

Studi Eksperimental Karakteristik Laju Aliran Kalor Material Karbon Aktif Bambu Betung Dengan Holding Time 30 Menit Sebagai Material Pad Alternatif

Novry F Palindangan, Hendra Wijaksana, I Gede Teddy Prananda Surya
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Seiring berjalannya waktu perkembangan teknologi yang semakin maju pengaplikasian refrigerasi sudah sangat banyak diterapkan yaitu penggunaan AC, namun penggunaan AC yang berlebihan dapat mengeluarkan zat buang gas berupa freon yang menimbulkan efek buruk terhadap lingkungan, Dalam mengurangi hal tersebut diperlukan sistem pendingin yang hemat energi dan ramah lingkungan seperti sistem pendingin alternative direct evaporative cooling yang menggunakan proses pendinginan dengan cara mengkontakkan langsung udara masuk dengan air sehingga terjadi perpindahan aliran kalor dari udara ke air yang mengakibatkan proses penguapan pada material pad yang sebelumnya telah dibasahi oleh air, material pad ini merupakan media pendingin yang berasal dari bambu lokal bali yakni bambu betung. Dalam penelitian ini menggunakan karbon aktif bambu betung sebagai material pad agar mengetahui laju aliran kalor pada sistem direct evaporative cooling dengan temperature karbonisasi 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800°C dan diaktivasi pada temperature 600 °C dengan holding time 30 menit. Hasil dari pengujian yang telah dilakukan ini menunjukkan bahwa specimen KARV 600 dengan laju aliran massa tertinggi yakni 2.84×10^{-8} kg/s menghasilkan laju aliran kalor tertinggi sebesar 0.0640 Watt yang dapat dijadikan potensi dalam pembuatan material pad baru pada sistem direct evaporative cooling.

Kata Kunci : direct evaporative cooling, bambu betung, karbonisasi, aktivasi, laju aliran massa, laju aliran kalor

Abstract

As time goes by, the development of increasingly advanced technology, the application of refrigeration has been widely applied as we can apply it in everyday life, namely the use of air conditioning, but excessive use of air conditioning can release waste substances in the form of freon which has a negative effect on the environment. We need a cooling system that is energy efficient and environmentally friendly such as an evaporative cooling system that uses a cooling process by directly contacting the incoming air with the air so that heat flows from the air to the air which results in the evaporation process of the pad material that has previously been moistened by air, the pad material This is a cooling medium that comes from local Balinese bamboo, namely Betung Bamboo. In this study, using bamboo activated carbon as a pad material to determine the heat flow rate in a direct evaporative cooling system with carbonization temperatures of 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C and activated at a temperature of 600 °C with a holding time of 30 minutes. The results of the tests that have been carried out show that the KARV 800 specimen with the highest mass flow rate of 2.84×10^{-8} kg/s produces the highest heat rate of 0.0640 Watt which can be used as potential in the manufacture of new pad materials in the direct evaporative cooling system.

Keywords: direct evaporative cooling, bamboo betung, carbonization, activation, mass flow rate, heat flow rate.

I. Pendahuluan

Penggunaan AC mengeluarkan zat buang gas freon yang menimbulkan efek berbahaya terhadap lingkungan disekitar. Dalam mengurangi hal tersebut diperlukan sistem pendingin alternative yaitu Sistem *Direct Evaporative Cooling* dengan menggunakan prinsip pendinginan melalui kontak langsung antara udara masuk dengan air, maka terjadi perpindahan kalor dari udara ke air sehingga terjadinya proses *evaporasi*, sehingga menurunkan temperatur udara dan meningkatkan nilai kelembapan. Komponen utama sistem DEC adalah mechanical fan dan pompa air. Komponen terpenting dari sistem DEC adalah *cooling pad* itu sendiri, *Cooling pad* digunakan sebagai media perpindahan panas untuk meningkatkan area kontak antara udara dan air. Faktor Banyaknya massa air

yang ada dalam material merupakan faktor penentu laju perpindahan panas dan laju perpindahan massa yang terjadi (laju penguapan). Dengan jumlah besar massa air dipermukaan material, material dapat menyerap lebih banyak panas dan menguapkan air. Kehadiran sejumlah besar air yang signifikan dapat diberikan jika material tersebut memiliki porositas tinggi dengan kapilaritas tinggi. Untuk dapat meningkatkan porositas material, dilakukan peningkatan struktur pori material, hal ini dicapai dengan menerapkan perlakuan panas seperti karbonisasi atau aktivasi karbon pada material, sehingga material memiliki porositas yang tinggi. Dengan ukuran pori mikro dan peningkatan daya kapilaritas, khususnya bahan bambu dapat menyerap air dan menyimpan massa air yang lebih lama.

