

# Studi Eksperimental Karakteristik Hambatan Kekentalan Fluida Pada Material Karbon Aktif Bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi

Gede Ogie Indra Putra, Hendra Wijaksana, I Gede Teddy Prananda Surya  
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Sistem pendingin udara saat ini banyak yang berbasis kompresor, telah menyebabkan penggunaan energi listrik mengalami peningkatan. Mesin-mesin pendingin tersebut diatas yang menggunakan refrigeran sebagai fluida kerja, juga memicu peningkatan kerusakan lingkungan dan menyebabkan terjadinya pemanasan global. sistem direct evaporative cooling adalah cooling pad (bantalan pendingin), yang merupakan media basah dimana terjadi kontak antara udara dan air. Kebanyakan dari material bantalan pendingin yang digunakan adalah jenis material yang memerlukan pembasahan menggunakan pompa. Dalam penelitian ini akan mengkaji secara spesifik bagaimana karakteristik hambatan kekentalan fluida dengan menggunakan fluida kerja air untuk mengetahui gaya hambat yang terjadi pada pori material pada material bambu betung, nantinya akan dihasilkan material karbon aktif bambu betung dengan porositas dan distribusi pori untuk menganalisa bagaimana karakteristik hambatan kekentalan fluida material bambu betung yang telah melalui proses karbonisasi dan aktivasi tanpa holding time. Dengan menggunakan tiga variabel yaitu variabel bebas karbonisasi dengan variasi temperatur 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C. Variabel terikat yaitu karakteristik hambatan kekentalan fluida. Dan variabel kontrol dengan melakukan aktivasi dengan temperatur 600°C (tanpa holding time). Setelah dilakukan penelitian material karbon aktif bambu betung dengan kode QRC800 menghasilkan gaya hambat terkecil yakni  $4.36 \times 10^{-7}$  N dengan daya tampung paling sedikit hanya sebesar  $0.87 \times 10^{-10}$  m<sup>3</sup> namun memiliki kenaikan kapiler tertinggi yaitu 7.61 m. sedangkan material karbon aktif bambu betung dengan kode QRC500 menghasilkan gaya hambat terbesar yakni sebesar  $7.12 \times 10^{-7}$  N dengan daya tampung volume fluida terbesar yakni  $1.42 \times 10^{-10}$  m<sup>3</sup> namun memiliki tingkat kenaikan kapiler paling rendah yaitu hanya 4.66 m. Material karbon aktif bambu betung dengan diameter pori yang lebih besar, akan menghasilkan gaya hambat yang besar dan juga memiliki daya tampung yang lebih besar dengan kenaikan kapilernya yang lebih rendah dibandingkan diameter pori yang lebih kecil.

**Kata Kunci:** kenaikan kapiler, hambatan, karbonisasi, material karbon, bambu, tanpa holding time

## Abstract

Currently, many air conditioning systems are compressor-based, which has caused the use of electrical energy to increase. The cooling machines mentioned above, which use refrigerants as working fluids, also trigger an increase in environmental damage and cause global warming. The direct evaporative cooling system is a cooling pad, which is a wet medium where air and water come in contact. Most of the cooling pad materials used are materials that require wetting using a pump. In this study will examine specifically how the characteristics of the fluid viscosity resistance by using water working fluid to determine the drag force that occurs in the pore material on the betung bamboo material, later betung bamboo active carbon material will be produced with porosity and pore distribution to analyze how the characteristics of the viscosity resistance betung bamboo material fluid that has gone through the process of carbonization and activation without holding time. By using three variables, namely carbonization independent variables with temperature variations of 400°C, 500°C, 600°C, 700°C and 800°C. The dependent variable is the fluid viscosity resistance characteristics. And the control variable is activated with a temperature of 600°C (without holding time). After doing research, the activated carbon material of betung bamboo with QRC800 code produces the smallest drag force, namely  $4.36 \times 10^{-7}$  N with a minimum capacity of only  $0.87 \times 10^{-10}$  m<sup>3</sup> but has the highest capillary rise of 7.61 m. while the bamboo betung activated carbon material with QRC500 code produces the largest drag force of  $7.12 \times 10^{-7}$  N with the largest fluid volume capacity of  $1.42 \times 10^{-10}$  m<sup>3</sup> but has the lowest capillary rise rate of only 4.66 m. Betung bamboo activated carbon material with a larger pore diameter, will produce a large drag force and also has a greater capacity with a lower capillary rise than a smaller pore diameter.

