

Laju Aliran Massa Fluida Pada Material Karbon Bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi 400, 500, 600, 700, Dan 800 °C

Alvin Dio Hutagalung, Hendra Wijaksana dan IG. Teddy Prananda Surya
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Seiring dengan perkembangan zaman dan terus bertambahnya jumlah penduduk berdampak pada perubahan sosial kehidupan masyarakat, salah satunya kenyamanan didalam beraktivitas. Indonesia merupakan Negara beriklim tropis sehingga pemakaian pengkondisian udara sangat dibutuhkan, salah satunya Evaporative Air Cooler yang menggunakan prinsip sistem direct evaporative cooling, efek pendinginan diberikan oleh proses penguapan yang terjadi pada material pad yang telah dibasahi oleh air. Material pad pada sistem direct evaporative cooling ini merupakan sebagai media pendingin yang berasal dari bahan bambu local yaitu bambu betung. Penelitian ini menggunakan arang karbon sebagai material pad untuk mengetahui pengaruh laju aliran massa fluida pada sistem direct evaporative cooling. Dengan menggunakan temperatur karbonisasi 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C. Hasil dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa spesimen yang telah di karbonisasi dengan temperatur 600°C atau KRB 600 memiliki karakteristik laju aliran massa tertinggi yakni sebesar 12.8×10^{-8} kg/s yang bisa dijadikan potensi pada pembuatan material pad baru pada sistem direct evaporative cooling

Kata kunci: Direct evaporative cooling, bambu betung, karbonisasi, Laju aliran massa fluida

Abstract

Along with the times and the continued increase in the population, it has an impact on social changes in people's lives, one of which is comfort in activities. Indonesia is a tropical country so the use of air conditioning is needed, one of which is the Evaporative Air Cooler which uses the principle of a direct evaporative cooling system, the cooling effect is given by the evaporation process that occurs in the pad material that has been wetted by water. The pad material in this direct evaporative cooling system is a cooling medium derived from local bamboo, namely bamboo betung. This study uses carbon charcoal as a pad material to determine the effect of the mass flow rate of the fluid on the direct evaporative cooling system. By using a carbonization temperature of 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C. The results of all tests show that the specimen that has been carbonized with a temperature of 600°C or KRB 600 has the highest mass flow rate characteristic of 12.8×10^{-8} kg/s which can be used as potential for making new pad materials in the direct system. evaporative cooling

Keywords: Direct evaporative cooling, bamboo betung, carbonization, The mass flow rate of the fluid

1. Pendahuluan

Perkembangan zaman berpengaruh pada terus bertambahnya jumlah penduduk dan akan berdampak pada perubahan sosial kehidupan masyarakat, kenyamanan melakukan aktivitas merupakan salah satu bentuk kebutuhan hampir seluruh manusia pada zaman ini.

Terdapat dua sistem pengkondisian udara yang banyak digunakan yaitu Air Conditioning dan sistem Evaporative Air Cooler. Penggunaan sistem AC yang berlebihan akan meningkatkan pemanasan global karena menghasilkan CFC (clorofluorocarbon) atau yang biasa kita sebut dengan freon yang dapat mengakibatkan rusaknya lapisan ozon dan pemanasan global yang juga berdampak terhadap perubahan iklim seperti mencairnya es di kutub. Bahkan International Energy Agency (IEA) mengatakan penggunaan AC merupakan akan menjadi pemacu terbesar kenaikan permintaan energi global, setelah kegiatan industri.

Dalam penggunaan AC yang memiliki kebutuhan listrik lebih besar, sebaliknya Evaporative Air

Cooler lebih ramah lingkungan karena menggunakan air sebagai cairan pendingin, mudah perawatannya dan penggunaan daya listrik yang jauh lebih rendah karena hanya menggunakan mechanical fan, cooling pad dan pompa air. Evaporative Air Cooler menggunakan prinsip Evaporative Cooling, yaitu sistem pengkondisian udara yang menggunakan penguapan air untuk mendinginkan dan meningkatkan kadar air atau kelembapan pada aliran udara, sehingga membuat temperatur bola kering lebih rendah dari sebelum dilakukan proses evaporasi.

Cooling pad merupakan bagian yang berfungsi sebagai media pendingin jadi dalam sistem ini dibutuhkan material pad yang berpori serta memiliki daya serap air yang tinggi dan kemampuan untuk memastikan proses penguapan pada permukaan material pad.

