



Studi Eksperimental Karakteristik *Capillary Pumping Head* Pada Variasi Temperatur Karbonisasi Karbon Aktif Bambu Betung

Ignasius Deo Sitompul¹, Made Sucipta², Hendra Wijaksana^{2*}

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali.

² Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali.

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima:

5 Desember 2019

Diterima dalam bentuk revisi:

6 Januari 2020

Disetujui:

18 Januari 2020

ISSN:2086-1354

Kata Kunci :

**Capillary pumping,
Karbonisasi,
Bambu**

ABSTRAK

STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK *CAPILLARY PUMPING HEAD* PADA VARIASI TEMPERATUR KARBONISASI KARBON AKTIF BAMBUN BETUNG. Dalam usaha mendapatkan tingkat kenyamanan, digunakan sistem air conditioning (AC) yang berbasis kompresor yang memerlukan jumlah energi listrik yang besar dan dapat meningkatkan pemanasan global. Maka dari itu, diperlukan sistem pendingin yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. Salah satu sistem pendingin alternatif tersebut adalah 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 bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur aktivasi terhadap karakteristik capillary pumping head pada arang aktif bambu betung yang suhunya di variasikan 400° C (ACRB 400), 500° C (ACRB 500), 600° C (ACRB 600), 700° C (ACRB 700), dan 800° C (ACRB 800). Pengujian ini meliputi beberapa pengujian seperti uji proximat, uji SEM, uji sudut kontak, dan uji kapilaritas. Hasil dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa spesimen ACRB 500 memiliki potensi yang besar untuk dijadikan material pad pada sistem direct evaporative cooling. Dengan karakteristik jari-jari pori 3,026 µm, porositas 21,57%, dan capillary pumping head tertinggi, yaitu 2,69 x 10–2 mm.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY OF *CAPILLARY PUMPING HEAD* CHARACTERISTICS OF ACTIVATED CARBON BETUNG BAMBOO CARBONIZATION TEMPERATURE VARIATION AS MATERIAL PAD IN DIRECT EVAPORATIVE COOLING SYSTEM. In an effort to get a level of comfort, a compressor-based air conditioning (AC) system is used that requires a large amount of electrical energy and can increase global warming. Therefore, a more energy efficient and environmentally friendly cooling system is needed. One such alternative cooling system is direct evaporative cooling system. In direct evaporative cooling system, cooling effect is given by evaporation process that occurs in pad material that has been moistened by water. The pad material itself is used for evaporative cooling system application, as cooling media. This study aims to analyze the effect of temperature variation on capillary pumping head characteristics in activated betung bamboo charcoal whose temperature is varied at 400° C (ACRB 400), 500° C (ACRB 500), 600° C (ACRB 600), 700° C (ACRB 700), and 800° C (ACRB 800). This test includes several tests such as the Proximate test, SEM test, contact angle test, and capillary test. The results of the tests show that the ACRB 500 specimen has a huge potential to be used as a pad material for direct evaporative cooling systems. With the characteristics of the pore radius of 3,026 µm, porosity of 21,57 %, and the highest capillary pumping head, namely 2,69 x 10–2 mm.

Keyword: Capillary pumping, Carbonization, Bamboo

© 2021 IPTEKMA.

1. PENDAHULUAN

Kondisi udara di negara Indonesia yang berkisar 30-35°C dengan tingkat kelembaban relative udara rata-rata 70-80%, sedangkan tingkat kenyamanan udara yang distandarkan untuk negara-negara tropis yakni 22-25°C dan tingkat kelembaban relative 40-60% [1]. Dengan demikian

di Indonesia, dibutuhkan energi listrik untuk sistem pendingin *air conditioning* (AC) yang berbasis kompresor. Sistem pendingin kompresi uap ini memerlukan input energi listrik yang cukup besar dan dampak yang ditimbulkan tidak baik untuk lingkungan. Upaya yang dilakukan untuk

*Penulis korespondensi.: Hendra Wijaksana
E-mail: hendrawijaksana@unud.ac.id

mengurangi dampak yang diakibatkan oleh penggunaan sistem AC, diperlukan sistem pendingin yang hemat energi dan ramah lingkungan yaitu sistem pendingin *evaporative*. maka dilakukan pengujian karakteristik *capillary pumping head* pada *material pad* (karbon aktif bambu betung) sistem *direct evaporative cooling*, dimana proses penguapan lapisan air yang terdapat pada permukaan *material pad* akan memberikan efek pendinginan bagi udara yang melewati pad tersebut (udara suplai) menjadi lebih dingin dan basah.

