

# Studi Eksperimental *Capillary Rise* Material Karbon Aktif Bambu Betung dengan Variasi Temperatur Karbonisasi Sebagai Material *PAD* Sistim *Direct Evaporative Cooling*

Ketut Arpin Ramadana, Hendra Wijaksana dan A.A.I.A.S. Komaladewi  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Penggunaan teknologi pendingin ruangan berbasis kompresor yang lebih dikenal sebagai air conditioner (AC) yang sangat luas, telah memicu peningkatan penggunaan energi listrik secara keseluruhan, juga dibarengi dengan peningkatan dampak lingkungan yang ditimbulkannya sebagai akibat penggunaan refrigeran yang tidak ramah lingkungan. Sebagai pendingin alternatif, para peneliti mengembangkan sistim evaporative cooling yang berbasis kontak udara dengan air sebagai media pendingin. Penelitian ini menggunakan bambu betung yang dikarbonisasi dan diaktivasi sebagai material *Pad* sistem DEC. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan capillary rise material *Pad* bambu betung yang dikarbonisasi pada variasi temperatur 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C kemudian diaktivasi pada temperatur 600°C dengan holding time 60 menit. Berdasarkan hasil penelitian capillary rise material karbon aktif bambu betung BBKA 860 memiliki capillary rise height tertinggi yakni 5,98 m dengan ukuran jari-jari pori 2,43  $\mu\text{m}$  (terkecil). Sedangkan capillary rise height terendah dicapai oleh material karbon aktif bambu betung BBKA 460 sebesar 2,52 m dimana material ini memiliki ukuran jari-jari pori terbesar yakni 5,76  $\mu\text{m}$

Kata kunci: *Direct evaporative cooling*, *Material Pad*, *Bambu Betung*, *Capillary rise*

## Abstract

The use of compressor-based air conditioning technology, better known as air conditioner (AC), has triggered an increase in the overall use of electrical energy, also accompanied by an increase in the environmental impact it causes as a result of the use of refrigerants that are not environmentally friendly. As an alternative cooling, the researchers developed an evaporative cooling system based on air contact with water as a cooling medium. This study used carbonized and activated bamboo betung as a material for the DEC system. The research was conducted to obtain carbonized capillary rise material for bamboo betung at various temperatures of 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C then activated at 600°C with a holding time of 60 minutes. Based on the results of the capillary rise research, the active carbon material of bamboo betung BBKA 860 has the highest capillary rise height of 5.98 m with a pore size of 2.43  $\mu\text{m}$  (smallest). Meanwhile, the lowest capillary rise height was achieved by the BBKA 460 activated carbon material of 2.52 m, where this material has the largest pore radius of 5.76  $\mu\text{m}$

Keywords: *Direct evaporative cooling*, *Material Pad*, *Bamboo Betung*, *Capillary rise*

## 1. Pendahuluan

Sebagai pendingin alternatif, para peneliti mengembangkan sistim evaporative cooling yang berbasis kontak udara dengan air sebagai media pendingin. Sistim evaporative cooling secara umum dibedakan berdasarkan kontak antara udara yang akan didinginkan dengan air sebagai media pendingin, yang terjadi pada permukaan material *Pad* yang basah. Pada sistim *direct evaporative cooling*, dalam proses pendinginan udara terjadi kontak langsung (*direct*) antara udara dan air. Sebaliknya pada sistim *indirect evaporative cooling*, udara yang akan didinginkan tidak mengalami kontak langsung dengan air. Komponen utama dari sistim *direct evaporative cooling* adalah material *Pad*. Material *Pad* dalam sistim *direct evaporative cooling* berfungsi sebagai media terjadinya kontak antara udara yang akan didinginkan dan air, dimana kontak ini akan mengakibatkan adanya penyerapan panas udara, yang kemudian panas tersebut akan

menguapkan lapisan air pada permukaan material *Pad* yang telah basah [1].

Material pad biasanya merupakan material berpori, yang dimaksudkan untuk memungkinkan material pad mampu menahan massa air dalam jumlah yang cukup signifikan, sehingga menjamin terjadinya proses evaporasi pada permukaan material *pad* dan menghasilkan udara dingin, material pad harus memiliki sifat absorpsi air yang baik, tidak reaktif terhadap bahan sekitarnya, lebih kaku (*rigid*) pada keadaan lembab (basah) dan pori-pori material tidak terlalu kecil sehingga dapat mengakibatkan penurunan tekanan [2].