Adapun batasan masalah dari penelitian ini agar memperoleh hasil yang maksimal dan lebih terarah maka perlu membatasi masalah, antara lain:

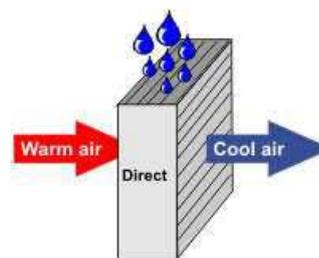
1. Material yang digunakan adalah bambu betung lokal Bali
2. Temperatur karbonisasi ditetapkan 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C.
3. Reaktor karbonisasi dalam lingkungan bebas oksigen (inert atmosphere)
4. Pengujian yang dilakukan meliputi Proses Karbonisasi, Proses Aktivasi, Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) dan Pengujian Wettability (Sudut Kontak).

2. Dasar Teori

2.1. Sistem Direct Evaporative Cooling

Direct Evaporative Cooling merupakan 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 diatas menurunkan temperature bola kering udara luar, selanjutnya meningkatkan kandungan (konsentrasi) uap air di udara luar, sehingga udara yang keluar dari *cooling pad* menjadi lebih dingin dan lebih lembab. 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* dibatasi oleh temperature bola basah dari udara luar, dimana udara luar hanya mampu didinginkan hingga mendekati temperature bola basahnya.

Adapun prinsip kerja dan aliran fluida sistem *direct evaporative cooling* dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Direct Evaporative Cooling

2.2. Proses Karbonisasi

Tujuan dari proses karbonisasi adalah memperkaya kandungan karbon dan menghasilkan porositas awal material. Arang yang dihasilkan dari proses karbonisasi bahan baku memiliki pori-pori yang sebagian besar masih tertutup oleh hidrokarbon, ter dan komponen lain seperti abu, air, nitrogen, dan sulfur, sehingga keaktifannya atau daya serapnya rendah. Karbonisasi adalah proses pirolisis material organik dalam kondisi bebas oksigen (*inert atmosphere*) yang menghasilkan residu solid yang memiliki kandungan elemen karbon yang tinggi. Karbonisasi merupakan reaksi pirolitik yang kompleks yang melibatkan banyak reaksi seperti *dehydrogenation*, *condensation*, *hydrogentransfer* dan *isomerization*. Perbedaannya dengan proses *coalification* adalah pada laju reaksi yang terjadi, dimana laju reaksi pada proses karbonisasi lebih cepat dibandingkan dengan laju reaksi pada proses *coalification*.

Produk dari proses karbonisasi adalah berupa arang (*charcoal*) yang merupakan produk hasil dekomposisi material organik alami atau sintesis. Arang hasil karbonisasi ini, akan memiliki permukaan dalam reaktif yang tinggi dan kandungan sulfur yang rendah, sehingga banyak digunakan dalam *ferrous metallurgy* atau untuk *gun-powder*, dan sedikit digunakan pada material cat dan material medis.

2.3. Karakteristik Pori dan Kapiler Material Pad

2.3.1 Porositas

Porositas material adalah perbandingan antara volume pori yang tercipta pada material dengan volume keseluruhan material tersebut. Untuk material berpori, nilai porositas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Porosity}(\epsilon) = \frac{V_{pm}}{V_m} \quad (1)$$

$$V_{pm} = M_a \times v_s \quad (2)$$

Dimana V_{pm} adalah volume pori material (cm^3), V_m adalah volume total material (cm^3), M_a adalah massa air yang tertahan (gr) dan v_s adalah volume spesifik (cm^3).

2.3.2 Kapilaritas

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.

Besarnya daya kapiler (*capillary force*) pada material berpori dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\Delta P_{cap} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r_p} \quad (3)$$

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

2.3.3 Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai kemampuan cairan mengalir melalui lubang porous material. Dengan kata lain, permeabilitas mencerminkan efektivitas interaksi antara cairan dan porous material dan bukan merupakan sifat cairan ataupun *porous material* [1]. Besarnya permeabilitas dapat ditentukan menggunakan persamaan :

$$K = \frac{dp^2 \varepsilon^3}{122 - (1 - \varepsilon)^2} \quad (4)$$

Dimana K adalah permeabilitas material, dp adalah diameter pori (μm), dan ε adalah porositas (%) dan faktor geometric = 122.