Adapun permasalahan yang akan dikaji yaitu bagaimana karakteristik *capillary pumping head* pada variasi temperature karbonisasi karbon aktif bambu betung. Batasan-batasan pada penelitian ini meliputi :

1. Material yang digunakan adalah bambu betung lokal Bali.
2. Proses karbonisasi dan aktivasi dilakukan pada temperature lingkungan (*outdoor*)
3. Reaktor karbonisasi dalam lingkungan bebas oksigen (*inert atmosphere*)

2. DASAR TEORI

2.1. Pembuatan Karbon Aktif

Proses pembuatan karbon aktif terdiri dari proses karbonisasi lalu dilanjutkan dengan proses aktivasi. Sebelum dilakukannya proses karbonisasi, spesimen akan didehidrasi untuk menghilangkan kadar air dengan di panaskan didalam oven dengan suhu 105°C. Lalu dilanjutkan dengan proses karbonisasi yang adalah proses pirolisis material organik dalam kondisi bebas oksigen (*inert atmosphere*) yang menghasilkan residu solid yang memiliki kandungan elemen 8 karbon yang tinggi. Selanjutnya proses aktivasi yang diharapkan

dapat mengembangkan dan memperbesar volume pori yang telah terbentuk pada saat proses karbonisasi.

2.2. Karakteristik *Capillary Pumping Head*

Capillary pumping head adalah sebuah parameter daya kapiler pada material berpori yang menghasilkan perubahan ketinggian permukaan air yang dapat dicapai dalam satu satuan waktu [2]. Besarnya nilai *capillary pumping head* pada material berpori dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut [3] :

$$H = \sqrt{\frac{4\sigma \cdot K}{\varepsilon \mu \text{Reff}}} t \quad (1)$$

dimana ; H adalah nilai *capillary pumping head* (mm), σ adalah tegangan permukaan (kg/m²), ε adalah porositas, μ adalah viskositas (kg/m.s), K adalah permeabilitas (m²), Reff adalah jari-jari efektif, dan t adalah waktu (s).

2.3. Karakteristik Pori

2.3.1. Porositas (ε)

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 berikut sesuai dengan perhitungan [4] :

$$\varepsilon = \frac{V_{pw}}{V_w} \quad (2)$$

$$V_{pw} = M_a \times V_s \quad (3)$$

dimana : ε adalah porositas, V_{pw} adalah volume pori yang terbentuk (m³/kg), M_a adalah massa air yang tertahan (kg), V_s adalah volume jenis air 1,003 x 10⁻³ (m³/kg), dan V_w adalah volume total material berpori (m³/kg).

2.3.2. Permeabilitas (K)

Permeabilitas merupakan makroskopik ukuran kemudahan mengalirnya cairan melalui rongga material berpori. Permeabilitas menunjukkan efektivitas interaksi antara cairan dan material berpori [5]. Besarnya nilai permeabilitas dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$K = \frac{d^2 \varepsilon^2}{C(1-\varepsilon)^2} \quad (4)$$

dimana : K adalah permeabilitas (m), d adalah diameter pori (m), C adalah nilai factor genetik arang bambu yaitu 122 [6], dan ε adalah porositas.

2.3.3. Sudut Kontak (θ)

Sudut kontak merupakan sudut yang terbentuk antara permukaan datar material berpori dengan droplet cairan (air) yang ditetaskan. 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 [7].