Bambu merupakan tanaman yang memiliki properti yang unik dan termasuk tanaman yang memiliki density rendah tetapi kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) nya tinggi [3]. Di sisi lain, karakteristik fisik bambu betung Bali khususnya bambu betung di daerah Baturiti dengan ketebalan dinding buluh 11-36 mm dan panjang buluh 40-50 cm serta diameter buluh 12-20 cm, memungkinkan

bambu betung dapat menampung jumlah massa air yang lebih banyak, setelah dilakukan proses karbonisasi dan aktivasi, disamping juga meningkatkan karakteristik porositas, permeabilitas dan juga daya kapilernya. Selain itu dengan dinding buluh yang relatif tebal, rigiditas bambu betung dalam keadaan basah akan sangat baik, atau dengan kata lain, tidak akan mudah berubah bentuk bila dibasahi oleh air [4].

Berdasarkan pemaparan latar belakang tersebut maka perumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana *capillary rise* material karbon aktif bambu betung dengan variasi temperatur karbonisasi sebagai material *Pad* sistim *direct evaporative cooling* ?

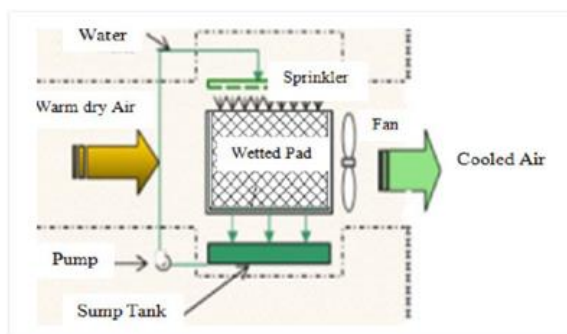
Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Bahan material yang digunakan adalah bambu betung lokal Bali
2. Proses aktivasi dilakukan pada temperatur aktivasi 600° C
3. Pengujian SEM yang sudah melewati proses karbonisasi dan aktivasi
4. Suhu ruangan tempat pengujian dianggap konstan.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Sistim *Direct Evaporative Cooling*

*Direct evaporative cooling* merupakan suatu proses pengkondisian udara yang dilakukan dengan membiarkan kontak langsung antara udara dengan air sehingga terjadi proses evaporasi dimana terjadi perubahan panas sensibel udara yang didinginkan (udara luar) menjadi panas laten pada air di permukaan *cooling pad*. Dalam sistim *direct evaporative cooling* akan terjadi dua proses perpindahan panas, yakni perpindahan panas sensibel dan perpindahan panas laten [5].



Gambar 1. Prinsip kerja sistim *direct evaporative cooling*

### 2.2. Karakteristik Material *Pad*.

*Evaporative cooling pad* harus mempunyai Sifat penyerapan yang baik. Dalam hal ini bahan yang dapat menyerap air, bukan bahan yang kedap air. Tidak reaktif terhadap bahan disekitarnya. Lebih rigid pada keadaan lembab, Pori-pori bahan *evaporative cooling pad* tidak terlalu kecil sehingga

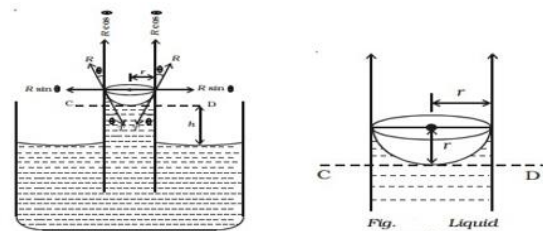
dapat mengakibatkan penurunan tekanan karbonisasi dan aktivasi karbon [2].

