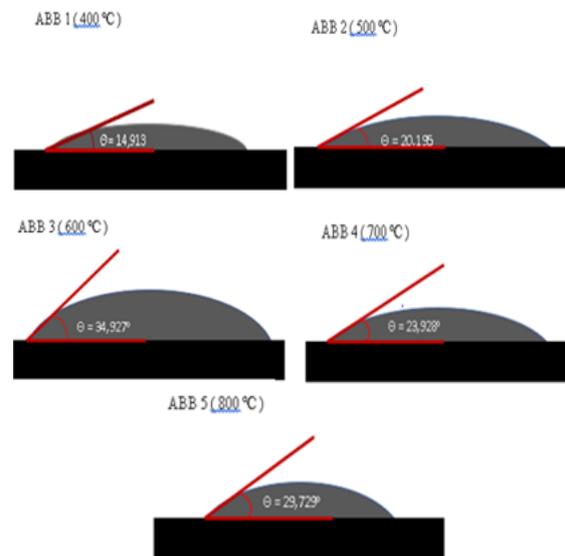
Spesimen	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Massa Air Yang Terserap (gr)	Volume Pori (mm^3)	Volume Material (mm^3)	Porositas (%)
ABB 1	2,16	5,1416	2,9816	2990,5448	14946	20.008
ABB 2	2,46	5,2945	2,8345	2843,0035	14869	19.120
ABB 3	1,5	3,141	1,641	1645,923	10129	15.201
ABB 4	2,48	5,5445	3,0645	3073,6935	13859	22.178
ABB 5	1,49	4,3128	2,8228	2831,2684	12387	22.856

Pada tabel di atas, sampel ABB 5 (800°C) memiliki nilai porositas tertinggi, yaitu 22.856% sedangkan sampel ABB 3 (600°C) memiliki nilai porositas terendah, yaitu 15.201%. Hal ini dikarenakan, nilai porositas sangat dipengaruhi oleh volume pori dan volume total material.

4.4 Wettability

Untuk menentukan wettability suatu material uji adalah dengan mengukur sudut kontak antara permukaan cairan dan permukaan material uji. Sudut kontak yaitu sudut yang didapat dari dua garis, dimana garis yang pertama merupakan batas antara zat cair dan udara yang ditetaskan dan garis kedua yaitu batas antara zat padat dan zat cair yang terbentuk yang telah ditetesi. saat cairan telah

ditetaskan di permukaan padatan terhadap udara terbuka, maka setelah ditetaskan cairan akan keadaan setimbang. Sudut kontak antara fluida berupa air dengan permukaan pori bambu betung dapat diketahui melalui pengujian *wettability* (kemampuan basah).



Gambar 3. Sudut kontak ABB 1 (400°C), ABB 2 (500°C), ABB 3 (600°C), ABB 4 (700°C), dan ABB 5 (800°C)

Berdasarkan pengujian *wettability* pada material karbon aktif bambu betung tersebut diatas, dapat dilihat besarnya sudut kontak untuk masing-masing material tersebut seperti pada gambar 3. Kemudian dengan membagi jari-jari pori dengan cosinus sudut kontak didapat jari-jari pori efektif, dimana $r_{\text{eff}} = r/\cos \theta$

Tabel 3. Data sudut kontak dan jari pori efektif

Nama spesimen	Sudut Kontak	Jari-jari Pori Efektif (m)
ABB 1	14.913	5.961×10^{-6}
ABB 2	20.195	3.851×10^{-6}
ABB 3	34.927	2.702×10^{-6}
ABB 4	23.298	3.648×10^{-6}
ABB 5	29.729	2.8×10^{-6}

Berdasarkan tabel 3 spesimen ABB 1 (400°C) memiliki Sudut kontak terendah, yaitu 14.913° dan spesimen ABB 3 (600°C) memiliki Sudut kontak tertinggi, yaitu 34.927° . Maka hal ini menunjukkan *wettability* (kemampuan basah) tertinggi terdapat pada sudut kontak spesimen ABB 1 dan spesimen ABB 3 memiliki *wettability* (kemampuan basah) terendah. Karena semakin kecil sudut kontak maka semakin besar wettabilitinya dan sebaliknya.