2.3.4 Wettability (kemampuan basah)

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. 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 makin kecil sudut kontak yang terbentuk antara fluida dan material padat, maka material tersebut akan memiliki wettability yang makin besar [3] dan sebaliknya wettability dan kapilaritas material akan menurun dengan bertambah besarnya sudut kontak.

2.4. Kinerja Thermal Material Pad

2.4.1 Laju Aliran Massa Fluida

Besarnya laju aliran massa fluida pada material berpori dapat ditentukan menggunakan persamaan :

$$\dot{m}_{ev} = \frac{\rho_l K A_p}{\mu_l l_{eff}} \left\{ \frac{2\sigma_l}{r_{eff}} \cos \theta - \rho_l g l_{eff} \sin \phi \right\} \quad (5)$$

Dimana \dot{m}_{ev} adalah laju perpindahan massa penguapan kapiler (kg/s), ρ_l adalah kerapatan massa fluida (kg/m^3), K adalah permeabilitas (m^2), μ_l adalah viskositas fluida kerja (kg/s.m), l_{eff} adalah panjang efektif material pad (m), σ_l adalah tegangan permukaan material (N/m), $\cos \theta$ adalah sudut kontak (derajat), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), dan $\sin \phi$ adalah posisi material pad.

2.4.2 Laju Aliran Kalor

Besarnya laju aliran kalor dipengaruhi oleh laju aliran massa maksimum sepanjang material dan kalor laten penguapan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa laju perpindahan kalor (panas) merupakan besarnya panas yang terserap oleh aliran massa fluida sepanjang material [2], dengan demikian besarnya laju aliran kalor dapat ditentukan dengan persamaan :

$$Q_{ev} = \dot{m}_{ev} \cdot L \quad (6)$$

Dimana Q_{ev} adalah laju perpindahan panas (watt), \dot{m} adalah laju aliran massa fluida (kg/s) dan L adalah kalor laten penguapan (kJ/kg).

3. Metode Penelitian

3.1 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam melakukan pengujian yaitu :

1. Bambu betung lokal Bali.

2. Termokopel.
3. Stopwatch.
4. Timbangan.
5. Furnance.

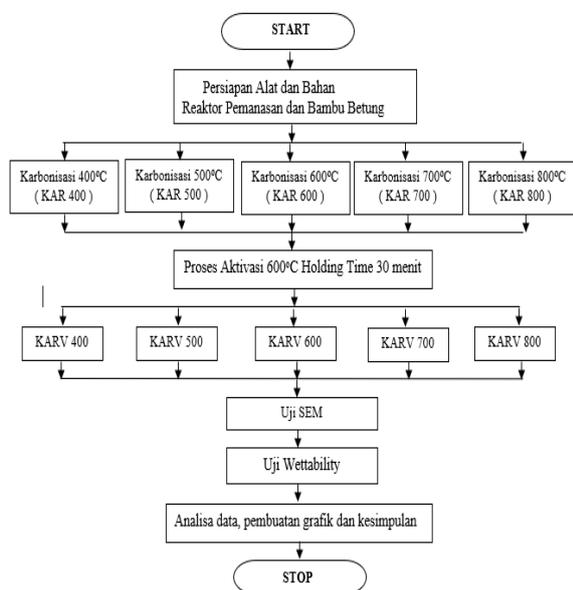


Gambar 2. Bambu betung lokal Bali



Gambar 3. Furnance

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram alir Penelitian

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Perhitungan Kadar kering

Perhitungan kadar kering bambu betung dilakukan berdasarkan perbandingan antara massa specimen bambu betung setelah *moisture* dengan massa total (massa sebelum + massa setelah *moisture*). Dimana proses

moisture dilakukan pada dapur listrik (furnance) dengan temperature 105°C selama 2 jam.