### 2.3. Proses Karbonisasi dan Aktivasi Karbon

Pembuatan karbon aktif melibatkan 2 proses yakni pertama adalah proses karbonisasi, dimana proses ini akan memperkaya kandungan karbon material dan di saat yang sama akan membentuk porositas awal material, selanjutnya ada proses aktivasi yang mana akan mulai terbangun struktur pori material dan menciptakan beberapa susunan struktur pori untuk menghasilkan material padat porositas tinggi (*highly porous solid*) [6]. Proses karbonisasi atau sering disebut proses pirolisis secara umum adalah suatu proses teknologi kimia yang menguraikan melalui proses pemanasan tanpa adanya oksigen (*inert atmosphere*), proses karbonisasi merupakan proses yang sangat penting dalam pembuatan karbon aktif, dimana pemilihan parameter karbonisasi yang tepat akan menentukan kualitas karbon aktif yang dihasilkan, dimana salah satu parameter tersebut adalah temperatur karbonisasi dan biasanya para peneliti akan mengkarbonisasi pada range temperatur 500°C – 900°C [7]

### 2.4. Kenaikan Kapiler (*Capillary rise*)

Kenaikan kapiler (*capillary rise*) adalah naiknya permukaan fluida pada material berpori yang disebabkan oleh gaya keatas yang dihasilkan oleh gaya tarik menarik (gaya adhesi) molekul-molekul air dengan permukaan padat material. *Capillary rise* terjadi akibat adanya pengaruh kombinasi gaya kohesi dan gaya adhesi yang menyebabkan permukaan fluida naik dalam saluran dengan diameter yang sangat sempit.



Gambar 2. *Capillary rise*

Ketinggian kenaikan kapiler fluida tergantung dari besarnya tegangan permukaan yang menarik fluida keatas. Kesetimbangan dalam saluran pori akan tercapai bila gaya keatas (gaya kapiler) sama dengan gaya kebawah (gaya berat air), yang dapat dirumuskan sebagai [8]

$$2\pi r\sigma\cos\gamma = \pi r^2 h\rho w g \quad (1)$$

dimana :

- $r$  = jari-jari meniskus = jari-jari pori (m)
- $\sigma$  = tegangan permukaan cairan = 0.0727 N/m (untuk air pada suhu 20°C).
- $\gamma$  = sudut yang terbentuk antara meniskus cairan dengan dinding pori (o).

- h = ketinggian kenaikan kapiler (m).  
 $\rho_w$  = massa jenis air = 1000 kg/m<sup>3</sup>.  
 g = percepatan gravitasi = 10 m/s<sup>2</sup>.

### 3. Metode Penelitian

Rancangan penelitian dilakukan secara eksperimental dengan tujuan untuk menganalisa karakteristik *capillary rise* dari material karbon aktif bambu betung yang diaktivasi pada temperatur 600°C dengan *holding time* 60 menit.

#### 3.1. Proses karbonisasi dan aktivasi material bambu betung.

Adapun tahapan pengujian karbonisasi pada bambu betung meliputi :

3.1.1. Persiapan peralatan ukur dan reaktor pemanasan untuk proses karbonisasi, aktivasi karbonisasi awal bambu betung.

2. Proses karbonisasi 400°C , 500°C, 600°C, 700°C , 800°C :

- a) Sampel uji pertama dimasukkan ke dalam reaktor karbonisasi untuk proses karbonisasi 400 °C.
- b) Reaktor karbonisasi dialiri nitrogen untuk mendapatkan kondisi bebas oksigen (inert atmosfer), kemudian temperatur reaktor karbonisasi diatur pada temperatur 400°C. Setelah temperatur reaktor mencapai 400°C, reaktor dimatikan.
- c) Kemudian sampel didinginkan dalam furnace selama 12 jam dan akan dihasilkan sampel arang bambu betung dengan kode sampel BBK 400 yang artinya hasil karbonisasi bambu betung dengan temperatur 400 °C.

3.1.2 Proses karbonisasi selanjutnya dilakukan dengan pengulangan langkah 2a –2c dengan proses karbonisasi 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C dan akan dihasilkan sampel material karbon bambu betung BBK 500, BBK 600, BBK 700 dan BBK 800

3.1.3. Proses aktivasi karbon awal 600 °C.

- a) Sampel dipanaskan terlebih dahulu dalam dapur listrik pada 40 °C, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pemanasan untuk dilakukan proses aktivasi karbon awal 600 °C
- b) Udara dikeluarkan dari ruang pemanasan dengan menggunakan pompa vakum
- c) N<sub>2</sub> dialirkan ke dalam ruang pemanasan dengan laju aliran 50 mL/menit.
- d) Temperatur ruang pemanasan ditingkatkan hingga mencapai 600 °C dengan laju 8,5 oC/menit dari temperatur ruang.
- e) Setelah temperatur aktivasi karbon mencapai 600 °C maka dilakukan dengan menahan waktu selama 60 menit ( *Holding time 60 menit* ) pada sampel material karbon masing-masing BBK 400 , 500, 600, 700 dan 800 akan menjadi material karbon aktif bambu betung.