**Keywords:** capillary rise, resistance, carbonization, carbon material, bamboo, without holding time

## 1. Pendahuluan

Penggunaan sistem pendingin udara berbasis kompresor yang sangat luas saat ini, telah memicu peningkatan penggunaan energi listrik berbahan bakar energi fosil. Mesin-mesin pendingin tersebut diatas yang menggunakan refrigeran sebagai fluida kerja, juga memicu peningkatan kerusakan

lingkungan. Berdasarkan keadaan tersebut diatas, banyak peneliti mencoba mencari sistem pendingin alternatif untuk sistem pendingin berbasis kompresor Air Conditioning (AC) tersebut. Pendingin evaporatif sendiri dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian besar yakni Direct Evaporative Cooling (DEC), Indirect Evaporative Cooling (IEC) dan Semi-

*Indirect Evaporative Cooling (SIEC)*. Sistem DEC merupakan sistem pendingin evaporatif yang paling sederhana konstruksinya. Pada sistem pendingin ini, ketika udara panas dan lembab melewati permukaan basah *cooling pad*, maka air akan menguap dan udara kehilangan panas sensibelnya, dan pada saat yang bersamaan akan menghasilkan panas laten penguapan air dalam jumlah yang sama dengan panas sensibelnya, yang pada akhirnya akan menurunkan temperatur udara yang melewati *cooling pad* yang basah tersebut. Komponen utama dari sistem *direct evaporative cooling* adalah *cooling pad* (bantalan pendingin), yang merupakan media basah dimana terjadi kontak antara udara dan air. Kebanyakan dari material bantalan pendingin yang digunakan adalah jenis material yang memerlukan pembasahan menggunakan pompa.

Sehubungan dengan hal tersebut diatas, dalam penelitian ini dilakukan pengujian karakteristik kapilaritas material *pad* alternatif yang berbahan dasar bambu betung. Dimana melalui proses karbonisasi dan aktivasi pada material bambu betung, akan dihasilkan material karbon aktif bambu betung yang memiliki sifat kapilaritas. Dengan karakteristik kapilaritasnya, diharapkan material karbon aktif bambu betung akan mampu untuk membasahi dirinya sendiri dengan cara memompakan/menaikkan air kedalam pori-porinya secara kapiler sehingga tidak diperlukan tambahan energi listrik untuk pompa.

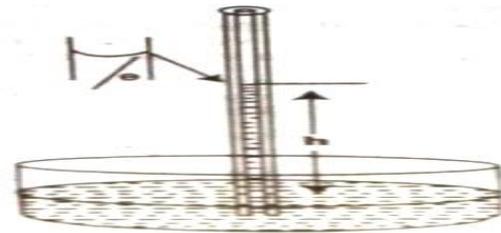
Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah, bagaimana karakteristik hambatan kekentalan fluida pada material karbon aktif bambu betung sebagai material *pad* alternatif dengan variasi temperatur karbonisasi. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari luasnya permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan pembatasan antara lain:

1. Material dasar penelitian ini adalah Bambu Betung lokal Bali
2. Pengujian hanya meliputi proses karbonisasi, proses aktivasi dan pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)*.
3. Pori Material-material karbon aktif bambu betung diasumsikan berbentuk silinder.
4. Perhitungan diameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan nilai rata-rata distribusi jari-jari pori hasil uji *Scanning Electron Microscope (SEM)*
5. Suhu ruangan tempat pengujian dianggap konstan.
6. Fluida kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah air.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Kenaikan kapiler (*capillary rise*)

Kenaikan Kapiler (*Capillary Rise*) adalah kenaikan yang terjadi pada permukaan fluida yang disebabkan oleh gaya adhesi karena terjadi gaya tarik menarik antara molekul air dengan dinding pori material.