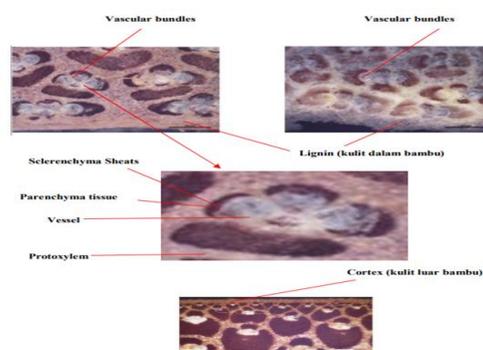
Tabel 4.1 Hasil Pengambilan Data Kadar Kering Bambu Betung

No	Massa Bambu (gr)	Temperature				
		400	500	600	700	800
1	BB 1	10.8	10.2	9.34	10.62	11.48
	BB 2	7.53	6.70	5.84	7.2	8.78

Berdasarkan Tabel 4.1 hasil pengambilan data massa specimen bambu betung sebelum *moisture* (BB1) dan setelah *moisture* (BB2). Persentase kadar kering bambu betung semaksimal mungkin dibuat konstan. Berdasarkan tabel diatas, dilakukan perhitungan kadar kering bambu betung. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan nilai kadar kering yang dihasilkan adalah 40.54% dengan toleransi $\pm 1\%$.

4.2 Struktur Pori Material Bambu Sebelum Karbonisasi

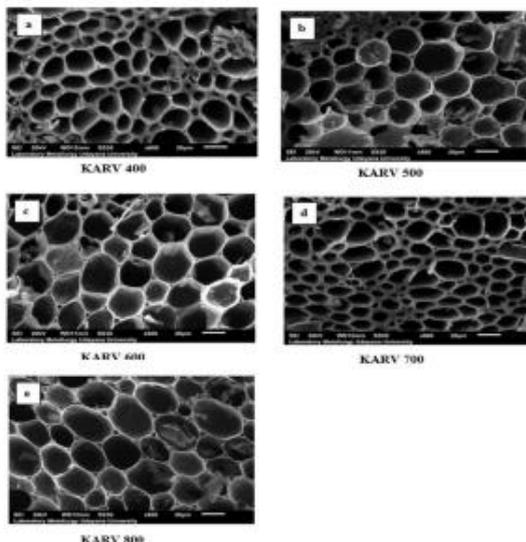
Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu betung, yang berasal dari daerah Baturiti, Tabanan. Bambu betung seperti pada umumnya bambu yang lain, telah memiliki struktur pori yang mana struktur pori ini menyebabkan bambu mampu menarik air tanah keatas menuju batang bambu. Hal ini menunjukkan bahwa bambu, termasuk juga tanaman-tanaman yang lain telah memiliki karakteristik kapilaritas. Adapun struktur mikro bambu betung sebelum dilakukan proses karbonisasi dapat dilihat seperti pada Gambar 5.



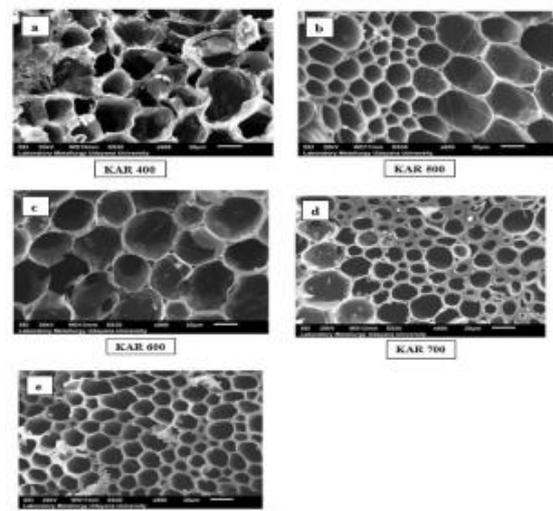
Gambar 5. Struktur Pori material bamboo betung sebelum dikarbonisasi

4.3 Struktur Pori Material Karbon Dan Material Karbon Aktif Bambu Betung

Proses karbonisasi dilakukan pada variasi temperatur karbonisasi 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C. Proses ini



dimaksudkan untuk membuka pori awal material bambu, sehingga akan dihasilkan material pad berstruktur karbon dengan struktur pori yang heterogen, dimana akan terdapat banyak variasi ukuran jari pori.



Gambar 6. Struktur Pori Material Karbon Bambu Betung material (a) KAR 400, (b) KAR 500, (c) KAR 600, (d) KAR 700 dan (e) KAR 800

Berdasarkan Gambar 6. (a-e) dapat dilihat bahwa material karbon yang dihasilkan memiliki struktur pori yang bersifat karbon (*carbonaceous porous material*) dan memiliki ukuran pori yang bervariasi dan hal ini

menunjukkan bahwa material karbon memiliki struktur pori yang *heterogen*. Pori yang terbentuk masih merupakan pori awal, dimana diperkirakan masih banyak serat bambu yang belum mendapat penetrasi panas dan akibatnya belum terdekomposisi menjadi *volatile gas* sehingga belum banyak pori yang dihasilkan. Terlihat juga pada gambar bahwa masing-masing pori terpisah oleh dinding pori, yang memiliki ketebalan dinding yang berbeda-beda akibat perbedaan penetrasi panas yang diterima oleh masing-masing material.