**Tabel 1. Penamaan dan pengkodean material uji**

Proses Nama Material	Karbonisasi		Aktivasi	
	°C	Kode	°C	Kode
Pad 1	400 °C	BBK 400	600 °C	BBKA 460
Pad 2	500 °C	BBK 500	600 °C	BBKA 560
Pad 3	600 °C	BBK 600	600 °C	BBKA 660
Pad 4	700 °C	BBK 700	600 °C	BBKA 760
Pad 5	800 °C	BBK 800	600 °C	BBKA 860

#### 3.2. Pengujian Scanning electron microscope ( SEM )

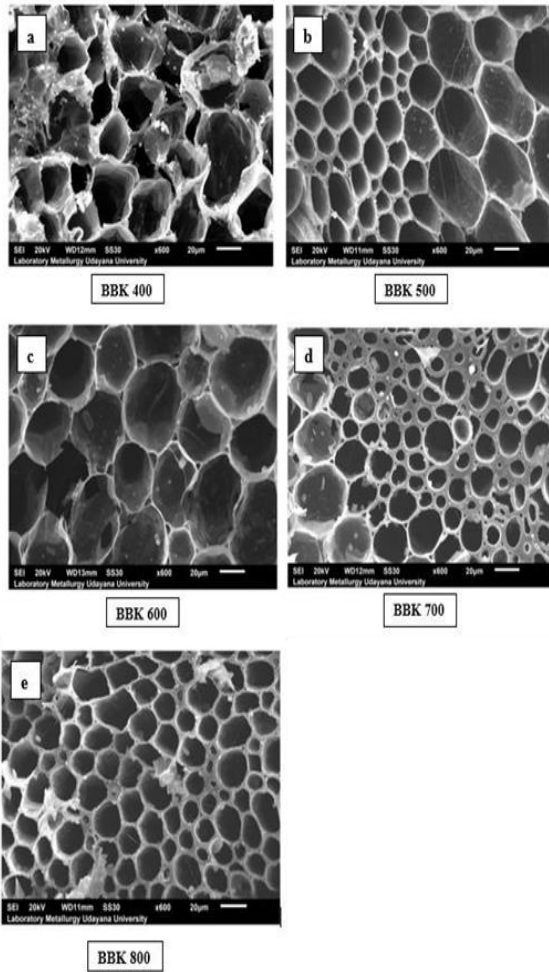
Pengujian struktur pori material bambu betung dilakukan setelah pengujian karbonisasi, pengujian ini dilakukan dengan sistem pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*). Adapun tahapan pengujian SEM pada arang bambu betung, yaitu:

- a) Membuat spesimen dengan ukuran 2mm x 2mm dari bambu yang dihasilkan melalui pengujian karbonisasi.
- b) Meletakkan 5 spesimen yang telah diaktivasi (BBKA 460, BBKA 560, BBKA 660, BBKA 760 dan BBKA 860) tersebut ke dalam alat Scanning electron microscope (SEM).
- c) Melakukan pengujian Scanning electron microscope (SEM) dengan mengambil gambar dari 5 spesimen
- d) Menganalisa gambar yang sudah diambil dari pengujian Scanning electron microscope (SEM) dengan bantuan aplikasi Image J.