4.5 Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai makroskopik seberapa mudahnya cairan mengalir melalui rongga-rongga dalam suatu media berpori. Kata lainnya permeabilitas menggambarkan dari efektivitas interaksi antara porous material dan cairan, dan bukan properti dari porous material ataupun cairan. Tabel 4 menunjukkan hasil pengolahan data dari permeabilitas karbon aktif bambu betung yang telah diteliti. Dari tabel menunjukkan bahwa sampel ABB 1 memiliki nilai permeabilitas tertinggi yaitu $68.4 \times 10^{-15} \mu\text{m}^2$ dan spesimen ABB 3 memiliki nilai permeabilitas yang paling rendah yaitu $8.8 \times 10^{-15} \mu\text{m}^2$. Hal ini dikarenakan nilai permeabilitas dipengaruhi oleh nilai porositas dan diameter pori dari spesimen arang bambu betung. Spesimen yang memiliki porositas dan diameter pori yang besar akan menghasilkan permeabilitas tinggi

Tabel 4. Pengolahan data permeabilitas karbon aktif bambu betung.

Nama Spesimen	Porositas	Faktor Geometrik Bambu	Diameter Pori(μm)	Permeabilitas (m^2)
ABB 1	0.20008	122	11.552	13.6×10^{-15}
ABB 2	0.19120	122	7.23	4.57×10^{-15}
ABB 3	0.16249	122	5.364	1.44×10^{-15}
ABB 4	0.22178	122	6,702	6.63×10^{-15}
ABB 5	0.22856	122	4.864	3.88×10^{-15}

4.6 Laju Perpindahan Massa

Untuk menentukan besarnya laju perpindahan massa fluida pada material arang aktif bambu betung terdapat beberapa pengujian seperti yang telah dilakukan sebelumnya yaitu uji SEM, *wettability*, uji permeabilitas, dan uji kapilaritas pada spesimen ABB 1, ABB 2, ABB 3, ABB 4 dan ABB 5. Kemudian melakukan pengolahan data pada setiap pengujian.

Tabel 5. Hasil pengolahan data laju aliran massa pada bambu betung

Nama Spesimen	Panjang efektif material (m)	Luas penampang pad Sudut (m^2)	Kontak ($^\circ$)
ABB 1	0.0279	5.3568×10^{-4}	14.913
ABB 2	0.0277	5.368×10^{-4}	20.195
ABB 3	0.0295	3.4336×10^{-4}	34.927
ABB 4	0.0268	5.1714×10^{-4}	23.298
ABB 5	0.0236	5.2488×10^{-4}	29.729

Jari-jari efektif pori(m)	Permeabilitas $\text{K}(\text{m}^2)$	Laju Aliran Massa \dot{m} (kg/s)
5.961×10^{-6}	1.36×10^{-14}	23.7×10^{-4}
3.851×10^{-6}	4.57×10^{-15}	12×10^{-4}
2.702×10^{-6}	1.44×10^{-15}	$1,9 \times 10^{-4}$
3.648×10^{-6}	6.63×10^{-15}	18×10^{-4}
2.8×10^{-6}	3.88×10^{-15}	15×10^{-4}

Pada tabel 5 dapat dilihat bahwa material karbon aktif ABB 1 (400°C) memiliki laju aliran massa tertinggi yaitu $2.37 \times 10^{-4} \text{Kg/s}$ dan spesimen ABB 3 memiliki nilai laju aliran massa terendah yaitu $0.28 \times 10^{-4} \text{Kg/s}$. Hal ini disebabkan oleh ukuran pori yang cukup besar dan porositas yang cukup tinggi pada material ABB 1 (400°C) 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 laju perpindahan massa fluida yang dihasilkan akan semakin besar.

4.7 Laju Perpindahan Panas

Massa air yang mengalir pada material pad *direct evaporative cooling* dengan laju aliran massa yang sama sepanjang material pad akibat daya kapiler material, akan menerima panas sensibel dan panas laten udara luar. perpindahan panas sensibel terjadi antara udara luar dan massa air melalui permukaan material pad, sehingga besarnya laju perpindahan panas sensibel ini, dapat dianggap sama dengan panas yang didapat oleh air yang besarnya tergantung pada laju aliran massa fluida air pada material pad. Dapat dikatakan bahwa panas udara yang diterima air melalui permukaan material pad akan menguapkan air dalam material pad

