

Studi Eksperimental Karakteristik Kerja Kapiler Material Karbon Aktif Bambu Betung Tanpa *Holding Time*

I Gede Wahyu Wiwekanyana, Hendra Wijaksana, I Gusti Ngurah Putu Tenaya
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Evaporative cooling adalah fenomena fisik dimana penguapan air dari media (*cooling pad*) yang basah ke udara yang mengalir dan terjadi kontak keduanya akan menyebabkan pendinginan pada media. Salah satu komponen utama sistem *direct evaporative cooling* adalah material pad. Material pad harus memiliki konduktivitas termal yang tinggi atau gaya kapiler (*capillary force*) yang besar. Gaya kapiler yang bekerja pada material dan mampu menaikkan sejumlah massa air hingga mencapai ketinggian tertentu pada permukaan material akan menghasilkan kerja kapiler material tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik kerja kapiler material pad berbasis karbon aktif bambu betung tanpa *holding time*. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap pengujian yaitu proses pengeringan bambu, karbonisasi dan aktivasi, dan pengujian SEM. Material dasar bambu betung akan dikarbonisasi dengan temperatur karbonisasi 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C, sebelum akhirnya diaktivasi pada temperatur aktivasi 600°C tanpa *holding time* yang bertujuan untuk membuka pori pori bambu yang lebih kecil. Dengan adanya kedua perlakuan termal tersebut diatas, diharapkan akan meningkatkan struktur pori dan porositas bambu betung sehingga mampu menghasilkan kerja kapiler yang tinggi untuk mengangkat lebih banyak massa air ke dalam material karbon aktif bambu betung. Selanjutnya dilakukan pengujian uji SEM (Scanning Electron Microscope) untuk mendapatkan karakteristik struktur pori sampel. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kerja kapiler terbesar dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung BCR 400 sedangkan kerja kapiler terendah dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung BCR 600.

Kata Kunci: Kerja Kapiler, Bambu Betung, Holding Time

Abstract

Evaporative cooling is a physical phenomenon where the evaporation of water from a wet media (*cooling pad*) into flowing air and contact between the two causes cooling of the media. One of the main components of a direct evaporative cooling system is the pad material. The pad material must have a high thermal conductivity or a large capillary force. The capillary force that acts on the material and is able to raise a certain amount of water mass to a certain height on the surface of the material will result in the capillary action of the material. The purpose of this study was to analyze the characteristics of the capillary action of the bamboo betung activated carbon-based pad material without holding time. In this study, several stages of testing were carried out, namely the bamboo drying process, carbonization and activation, and SEM testing. The material of bamboo betung will be carbonized with carbonization temperatures of 400°C, 500°C, 600°C, 700°C and 800°C, before finally being activated at an activation temperature of 600°C without holding time which aims to open the smaller bamboo pores. With the two thermal treatments mentioned above, it is hoped that the bamboo betung will increase its pore structure and porosity, so that it is able to produce high capillary action to lift more mass of water into the bamboo betung activated carbon material. Furthermore, the SEM (Scanning Electron Microscopy) test was carried out to obtain the characteristics of the pore structure of the sample. The results of this study indicate that the largest capillary action is produced by the active carbon material of Bamboo Betung BCR 400. Meanwhile, the lowest capillary action is produced by the activated carbon material of Bamboo Betung BCR 600.

Keywords: Capillary Work, Bamboo Betung, Holding Time

1. Pendahuluan

Seiring perkembangan jaman peralatan teknologi modern yang hadir saat ini sangat membantu kehidupan manusia, dan salah satunya adalah mesin pendingin. Di Indonesia yang beriklim tropis, hampir di setiap rumah dapat ditemui peralatan yang menggunakan sistem pendingin ini [1]. Hal ini menyebabkan peningkatan pemakaian sistem pendingin seperti *air conditioning* (AC). Peningkatan penggunaan sistem pendingin dapat meningkatkan pemakaian listrik yang semakin tinggi dan menyebabkan polusi yang tinggi karena sumber utama pembangkit listrik di Indonesia masih banyak menggunakan sumber daya alam yaitu batu bara yang

dapat merusak lingkungan sekitar karena pembakarannya. Maka dari itu kita memerlukan sistem pendinginan yang mampu mengurangi penggunaan listrik seperti *Evaporative Cooling*.