Pengembangan pada material pad banyak dilakukan untuk meningkatkan kinerja thermal maupun kinerja kapiler direct evaporative cooling. Pada penelitian ini material pad yang digunakan

merupakan material alami yang memiliki serat penguat yang dapat diperbaharui untuk pembuatan komposit yaitu bambu, yang dikarbonisasi dan diaktivasi karbon sehingga menjadi arang karbon aktif.

Dalam meningkatkan kinerja kapiler terdapat beberapa nilai hal yang mempengaruhi yaitu kapilaritas, permeabilitas, dan *wettability*, sementara dalam peningkatan kinerja *thermal* beberapa hal yang mempengaruhinya yaitu, laju perpindahan panas dan laju aliran massa udara dan juga laju aliran massa fluida (air).

Dalam penelitian ini maka permasalahan yang akan dibahas, yaitu:

1. Menganalisa karakteristik laju aliran massa fluida pada arang karbon bambu betung sebagai material pad.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu betung lokal bali.
2. Temperatur karbonisasi 400, 500, 600, 700, 800°C.
3. Fluida yang digunakan adalah air.

2. Dasar Teori

2.1. Pembuatan Arang Karbon

Proses pembuatan arang karbon terdiri dari proses karbonisasi dan proses aktivasi. Sebelum dari proses karbonisasi terdapat proses penghilangan kadar air pada bambu dengan cara pemasukan spesimen ke dalam oven atau dapur listrik dengan suhu 105°C selama 6 jam kemudian lanjut pada proses karbonisasi. Proses karbonisasi merupakan proses pembakaran tanpa titik temperatur tertentu dan tanpa batasan udara yang menghasilkan arang dengan kandungan elemen karbon yang tinggi. Tujuan dari proses karbonisasi adalah meningkatkan kandungan karbon dan menghasilkan porositas awal pada material, kemudian dilakukan proses aktivasi karena arang yang dihasilkan pada proses karbonisasi masih memiliki pori-pori yang sebagian besar tertutup oleh beberapa komponen seperti hidrokarbon, tar, debu, nitrogen, sulfur sehingga keaktifannya atau daya serapnya rendah [2].

2.2. Kapilaritas

Kapilaritas adalah kemampuan cairan mengalir pada ruang sempit tanpa adanya bantuan atau energi tambahan dan bertentangan dengan kekuatan eksternal seperti gravitasi.

Proses karbonisasi dan aktivasi karbon pada material bambu betung akan menghasilkan peningkatan struktur pori dan *surface morphology* material menjadi material yang berstruktur mikropori, yang diharapkan dapat meningkatkan daya kapiler (*capillary force*) material bambu betung dan dengan daya kapiler yang tinggi akan dihasilkan laju aliran fluida yang maksimum pada material pad.

2.3. Permeabilitas

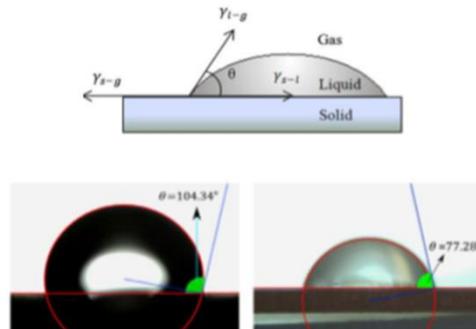
Permeabilitas didefinisikan sebagai kemampuan cairan untuk melewati pori-pori bahan berpori. Dengan kata lain, permeabilitas mencerminkan efektivitas interaksi antara cairan dan bahan berpori, dan bukan merupakan sifat cairan atau bahan berpori. Nilai dari permeabilitas dapat ditentukan dengan rumus berikut:

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

Dimana K adalah permeabilitas material, δ ialah porositas (%). d_p ialah diameter pori (μm), dan 122 merupakan nilai faktor geometrik arang aktif bambu [3].

2.4. Wettability

Sifat mampu basah (*wettability*) adalah kemampuan suatu fluida untuk membasahi permukaan zat padat, dan *wettability* sangat mempengaruhi kapilaritas dari suatu material. *Wettability* terbentuk karena pada saat terjadi kontak antara zat padat dan cair, cairan akan memindahkan lapisan gas pada zat padat sehingga membentuk permukaan cairan dan padat [4].