Gambar 7. Struktur Pori Material Karbon Aktif Bambu Betung Holding Time 30 Menit material (a) KARV 400, (b) KARV 500, (c) KARV 600, (d) KARV 700 dan (e) KARV 800

Berdasarkan pada Gambar 7. (a-e) dapat dilihat bahwa proses aktivasi yang dilakukan pada material karbon bambu betung akan menghasilkan struktur pori yang lebih heterogen dibandingkan dengan material bambu betung yang dikarbonisasi saja, dimana akan terdapat lebih banyak pori-pori yang terbuka akibat adanya penetrasi panas yang lebih lama dengan holding time 30 menit.

4.4 Distribusi Ukuran Pori Material Karbon Aktif Bambu Betung.

Tabel 4.2 Ukuran Jari Pori

Kode Material	Σ Pori material	Σ Ukuran jari pori material (µm)	Jari pori rata-rata material (µm)
KARV 400	129	369.92	2.87
KARV 500	98	271.32	2.77
KARV 600	74	285.00	3.85
KARV 700	159	422.29	2.66
KARV 800	85	292.42	3.44

Sedangkan material KARV 600 memiliki ukuran jari pori terbesar yakni 3.85 µm, dengan jumlah pori yang paling sedikit yakni 74 pori. Hal tersebut diatas, walaupun belum signifikan kebenarannya, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah pori yang dihasilkan maka akan semakin kecil ukuran jari porinya. Jumlah pori kecil yang

semakin banyak kemungkinan dihasilkan oleh penetrasi panas yang lebih merata pada material tersebut.

4.5 Porositas Material Karbon Aktif Bambu Betung

Pengujian porositas material karbon aktif bambu betung ini dapat dilakukan dengan melakukan pengujian untuk volume pori material dan volume total material. Pengujian untuk menentukan volume pori material dapat dilakukan dengan menguji volume air yang dapat ditahan oleh material, yang dihasilkan dengan mengalirkan massa air yang dapat ditahan oleh material dengan volume jenis air. Massa air yang ditahan oleh material merupakan selisih massa basah dan massa kering material. Selanjutnya volume air dianggap sama dengan volume pori. Data pengujian porositas dapat kita lihat pada Tabel 4.3.

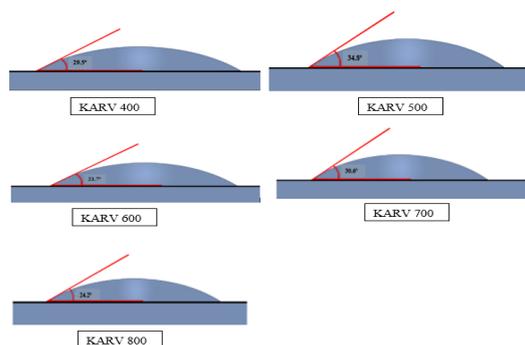
Tabel 4.3 Porositas Material.

Pengujian Material	Massa kering material (gram)	Massa basah material (gram)	Massa air tertahan (gram)
KARV 400	0.94	2.33	1.39
KARV 500	0.86	2.26	1.40
KARV 600	0.94	1.97	1.03
KARV 700	0.98	2.08	1.09
KARV 800	1.00	2.29	1.29

Volume air (Volume pori) (cm ³)	Volume total material (cm ³)	Porositas Material (%)
1.394	5.99	23.3
1.404	6.04	23.2
1.033	5.01	20.6
1.093	5.49	19.9
1.294	5.08	25.5

4.6 Sudut Kontak

Wettability (kemampuan basah) material dipengaruhi oleh sudut kontak. Menurut [3] menjelaskan bahwa semakin kecil sudut kontak yang terbentuk antara fluida dan material padat, semakin besar wettability material tersebut dan sebaliknya, wettability dan kapilaritas material akan menurun dengan meningkatnya sudut kontak.



Gambar 8. Sudut Kontak Material Karbon aktif Bambu Betung HT 30 Menit.