Salah satu komponen utama sistem *direct evaporative cooling* adalah material pad. Material pad atau material penukar panas dan massa yang baik dalam sistem pendingin *evaporative*, harus memiliki konduktivitas termal yang tinggi dan atau gaya kapiler (*capillary force*) yang besar. Selanjutnya menurut [2] ukuran pori, distribusi pori dan bentuk butir sangat berpengaruh terhadap *capillarity force*

suatu material. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kerja kapiler juga akan dipengaruhi oleh ukuran pori material.

Pada penelitian sistem *direct evaporative cooling* (DEC), banyak digunakan material alam dan sintesis seperti serabut kelapa [3], *pumice stones, volcanic tuff, greenhouse shading* [4] *coir fibre, fine fabric dan coarse fabric, polyvinyl chloride* [5]. Namun demikian belum banyak dan atau mungkin belum ada penelitian yang menggunakan bambu betung sebagai material pad sistem DEC. Secara umum ketersediaan bambu betung (*Dendrocalamus Asper*) cukup berlimpah di daerah-daerah di Indonesia, demikian juga di Bali. Disamping itu diketahui pula bambu betung memiliki karakteristik fisik yang baik untuk material pad, dengan ketebalan dinding buluh bambu bisa mencapai 11-36 mm. Dinding buluh yang tebal ini, nantinya akan memungkinkan bambu betung memiliki kemampuan menampung air dalam jumlah yang cukup untuk proses evaporasi pada sistem DEC.

Berdasarkan pemaparan di atas, dapat dikatakan bahwa belum banyak penelitian yang mengkaji potensi bambu betung sebagai material pad sistem pendingin evaporative, khususnya *direct evaporative cooling*. Dengan demikian, penulis merasa terdorong untuk melakukan penelitian tentang penggunaan bambu betung sebagai material pad alternatif pada sistem *direct evaporative cooling*.

2. Dasar Teori

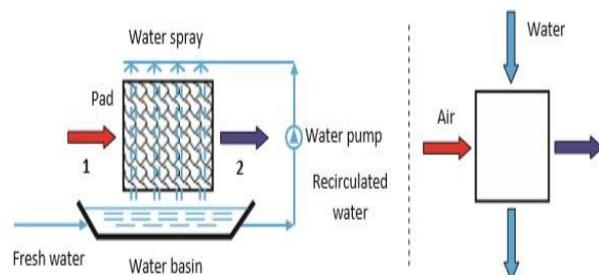
2.1. Sistem *Direct Evaporative Cooling*

Direct Evaporative Cooling merupakan suatu sistem pendinginan udara yang menggunakan prinsip *evaporative cooling*. Pendinginan *evaporative* ini secara teknik disebut dengan pendinginan adiabatik (berlangsung pada entalpi konstan) yang merupakan 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*. Perpindahan panas sensibel terjadi karena perbedaan suhu antara udara dan permukaan basah *cooling pad*, sedangkan panas laten terjadi dari perpindahan massa yang dihasilkan dari proses evaporasi pada permukaan basah *cooling pad*. Proses tersebut diatas akan menyebabkan turunnya temperatur bola kering udara luar, yang diikuti dengan peningkatan kandungan (konsentrasi) uap air pada udara luar, sehingga udara keluaran *cooling pad* menjadi lebih dingin dan lebih basah. Apabila selang waktu kontak air dan udara mencukupi, maka udara akan mencapai kondisi saturasi (jenuh), dimana tidak ada lagi massa uap air yang dapat diterima oleh udara. Kemampuan pendinginan sistem *direct evaporative cooling* ini dibatasi oleh temperatur bola basah udara luar,

dimana udara luar hanya mampu didinginkan hingga mendekati temperatur bola basahnya.

2.2. Prinsip Kerja Sistem *Direct Evaporative Cooling*

Secara umum skematik diagram prinsip kerja, proses kerja dan aliran fluida sistem *direct evaporative cooling* dapat dilihat masing-masing secara berurutan seperti pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Prinsip kerja dan aliran fluida DEC

Prinsip kerja dan aliran fluida sistem DEC seperti ditunjukkan oleh Gambar 1. Udara inlet mengalir masuk pada *cooling pad* (1) yang telah terbasahi oleh air pada temperatur yang sama dengan temperatur bola basah udara *supply*. Perpindahan panas terjadi antara udara inlet dengan air. Panas ditransfer oleh aliran udara inlet sebagai panas sensibel dan diserap oleh air sebagai panas laten. Dengan sejumlah panas laten yang diterima oleh air, maka sebagian air akan menguap dan menambah kandungan uap air udara. Temperatur udara outlet (2) mengalami penurunan sebagai akibat pemindahan panas sensibelnya ke air, akan tetapi entalpi udara outlet akan sama dengan entalpi udara inlet sebagai akibat panas laten dikembalikan lagi ke udara sebagai uap air (*moisture*).