## 4. Hasil dan Pembahasan

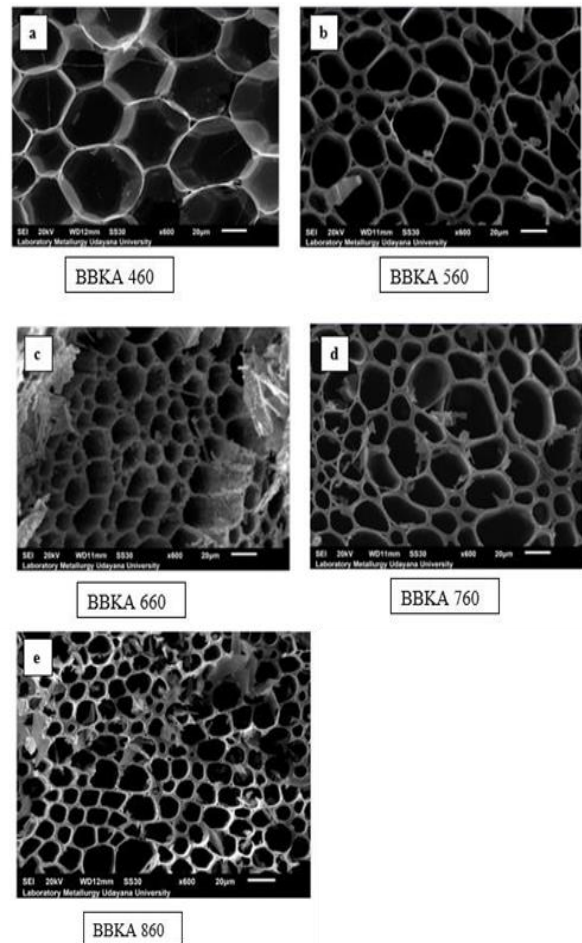
### 4.1. Struktur Pori

Sebelum dilakukan uji SEM untuk mendapatkan gambar struktur pori material terlebih dahulu material dikarbonisasi dan diaktivasi. Dalam pengujian ini material baku bambu betung pertamanya akan dilakukan proses karbonisasi dengan variasi temperatur karbonisasi 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C. Proses karbonisasi akan menghasilkan pori awal dari material bambu betung dan material hasil karbonisasi ini akan dinamakan material karbon bambu betung dengan kode material masing- masing secara berurutan BBK 400, BBK 500, BBK 600, BBK 700 dan BBK 800.

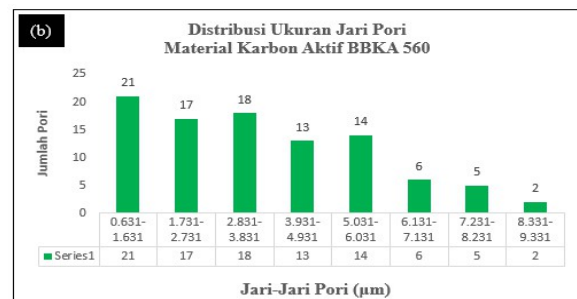


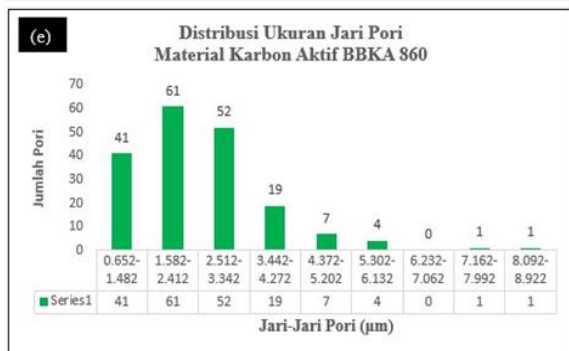
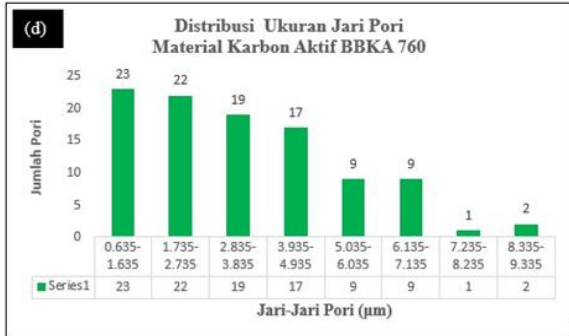
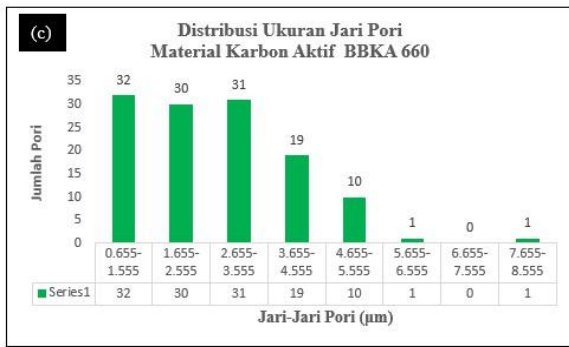
**Gambar 3. Struktur pori material karbon bambu betung**