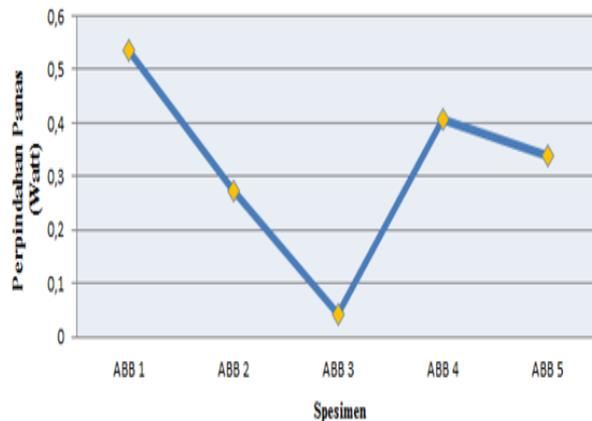
Tabel 6. Hasil perhitungan laju perpindahan panas

Nama Spesimen	Permeabilitas $\text{K}(\text{m}^2)$	Laju Aliran Massa \dot{m} (kg/s)	Kalor Laten L (J/Kg)	Laju Perpindahan Panas Q (Watt)
ABB 1	1.36×10^{-14}	23.7×10^{-5}	2257	0.53
ABB 2	4.57×10^{-15}	12×10^{-5}	2257	0.27
ABB 3	1.44×10^{-15}	2.8×10^{-5}	2257	0.04
ABB 4	6.63×10^{-15}	18×10^{-5}	2257	0.41
ABB 5	3.88×10^{-15}	15×10^{-5}	2257	0.34

Pada tabel di atas menunjukkan hasil dari perhitungan laju perpindahan panas spesimen arang aktif ABB 1, ABB 2, ABB 3, ABB 4, dan ABB 5 dengan nilai laju perpindahan panas. Berdasarkan

grafik tersebut, ditunjukkan bahwa spesimen ABB 1 memiliki nilai laju perpindahan panas tertinggi yaitu 0.53 Watt dan spesimen ABB 3 memiliki nilai laju perpindahan panas terendah yaitu 0.04 Watt.

Hal ini dikarenakan nilai laju perpindahan panas dipengaruhi oleh nilai laju aliran massa. Semakin tinggi nilai laju perpindahan massa maka semakin tinggi nilai laju perpindahan panas.



Gambar 4. Grafik perbandingan nilai laju perpindahan panas pada karbon aktif bambu betung

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, pengaruh peningkatan temperatur karbonisasi terhadap karakteristik laju aliran massa dan laju perpindahan panas pada arang aktif bambu betung, dapat disimpulkan bahwa spesimen arang aktif bambu ABB 1(400°C) yang dikarbonisasi di suhu 400°C dan diaktivasi di suhu 600°C *holding time* 60 menit potensi besar untuk digunakan sebagai material pad dalam sistem *direct evaporative cooling* karena memiliki nilai laju aliran massa dan laju perpindahan panas yang paling tinggi masing-masing sebesar 23.7×10^{-5} Kg/s dan 0.53 Watt diantara 5 variasi temperatur arang aktif yang telah diuji.

Daftar Pustaka

- [1] Lago, M. & Araujo, M., 2001, *Capillary Rise In Porous Media*, Physica A: Statistical Mechanics And Its Applications, 234 (1): 35-43.
- [2] 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, vol. 145, p. 118759.
- [3] Berti, L., Santos, P., Bazzo, E., Janssen, R., Hotza, D. & Rambo, C., 2011, *Evaluation Of Permeability Of Ceramic Wick Structures For Two Phase Heat Transfer Devices*,

Applied Thermal Engineering, Vol. 31 (6-7): 1076-1081.

- [4] 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, Vol.169, p. 114927..
- [5] Shirazy, M. R., Blais, S. & Fr chet te, L. G.,2012, *Mechanism Of Wettability Transition In Copper Metal Foams: From Superhydrophilic To Hydrophobic*, Applied Surface Science, Vol. 258 (17): 6416-6424.
- [6] Ramkumar, Ramakrishnan, 2017, *Experimental Investigation Of Indirect Evaporative Cooler Using Clay Pipe*, Journal of Thermal Engineering, Vol. 3, No. 2. 1163-1180.

	<p>Manatap H. Ady Siregar menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2017 sampai 2021. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Studi Eksperimental Laju Perpindahan Panas dan Laju Aliran Massa Fluida Pada Karbon Aktif Bambu Betung Dengan Temperatur 600°C Holding Time 60 Menit.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan perpindahan panas, mekanika fluida, dan pendinginan evaporative air cooler.</p>	