2.3. Karakteristik Bahan *Direct Evaporative Cooling Pad*

Jenis material pad sistem *direct evaporative cooling* yang banyak digunakan saat ini diantaranya adalah sebagian besar dari bahan atau material alami seperti serabut kelapa, karung goni, spon, sumbu kompor, kain tirai, pipa keramik berpori, pipa tanah liat berpori, arang, batu apung dan masih banyak lagi. Jenis yang paling banyak digunakan bahan pad berbasis selulosa (*cellulose pad*) bergelombang. Material pad selulosa ini sudah termasuk material pad komersial dan memiliki kemampuan pendinginan yang tinggi, akan tetapi material pad selulosa harganya cukup mahal.

Material pad selulosa sangat kompak bentuknya, efisien, ringan dan bebas polusi. Banyak digunakan pada berbagai aplikasi termasuk untuk industri, sektor perumahan, peternakan babi, peternakan ayam, *green house*, dan gudang penyimpanan. Material pad berbasis selulosa ini memiliki sifat mampu bentuk yang baik, sehingga

mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhannya dan penempatannya misalnya sebagai sistem pendingin awal udara masuk ruang bakar turbin. Menurut [6], penggunaan pad selulosa yang bergelombang sebagai media pendingin akan meningkatkan efisiensi pendinginan dan *pressure drop* masing-masing sebesar 40% dan 50%. Semakin tebal material pad, akan menghasilkan efisiensi pendinginan dan *pressure drop* yang lebih tinggi.

2.4. Sifat - Sifat Udara Basah

2.4.1. Temperatur Bola Kering (*Dry Bulb Temperatur*) (*T_{dB}*)

Temperatur bola kering adalah temperatur udara yang ditunjukkan oleh termometer biasa. Informasi ini cukup sederhana, namun tidak mampu memberikan keterangan yang lengkap karena temperatur bola kering hanya menyatakan derajat kandungan panas sensibel dari suatu substansi, tidak memberi informasi tentang kandungan panas laten di dalam udara.

2.4.2. Temperatur Bola Basah (*Wet Bulb Temperatur*) (*T_{wB}*)

Temperatur bola basah adalah temperatur paling rendah yang mampu ditunjukkan oleh termometer yang 'bola'-nya dililit dengan kain atau sumbu basah ketika termometer diletakkan di tempat yang dilalui aliran udara. Panas laten penguapan ditentukan oleh temperatur bola basah, bukan temperatur bola kering, karena penguapan aktual terjadi pada pembacaan temperatur bola basah. Ketika udara yang tidak jenuh berhembus melalui termometer bola basah, air dari permukaan yang dibasahi akan menguap, dan panas laten yang diserap oleh proses penguapan air menyebabkan turunnya temperatur yang ditunjukkan oleh termometer. Pada kondisi kesetimbangan, temperatur yang ditunjukkan oleh termometer akan konstan. Temperatur inilah yang disebut dengan temperatur bola basah.

2.4.3. Kelembaban Spesifik (*Spesifik Humidity*) (*w*)

Kelembaban Spesifik (*w*) didefinisikan sebagai massa uap air tiap satuan massa udara kering dalam campuran tertentu pada temperatur bola kering (*T_{dB}*) tertentu serta menyatakan kandungan uap air sebenarnya dalam udara.

2.4.4. Kelembaban Relatif (*Relatife Humidity*) (*RH*)

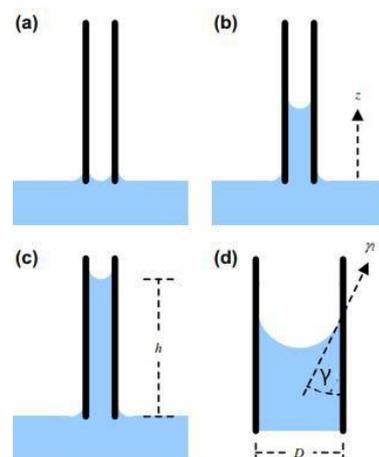
Kelembaban relatif merupakan ukuran derajat kejenuhan udara pada temperatur bola kering (*T_{dB}*) tertentu. Besaran ini menyatakan prosentase kejenuhan udara. $RH = 100\%$ berarti udara dalam keadaan jenuh dan $RH = 0\%$ berarti udara dalam keadaan kering sempurna. *RH* didefinisikan sebagai rasio antara tekanan parsial aktual uap air dengan

tekanan parsial saturasi uap air pada temperatur bola kering tertentu.