Gambar 1. *Capillary Rise*

*Capillary rise* merupakan kombinasi gaya kohesi dan gaya adhesi yang menyebabkan permukaan fluida menjadi naik kedalam diameter yang sempit melalui saluran pori. Jika gaya adhesi (gaya tarik menarik antara molekul air dengan dinding pori material) lebih kuat dari gaya kohesi (gaya tarik menarik antara molekul-molekul air), maka fluida akan membasahi dinding pori (*capillary wall*) dan akan menghasilkan kenaikan permukaan fluida hingga level tertentu, dengan meniskus berbentuk cekung (*concave*). Sebaliknya bila gaya adhesi lebih lemah dari gaya kohesi, maka permukaan fluida akan mengalami penurunan dengan meniskus berbentuk cembung (*convex*). Dirumukan sebagai berikut:

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

R = jari-jari meniskus = jari-jari pori (m)

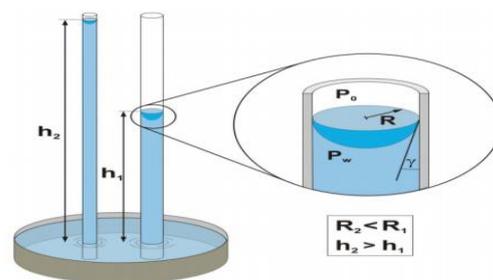
$\Sigma$  = tegangan permukaan cairan = 0.0727 N/m (suhu air 20°C)

$\gamma$  = sudut meniskus cairan dengan dinding pori (°)

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>



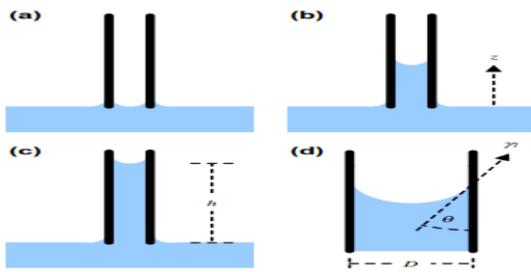
Gambar 2. Skematik Kenaikan Untuk Kapiler Silinder

Bila diketahui untuk kebanyakan cairan, termasuk air, sudut  $\gamma$  yang terbentuk sangat kecil dan mendekati nol, dan tekanan kapilernya ( $P_c$ ) sama dengan Tekanan Hidrostatiknya ( $P_h$ ), maka ketinggian kenaikan Kapiler, h dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$h = \frac{2\sigma\cos\gamma}{\rho_w g r} \quad (2)$$

### 2.2 Mekanisme Kenaikan Kapiler

Mekanisme naiknya ketinggian permukaan fluida pada pori kapiler dapat diperlihatkan seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3. Mekanisme Kenaikan Kapiler pada Pori Kapiler**

1. Pori kapiler disentuh dengan cairan (fluida) yang memiliki tegangan permukaan sebesar  $\gamma$ , dengan massa jenis,  $\rho$ , dan viskositas,  $\mu$ . (Gambar 2.7a).
2. Kemudian mulai terbentuk meniscus pada diameter dalam pori kapiler dan selanjutnya meniscus akan membasahi pori material dengan sudut kontak  $\theta$ , yang diasumsikan konstan terhadap waktu dan posisi. Selanjutnya cairan dengan cepatnya mulai naik pada pori kapiler dalam arah  $z$  atau vertikal, sangat cepat di awal tetapi kemudian melambat, seperti ditunjukkan oleh Gambar (2.7b). Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai ketinggian  $z$ , dapat diperkirakan dengan menggunakan Persamaan Lucas–Washburn:

$$t = \frac{-128\gamma\mu}{\rho^2g^2D^3} \left[ \frac{\rho g D z}{4\gamma\cos\theta} + \cos\theta \cdot \ln \left( 1 - \frac{\rho g D z}{4\gamma\cos\theta} \right) \right] \quad (3)$$