Gambar 1. Sudut kontak cairan dan zat padat (Xu et.al.,2013)

2.5. Laju Aliran Massa Fluida

Laju aliran massa fluida dalam hal ini adalah jumlah massa fluida yang dapat dipompakan secara kapiler kedalam material berpori per satuan waktu. Dimana kemampuan nilai laju aliran massa fluida berpengaruh terhadap kemampuan absorpsi air pada material pad yang akan berguna untuk menjamin ketersediaan air dalam material pad, guna berlangsungnya terjadinya proses evaporasi yang menghasilkan efek pendinginan udara.

Dimana \dot{m} ialah laju aliran massa fluida kapiler dalam material pad, yang besarnya dapat dituliskan sebagai

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

Dimana \dot{m} ialah laju aliran massa fluida (kg/s), K adalah Permeabilitas sumbu kapiler (m^2), r_{eff} adalah jari jari efektif pori (μm), A_w adalah Luas Penampang pad (m^2), l_{eff} adalah panjang efektif pipa kalor (m), σ adalah tegangan permukaan fluida (N/m), μ_l adalah viskositas fluida kerja pipa kalor ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$), $\cos\theta$ adalah sudut kontak *wettability*, $\sin\theta$

adalah sudut posisi pad, ρ^l adalah massa jenis fluida (Kg/m^3)

3. Metode Penelitian

3.1 Pembuatan Arang Karbon

Pada proses pembuatan arang karbon, peralatan yang di gunakan pada proses karbonisasi adalah reaktor karbonisasi serta nitrogen.



Gambar 2. Peralatan proses karbonisasi

Pada penelitian ini akan di lakukan tahap karbonisasi pada masing masing spesimen dengan variasi temperatur karbonisasi 400, 500, 600, 700, dan 800°C , yang menghasilkan spesimen KRB 400, KRB 500, KRB 600, KRB 700, dan KRB 800

3.2 Pengujian SEM

Setelah spesimen melalui proses karbonisasi dilanjutkan dengan tahap pengujian *scanning electron microscope* (SEM) yang merupakan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar struktur pori yang pengaruhnya sangat besar terhadap karakteristik porositas dan tegangan permukaan fluida pada arang karbon bambu betung.

Tahapan dalam pengujian *scanning electron microscope* (SEM) pada arang bambu betung, yaitu :

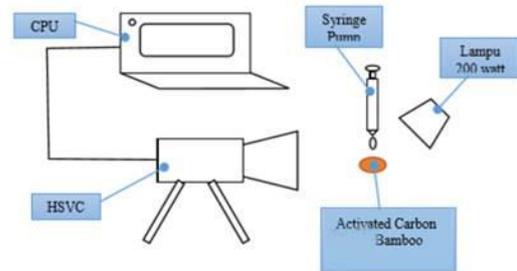
1. Spesimen arang bambu yang dihasilkan melalui karbonisasi di bentuk dengan ukuran 2mm x 2mm
2. Meletakkan 5 spesimen (KRB 400, 500, 600, 700 dan 800) tersebut ke dalam alat *scanning electron microscope* (SEM).
3. Dilakukan analisis gambar pada struktur pori pada masing-masing spesimen.

Dari struktur pori hasil uji SEM dan dibantu dengan aplikasi Image J, dapat ditentukan besarnya ukuran pori, distribusi pori dan porositas material.

3.3 Pengujian Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak ini dimaksudkan untuk menentukan sifat mampu basah (*wettability*) dari material bambu yang telah diaktivasi. Adapun tahapan pengujian *wettability* pada arang bambu betung dengan cara meletakkan spesimen tepat dibawah *syringe pump* kemudian

di injeksikan air berupa droplet tepat di permukaan pori dan kulit pada seluruh spesimen AKRB, pengujian dilakukan dengan mengambil video melalui kamera HSVC (*High Speed Video Camera*) kemudian di lakukan analisis dalam bentuk gambar dengan aplikasi image J.