2.3.4. Tegangan Permukaan (σ)

Tegangan permukaan adalah gaya atau tarikan ke bawah yang menyebabkan permukaan cairan berkontraksi dengan benda dalam keadaan tegang. Besarnya nilai tegangan permukaan dapat diketahui melalui persamaan :

$$\sigma = h \times g \times \rho \times R_{eff} \quad (5)$$

$$R_{eff} = \frac{r}{\cos\theta} \quad (6)$$

dimana : σ adalah tegangan permukaan fluida (kg/m^2), h adalah tinggi permukaan air (m), ρ adalah massa jenis air, R_{eff} adalah jari-jari efektif (m) , r adalah jari-jari pori (m), dan $\cos\theta$ adalah nilai cosinus dari sudut kontak.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pembuatan Karbon Aktif

Peralatan yang akan digunakan untuk melakukan proses karbonisasi dan aktivasi pada bambu betung adalah reaktor karbonisasi dan gas nitrogen. Dalam penelitian ini akan dilakukan proses karbonisasi terlebih dahulu ke masing-masing variasi spesimen. Adapun variasi suhu karbonisasi yang akan dibuat yaitu suhu 400° C, 500° C, 600° C, 700° C, dan 800° C. Adapun tahapan pengujian karbonisasi yang akan dilakukan pada bambu betung meliputi:

1. Proses karbonisasi 400° C :

- a) Sampel variasi uji pertama dimasukkan ke dalam reaktor karbonisasi untuk proses karbonisasi 400° C. Sampel bambu yang sudah dipotong dengan ukuran Panjang 2,5 cm, lebar 1,7 cm, dan tinggi 3,1 cm dimasukkan kedalam cawan keramik lalu ditutup. Lalu cawan keramik dimasukkan kedalam reaktor.
- b) Reaktor karbonisasi dialiri nitrogen dengan laju aliran 1 liter/menit selama 12 detik untuk mendapatkan kondisi bebas oksigen (inert atmosfer), kemudian temperatur reaktor karbonisasi ditingkatkan dengan laju pemanasan 500° C/jam dan diatur hingga mencapai 400° C.
- c) Kemudian sampel didinginkan dalam furnace yang sama dengan reaktor selama 12 jam dan akan dihasilkan sampel arang bambu betung yang sudah di karbonisasi dengan suhu 400° C dan diberi label *carbonized bamboo betung* 400 (CRB400).

2. Proses karbonisasi selanjutnya dilakukan dengan pengulangan langkah 1a –1c dengan suhu 500° C, 600° C, 700° C, dan 800° C dan akan dihasilkan sampel arang bambu betung CRB500, CRB600, CRB700, dan CRB800.

Lalu dilanjutkan dengan proses aktivasi spesimen yang sudah dikarbonisasi yaitu dengan tahapan sebagai berikut :

- a) Masing-masing 1 dari sampel CRB400, CRB500, CRB600, CRB700, dan CRB800 dimasukkan kedalam reaktor.
- b) Reaktor dialiri nitrogen dengan laju aliran 1 Liter/menit selama 12 detik dan diset suhunya 600° C dengan laju pemanasan 500° C/jam.
- c) Reaktor dipanaskan dengan suhu awal 27° C (suhu ruangan), ketika suhu sudah mencapai 600° C, reaktor dimatikan dan didinginkan selama 12 jam sebelum spesimen dikeluarkan.

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 Electron 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 A CRB400, A CRB500, A CRB600, A CRB700, dan A CRB800 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 bambu A CRB400, A CRB500, A CRB600, A CRB700, dan A CRB800.
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 dan di set dengan resolusi 960 fps.
4. Pindahkan video ke computer dan convert video menjadi foto dengan aplikasi freestudio.
5. Pilih 1 frame yang sudah ditetapkan untuk dianalisis sudut kontak dengan menggunakan aplikasi image J.
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 A CRB400, A CRB500, A CRB600, A CRB700, dan A

- CRB800. 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 langkah no.4 hidupkan *stopwatch*.
 6. Ketika seluruh bagian tisu sudah basah, matikkan 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.
 8. Ulangi langkah 1-7 dengan menggunakan spesimen lainnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Aktivasi

Gambar 1 menunjukkan hasil aktivasi bambu betung. Bambu betung hasil proses aktivasi memiliki struktur pori yang lebih terbuka dari pada bambu betung yang dikarbonisasi karena dalam prosesnya, setelah dilakukan karbonisasi, bambu betung diaktivasi lagi dengan suhu 600°C , sehingga terjadi penguraian material yang memiliki struktur karbon yang kompleks melalui pemanasan yang akan menghasilkan elemen karbon. Maka dari itu diharapkan pada proses pengujian selanjutnya bambu betung yang sudah diaktivasi pada temperatur 600°C dapat menunjukkan hasil yang maksimal.