2.5. Kerja Kapiler Material Berpori

Menurut [7] kerja kapiler pori material adalah besarnya kerja yang dilakukan oleh tegangan permukaan pada material berpori untuk mengangkat sejumlah massa air ke dalam pori material (*capillary tube*). Kesetimbangan energi untuk *capillary rise* (kenaikan ketinggian permukaan fluida) terdiri dari 3 besaran energi yakni kerja yang dilakukan untuk mengangkat air dalam pori material (*w*), energi kinetik yang berhubungan dengan pengaruh viskositas dalam aliran fluida (*K*) dan energi potensial yang berhubungan dengan energi yang tersimpan dalam kolom fluida pada material berpori.

Besarnya kerja kapiler yang terjadi sangat tergantung pada kenaikan ketinggian permukaan fluida pada material berpori (*capillary height rise*). Gambar 2 menjelaskan mekanisme tercapainya ketinggian permukaan fluida dalam kesetimbangan gaya kapiler dan gaya berat air sebagai berikut: (a) permukaan pori material (*capillary tube*) menyentuh permukaan air, (b) gaya kapiler akan menyebabkan fluida terangkat ke atas hingga mencapai ketinggian *z* (c) bila telah terjadi kesetimbangan antara gaya kapiler (tekanan kapiler) dan gaya berat air (tekanan hidrostatik) maka akan tercapai ketinggian maksimal *h*, yang sifatnya tetap dan tidak akan meningkat lagi, (d) terbentuk permukaan akhir (meniskus) fluida pada pori material, dimana γ adalah besarnya sudut yang terbentuk antara permukaan meniscus fluida dengan dinding pori material, yang karena sangat kecil sekali maka dapat dianggap $\gamma = 0$.



Gambar 2 Mekanisme terjadinya *capillary rise*

3. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian dilakukan secara eksperimental dengan tujuan untuk menganalisa karakteristik kerja kapiler dari material karbon aktif bambu betung yang diaktivasi tanpa holding time.

3.1. Variabel Penelitian

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan ditentukan sebelum penelitian. Adapun variabel bebas pada penelitian ini, yaitu temperatur karbonisasi 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, dan 800 °C.

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian, yakni kerja kapiler.

Variabel kontrol adalah variabel yang sengaja dikendalikan atau dibuat konstan oleh peneliti dimana variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu temperatur aktivasi 600 °C.

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pisau, gergaji, timbangan, oven, reactor pyrolysis, stopwatch, nitrogen, SEM, image J. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bambu Betung. Bambu betung yang akan digunakan sebagai material yang akan di uji dalam penelitian ini berasal dari Baturiti, Tabanan, Bali.

3.3. Prosedur Pengujian

Dalam penelitian ini akan dilakukan beberapa tahap pengujian yaitu proses pengeringan bambu, karbonisasi dan aktivasi, pengujian SEM. dimana masing-masing tahap tersebut diatas memiliki prosedur pengujian tersendiri.

3.3.1. Prosedur Pengeringan Bambu Betung (Moisture)

Proses *moisture* adalah proses yang dilakukan untuk menghilangkan kadar air yang ada dalam bambu betung, proses *moisture* pada bambu betung meliputi pemotongan bambu betung menjadi ukuran- ukuran tertentu lalu dikeringkan dibawah paparan sinar matahari selama 10 hari dan dipotong-potong dengan ukuran P x L x T: 2.5 cm x 1.7 cm x 3.1 cm. Selanjutnya dikeringkan kembali pada dapur listrik pada suhu 105°C selama 6 jam.

3.3.2. Pengujian Karbonisasi dan Aktivasi Material Bambu Betung

- a. Persiapan peralatan ukur dan reaktor pemanasan untuk proses karbonisasi, aktivasi karbonisasi awal bambu betung.
- b. Proses karbonisasi 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, dan 800°C :
 - 1) sampel uji pertama dimasukkan ke dalam reaktor karbonisasi untuk proses karbonisasi 400 °C
 - 2) reaktor karbonisasi dialiri nitrogen untuk mendapatkan kondisi bebas oksigen (inert atmosfer), kemudian temperatur reaktor karbonisasi ditingkatkan dengan laju pemanasan 8.5°C /min dan diatur hingga mencapai 400 °C
 - 3) kemudian sampel didinginkan dalam furnace selama 12 jam dan akan dihasilkan

sampel arang bambu betung dengan kode sampel CR 400 yang artinya hasil karbonisasi bambu betung dengan temperatur 400 °C