Tabel 4.4 Sudut Kontak Material KARV HT 30

Nama material	Sudut kontak (°)	Jari pori material (μm)	Jari efektif pori, r _{eff} (μm)
KARV 400	29.5	2.87	3.29
KARV 500	34.8	2.77	3.37
KARV 600	21.7	3.85	4.14
KARV 700	30.6	2.66	3.09
KARV 800	24.2	3.44	3.77

Berdasarkan Pada Gambar 8. dan Tabel 4.4 menunjukkan bahwa material KARV 500 memiliki sudut kontak terbesar sebesar 34.8°, sedangkan sudut kontak terkecil yakni sebesar 21.7°. Menurut [3], hal diatas berarti material KARV 500 memiliki kemampuan basah yang paling rendah atau paling sulit untuk dibasahi, sedangkan material KARV 600 memiliki kemampuan basah yang paling mudah basah oleh fluida atau kemampuan basah lebih tinggi. Kemampuan basah (wettability) yang tinggi akan menghasilkan kapilaritas material yang lebih tinggi. Pada tabel 4.5 dapat juga dilihat jari-jari efektif pori (r_{eff}) yang ditentukan dengan persamaan $r_{eff} = r / \cos \theta$.

4.7 Permeabilitas Material Karbon Aktif Bambu Betung

Permeabilitas (sifat mampu alir) suatu material adalah kemampuan fluida mengalir melalui ruang sempit (pori) dalam material berpori (porous material), serta merupakan cerminan efektivitas interaksi antara cairan dan material padat. Berdasarkan tabel 4.6 dapat kita lihat bahwa material KARV 800 memiliki permeabilitas tertinggi yakni 11.59x 10⁻¹⁵ m² dengan jari-jari pori sebesar 3.44 μm dan porositas 0.255 (tertinggi), sedangkan

permeabilitas terendah dimiliki material KARV 700 yakni sebesar $2.85 \times 10^{-15} \text{ m}^2$, dengan jari-jari pori sebesar $2.66 \mu\text{m}$ (terkecil) dan juga porositas sebesar 0.199 (terendah). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa material KARV dengan jari-jari pori yang lebih kecil dengan porositas yang lebih rendah cenderung akan menghasilkan permeabilitas yang lebih rendah.

Tabel 4.5 Permeabilitas Material Karbon Aktif Bambu Betung

Nama material	Diameter pori, (dp) $\cdot 10^{-6}(\text{m})$	Porositas	Permeabilitas, (K) $\cdot 10^{-15}(\text{m}^2)$
KARV 400	5.74	0.233	5.81
KARV 500	5.54	0.232	5.33
KARV 600	7.70	0.206	6.74
KARV 700	5.32	0.199	2.85
KARV 800	6.88	0.255	11.59

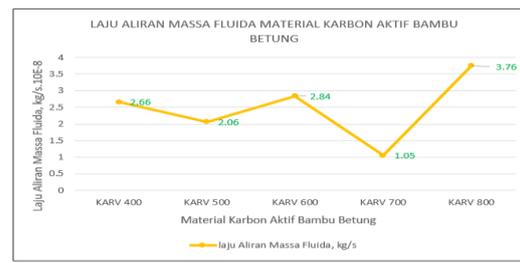
4.8 Laju Aliran Massa Fluida Pada Material Karbon Aktif Bambu Betung

Besarnya Besarnya laju aliran massa fluida pada material karbon aktif bambu betung sangat tergantung pada permeabilitas, gaya kapiler dan wettability material. Gaya kapiler merupakan gaya keatas yang mengangkat sejumlah massa air melalui pori yang sangat kecil, yang diwakili dengan besaran $\left(\frac{2\sigma_l}{r_{eff}} \cos \theta\right)$ pada persamaan laju aliran massa fluida pada material berpori. Selanjutnya hasil perhitungan laju aliran massa fluida pada masing-masing material karbon aktif bambu betung dapat dilihat pada Tabel 4.6.

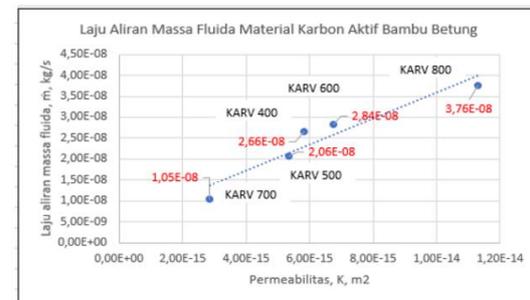
Tabel 4.6 Laju Aliran Massa Fluida Material Karbon Bambu Betung.