3. Selanjutnya cairan akan berhenti naik, setelah mencapai ketinggian akhir,  $h$ . Jika diameter pori sangat kecil dibandingkan dengan ketinggian  $h$ ,  $h > D$ , maka ketinggian maksimum,  $h$  dapat diestimasi sebagai berikut:

$$h = \frac{4\gamma\cos\theta}{\rho g D} \quad (4)$$

### 2.3 Energi Potensial

Pengujian energi yang berhubungan dengan kaikan cairan (*liquid rising*) pada pori kapiler pertama kali dilakukan oleh (Brown, 1941). Disebutkan bahwa kesetimbangan energi pada pori kapiler (*capillary tube*) mengandung tiga bentuk energi yakni (1) Kerja yang dilakukan untuk menaikkan cairan,  $W$ . (2) Energi Kinetik yang dalam hal ini diwakili oleh adanya viscous dissipation (hambatan karena kekentalan) pada cairan mengalir dalam pori kapiler,  $K$ . (3) Energi Potensial yang merupakan energi yang tersimpan dalam kolom cairan pada pori kapiler,  $\Delta U$ . Hubungan ketiga energi tersebut diatas dapat dirumuskan seperti pada persamaan berikut:

$$W - K = -\Delta U \quad (5)$$

Berdasarkan Teori Termodinamika Dasar bahwa perubahan energi potensial ( $-\Delta U$ ) dapat dihitung dengan mengintegrasikan gaya hidrostatis ( $f_i$ ) yang bekerja di dalam pori yang menyebabkan kenaikan cairan dari  $z=0$  ke  $z=h$ .

$$-\Delta U = \int_0^h f_i \cdot dz \quad (6)$$

Sementara gaya hidrostatis merupakan perkalian antara tekanan hidrostatis ( $\Delta P$ ) dengan luas penampang pori ( $A_c$ ) dan dirumuskan seperti pada persamaan:

$$f_i = \Delta P \cdot A_c = \frac{\pi}{4} \rho g D^2 z \quad (7)$$

Kombinasi Persamaan (2.14) dan (2.15) menghasilkan besarnya perubahan energi potensial akibat kenaikan kapiler:

$$-\Delta U = \int_0^h \frac{\pi}{4} \rho g D^2 z \cdot dz = \frac{\pi}{8} \rho g D^2 h^2 \quad (8)$$

### 2.4 Energi Kinetik

Dalam kesetimbangan energi pada pori kapiler, hambatan kekentalan fluida adalah merepresentasikan energi kinetik yang terjadi dalam pori kapiler. Hambatan kekentalan fluida ini menyebabkan kehilangan sebagian energi yang digunakan untuk mengangkat fluida ke dalam pori. Dengan demikian hambatan kekentalan fluida ini dihitung sebagai kehilangan energi untuk aliran laminar fluida yang melewati luas permukaan pori kapiler dan besarnya dapat diestimasi dari volume fluida dan perubahan tekanan ( $\Delta P$ ) pada pori kapiler sebagai:

$$K = \int_0^{\Delta P} V \cdot d(\Delta P) \quad (9)$$

Untuk kenaikan kapiler, Persamaan (2.16) berubah menjadi:

$$K = \int_0^h \frac{\pi}{4} \rho g D^2 z \cdot dz = \frac{\pi}{8} \rho g D^2 h^2 \quad (10)$$

$K$  = Hambatan Kekentalan Fluida = Energi Kinetik (kJ)

### 3. Metode Penelitian

Penelitian dan pengujian karbon aktif bambu betung ini mempergunakan peralatan sebagai berikut:

1. Timbangan untuk menghitung berat dari bambu betung yang sudah diukur sebelum dan sesudah karbonisasi.
2. Oven untuk menghilangkan kadar air sebelum proses karbonisasi.
3. Reaktor *Pyrolysis* sebagai tempat proses karbonisasi bambu betung.
4. *Stopwatch* untuk mengukur waktu karbonisasi dan aktivasi.
5. Nitrogen sebagai gas penghilang oksigen pada saat proses karbonisasi dalam reaktor.
6. *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mendapatkan gambar struktur mikro dari material karbon aktif bambu betung.
7. *Image J* sebagai aplikasi penganalisa sesudah dilakukannya uji *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu betung yang digunakan sebagai material

akan diuji dalam penelitian ini dari Baturiti, Tabanan, Bali.

Variabel penelitian dalam penelitian ini ada tiga variabel yaitu variabel bebas dalam penelitian ini yaitu variasi temperatur karbonisasi 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C. variabel terikat dalam penelitian ini yakni hambatan kekentalan fluida. Variabel kontrol yang dikontrol dalam penelitian ini yaitu temperatur aktivasi 600°C (tanpa *holding time*).

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Data Hasil Proses Karbonisasi dan Aktivasi Bambu Betung

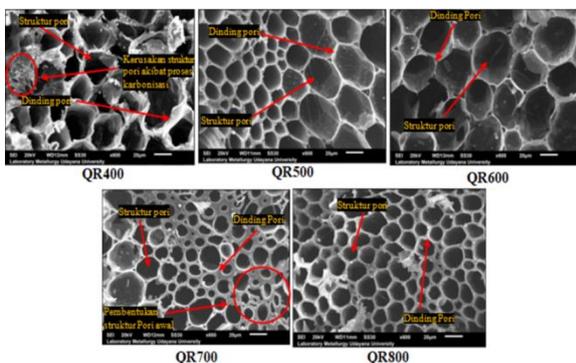
Adapun nama dan pengkodean material arang dan karbon aktif bambu betung sebagai berikut:

Nama Material	Karbonisasi		Aktivasi	
	T°C	Kode	T°C	Kode
Pad 1	400°C	QR400	600°C	QRC400
Pad 2	500°C	QR500	600°C	QRC500
Pad 3	600°C	QR600	600°C	QRC600
Pad 4	700°C	QR700	600°C	QRC700
Pad 5	800°C	QR800	600°C	QRC800

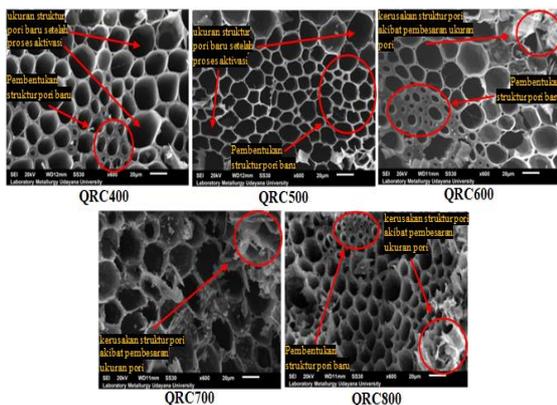
Gambar 4. Kode Nama Material Uji

##### 4.2 Struktur Pori

Berdasarkan hasil uji SEM dengan pembesaran 600x, didapat struktur pori dari material karbon (arang) dan karbon aktif bambu betung sebagai berikut:



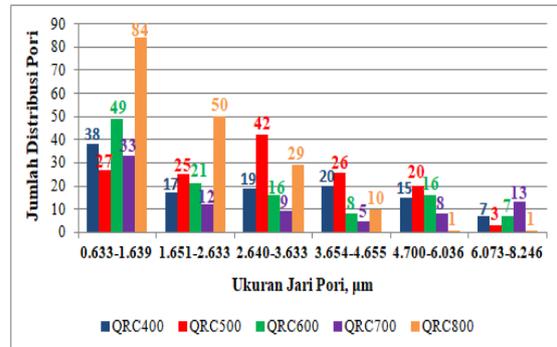
Gambar 5. Struktur Pori Material Bambu Betung Hasil Proses Karbonisasi