- c. 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 bambubetung CR 500 – CR 800
- d. Proses aktivasi karbon awal 600 °C
 - 1) sampel dipanaskan terlebih dahulu dalam dapur listrik pada 40 °C, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pemanasan untuk dilakukan proses aktivasi karbon awal 600 °C
 - 2) udara dikeluarkan dari ruang pemanasan dengan menggunakan pompa vakum
 - 3) N₂ dialirkan ke dalam ruang pemanasan dengan laju aliran 50 mL/menit
 - 4) temperatur ruang pemanasan ditingkatkan hingga mencapai 600 °C dengan laju 8,5 °C/menit dari temperatur ruang

Pada sampel material karbon masing-masing CR 400, 500, 600, 700 dan 800 akan menjadi material karbon aktif bambu betung, dengan kode masing-masing BCR 400 – BCR 800. Sampel BCR 400 artinya material bambu yang telah dikarbonisasi pada temperatur 400 °C akan diaktivasi pada temperatur 600 °C tanpa holding time Untuk setiap akhir pengujian, reaktor pemanasan didinginkan dengan aliran nitrogen 10 ml/menit hingga mencapai temperatur ruang, kemudian material uji dikeluarkan dari reaktor pemanasan.

3.3.3. Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dimaksudkan untuk mendapatkan karakteristik struktur pori sampel BCR 400, BCR 500, BCR 600, BCR 700 dan BCR 800 yang meliputi ukuran pori, distribusi pori dan porositas sampel. Pengujian struktur pori material bambu betung dilakukan setelah pengujian aktivasi, yang dilakukan di laboratorium metalurgy Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.

4. Hasil dan Pembahasan

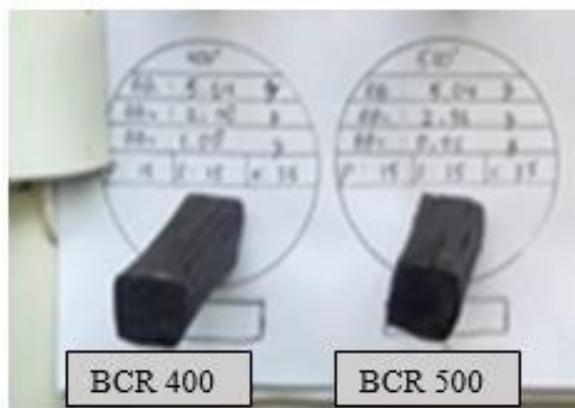
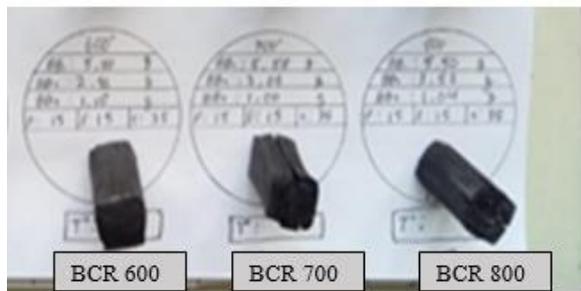
4.1. Data

4.1.1. Hasil Proses Karbonisasi dan Aktivasi Karbon

Pembuatan spesimen uji dalam penelitian ini meliputi proses karbonisasi dan aktivasi karbon. Proses karbonisasi dilakukan dengan variasi temperatur karbonisasi 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C. Proses karbonisasi dimaksudkan untuk membuka pori awal material dan meninggalkan

masih banyak pori yang belum terakses oleh panas. Selanjutnya material karbon bambu betung (betung bamboo charcoal) yang dihasilkan akan dilakukan proses aktivasi pada temperatur aktivasi 600°C. Proses aktivasi akan menghasilkan lebih banyak pori kecil yang baru, yang semula belum terakses panas pada proses karbonisasi.