Material	Permeabilitas $(\text{m}^2) \cdot 10^{-15}$	Luas Penampang pad $(\text{m}^2) \cdot 10^{-4}$	Panjang Efektif Material (m)	Jari- Jari efektif pori (m) $\cdot 10^{-4}$	Sudut Kontak ($^\circ$)	Laju Aliran Massa Fluida $(\text{kg/s}) \cdot 10^{-8}$
KARV 400	5.81	2.12	0.0145	3.29	29.5	2.66
KARV 500	5.33	2.07	0.0136	3.37	34.8	2.06
KARV 600	6.74	2.19	0.0152	4.14	21.7	2.84
KARV 700	2.85	1.91	0.0123	3.09	30.6	1.05
KARV 800	11.59	1.81	0.0135	3.77	24.2	3.76

Berdasarkan Tabel 4.6. diatas, mengindikasikan bahwa jika *capillary force* dan *wettability* material karbon aktif bambu betung tinggi, tetapi apabila material tersebut memiliki permeabilitas rendah, maka laju aliran massa fluida yang dihasilkan akan tetap rendah.



(a)



(b)

Gambar 9. a) Grafik Laju Aliran Massa Fluida Material Karbon Aktif Bambu Betung. b) Grafik Hubungan Laju Aliran Massa Fluida Material Karbon Aktif Bambu Betung.

Berdasarkan Tabel 4.6 dan juga Gambar 9(a) dapat dilihat bahwa material karbon aktif bambu betung KARV 800 yang memiliki permeabilitas tertinggi yakni sebesar $11.29 \times 10^{-15} \text{ m}^2$, dan capillary force $(2\sigma/r_{eff})$ sebesar $3.86 \times 10^3 \text{ kPa}$, dengan wettability yang cukup tinggi ($\text{Cos } \theta = 0.9121$) menghasilkan laju aliran massa fluida tertinggi sebesar $3.76 \times 10^{-8} \text{ kg/s}$. Sedangkan material karbon aktif bambu betung KARV 700 dengan permeabilitas $2.85 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ (terendah) dan capillary force sebesar $4.71 \times 10^3 \text{ kPa}$, serta dengan wettability yang agak rendah ($\text{Cos } \theta = 0.8607$) menghasilkan laju aliran massa fluida terendah yakni hanya sebesar $1.05 \times 10^{-8} \text{ kg/s}$. Hasil tersebut diatas menunjukkan bahwa semakin rendah permeabilitas (sifat mampu alir) suatu material karbon aktif bambu betung, maka laju aliran massa fluida yang dihasilkan juga semakin rendah. Hasil diatas juga mengindikasikan bahwa walaupun *capillary force* dan *wettability* material karbon aktif bambu betung lebih tinggi, namun apabila material tersebut memiliki permeabilitas lebih rendah, maka laju aliran massa fluida yang dihasilkan akan tetap lebih rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai permeabilitas material karbon aktif

bambu betung, maka laju aliran massa fluidanya juga semakin meningkat, seperti tampak pada Gambar 9(b). Dengan kata lain, laju aliran massa fluida material karbon aktif bambu betung berbanding lurus dengan peningkatan permeabilitasnya. Diketahui bahwa capillary force hanyalah memberikan daya angkat fluida kedalam pori material dan wettability mengindikasikan mudah tidaknya material dibasahi, tetapi apabila fluida sulit mengalir kedalam material, akibat kecilnya ukuran jari pori dan rendahnya porositas material maka laju aliran massa fluida yang dihasilkan akan tetap rendah. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa permeabilitas sangat berpengaruh terhadap laju aliran massa fluida yang terjadi dalam material karbon aktif bambu betung.

4.9 Laju Aliran Kalor pada Material Karbon Aktif Bambu Betung.

Besarnya laju aliran kalor pada material berpori sangat ditentukan berdasarkan besarnya laju aliran massa fluida yang diperoleh material tersebut dan juga kalor laten penguapan fluida. Berikut adalah hasil perhitungan laju aliran kalor material karbon bambu betung dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Laju Aliran Kalor Material Karbon aktif Bambu Betung