Gambar 3. (a-e) menunjukkan struktur pori material karbon bambu betung dengan pembesaran 600X dengan kode penamaan sesuai dengan temperatur karbonisasinya, masing-masing secara berurutan (a) BBK 400, (b) BBK 500, (c) BBK 600, (d) BBK 700 dan (e) BBK 800. dapat dilihat bahwa material karbon yang dihasilkan memiliki struktur pori dengan ukuran yang sangat bervariasi yang terbentuk akibat terdekomposisinya padatan-padatan pada struktur mikro bambu seperti sieve tube, fiber, vascular bundles, parenchyma cells, vessel, serta menghasilkan struktur pori yang bersifat karbon (*carbonaceous porous material*). Dapat dilihat pada gambar bahwa masing-masing pori yang terbentuk dipisahkan oleh dinding pori, dimana dinding pori tersebut memiliki ketebalan yang berbeda-beda akibat adanya perbedaan penetrasi panas yang diterima oleh masing-masing material.



**Gambar 4. Struktur pori material karbon aktif bambu betung**





**Gambar 5. Distribusi ukuran jari pori material karbon aktif bambu betung**

Berdasarkan pada gambar 5. dapat dilihat bahwa material karbon aktif BBKA 860, yang dikarbonisasi pada temperatur karbonisasi 800°C dan kemudian diaktivasi pada temperatur aktivasi 600°C dengan holding time 60 menit, menghasilkan jumlah pori terbanyak yakni sejumlah 186 pori. Sedangkan material karbon aktif bambu betung BBKA 460, yang dikarbonisasi pada temperatur karbonisasi 400°C dan kemudian diaktivasi pada temperatur aktivasi 600°C dengan holding time 60 menit, menghasilkan jumlah pori yang paling sedikit yakni sejumlah 36 pori.

**Tabel 2. Jari Pori Material**

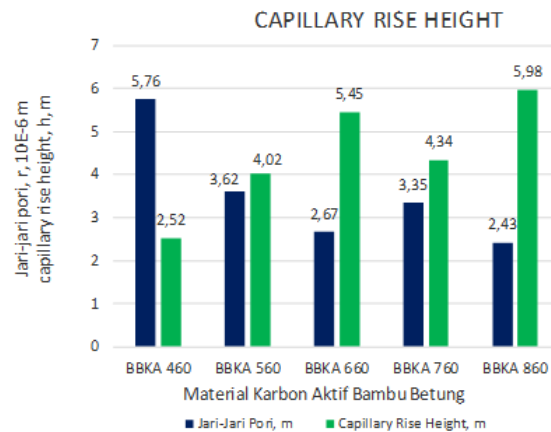
Nama Material	Jumlah Pori	Jumlah Jari Pori (μm)	Jari Pori Rata-rata (μm)
BBKA 460	36	207.39	5.76
BBKA 560	96	347.09	3.62
BBKA 660	124	331.36	2.67
BBKA 760	102	341.84	3.35
BBKA 860	186	452.34	2.43

Berdasarkan pada tabel 2. dapat dilihat bahwa material BBKA 460 yakni material bambu betung yang dikarbonisasi pada temperatur karbonisasi 400oC dan diaktivasi pada temperatur aktivasi 600oC dengan holding time 60 menit memiliki

ukuran jari pori yang terbesar yakni 5.76 μm. Sedangkan ukuran jari pori terkecil yakni sebesar 2.43 μm dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung BBKA 860. Dari Tabel 2. juga dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah pori yang dihasilkan maka ukuran jari pori yang didapat juga semakin kecil.

#### 4.2 Menentukan Capillary rise Material

Capillary rise yang dimaksud dalam penelitian ini adalah capillary rise height (ketinggian kenaikan kapiler), yakni ketinggian permukaan fluida yang dapat dicapai oleh material akibat adanya tekanan kapiler material. Capillary rise height sangat penting ditentukan untuk mengetahui seberapa tinggi fluida (air) dapat naik ke permukaan dan membasahi material pad, yang nantinya akan menyediakan sejumlah air yang cukup untuk proses evaporasi pada material pad dan menghasilkan efek pendinginan udara [9].