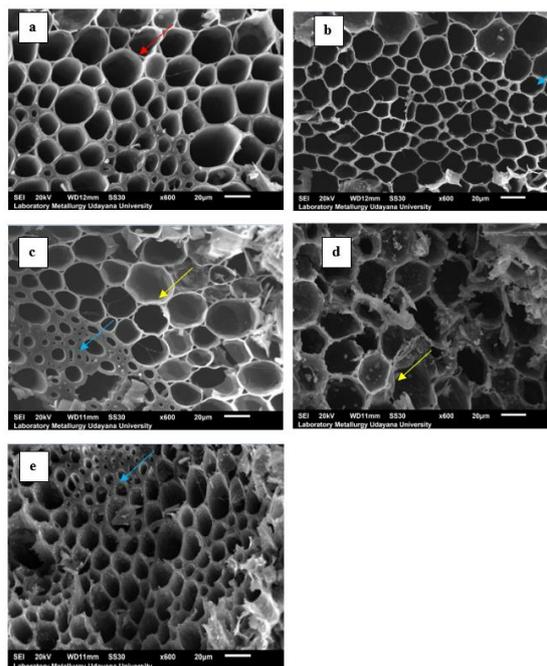
Adapun spesimen uji yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dilihat seperti pada Gambar 3 dibawah



Gambar 3. Material karbon aktif bambu betung

4.1.2. Struktur dan Ukuran Pori

Pengujian SEM pada penelitian ini menghasilkan struktur dan ukuran pori material karbon aktif bambu betung, dengan menggunakan aplikasi image-J. Ukuran pori sangat menentukan karakteristik kapilaritas material, karena akan mempengaruhi besarnya porositas, permeabilitas, daya kapiler dan tentunya juga kerja kapiler. Struktur pori material karbon aktif bambu betung bersifat heterogen, dimana strukturnya terdiri dari berbagai ukuran pori makro pori (ukuran pori > 50 nanometer). Material bambu betung, akibat proses karbonisasi berubah dari material yang cukup tinggi kerapatan massanya menjadi material berstruktur pori karbon, yang memiliki tingkat porositas yang lebih tinggi dari material awalnya. Adapun struktur pori material karbon aktif bambu betung dengan pembesaran 300X dapat dilihat seperti pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Struktur pori material karbon aktif bambu betung (a) BCR 400 (b) BCR 500 (c) BCR 600 (d) BCR 700 (e) BCR 800

Selanjutnya gambar struktur pori hasil pengujian SEM akan dianalisa menggunakan aplikasi image-J untuk mendapatkan ukuran pori material karbon aktif bambu betung. Dari aplikasi image-J akan didapat data jumlah pori dan ukuran porinya, dimana masing-masing material uji karbon aktif bambu betung akan memiliki jumlah dan ukuran pori yang berbeda-beda. Ukuran pori material didapat dengan merata-ratakan jumlah total ukuran pori dengan jumlah porinya. Dengan demikian didapat ukuran pori (jari-jari pori) material uji karbon aktif bambu betung seperti tampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Pori Material Karbon Aktif Bambu

No	Material	Σ Jari-Jari Pori (µm)	Σ Pori	Jari-Jari Pori (µm)
1	BCR 400	351.01	116	3.03
2	BCR 500	451.57	143	3.16
3	BCR 600	309.74	120	2.58
4	BCR 700	235.69	81	2.91
5	BCR 800	339.99	175	1.91

4.2. Menghitung Data Hasil Penelitian

4.2.1. Ketinggian Kenaikan Fluida

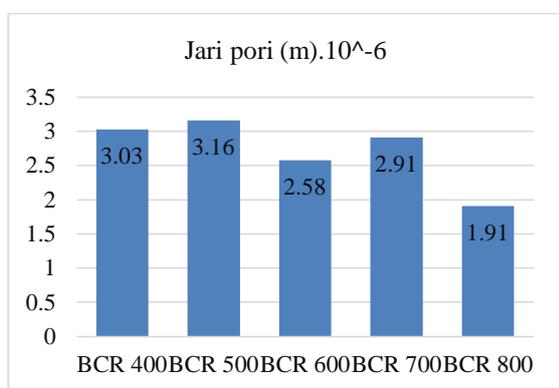
Ketinggian kenaikan fluida (capillary rise) merupakan ketinggian permukaan fluida yang dapat dicapai oleh material akibat gaya kapiler yang dimilikinya. Dengan mengetahui besarnya capillary rise dan gaya kapiler material, maka dapat ditentukan besarnya kerja kapiler material karbon aktif bambu betung BCR 400. Setelah itu akan di lanjutkan

perhitungan BCR 500 – BCR 800 untuk menentukan besarnya kerja kapiler dan di dapatkan hasil seperti dapat dilihat pada Tabel 2.