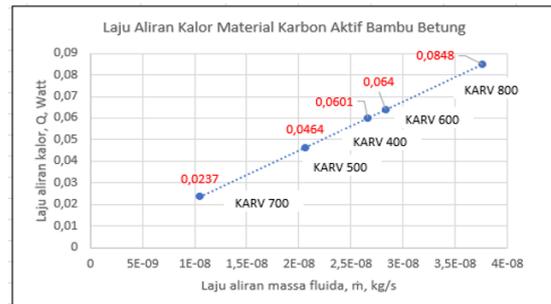
Nama material	Laju aliran massa fluida, (kg/s).10 ⁻⁸	Kalor laten penguapan, (kJ/kg)	Laju aliran kalor, (Watt)
KARV 400	2.66	2.257	0.0601
KARV 500	2.06	2.257	0.0464
KARV 600	2.84	2.257	0.0640
KARV 700	1.05	2.257	0.0237
KARV 800	2.11	2.257	0.0848

Berdasarkan pada Tabel 4.6 dan Gambar 10(a) dapat dilihat bahwa material karbon aktif bambu betung KARV 800 dengan laju aliran massa tertinggi yakni 3.76×10^{-8} kg/s menghasilkan laju aliran kalor tertinggi sebesar 0.0848 Watt. Sedangkan material KARV 700 dengan laju aliran massa fluida terendah yakni 1.05×10^{-8} kg/s, hanya menghasilkan 0.0237 Watt. Hasil tersebut diatas mengindikasikan bahwa laju aliran kalor suatu material karbon aktif bambu betung berbanding lurus dengan laju aliran massa fluida yang dihasilkan oleh material tersebut. Hal ini berarti, semakin tinggi laju

aliran massa fluida maka semakin tinggi pula laju aliran kalornya.



(a)



(b)

Gambar 10(a) Grafik Laju Aliran Karbon Material Karbon Aktif Bambu Betung. (b) Grafik Hubungan Laju Aliran Kalor Material Karbon Aktif Bambu Betung

Hubungan laju aliran massa fluida dan laju aliran kalor pada material karbon aktif bambu betung dapat dilihat seperti pada Gambar 10(b), dimana semakin tinggi laju aliran massa fluida maka laju aliran kalornya akan semakin tinggi juga. Dengan kata lain dapat dijelaskan bahwa laju aliran kalor pada material karbon aktif bambu betung sangat tergantung pada besarnya laju aliran massa fluida. Hal ini dapat dijelaskan, dimana pada laju aliran massa fluida yang lebih tinggi, jumlah massa air yang dialirkan di sepanjang batang material semakin besar, dengan demikian akan semakin banyak panas yang dapat diserap di sepanjang material. Dengan semakin besar panas udara yang dapat diserap, maka udara yang melewati material akan menjadi semakin rendah temperaturnya (lebih dingin). Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa laju aliran kalor pada material karbon aktif bambu betung sangat dipengaruhi oleh laju aliran massa fluidanya.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada material karbon aktif bambu betung dengan

holding time 30 menit, laju aliran massa dan laju aliran kalor tertinggi dihasilkan oleh material bambu betung yang dikarbonisasi pada temperature 600°C dan diaktivasi pada temperature 600°C (KARV 600) yakni sebesar 2.84×10^{-8} kg/s dan 0.0640 Watt diantara 5 spesimen pengujian lainnya.

6. Saran

1. Kedepannya untuk mengetahui karakteristik kapilaritas lebih lanjut pada bambu betung, perlu dilakukan penelitian aktivasi bambu betung pada temperatur aktivasi yang lebih tinggi yakni 900°C dengan holding time yang lebih lama hingga 90 menit atau 120 menit.
2. Untuk mengetahui pengaruh dan manfaat dari berbagai jenis aktivasi, kedepannya perlu dilakukan aktivasi lainnya seperti aktivasi kimia dan steam aktivasi
3. Kedepannya perlu juga dilakukan pengujian untuk kapilaritas karbon aktif bambu betung terhadap variasi temperatur fluida air.

Daftar Pustaka

- [1] Berti, L.F.et al., 2011. Evaluation of permeability of ceramic wick structures for two phase heat transfer devices.
- [2] Reay, D., Mcglen, R. & Kew, P. 2013. Heat Pipes : Theory, Design And Applications, Butterworth-Heinemann.
- [3] Shirazy, M. R., Blais, S. & Frechette, L. G. 2012. Mechanism Of Wettability Transition In Copper Metal Foams: From Superhydrophilic To Hydrophobic. Applied Surface Science, 258, 6416-6424



Novry Ferdiawan Palindangan menyelesaikan studi program sarjana di jurusan Teknik Mesin universitas Udayana dari Tahun 2017 sampai 2022.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan *mass flow rate*, *heat flow rate*, mekanika fluida dan pendingin evaporatif.