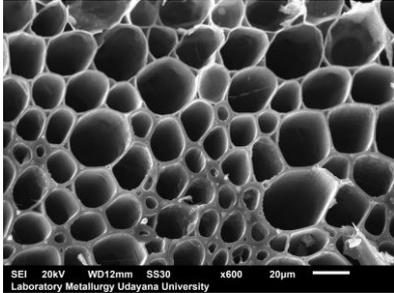
Gambar 1. Karbon aktif bambu

Ukuran pori yang dihasilkan akan tergantung dari temperatur karbonisasi dan aktivasi karbon yang diberikan, semakin tinggi temperatur karbonisasi, semakin besar ukuran pori yang dihasilkan [8]. Dalam hal ini, diharapkan struktur pori yang dihasilkan dalam pengujian karbonisasi mempunyai jari-jari pori yang relatif kecil dengan jumlah pori yang banyak, agar spesimen bambu betung yang telah dikarbonisasi mempunyai nilai porositas yang tinggi dan tekanan kapiler (*capillarity force*) yang tinggi.

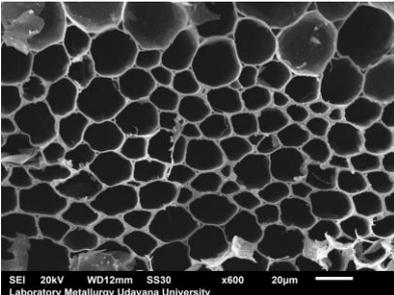
4.2. Hasil Uji SEM

Dapat dilihat pada Gambar 2, menunjukkan struktur pori pada spesimen ACRB400, ACRB500, ACRB600, ACRB700, dan ACRB800. Berdasarkan gambar tersebut, arang yang dihasilkan dari proses karbonisasi dan di aktivasi dengan suhu 600°C memiliki pori-pori yang belum terbuka sempurna dan tertutup oleh komponen-komponen hasil residu proses karbonisasi. Lalu, hasil gambar dari pengujian SEM di analisis dengan menggunakan aplikasi Image J pada masing-masing spesimen dengan

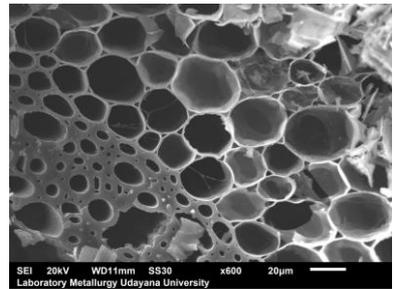
resolusi 20 μm agar mempermudah analisis. Hasil dari analisis Image J yaitu total, fraksi, dan distribusi pori. Sehingga harus dilakukan pengolahan data lagi dengan menggunakan aplikasi Microsoft Excel.



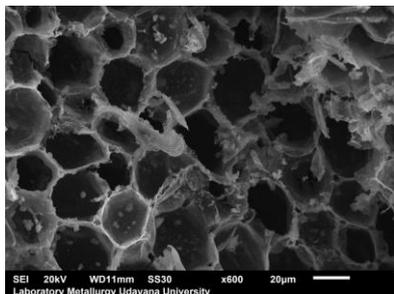
(a)



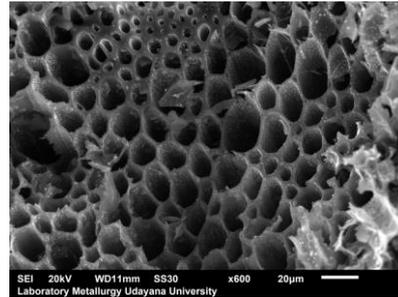
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 2. Morfologi Struktur Mikro dari proses aktivasi spesimen (a) ACRB 400, (b) ACRB 500, (c) ACRB 600, (d) ACRB 700, dan (e) ACRB 800.