**Gambar 6. Capillary rise height material karbon aktif bambu betung**

Berdasarkan Gambar 6. dapat dilihat bahwa material karbon aktif bambu betung BBKA 860 memiliki capillary rise height tertinggi yakni 5,98 m dengan ukuran jari-jari pori 2,43 μm (terkecil). Sedangkan capillary rise height terendah dicapai oleh material karbon aktif bambu betung BBKA 460 sebesar 2,52 m dimana material ini memiliki ukuran jari-jari pori terbesar yakni 5,76 μm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran jari-jari pori material, maka ketinggian kenaikan kapiler yang dapat dicapai akan semakin tinggi. Hal tersebut terjadi karena dengan ukuran jari-jari pori yang lebih kecil akan menghasilkan tekanan kapiler yang lebih besar, dan dengan tekanan kapiler yang lebih besar maka fluida akan dapat naik dan membasahi permukaan material lebih tinggi. Selain itu, dengan ukuran jari-jari pori material yang lebih kecil, maka fluida akan memiliki gaya adhesi yang cukup besar untuk naik ke permukaan material melawan gaya gravitasi.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil penelitian capillary rise height pada material karbon aktif bambu betung tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa ketinggian

kapiler tertinggi dapat dicapai oleh material bambu betung yang dikarbonisasi pada temperatur 800°C dan diaktivasi pada temperatur 600°C dengan holding time 60 menit (BBKA 860) yakni sebesar 5,98 m dengan ukuran jari-jari porinya yang terkecil yakni 2,43  $\mu\text{m}$ . Sedangkan ketinggian kenaikan kapiler terendah yakni sebesar 2,52 m dicapai oleh material bambu betung yang dikarbonisasi pada temperatur 400°C dan diaktivasi pada temperatur 600°C dengan holding time 60 menit (BBKA 460) dengan ukuran jari-jari porinya yang terbesar yakni 5,76  $\mu\text{m}$ . Semakin kecil ukuran jari-jari pori material maka akan semakin tinggi ketinggian kenaikan kapilernya dan demikian pula sebaliknya.

#### Daftar Pustaka

- [1] Ahmad Fariz Nicholas, dkk 2019. *Activated Carbon for Shape-Stabilized Phase Change Material, Materials Synthesis and Characterisation Laboratory*, Institute of Advanced Technology (ITMA), Universiti Putra Malaysia, Serdang, Malaysia.
- [2] Barnes, G. and Gentle, I., 2005. *Capillary and the mechanics of surface. In Interfacial science*. Oxford University Press Oxford.
- [3] Dani Or, 2018. *Capillary Processes in Porous Media (An introduction to Soil Physics)*. Department of Environmental System Science (D-USYS), Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zurich).
- [4] Daud W.M.A.W., Ali W.S.W., Sulaiman M.Z. 2000. *Effect of carbonization temperature on pore development in palm-shell-based activated carbon*.
- [5] Gunhan, T. U. N. C. A. Y., Demir, V. E. D. A. T., & Yagcioglu, A. K. 2007. *Evaluation of the suitability of some local materials as cooling pads*. Biosystems engineering..
- [6] Putra Negara, D.N.K., Tirta Nindhia, T.G., Surata, I.W., Hidayat, F., Sucipta, M. 2019. *Nano Structures, Surface Morphology and Adsorption Capacity of Tabah Bamboo-Activated Carbon*, Surface and Interface, doi.
- [7] Porumb, B. et al., 2015. *A Review of Indirect evaporative cooling Technology*. Energy Procedia.
- [8] Karpiscak, Martin., Marion, Mary H. 1994. *Evaporative Cooler Water Use*. Arizona: College of Agriculture and Life Sciences, University of Arizona (Tucson, AZ).
- [9] Osorio, L., Trujillo, E. Van Vuure, A., W., and Verpoest, I. 2011. *Morphological aspects and*

*mechanical properties of single bamboo fibres and flexural characterization of bamboo/epoxy composites.*



**Ketut Arpin Ramadana** Telah menyelesaikan studi program sarjana di jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2015 sampai tahun 2022. Menyelesaikan studi program sarjana S1 dengan topik penelitian “**Studi Eksperimental Capillary Rise Material Karbon Aktif Bambu Betung dengan Variasi Temperatur Karbonisasi sebagai Material PAD Sitem Direct Evaporative Cooling**”

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi.