

Studi Eksperimental Karakteristik Tekanan Kapiler Pada Material Pad Hasil Aktivasi Bambu Betung Tanpa Holding Time

Reinhard Aditya Noversan Sihombing, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Dalam perkembangan zaman ini, telah diketahui secara luas bahwa pemanasan global yang terjadi pada bumi semakin meningkat, dan oleh karena itu dalam usaha mendapatkan tingkat kenyamanan dalam ruangan, diperlukan sistem pendingin yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. Salah satu sistem pendingin alternatif adalah sistem *direct evaporative cooling*. Pada sistem *direct evaporative cooling*, material pad digunakan sebagai media perpindahan panas yang berguna untuk meningkatkan bidang kontak antara udara dan air. Bahan dasar material pad yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bambu betung lokal yang berasal dari Bali. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur aktivasi terhadap karakteristik tekanan kapiler pada arang aktif bambu betung yang suhunya di variasikan dimulai dari 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C kemudian diaktivasi dengan temperatur 600°C tanpa holding time. Pengujian ini meliputi beberapa pengujian seperti uji SEM, uji sudut kontak, dan uji kapilaritas. Hasil dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa spesimen MKA 800 memiliki kecocokan yang sangat besar dijadikan sebagai material pad pada sistem *direct evaporative cooling* dengan karakteristik jari-jari pori 29,16 µm, sudut kontak 36,6° dan tekanan kapiler tertinggi yaitu 39.890,26 N/m².

Kata Kunci : Direct Evaporative Cooling, bambu betung, material, karbonisasi, aktivasi dan kapilaritas.

Abstract

In the development of this era, it is widely known that global warming that occurs on the earth is increasing and therefore in an effort to get a comfortable level in the room, a cooling system that is more energy efficient and environmentally friendly is needed. One alternative cooling system is the system direct evaporative cooling. In direct evaporative cooling systems, material pads are used as a heat transfer medium which is useful for increasing the contact area between air and water. The basic material for the pad material used is local bamboo betung from Bali. This study aims to analyze the effect of variations in activation temperature on the characteristics of capillary pressure on bamboo betung activated charcoal whose temperatures are varied starting from 500°C, 600°C, 700°C, and 800°C then activated with a temperature of 600 ° C without holding time. . This test includes several tests such as SEM test, contact angle test, and capillarity test. The results of all tests indicate that the MKA 800 specimen has a very good suitability as a pad material in a system direct evaporative cooling with a pore radius of 29.16 µm, a contact angle of 36.6° and the highest capillary pressure of 39890.26 N/m².

Keywords: Direct Evaporative Cooling, bamboo betung, material, carbonization, activation and capillarity.

1. Pendahuluan

Telah diketahui secara luas bahwa pemanasan global yang terjadi pada bumi semakin meningkat dan oleh karena itu, negara kita adalah negara tropis yang memiliki suhu rata-rata antara 30-35°C dengan tingkat kelembaban relative 70-80%. Dengan demikian untuk mencapai standar kenyamanan udara 22-25°C dan tingkat kelembaban relative 40-60% digunakan sistem air conditioning (AC) yang berbasis kompresor dimana memerlukan input energy listrik yang cukup besar dan berdampak pada lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan refrigerant pada sistem AC tersebut yang dapat meningkatkan pemanasan global yang terjadi [1].

Sehubungan dengan hal tersebut, maka pada saat ini banyak dikembangkan sebuah sistem pendingin yang diharapkan dapat lebih hemat energy dan ramah lingkungan. Salah satu sistem hemat energy tersebut adalah sebuah sistem pendingin evaporative, yang hanya membutuhkan air dan udara sebagai energy penggerak sistem. Direct evaporative cooling merupakan salah satu sistem pendingin evaporative

yang memanfaatkan panas sensible udara luar untuk menguapkan lapisan air yang terdapat pada material pad yang basah, dimana proses penguapan ini akan menghasilkan efek pendinginan pada udara karena sebagian besar panas sensibelnya telah digunakan dalam proses evaporasi tersebut.

Material cooling pad yang banyak digunakan untuk sistem direct evaporative cooling biasanya material yang berpori seperti misalnya serabut kelapa, palash fiber, khus, aspen material, charcoal dan lain-lain yang fungsinya untuk dapat menyerap dan menampung air dalam jumlah yang cukup pada cooling pad, untuk penyediaan air bagi berlangsungnya proses evaporasi pada permukaan material cooling pad.

Peneliti yang sudah melakukan penelitian berbagai material dari jenis metal, fiber, ceramics, zeolite dan carbon fibre sebagai material penukar panas dan massa menyatakan bahwa secara umum material penukar panas dan massa yang baik harus memiliki konduktivitas thermal yang tinggi dan daya kapiler (capillary force) yang besar. Konduktivitas

thermal yang tinggi memungkinkan terjadinya perpindahan panas sensible udara secara konduksi dari saluran kering kesaluran basah yang lebih besar pada sistim indirect evaporative cooling, sedangkan capillary force yang besar akan mampu menyerap dan menahan jumlah massa air yang lebih besar pada material. Panas yang dikonduksikan tersebut diatas, cenderung akan menguapkan massa air yang tertahan pada material dan dengan panas terkonduksi yang lebih tinggi, akan mampu menguapkan massa air yang lebih banyak, sehingga akan meningkatkan efisiensi pendinginan.

Dalam penelitian ini, permasalahan yang akan dibahas adalah menganalisa karakteristik tekanan kapiler pada material pad hasil aktivasi bambu betung tanpa holding time. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa karakteristik tekanan kapiler material karbon aktif bambu betung sebagai material pad sistim *direct evaporative cooling*. Untuk memperoleh hasil yang maksimal dan lebih terarah serta luasnya permasalahan yang ada, maka perlu membatasi masalah dalam penelitian ini meliputi :

1. Material dalam penelitian ini yaitu bambu betung lokal bali.
2. Proses karbonisasi dilakukan pada temperature lingkungan (*ouddoor*).
3. Reaktor karbonisasi dalam lingkungan bebas oksigen (*inert atmosphere*).
4. Temperatur karbonisasi sebesar 500°C, 600°C, 700°C, 800°C tanpa *holding time* dan temperatur aktivasi sebesar 600°C.
5. Pengujian yang dilakukan hanya meliputi Proses Karbonisasi, Proses Aktivasi Karbon, Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM), Pengujian Wettability.

2. Dasar Teori

2.1. Pembuatan Arang Karbon Aktif

Dalam pembuatan arang karbon aktif akan melewati 2 proses yaitu 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 dan sulfur. Dalam usaha meningkatkan daya serap arang, maka dilakukan proses aktivasi fisika yang bertujuan untuk meningkatkan struktur pori-porinya.

2.2. Porositas

Porositas material adalah besaran yang menyatakan rasio antara volume pori dan volume total dari material. Pada material berpori, besarnya porositas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\epsilon = \frac{V_{pw}}{V_w} \dots\dots\dots 1$$

dimana ϵ adalah porositas, V_{pw} adalah volume pori yang terbentuk (m^3/g) dan V_w adalah volume total material berpori (m^3/g).

2.3. Kapilaritas

Kapilaritas adalah kemampuan cairan mengalir pada ruang sempit tanpa adanya bantuan atau energi tambahan dan bertentangan dengan kekuatan eksternal seperti gravitasi [2]. Terjadinya kapilaritas disebabkan oleh adanya gaya tarik menarik antara molekul-molekul zat cair dan zat padat, sehingga porous media dengan saluran (pori) yang cukup kecil akan menyebabkan terjadinya kombinasi antara tegangan permukaan. Dengan semakin besar volume saluran (pori) kecil yang terbentuk pada material berpori (*porous material*) akan meningkatkan gaya tarik menarik antara molekul-molekul zat cair dan zat padat, sehingga akan meningkatkan daya kapiler (*capillary force*) pada material berpori tersebut. Daya kapiler akan mengangkat dan atau mensirkulasikan sejumlah massa fluida cair (air) ke seluruh bagian material.

Proses karbonisasi pada material bambu betung akan menghasilkan peningkatan struktur pori dan surface morfologi 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, dan dengan peningkatan karakteristik kapilaritas ini, nantinya diharapkan dapat memperluas wetted area dan memperbesar volume air (*water retaining volume*) pada material karbon bambu betung untuk sistim *direct evaporative cooling*. Besarnya tekanan kapiler (*capillary pressure*) pada material berpori dapat ditentukan dengan persamaan :

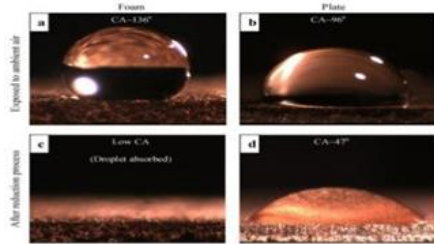
$$\Delta P_{cap} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r_p} \dots\dots\dots 2$$

dimana ΔP_{cap} adalah tekanan kapiler ($Pa=N/m^2=kg/m.s^2$), σ adalah tegangan permukaan cairan (N/m), $\cos \theta$ adalah sudut kontak (derajat), r_p adalah jari-jari pori (μm).

2.4 Kemampuan Basah (Wettability)

Sifat mampu basah (*wettability*) adalah kemampuan suatu fluida untuk membasahi permukaan zat padat, dan *wettability* sangat

mempengaruhi kapilaritas dari suatu material. Untuk dapat memiliki kapilaritas, suatu material harus memiliki sifat mampu basah sebagai syarat utamanya. Wettability material dipengaruhi oleh sudut kontak. Pada Gambar 1 dijelaskan bahwa makin kecil sudut kontak yang terbentuk antara fluida dan material padat, maka material tersebut akan memiliki wettability yang makin besar dan sebaliknya wettability dan kapilaritas material akan menurun dengan bertambah besarnya sudut kontak [5].



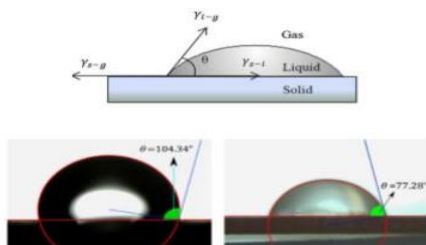
Gambar 1. Wettability material (Shirazy et.al., 2012)

Sudut kontak θ antara permukaan gas-cairan dan permukaan cairan-padat akan terbentuk pada saat gas, cairan dan padat dalam keadaan stabil. Bila sudut kontak antara zat padat dan cairan makin kecil, maka wettability material tersebut makin besar.

Sudut kontak dibentuk oleh permukaan padat dan garis singgung permukaan atas dari droplet (tetesan fluida). Sudut kontak merupakan hasil dari tegangan-tegangan permukaan zat gas, cair dan padat. Perhitungan sudut kontak dapat dilakukan seperti pada Gambar 2 dengan menggunakan perumusan seperti berikut :

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{sg} - \gamma_{ls}}{\gamma_{lg}} \dots\dots\dots 3$$

dimana γ_{sg} , γ_{ls} , γ_{lg} masing-masing adalah tegangan permukaan padat-gas, tegangan permukaan cair-padat, dan tegangan permukaan cair-gas, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Sudut kontak cairan dan zat padat (Xu et.al., 2013)

3. Metode Penelitian

3.1 Pembuatan Arang Karbon Aktif

Pada proses pembuatan arang karbon aktif, peralatan yang di gunakan pada proses karbonisasi

adalah reaktor karbonisasi dan gas nitrogen pada proses aktivasi.



Gambar 3. Peralatan proses karbonisasi

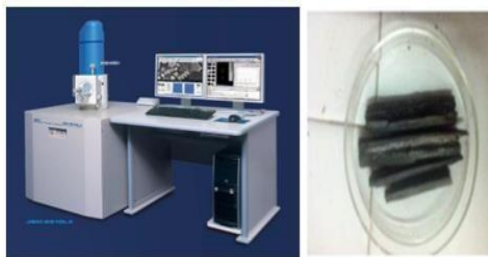
Pada penelitian ini akan di lakukan terlebih dahulu tahap karbonisasi pada masing masing spesimen dengan variasi temperatur karbonisasi 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C tanpa *holding time*, yang menghasilkan spesimen berturut-turut diberi nama MK 500, MK 600, MK 700, dan MK 800. Kemudian setelah di karbonisasi, untuk meningkatkan struktur pori dilakukan dengan proses aktivasi dengan menyuntikan aliran dari gas nitrogen pada seluruh spesimen kemudian spesimen akan di panaskan dalam reaktor dengan suhu 600°C dan menghasilkan spesimen yang diberi nama MKA 500, MKA 600, MKA 700, dan MKA 800.

3.2 Pengujian SEM

Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)* berfungsi untuk mengetahui karakteristik struktur mikro dari spesimen bambu betung. Pelaratan ini terdiri dari 1 unit alat *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan aplikasi image J untuk menganalisis hasil uji SEM.

Pada pengujian ini diperlukan spesimen arang bambu betung pada temperatur karbonisasi 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C dengan ukuran masing-masing 2mm x 2mm. Lalu setiap spesimen yang telah dipotong sesuai ketentuan akan dimasukan ke dalam alat uji SEM, dan dilayar komputer akan ditunjukkan stuktur pori dari setiap spesimen. Selanjutnya menentukan dan mengambil gambar stuktur pori dari masing-masing spesimen dengan ketentuan gambar tersebut harus terlihat jelas, bersih dari kotoran yang menutupi pori dan harus memuat pori yang kecil hingga pori yang besar. Setelah gambar struktur pori didapatkan maka akan dianalisis menggunakan aplikasi Image J.

Aplikasi Image J merupakan aplikasi yang digunakan untuk pengolahan gambar untuk mendapatkan berbagai proses analisis seperti jarak, sudut, luas area dan lain-lain. Pada analisis gambar uji SEM ini, aplikasi Image J digunakan untuk mendapatkan distribusi luas permukaan pori dari setiap spesimen arang bambu betung.



Gambar 4.Peralatan Pengujian SEM dan contoh material yang akan diuji

3.3 Pengujian Sudut Kontak

Adapun tahapan pengujian sudut kontak pada penelitian ini yaitu dengan cara meletakkan spesimen tepat dibawah *syringe pump* kemudian di injeksikan air berupa droplet tepat di permukaan pori dan kulit pada seluruh spesimen MKA, pengujian dilakukan dengan mengambil video melalui kamera HSVC (*High Speed Video Camera*) kemudian di lakukan analisis dalam bentuk gambar dengan aplikasi image J.



Gambar 5.Pengujian Sudut Kontak

3.4 Pengujian Kapilaritas

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

1. Terlebih dahulu mempersiapkan spesimen MKA 500, MKA 600, MKA 700, dan MKA 800.
2. Kemudian timbang untuk mendapat nilai massa spesimen sebelum menyerap air.
3. Lakukan pengujian dengan menempelkan sebuah tisu dipermukaan atas spesimen yang akan diuji.
4. Mengisi gelas beker dengan air dan meletakkan nya diatas timbangan.
5. Memegang spesimen dengan posisi bagian bawah spesimen menempel dengan permukaan air di gelas beker.
6. Bersamaan dengan langkah no.4 hidupkan stopwatch.
7. Ketika seluruh bagian tisu sudah basah, matikan stopwatch dan angkat spesimen dari gelas beker dan timbang massa spesimen setelah penyerapan.
8. 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 Hasil Karbonisasi

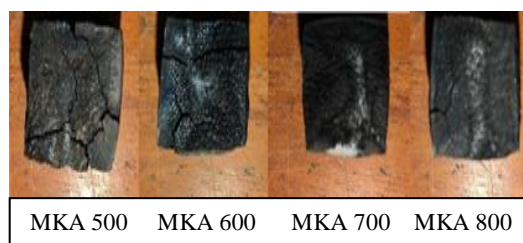
Hasil yang didapatkan dari proses karbonisasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 6.Spesimen Hasil Proses Karbonisasi

4.2 Hasil Aktivasi

Adapun hasil dari proses aktivasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

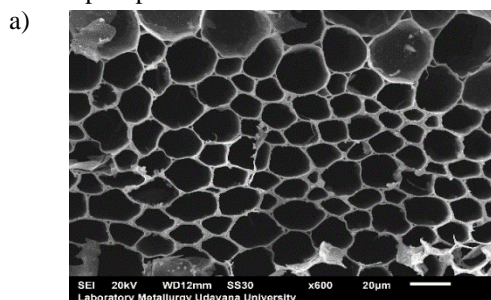


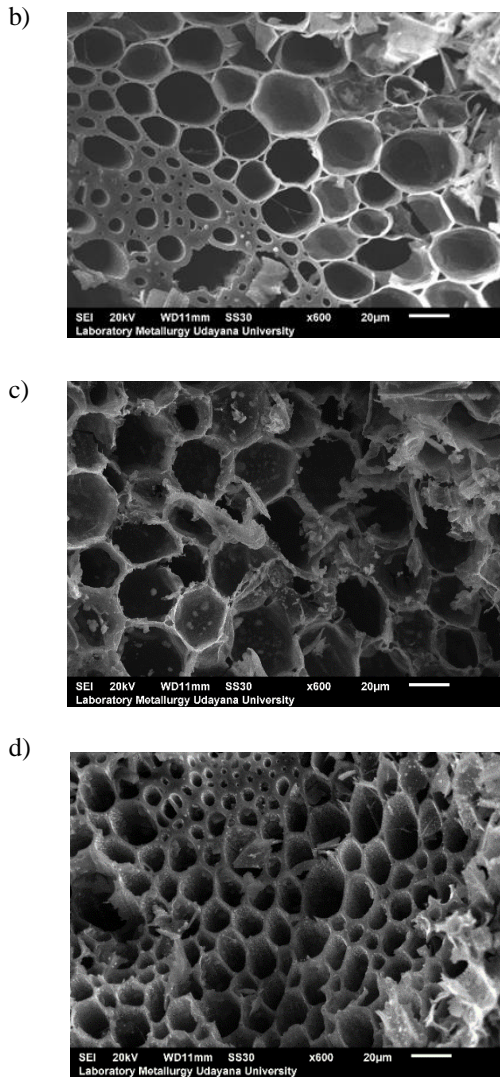
Gambar 7.Spesimen Hasil Proses Aktivasi

4.3 Karakteristik Struktur Pori

Struktur pori pada bambu betung dapat diketahui melalui pengujian SEM (Scanning Electron Microscope). Dimana objek yang diamati adalah permukaan pori pada arang bambu betung. Diperlukan spesimen arang bambu, dihasilkan melalui pengujian karbonisasi, pada masing-masing temperatur (500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C) dengan ukuran 2mm x 2mm x 2mm, sebagai tahap awal pengujian SEM. Kemudian dilakukan analisis struktur pori yang ditampilkan pada layar monitor. Tahap akhir dari pengujian SEM adalah menentukan dan mengambil gambar struktur pori pada masing-masing spesimen dengan resolusi 500 µm, 50 µm, dan 20 µm. Dimana gambar struktur pori tersebut akan dianalisis menggunakan aplikasi Image J.

Gambar 8 menunjukkan hasil analisis dengan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada keempat spesimen :





Gambar 8. Struktur Pori Pada Spesimen (a)MKA 500, (b)MKA 600, (c)MKA 700, (d)MKA 800

Pada Tabel 1 merupakan hasil analisis uji SEM yang diolah dengan aplikasi Image J dan sudah diproses dengan *Microsoft Excel*.

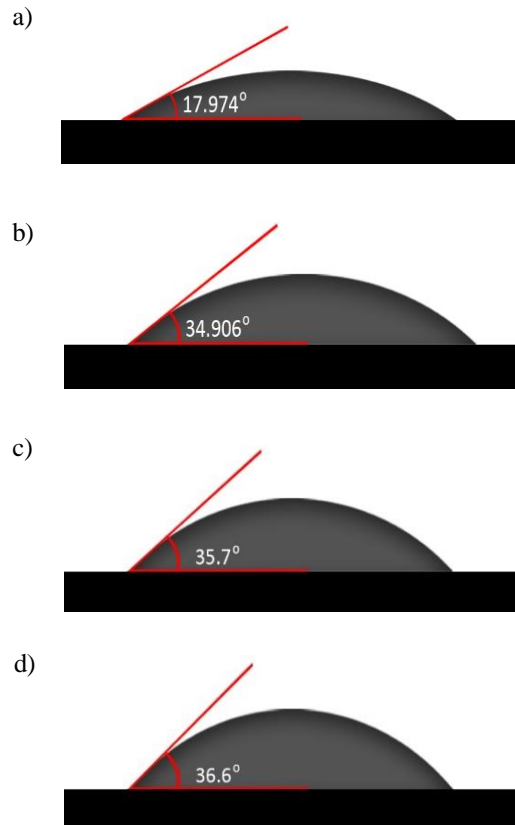
Tabel 1 Hasil Pengolahan Data Struktur Pori Pada Bambu Betung

Nama Spesimen	Jari-Jari Pori (µm)	Jari-Jari Pori (m)
MKA 500	41,67	41,67 x 10 ⁻⁶
MKA 600	34,48	34,48 x 10 ⁻⁶
MKA 700	33,16	33,16 x 10 ⁻⁶
MKA 800	29,16	29,16 x 10 ⁻⁶

4.4 Pengujian Sudut Kontak

Pada pengujian sudut kontak ini yang dimaksud yaitu untuk menganalisis daya serap material terhadap suatu fluida yang menyentuh material tersebut. Sudut kontak antara fluida berupa air dengan permukaan pori bambu betung dapat

diketahui melalui pengujian *wettability* (kemampuan basah). Berikut adalah hasil dari pengujian sudut kontak pada penelitian ini :



Gambar 9. Sudut kontak pada spesimen (a)MKA 500, (b)MKA 600, (c)MKA 700, (d)MKA 800

Pada gambar 9 ditunjukkan bahwa pada spesimen MKA 500 (500°C) mempunyai sudut kontak terkecil, yaitu 17.974° dan pada spesimen MKA 800 (800°C) mempunyai sudut kontak terbesar, yaitu 36.6°. Adapun hasil dari besar sudut kontak dan besar $\cos\theta$ adalah sebagai berikut :

Tabel 2 Data Sudut Kontak

Nama Spesimen	Sudut Kontak (°)	Cosθ
MKA 500	17,974°	0,95
MKA 600	34,906°	0,82
MKA 700	35,7°	0,81
MKA 800	36,6°	0,80

4.5 Karakteristik Kapilaritas

Pada penelitian ini, pengujian kapilaritas dilakukan untuk mengetahui besar ketinggian permukaan air (mm) setiap 1 detik pada spesimen MKA 500 (500°C), MKA 600 (600°C), MKA 700 (700°C), dan MKA 800 (800°C). Dimana dengan mengetahui waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir, dapat ditentukan nilai tegangan permukaan fluida pada setiap spesimen uji. Dimana dengan mengetahui besar ketinggian permukaan air setiap 1

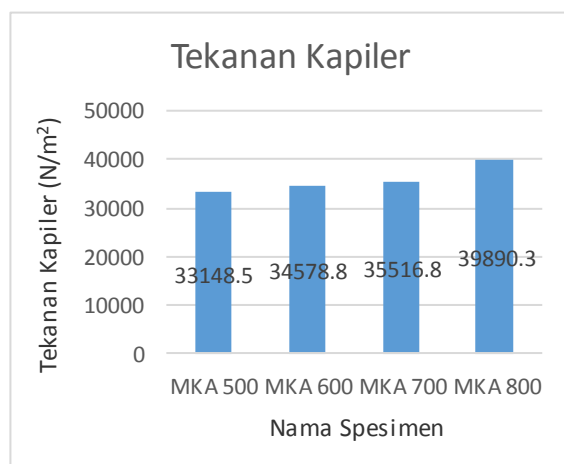
detik dapat ditentukan nilai tegangan permukaan fluida pada setiap spesimen uji.

Pada tabel 3, menunjukkan hasil pengolahan data karakteristik tegangan permukaan fluida pada bambu betung. Ditampilkan tegangan permukaan fluida (N/m) dan besar tekanan kapiler (N/m²).

Tabel 3 Hasil Pengolahan Data Tegangan Permukaan dan Pengujian Kapilaritas

Nama Spesimen	Tegangan Permukaan (N/m)	Tekanan Kapilaritas (N/m ²)
MKA 500	0,0727 N/m	33.148,5 N/m ²
MKA 600	0,0727 N/m	34.578,8 N/m ²
MKA 700	0,0727 N/m	35.516,8 N/m ²
MKA 800	0,0727 N/m	39.890,3 N/m ²

Pada Gambar 10, menunjukkan hasil perhitungan tekanan kapiler berupa grafik antara spesimen arang aktif MKA 500, MKA 600, MKA 700 dan MKA 800. Berdasarkan grafik tersebut, ditunjukkan bahwa spesimen MKA 800 memiliki nilai tekanan kapiler tertinggi yaitu 39.890,3 N/m² dan spesimen MKA 500 memiliki nilai tekanan kapiler terendah yaitu 33.148,5 N/m².



Gambar 10. Grafik perbandingan nilai tekanan kapiler

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan bahwa spesimen arang aktif bambu MKA 800 memiliki nilai tekanan kapiler yang tertinggi yaitu 39.890,3 N/m² jika dibandingkan dengan spesimen lain yang diuji. Maka dapat disimpulkan bahwa spesimen arang aktif bambu MKA 800 yang dikarbonisasi di suhu 800°C dan diaktivasi di suhu 600°C tanpa holding time cocok menjadi material *pad* pada sistem *direct evaporative cooling* karena memiliki memiliki nilai tekanan kapiler yang paling tinggi diantara 4 variasi temperature arang aktif yang di uji pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] ASHRAE. 1989. ANSI/ASHRAE Standard 62-1989, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [2] Lago, M. & Araujo, M. 2001. *Capillary Rise In Porous Media. Physica A: Statistical Mechanics And Its Applications*, 289, 1-17.
- [3] Midiani, L. P. I., Septiadi, W. N., Winaya, I. N. S., Sucipta, M., & Putra, N. (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, 145, 118759.
- [4] 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.
- [5] Shirazy, M. R., Blais, S. & Fréchet, L. G. 2012. *Mechanism Of Wettability Transition In Copper Metal Foams: From Superhydrophilic To Hydrophobic*. Applied Surface Science, 258, 6416-6424.
- [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] 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.

	<p>Reinhard Aditya Noversan Sihombing menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2014 sampai 2021. Topik yang diangkat dalam menyelesaikan studi sarjana adalah sebagai berikut : Studi Eksperimental Karakteristik Tekanan Kapiler Pada Material Pad Hasil Aktivasi Bambu Betung Tanpa Holding Time.</p>
--	--