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. Tabel Data Struktur Pori

Nama Spesimen	Jari-jari Pori (μm)	Jari-jari Pori (m)	Diameter Pori (m)
ACRB 400	3,026	$3,026 \times 10^{-6}$	$6,05 \times 10^{-6}$
ACRB 500	3,173	$3,173 \times 10^{-6}$	$6,34 \times 10^{-6}$
ACRB 600	2,581	$2,581 \times 10^{-6}$	$5,16 \times 10^{-6}$
ACRB 700	2,91	$2,91 \times 10^{-6}$	$5,82 \times 10^{-6}$
ACRB 800	1,909	$1,909 \times 10^{-6}$	$3,81 \times 10^{-6}$

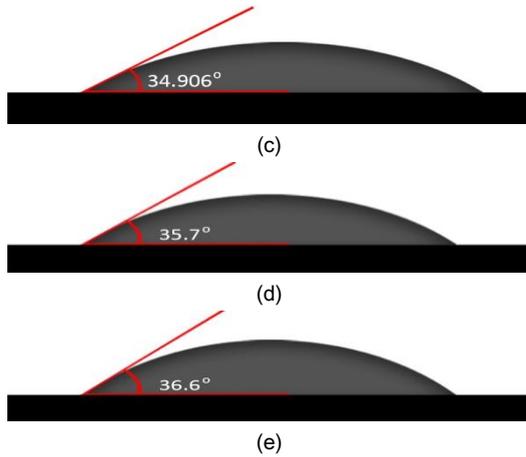
4.3. Hasil Uji Sudut Kontak



(a)



(b)



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

Pada Gambar 3 menunjukkan hasil sudut kontak dari setiap spesimen arang aktif bambu. Sudut kontak diambil dari hasil droplet yang diteteskan pada permukaan yang rata bagian pori spesimen. Berdasarkan gambar tersebut spesimen ACRB 500 adalah spesimen yang sudut kontaknya terkecil, yaitu 17,974° dan spesimen ACRB 800 adalah spesimen yang nilai sudut kontak nya terbesar, yaitu 36,6°. Hal ini terjadi karena apabila semakin tinggi jari-jari pori, maka akan semakin kecil nilai sudut kontak dari material tersebut. Sifat material dari kelima variasi spesimen arang aktif bambu ini adalah hidrofilik karena sudut kontak dari tiap spesimennya lebih kecil dari 90°. Tabel 2 menunjukkan nilai cos sudut kontak dari setiap spesimen yang diuji.

Tabel 2. Tabel Data Nilai Sudut Kontak

Nama Spesimen	Sudut Kontak (°)	cosθ
ACRB 400	27,347°	0,8882
ACRB 500	17,974°	0,9511
ACRB 600	34,096°	0,828
ACRB 700	35,7°	0,812
ACRB 800	36,606°	0,7814

4.4. Karakteristik Porositas

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 $1,003 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$.

Tabel 3. Data Nilai Porositas

Volume pori $\times 10^{-8} \text{ (m}^3\text{)}$	Volume Material $\times 10^{-5} \text{ (m}^3\text{)}$	Porositas (%)
2,43	1,37	17,64
3,36	1,55	21,57
3,47	1,42	24,40
3,24	1,34	24,18
3,19	1,44	22,07

Nama Spesimen	Massa Awal $\times 10^{-8} \text{ (kg)}$	Massa Akhir $\times 10^{-8} \text{ (kg)}$	Massa Air Tertahan $\times 10^{-8} \text{ (kg)}$
ACRB 400	2,46	4,88	2,42
ACRB 500	2,1	5,45	3,35
ACRB 600	2,38	5,84	3,46
ACRB 700	2,16	5,39	3,23
ACRB 800	2,16	5,34	3,18

Tabel 3, menunjukkan hasil pengolahan data karakteristik porositas pada bambu betung yang dihitung berdasarkan persamaan (2). Berdasarkan tabel tersebut, spesimen ACRB 400 memiliki nilai porositas terendah, yaitu 17,64% dan spesimen ACRB 600 memiliki nilai porositas tertinggi, yaitu 24,40%. Hal ini dikarenakan, nilai porositas sangat dipengaruhi oleh volume pori dan volume total material.

4.5. Karakteristik Permeabilitas

Tabel 4 menunjukkan hasil permeabilitas bambu betung dari pengolahan data yang telah dilakukan berdasarkan persamaan (4). Berdasarkan tabel tersebut, spesimen ACRB 400 memiliki nilai permeabilitas terendah, yaitu $1,37 \times 10^{-14} \text{ m}^2$ dan spesimen ACRB 800 memiliki nilai permeabilitas tertinggi, yaitu $9,58 \times 10^{-14} \text{ m}^2$.