##### Gambar 6. Struktur Pori Material Bambu Betung Hasil Proses Aktivasi

##### 4.3 Distribusi Ukuran Pori

Dapat dilihat pada grafik adalah jumlah ukuran jari pori yang di distribusikan dari masing-masing material bambu betung sebagai berikut:



Gambar 7. Distribusi Ukuran Jari Pori Material Karbon Aktif Bambu Betung

Material karbon aktif bambu betung dengan kode QRC800 memiliki jumlah pori sejumlah 175 pori, sedangkan QRC700 memiliki jumlah pori yang paling sedikit yakni 81 pori hal ini disebabkan adanya dinding pori pecah akibat penetrasi panas yang terlalu tinggi.

Selanjutnya dari data distribusi ukuran pori, dapat ditentukan ukuran jari pori rata-rata material karbon aktif bambu betung. Ukuran jari pori rata-rata didapat dengan membagi jumlah semua ukuran jari pori dengan jumlah porinya.

No	Nama Material	Jumlah Pori	Jumlah Ukuran Jari Pori (µm)	Ukuran Jari Pori Rata-Rata (µm)
1	QRC400	116	351.01	3.03
2	QRC500	143	453.69	3.12
3	QRC600	120	309.74	2.58
4	QRC700	81	235.69	2.91
5	QRC800	175	333.99	1.91

Gambar 8. Ukuran Jari Pori Rata-Rata

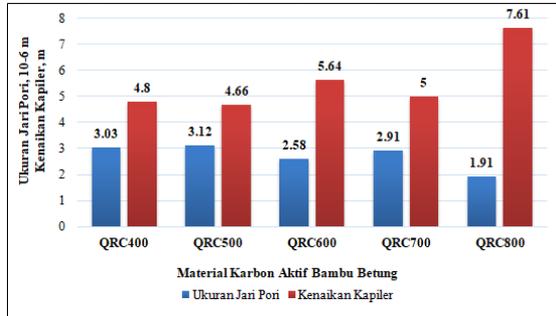
##### 4.4 Ketinggian Kenaikan Kapiler

Besarnya ketinggian kenaikan fluida untuk masing-masing karbon aktif bambu betung. Pada gambar 8 QRC800 dengan ukuran jari pori terkecil (1.91 µm), menghasilkan ketinggian kenaikan kapiler tertinggi yakni 7.61 m. sedangkan ketinggian kenaikan kapiler terendah yakni sebesar 4.8 m dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung QRC500 dengan ukuran jari pori terbesar (3.12 µm).

Nama Material	Tegangan Permukaan Fluida (N/m)	Ukuran Jari Pori Material 10 <sup>-6</sup> (m)	Kenaikan Kapiler (m)
QRC400	0.0727	3.03	4.80
QRC500	0.0727	3.12	4.66
QRC600	0.0727	2.58	5.64
QRC700	0.0727	2.91	5.00
QRC800	0.0727	1.91	7.61

Gambar 9. Ketinggian Kenaikan Kapiler

Hal ini berguna untuk menentukan panjang (tinggi) material *pad* yang digunakan dalam aplikasi sistem *direct evaporative cooling*. Hubungan antara ukuran jari pori material dan kenaikan kapilernya dapat digambarkan seperti grafik pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hubungan Ukuran Jari Pori dan Kenaikan Kapiler

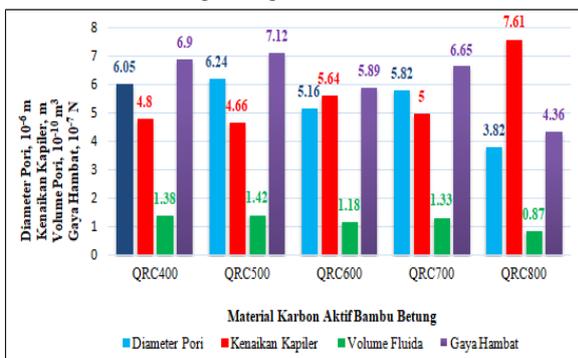
#### 4.5 Ketinggian Kenaikan Kapiler

Hasil perhitungan volume fluida, gaya hambat dan energi hambatan kekentalan fluida untuk masing-masing material karbon aktif bambu betung sebagai berikut:

Nama Material	Diameter Pori $10^{-6}$ (m)	Kenaikan Kapiler (m)	Volume Fluida $10^{-10}$ ( $m^3$ )	Gaya Hambat Kekentalan Fluida $10^{-7}$ (N)	Energi Hambatan Kekentalan Fluida $10^{-6}$ (J)
QRC400	6.05	4.80	1.38	6.90	3.3122
QRC500	6.24	4.66	1.42	7.12	3.3188
QRC600	5.16	5.64	1.18	5.89	3.3243
QRC700	5.82	5.00	1.33	6.65	3.3237
QRC800	3.82	7.61	0.87	4.36	3.3169

Gambar 11. Gaya Hambat dan Energi Hambatan Kekentalan Fluida

Namun demikian ketinggian kapilernya yang dihasilkan oleh material yang memiliki pori yang lebih besar akan menjadi lebih rendah, karena tekanan hidrostatis yang dihasilkan menjadi lebih kecil dengan lebih rendahnya kenaikan kapilernya. Hubungan antara diameter pori, kenaikan kapiler, volume fluida dan gaya hambat pada material karbon aktif bambu betung sebagai berikut:



Gambar 12. Grafik Hubungan Diameter Pori, Kenaikan Kapiler, Volume Fluida dan Hambat

#### Kekentalan Fluida Pada Material Karbon Aktif Bambu Betung

Gambar 12 memberikan informasi mengenai karakteristik kapilaritas material karbon aktif bambu betung termasuk didalamnya pengaruh ukuran pori terhadap kenaikan kapiler, volume fluida yang mampu dinaikkan, gaya hambat yang dialami fluida dan juga kehilangan energi akibat kekentalan fluida. Hal ini akan sangat bermanfaat dalam memilih hasil uji material karbon aktif bambu betung dengan sistem *direct evaporative cooling* sebagai material *pad*. Dalam sistem *direct evaporative cooling*, material *pad* digunakan sebagai medium pendingin dimana terjadi interaksi antara udara yang akan didinginkan dengan air yang ada pada permukaan material *pad*. Semakin banyak jumlah massa air yang terkandung dalam material *pad*, maka akan semakin banyak panas udara luar yang akan diserap oleh air untuk proses evaporasi dan dengan demikian udara keluarannya akan mengalami penurunan temperatur yang lebih besar dan udara akan menjadi lebih dingin. Berdasarkan konsep tersebut diatas, maka untuk hasil pengujian ini, akan dipilih material karbon aktif bambu betung dengan jumlah volume fluida terbanyak yang dapat dinaikkan, yakni material karbon aktif bambu betung QRC500, dimana material ini mampu mengangkat dan menampung jumlah volume fluida terbanyak yakni sebesar  $1.42 \times 10^{-10} m^3$  per pori material, walaupun panjang (tinggi) material yang dapat digunakan dibatasi oleh ketinggian kenaikan kapilernya yang paling rendah dibanding material lain dengan diameter pori yang lebih kecil, yakni hanya sebesar 4.66 m. Dalam artian bahwa pada material QRC500, fluida hanya mampu naik ke permukaan pori material hanya setinggi 4.66 m.