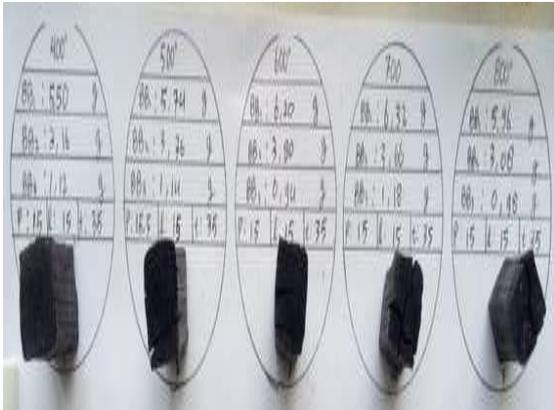
Gambar 3. Skema Pengujian Sudut Kontak

3.4 Pengujian Kapilaritas

Pengujian kapilaritas ini bertujuan untuk mengetahui nilai dari porositas. Adapun tahapan pengujian nya yaitu :

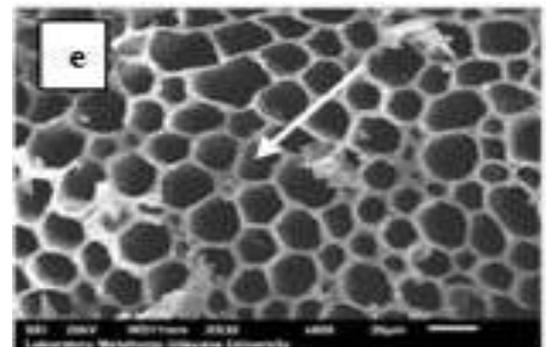
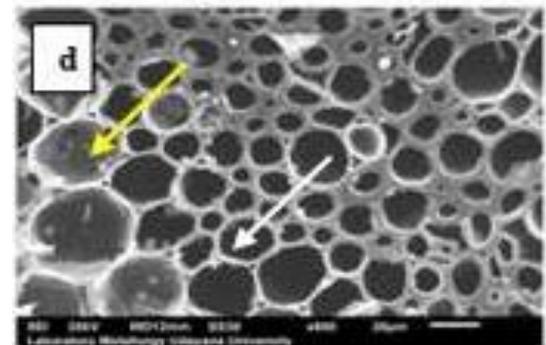
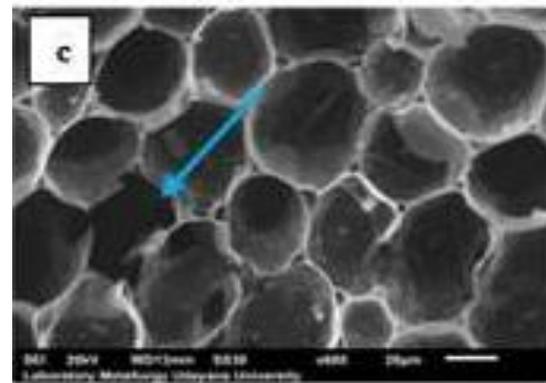
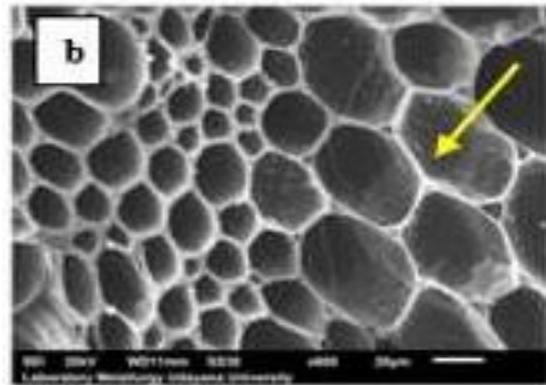
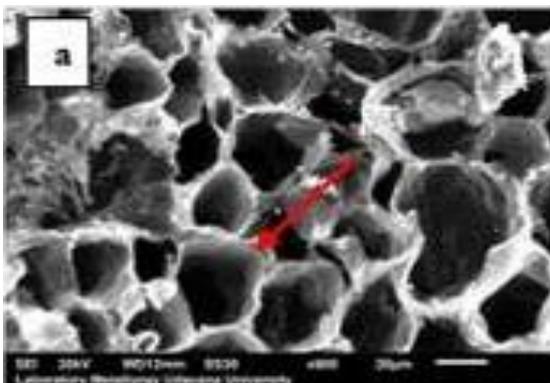
1. Siapkan spesimen KRB400, KRB500, KRB600, KRB700, dan KRB800. Timbang untuk mendapat nilai massa spesimen sebelum menyerap air.
2. Lakukan pengujian dengan menempelkan tisu dipermukaan atas spesimen yang akan diuji.
3. Mengisi gelas beker dengan air dan letakkan diatas timbangan.
4. Memegang spesimen dengan posisi bagian bawah spesimen menempel dengan permukaan air di gelas beker.
5. Bersamaan dengan langkah no.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 tegangan permukaan.