Tabel 4. Data Nilai Permeabilitas

Nama Spesimen	Porositas	Faktor Geometri Bambu	Diameter Pori $\times 10^{-8} \text{ (m)}$	Permeabilitas $\times 10^{-14} \text{ (m}^2\text{)}$
ACRB 400	0,176	122	6,05	1,37
ACRB 500	0,215	122	6,34	2,49
ACRB 600	0,244	122	5,16	2,27
ACRB 700	0,241	122	5,82	2,82
ACRB 800	0,220	122	3,81	9,58

Hal ini dikarenakan nilai permeabilitas dipengaruhi oleh nilai porositas dan diameter pori dari spesimen arang bambu betung. Spesimen yang memiliki diameter pori dan porositas yang besar akan menghasilkan permeabilitas yang lebih besar.

4.6. Karakteristik Kapilaritas

Tabel 5, menunjukkan hasil pengolahan data karakteristik tegangan permukaan fluida pada bambu betung yang dihitung berdasarkan persamaan (5). Ditampilkan data ketinggian permukaan air (m), sudut kontak (θ), jari-jari efektif material (m), dan tegangan permukaan fluida (N/m) pada tabel 4.7. Dimana massa jenis air adalah 997 kg/m^3 , massa jenis udara adalah 1.225 kg/m^3 , dan gaya gravitasi (9.8 m/s^2). Berdasarkan tabel tersebut, spesimen ACRB800

memiliki nilai tegangan permukaan fluida terendah, yaitu $3,68 \times 10^{-4} \text{ N/m}$ dan spesimen ACRB500 memiliki nilai tegangan permukaan fluida tertinggi, yaitu $5,22 \times 10^{-4} \text{ N/m}$.

Tabel 5. Data Nilai Tegangan Permukaan

Nama Spesimen	Tinggi permukaan air $\times 10^{-2} \text{ (m)}$	Sudut Kontak ($^\circ$)	Jari-jari efektif $\times 10^{-6} \text{ (m)}$	Tegangan Permukaan (N/m)
ACRB 400	2,79	27,347	3,4	$4,66 \times 10^{-4}$
ACRB 500	3,195	17,974	3,33	$5,22 \times 10^{-4}$
ACRB 600	2,85	34,096	3,11	$4,35 \times 10^{-4}$
ACRB 700	2,92	35,7	3,58	$5,13 \times 10^{-4}$
ACRB 800	3,075	36,606	2,44	$3,68 \times 10^{-4}$

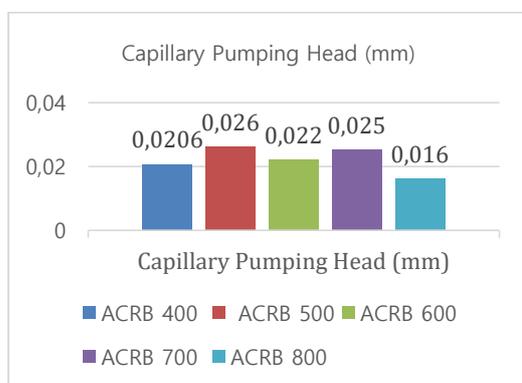
Hal ini dikarenakan, nilai tegangan permukaan fluida dipengaruhi oleh ketinggian permukaan air, sudut kontak dan jari-jari efektif material. Semakin tinggi nilai ketinggian permukaan air dan jari-jari efektif material, maka semakin tinggi nilai tegangan permukaan fluida. Semakin tinggi nilai tegangan permukaan fluida maka nilai tekanan kapiler pada bambu betung akan semakin tinggi juga.

Tabel 6 menunjukkan hasil pengolahan data *capillary pumping head* pada spesimen arang aktif bambu sesuai dengan persamaan (1). *Capillary pumping head* adalah tinggi kenaikan fluida dalam material yang berpori, yang disebabkan oleh gaya angkat (*net upward force*) yang dihasilkan oleh gaya Tarik menarik antara molekul-molekul air terhadap permukaan solid. Pada penelitian ini, cara pengukuran *capillary pumping head* dilakukan menurut perhitungan oleh (Byon,C et.al. 2012). Dimana nilai viskositas air yaitu $0,1 \text{ (kg/ms)}$.