Namun dengan volume fluida per porinya yang paling besar diantara material lainnya, maka diperkirakan material QRC500 akan menampung jumlah volume fluida yang paling banyak diantara material karbon aktif bambu betung lainnya. Jadi dalam pemilihan material *pad* untuk sistem *direct evaporative cooling*, lebih diinginkan material *pad* yang mampu menampung jumlah volume/massa air yang lebih besar dibanding kemampuan kenaikan kapilernya. Disamping itu, material dengan diameter pori yang lebih besar, akan memiliki permeabilitas yang lebih besar dibanding material lain dengan diameter pori yang lebih kecil, sehingga fluida yang mengalir masuk ke dalam material akan lebih mudah karena memiliki diameter pori yang lebih besar.

#### 5. Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini karakteristik hambatan kekentalan fluida pada material karbon aktif bambu betung diatas, dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Material karbon aktif bambu betung QRC800 menghasilkan gaya hambat kekentalan fluida terkecil yakni hanya sebesar  $4.36 \times 10^{-7}$  N, yang

hanya mampu menampung jumlah volume fluida per porinya yang paling sedikit yakni hanya sebesar  $0.87 \times 10^{-10} \text{ m}^3$ , namun memiliki kenaikan kapiler yang tertinggi yakni sebesar 7.61 m.

2. Material karbon aktif bambu betung QRC500 menghasilkan gaya hambat kekentalan fluida yang terbesar yakni sebesar  $7.12 \times 10^{-7} \text{ N}$ , namun memiliki daya tampung volume fluida yang terbesar juga yakni  $1.42 \times 10^{-10} \text{ m}^3$  per porinya, namun memiliki tingkat kenaikan kapiler yang paling rendah yakni hanya 4.66 m.
3. Material karbon aktif bambu betung dengan diameter pori yang lebih besar, akan menghasilkan gaya hambat yang besar dan juga memiliki daya tampung volume fluida yang lebih besar, dengan kenaikan kapilernya yang lebih rendah dibanding dengan material dengan diameter pori yang lebih kecil.
4. Direkomendasikan untuk menggunakan material karbon aktif basmbu betung QRC500 sebagai material *pad* alternatif sistem *direct evaporative cooling*.

Kedepannya perlu kembali dilakukan penelitian menggunakan fluida kerja yang lebih rendah tegangan permukaannya seperti etanol, metanol, gliserin, hidrogen sulfida dan lain-lain.

#### Daftar Pustaka

- [1] Barnes, G. and Gentle, I., 2005. *Capillary and the mechanics of surface*, In *Interfacial science*. Oxford University Press Oxford.
- [2] 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)
- [3] El-Dessouky H., Ettouney H., and Al-Zeefari A., 2004. *Performance Analysis of Two Stage*

*Evaporative Coolers*, Chemical Engineering Journal, 102, pp.255-266

- [4] El-Dessouky H., Ettouney H., and Al-Zeefari A., 2004. *Performance Analysis of Two Stage Evaporative Coolers*, Chemical Engineering Journal, 102, pp.255-266
- [5] Extrand C.W., Sung In Moon, 2013. *Experimental Measurement of Forces and Energies Associated with Capillary Rise in a Vertical Tube*. Journal of Colloid and Interface Science 407 (2013) 488-492
- [6] Ngo, C.-V. & Chun, D.-M. 2017. *Fast Wettability Transition From Hydrophilic To Superhydrophobic Laser-Textured Stainless Steel Surfaces Under Low-Temperature Annealing*. Applied Surface Science, 409, 232-240
- [7] Kulkarni R.K., Rajput S.P.S., 2011. *Theoretical Performance Analysis of Indirect-Direct Evaporatif Cooler in Hot and Dry Climates*, International Journal of Engineering Science and Technology, 3, pp.1239-1251
- [8] Porumb, B. et al., 2015. *A Review of Indirect Evaporative Cooling Technology*. Energi Procedia, 85 (November 2015), pp.461–471.



Gede Ogie Indra Putra telah menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana dari tahun 2017 hingga 2023 dengan topik penelitian Studi Eksperimental Karakteristik Hambatan Kekentalan Fluida Pada Material Karbon Aktif Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi.

Bidang Penelitian yang diminati adalah topik yang berkaitan dengan material karbon aktif.