4. Hasil dan Pembahasan
 4.1 Struktur dan Distribusi Pori



Gambar 4. Spesimen arang aktif bambu betung, KRB 400, 500, 600, 700 dan 800

Gambar 4 merupakan gambar hasil bambu betung setelah melalui proses karbonisasi dengan variasi temperatur 400, 500, 600, 700, 800 °C dan diaktivasi dengan suhu temperatur 600°C tanpa holding time. Kemudian spesimen dilanjutkan dengan pengujian *scanning electron microscope* (SEM) menentukan dan mengambil gambar struktur pori pada masing-masing spesimen dengan resolusi 20 µm. Dimana gambar struktur pori tersebut akan dianalisis menggunakan aplikasi Image J. Sementara itu, data output yang ditentukan dari hasil analisis menggunakan aplikasi Image J adalah distribusi jari-jari pori, yang kemudian dirata-ratakan sehingga menghasilkan data jari-jari pori material karbon aktif bambu betung, seperti yang terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Gambar Struktur Pori dari spesimen (a) KRB 400, (b) KRB 500, (c) KRB 600, (d) KRB 700, dan (e) KRB 800

Berikut data yang ditampilkan Pada Tabel 1 berdasarkan hasil analisis uji *scanning electron microscope* (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 *scanning electron microscope* (SEM) yang dirata-ratakan menjadi jari jari pori.

Tabel 1. Ukuran rata-rata pori material karbon bamboo betung

Material	Σ Pori terbentuk	Σ Ukuran pori (µm)	Jari-Jari Pori(µm)
KRB400	54	205.6106	3.03
KRB500	92	323.8609	3.17
KRB600	48	204.5873	2.58
KRB700	139	348.2671	2.91
KRB800	134	395.7140	1.91

4.2 Sudut Kontak

Pengukuran sudut kontak yang di gunakan pada penelitian ini, berdasarkan pada pengukuran yang telah dilakukan Xu (Xu et al., 2013). Pengukuran dengan cara menambahkan garis bantu antara permukaan pori bambu betung dan menambahkan garis bantu yang menyinggung busur lingkaran pada droplet sehingga kedua garis bantu membentuk sudut. – dengan aplikasi image J. Semakin kecil sudut kontak yang terbentuk antara fluida dan material padat, maka material tersebut akan memiliki *wettability* yang makin besar [5]

Tabel 2. Data sudut kontak dan jari pori efektif

Material	Sudut kontak (°)	Jari-jari Pori Efektif (µm)
KRB 400	27.7	4.22
KRB 500	19.3	3.73
KRB 600	21.8	4.63
KRB 700	32.7	2.98
KRB 800	30.5	3.42

4.3 Karakteristik Porositas

Porositas ialah perbandingan antara volume pori yang terbentuk pada material dan volume total material. Pada penelitian ini, perhitungan nilai porositas berdasarkan pada perhitungan yang telah dilakukan Midiani (Midiani et al., 2019) dan Solomon (Solomon et al., 2020), 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 mm³/gr. Berikut tabel data porositas yang didapat melalui pengujian kapilaritas.

Material	Mi (gr)	Mf (gr)	Mair (gr)
KRB400	3.48	6.44	2.96
KRB500	3.14	6.51	3.37
KRB600	3.06	6.07	3.01
KRB700	2.26	4.73	2.46
KRB800	2.96	5.20	2.24
<i>Vair/Vpori</i> (cm ³)	<i>Vmat</i> (cm ³)		Porositas (%)
2.9688	17.06		17.5
3.3755	19.47		17.3
3.0144	16.92		17.8
2.4737	15.01		16.5
2.2433	12.35		18.2