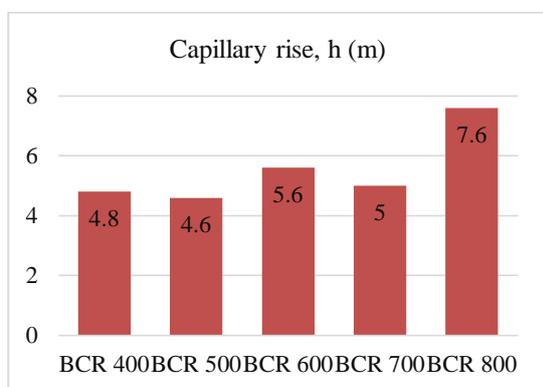
Tabel 2. Kerja Kapiler Material Karbon Aktif Bambu Betung

No	Material	Jari-Jari pori(m). 10^{-6}	Capillary rise (m)	Gaya kapiler (N. 10^{-6})	Kerja kapiler (N.m. 10^{-6})
1	BCR 400	3.03	4.8	1.40	6.72
2	BCR 500	3.16	4.6	1.44	6.62
3	BCR 600	2.58	5.6	1.18	6.61
4	BCR 700	2.91	5.0	1.33	6.65
5	BCR 800	1.91	7.6	0.87	6.63

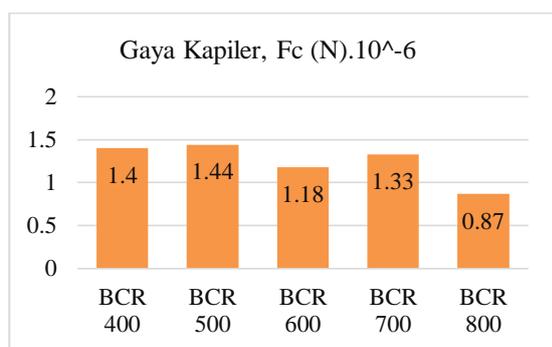
4.3. Analisa



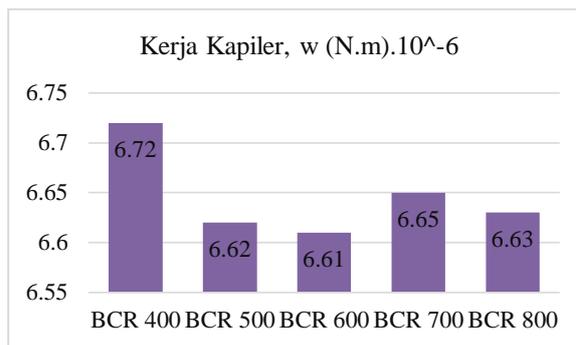
Gambar 5 Grafik Jari-Jari Pori



Gambar 6 Grafik Capillary Rise



Gambar 7 Grafik Gaya Kapiler



Gambar 8 Grafik Kerja Kapiler

Tabel 2 menunjukkan bahwa material bambu betung yang dikarbonisasi pada temperatur 400°C dan diaktivasi pada temperatur aktivasi 600°C tanpa holding time (BCR 400) menghasilkan kerja kapiler terbesar yakni 6.72×10^{-6} N.m. Sedangkan material karbon aktif bambu betung BCR 600 memiliki kerja kapiler terendah yakni sebesar 6.61×10^{-6} N.m. Pada Tabel 2 dapat juga dilihat bahwa semakin kecil ukuran pori, maka capillary rise nya akan semakin tinggi, demikian pula sebaliknya. Hal tersebut diakibatkan karena dengan semakin kecilnya ukuran pori maka gaya adhesi (gaya tarik menarik antara molekul cairan dengan molekul padat dinding pori) akan semakin besar, sehingga ketinggian permukaan yang dicapai juga semakin tinggi. Sedangkan disisi lain, semakin besar ukuran pori maka gaya kapiler yang dihasilkan akan semakin besar dan sebaliknya. Perlu dijelaskan disini perbedaan antara gaya kapiler dan tekanan kapiler. Menurut Extrand and Moon (2013), Gaya kapiler (capillary force) adalah gaya yang bekerja pada fluida sepanjang lintasan kontak antara fluida dan dinding pori dan mampu mengangkat fluida hingga mencapai ketinggian tertentu dalam pori material.