Tabel 6. Data Nilai *Capillary Pumping Head*

Nama Spesimen	Porositas	Permeabilitas $\times 10^{-14} (m^2)$	Capillary Pumping Head (mm)
ACRB 400	0,1764	1,37	2,06 $\times 10^{-2}$
ACRB 500	0,2157	2,49	2,69 $\times 10^{-2}$
ACRB 600	0,244	2,27	2,28 $\times 10^{-2}$
ACRB 700	0,2418	2,82	2,58 $\times 10^{-2}$
ACRB 800	0,2207	9,58	1,61 $\times 10^{-2}$

Gambar 4 menunjukkan hasil perhitungan *capillary pumping head* berupa grafik antara spesimen arang aktif ACRB 400, ACRB 500, ACRB 600, ACRB 700, dan ACRB 800 dengan nilai *capillary pumping head*. Berdasarkan grafik tersebut, ditunjukkan bahwa spesimen ACRB 500 memiliki nilai *capillary pumping head* tertinggi yaitu $2,69 \times 10^{-2}$ mm dan spesimen ACRB 800 memiliki nilai *capillary pumping head* terendah yaitu $1,61 \times 10^{-2}$ mm. Hal ini dikarenakan nilai *capillary pumping head* dipengaruhi oleh nilai tegangan permukaan, permeabilitas, porositas, viskositas, dan jari-jari efektif material. Semakin tinggi nilai tegangan permukaan dan permeabilitas maka semakin tinggi nilai *capillary pumping head* dan berlaku sebaliknya untuk nilai porositas dan jari-jari efektif pori terhadap *capillary pumping head*.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai *Capillary Pumping Head* Dengan Variasi Temperatur Karbon Aktif.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, pengaruh peningkatan temperatur karbonisasi terhadap karakteristik *capillary pumping head* pada arang aktif bambu betung, dapat disimpulkan bahwa Spesimen arang aktif bambu ACRB 500 memiliki nilai *capillary pumping head* yang tertinggi, yaitu $2,69 \times 10^{-2}$ mm jika dibandingkan dengan spesimen lain yang diuji. Maka dapat disimpulkan bahwa spesimen arang aktif bambu ACRB 500 yang dikarbonisasi di suhu 500°C dan diaktivasi di suhu 600°C memiliki potensi yang besar untuk dijadikan material *pad* pada system *direct evaporative cooling* karna memiliki nilai *capillary pumping head* yang paling tinggi diantara 5 variasi temperatur arang aktif yang diuji.

SARAN/REKOMENDASI

Adapun saran yang dapat dipertimbangkan pada penelitian ini, antara lain : Pengembangan penelitian ini dapat dilakukan dengan melakukan variasi suhu lain pada proses karbonisasi nya seperti pada suhu 900°C - 1200°C . Juga perlu dilakukan variasi *holding time* pada proses aktivasi seperti 30 – 60 menit. Penyempurnaan metode dalam pengembangan penelitian ini diperlukan, seperti penggunaan kamera thermal pada saat pengujian kapilaritas untuk mendapatkan hasil yang lebih spesifik. Pada penelitian ini juga diperlukan penggunaan alat pelindung diri (APD) seperti sarung tangan tahan panas, masker, dan kaca mata pelindung terutama pada proses karbonisasi dan aktivasi.

DAFTAR ACUAN

- [1]. ASHRAE. 1989. ANSI/ASHRAE Standart 62. *Ventilation For Acceptable Indoor Air Quality*.
- [2]. Byon, C & Sung, J.K. 2012. *Capillary Performance Of Bi-porous Sintered Metal Wicks*, pp. 305-701.
- [3]. Qu, Y., Zhou, K., Zhang, K.F., Tian, Y. 2016. *Effects Of Multiple Sintering Parameters On*

- The Thermal Performance Of Bi-porous Nickel Wicks In Loop Heat Pipes. *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, Vol 99, pp. 638-646.
- [4]. 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.
- [5]. 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.
- [6]. 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.
- [7]. Shirazy, M, R, S., Blais, S., Frechette.2012. Mechanism of wettability transition in copper metal foams : from superhydrophilic to hydrophobic. *Applied Surface Science*. Volume 258, Issue 17, pp. 6416-6464.
- [8]. 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.