Tabel 3. Data porositas material karbon bambu betung

4.4 Karakteristik Permeabilitas

Permeabilitas adalah ukuran makroskopik kemudahan melewati rongga berpori suatu material. Dengan kata lain, permeabilitas mencerminkan efektivitas interaksi antara cairan dan bahan berpori, dan bukan merupakan sifat cairan atau bahan berpori. [6]. Berikut merupakan tabel data dari permeabilitas

Tabel 4. Permeabilitas Material Karbon Bambu Betung

Material	Jari-jari pori (µm)	Porositas (%)	Permeabilitas (m ²) 10 ⁻¹⁵
KRB 400	3.74	17.5	4.40
KRB 500	3.52	17.3	3.72
KRB 600	4.30	17.8	6.16
KRB 700	2.51	16.5	1.59
KRB 800	2.95	18.2	3.14

4.5 Laju Aliran Massa Fluida

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 [7].

Dalam menentukan besarnya laju aliran massa fluida pada material arang bambu betung terdapat beberapa pengujian seperti yang telah dilakukan sebelumnya yaitu *wettability* untuk mendapatkan nilai sudut kontak, uji permeabilitas, uji *scanning electron microscope* (SEM) untuk mendapatkan struktur pori, dan uji kapilaritas untuk mendapatkan tegangan

Material	Permeabilitas ($m^2 \cdot 10^{-15}$)	Laju Aliran Massa ($kg/s \cdot 10^{-8}$)
KRB 400	4.40	8.85
KRB 500	3.72	10.3
KRB 600	6.16	12.8
KRB 700	1.59	3.68
KRB 800	3.14	5.57

permukaan.

Tabel 5 . Laju Aliran Massa Fluida Materialn Karbon Bambu Betung

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa material KRB 600 memiliki laju aliran massa tertinggi dengan nilai 12.8×10^{-8} . Hal ini disebabkan oleh ukuran pori yang cukup besar dan porositas yang cukup tinggi pada material KRB 600 akan menghasilkan permeabilitas yang cukup besar dan dengan sudut kontak yang cukup besar dan dengan sudut kontak yang paling kecil material akan bersifat lebih *hidrofilik* (lebih mampu basah) dibandingkan dengan yang lainnya. Sementara KRB 700 memiliki laju aliran massa fluida terendah dengan nilai 3.68×10^{-8} dikarenakan memiliki nilai permeabilitas terendah serta nilai sudut kontak yang cukup besar sehingga kemampuan basahnya rendah. Dengan demikian, semakin tinggi permeabilitas dan sifat mampu basah (*wettability*) material, maka nilai laju aliran massa fluida yang dihasilkan semakin pula besar. Berikut merupakan gambar grafik hubungan permeabilitas dan laju aliran massa fluida.



Gambar 6. Grafik hubungan permeabilitas dan laju aliran massa fluida antara KRB 400, 500, 600, 700, dan 800°C

5. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil penelitian diatas, dapat dikemukakan kesimpulan, material bambu betung yang dikarbonisasi pada temperature 600°C (KRB 600) menghasilkan laju aliran massa fluida tertinggi yakni sebesar 12.8×10^{-8} kg/s, dan laju aliran massa terendah sebesar 3.68×10^{-8} kg/s dihasilkan oleh material bambu betung yang dikarbonisasi pada temperature 700°C (KRB 700). Ukuran pori material karbon bambu betung yang lebih besar cenderung akan menghasilkan permeabilitas material yang lebih tinggi dan permeabilitas material yang lebih tinggi akan cenderung menghasilkan laju aliran massa fluida yang lebih besar.

Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] Lempang, M. 2014. **Pembuatan Dan Kegunaan Arang Aktif**. Info Teknis EBONI 2 (11):65-80. Makassar: Balai Penelitian Kehutanan Makassar.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [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*, 258, 6416-6424..
- [6] 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**.
- [7] Ramkumar, Ramakrishnan. 2017. **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF INDIRECT EVAPORATIVE COOLER USING CLAY PIPE**. *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 3, No. 2 pp. 1163-1180.



Alvin Dio Hutagalung menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2014 sampai 2022. Ia menyelesaikan studi sarjana dengan topik penelitian: Laju Aliran Massa Fluida Pada Material Karbon Bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi 400, 500, 600, 700, dan 800°C.

Bidang penelitian yang diminati adalah materi-materi yang berhubungan dengan perpindahan panas, mekanika fluida, dan pendinginan evaporative air cooler.