Tekanan kapiler (*capillary pressure*) menjabarkan persamaan Young-Laplace menyatakan bahwa tekanan kapiler adalah perbedaan tekanan yang diakibatkan oleh bentuk meniscus fluida, yakni perbedaan tekanan antara tekanan bagian yang tidak (belum) terbasahi fluida dengan tekanan bagian yang telah terbasahi fluida. Secara sederhananya dapat dijelaskan bahwa tekanan kapiler adalah perbedaan tekanan antara bagian atas meniscus fluida yang kontak dengan udara dengan tekanan bagian bawah fluida yang kontak dengan dinding pori. Bila tekanan bawah meniscus fluida lebih besar dari tekanan bagian atas meniscus, maka meniscus fluida akan berbentuk cekung dan fluida akan naik keatas secara kapiler dalam pori. Tekanan bagian bawah meniscus akan meningkat seiring berkurangnya ukuran pori dimana terjadi gaya tarik menarik antara molekul air dan molekul padat dinding pori (gaya adhesi) yang lebih besar. Dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran pori, maka semakin besar perbedaan tekanan antara bagian atas dan bawah meniscus atau semakin besar tekanan kapilernya.

Dengan demikian terdapat perbedaan yang jelas antara gaya kapiler dengan tekanan kapiler, dimana semakin kecil ukuran pori maka gaya kapilernya semakin kecil, sedangkan tekanan kapilernya makin besar dan dengan tekanan kapiler yang semakin besar maka ketinggian permukaan fluida (*capillary rise*) yang dapat dicapai akan semakin tinggi. Di sisi lain, dengan ukuran pori yang semakin besar, walaupun *capillary rise* yang dicapai semakin kecil, tetapi gaya kapiler yang bekerja pada fluida semakin besar seperti tampak pada Gambar 5 sampai Gambar 8.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ditemukan bahwa kerja kapiler terbesar dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung BCR 400 yaitu 6.72×10^{-6} N.m. Sedangkan kerja kapiler terendah dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung BCR 600 yaitu 6.61×10^{-6} N.m. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa besarnya kerja kapiler (w) sangat tergantung pada tinggi *capillary rise* dan gaya kapiler yang dihasilkan, dimana ukuran pori memiliki pengaruh yang berbeda untuk tinggi *capillary rise* dan gaya kapiler tersebut. Semakin kecil ukuran pori, maka *capillary rise* nya akan semakin tinggi, demikian pula sebaliknya. Sedangkan disisi lain, semakin besar ukuran pori maka gaya kapiler yang dihasilkan akan semakin besar dan sebaliknya.

Studi Eksperimental Karakteristik Kerja Kapiler Material Karbon Aktif Bambu Betung Tanpa *Holding Time*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purwiyanti, S., Setyawan, F. X., Selviana, W., & Purnamasari, D., 2017, *Aplikasi Efek Pekier Sebagai Kotak Pemanas dan Pendingin Berbasis Mikroprosesor Arduino Uno*, ELECTRICIAN–Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, Vol. 11, No.3, pp. 99-104.
- [2] Midiani, L. P. I., Septiadi, W. N., Winaya, I. N. S., Sucipta, M., & Putra, N., 2019, *Desain dan Fabrikasi Zeolit dan Hybrid Zeolit-Tembaga Untuk Wick Heat Pipe*, Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan X, pp. 348-352.
- [3] Rawangkul, R., Khedari, J., Hirunlabh, J., & Zeghmatai, B., 2008, *Performance Analysis of A New Sustainable Evaporative Cooling Pad Made From Coconut Coir*, International Journal of Sustainable Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 117-131.
- [4] Gunhan, T. U. N. C. A. Y., Demir, V. E. D. A. T., & Yagcioglu, A. K., 2007, *Evaluation of The Sustainability of Some local Materials*

as Cooling Pads, Biosystems Engineering, Vol. 96, No. 3, pp. 369-377.

- [5] Liao, C. M., & Chiu, K. H., 2002, *Wind Tunnel Modeling The System Performance of Alternative Evaporative Cooling Pads in Taiwan Region*, Building and Environment, Vol. 37, No. 2, pp. 177-187.
- [6] Hosseini, R., Beshkani, A., & Soltani, M., 2007, *Performance Improvement of Gas Turbines of Fars (Iran) Combined Cycle Power Plant by Intake Air Cooling Using A Media Evaporative Cooler*. Energy Conversion and Management, Vol. 48, No. 4, pp. 1055-1064.
- [7] Extrand, C. W., & Moon, S. I., 2009, *Using The Flotation of A Single Sphere to Measure And Model Capillary Forces*. Langmuir, Vol. 25, No. 11, pp. 6239-6244.

	<p>I Gede Wahyu Wiwekanyana telah menyelesaikan Pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana dari tahun 2017 hingga 2021 dengan topic penelitian Studi Eksperimental Karakteristik Kerja Kapiler Material Karbon Aktif Bambu Betung Tanpa <i> Holding Time</i></p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan material karbon aktif</p>	