

Pengaruh Peningkatan Temperatur Karbonisasi Terhadap Karakteristik Struktur Pori Pada Bambu Betung

Jeremia Romualdo Winner Napitu, I Nyoman Suprpta Winaya,
Hendra Wijaksana
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Dalam usaha mendapatkan tingkat kenyamanan, digunakan sistem air conditioning (AC) yang berbasis kompresor yang memerlukan jumlah energi listrik yang sangat besar dan dapat meningkatkan pemanasan global. Maka dari itu, diperlukan sistem pendingin yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. Salah satu sistem pendingin alternatif tersebut adalah sistem *direct evaporative cooling*. Dalam sistem *direct evaporative cooling*, efek pendinginan diberikan oleh proses penguapan yang terjadi pada material pad yang telah terbasahi oleh air. Material pad itu sendiri digunakan untuk aplikasi sistem pendingin evaporative, sebagai media pendingin. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh peningkatan temperatur karbonisasi terhadap karakteristik struktur pori, porositas dan tegangan permukaan fluida pada bambu betung. Sebagai bahan baku, bambu dapat menghasilkan arang berpori dengan luas permukaan spesifik yang tinggi dan porositas yang tinggi. Digunakan temperatur karbonisasi 500°C (T1), 600°C (T2), 700°C (T3), dan 800°C (T4). Hasil dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa spesimen T4 (800°C) memiliki potensi yang sangat besar untuk dijadikan material pad baru pada sistem *direct evaporative cooling*. Dengan karakteristik sebagai berikut: spesimen T4 memiliki jari-jari pori, 36.97 µm dengan jumlah 134 pori dan relatif lebih homogen.

Kata kunci: Direct evaporative cooling, bambu betung, karbonisasi, dan struktur pori.

Abstract

In an effort to get a level of comfort, a compressor-based air conditioning (AC) system is used that requires a very large amount of electrical energy and can increase global warming. Therefore, a more energy efficient and environmentally friendly cooling system is needed. One such alternative cooling system is *direct evaporative cooling* system. In *direct evaporative cooling* system, cooling effect is given by evaporation process that occurs in pad material that has been moistened by water. The pad material itself is used for evaporative cooling system application, as cooling media. This study aims to analyze the effect of increasing carbonization temperature on pore structure characteristics, porosity and fluid surface tension in betung bamboo. As a raw material, bamboo can produce porous charcoal with a high specific surface area and high porosity. Used carbonization temperatures of 500°C (T1), 600°C (T2), 700°C (T3), and 800°C (T4). The results of all tests indicate that the T4 specimen (800°C) has a very large potential to be used as a new pad material in the *direct evaporative cooling* system. With the following characteristics: the T4 specimen has a pore radius of 36.97 µm with a total of 134 pores and is relatively more homogeneous.

Keywords: Direct evaporative cooling, betung bamboo, carbonization, and pore structure.

1. Pendahuluan

Dalam usaha menjamin ketersediaan air pada material pad maka perlu dilakukan peningkatan tekanan kapiler (*capillary force*) material tersebut. *Capillary force* suatu material dipengaruhi oleh tegangan permukaan fluida, sudut kontak, dan jari-jari pori. Maka dari itu, peningkatan *capillary force* pada material pad sistem *direct evaporative cooling* dapat dilakukan dengan peningkatan struktur pori material pad melalui proses karbonisasi. Proses karbonisasi akan merubah material menjadi *carbonized material* berupa arang (*charcoal*) yang diikuti dengan perubahan struktur pori termasuk didalamnya jari-jari pori, distribusi pori, luas permukaan pori dan juga volume pori. Ukuran pori yang dihasilkan akan tergantung dari temperatur karbonisasi dan aktivasi karbon yang diberikan, semakin tinggi temperatur karbonisasi, semakin besar

ukuran pori yang dihasilkan. Proses karbonisasi dilakukan dalam oven secara normal dengan aliran N₂ pada temperatur lebih dari 800-1200°C pada waktu yang lebih lama. Namun arang bambu juga dapat diproduksi pada suhu yang lebih rendah (500-900°C) dengan kualitas yang berbeda [1]. Proses karbonisasi akan menjadikan material memiliki struktur pori dengan ukuran pori yang secara umum masih lebih besar dari ukuran pori nano.

Sebagai bahan baku, bambu dapat menghasilkan arang berpori dengan luas permukaan spesifik yang tinggi dan porositas yang tinggi. Bambu tumbuh dengan cepat dan bisa dipanen setiap empat tahun. Mengganti kayu dengan bambu untuk pembuatan arang berpori dapat mengurangi emisi karbondioksida [2].

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

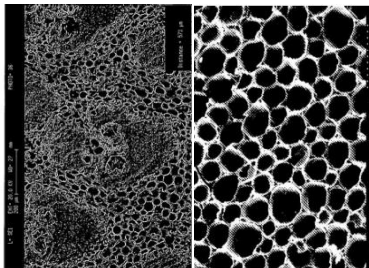
1. Bagaimana pengaruh peningkatan temperatur karbonisasi terhadap karakteristik struktur pori bambu betung sebagai *material pad* sistem *direct evaporative cooling*?

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Material yang digunakan adalah bambu betung lokal Bali.
2. Pengujian karbonisasi dilakukan pada temperatur kamar (*indoor*)
3. Reaktor karbonisasi dalam lingkungan bebas oksigen (*inert atmosphere*)

2. Dasar Teori

Karbonisasi adalah proses pirolisis material organik dalam kondisi bebas oksigen (*inert atmosphere*) yang menghasilkan residu solid yang memiliki kandungan elemen karbon yang tinggi. Temperatur karbonisasi sangat menentukan derajat karbonisasi dan kandungan elemen karbon pada residu [3]. Tujuan dari proses karbonisasi adalah memperkaya kandungan karbon dan menghasilkan porositas awal material. Ukuran pori yang dihasilkan akan tergantung dari temperatur karbonisasi dan aktivasi karbon yang diberikan, semakin tinggi temperatur karbonisasi, semakin besar ukuran pori yang dihasilkan. Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 1, struktur pori yang terbentuk pada bambu setelah proses karbonisasi.



Gambar 1. Struktur pori arang bambu moso.

Karakteristik struktur pori dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$r_p = \left(\frac{L_{pp}}{4\pi} \right)^{0.5} \quad (1)$$

r_p = Jari-jari pori (μm)

L_{pp} = Total luas permukaan pori (μm^2)

$$V_{pw} = M_a \times V_s \quad (2)$$

V_{pw} = Volume pori yang terbentuk (mm^3)

M_a = Massa air yang terserap (gr)

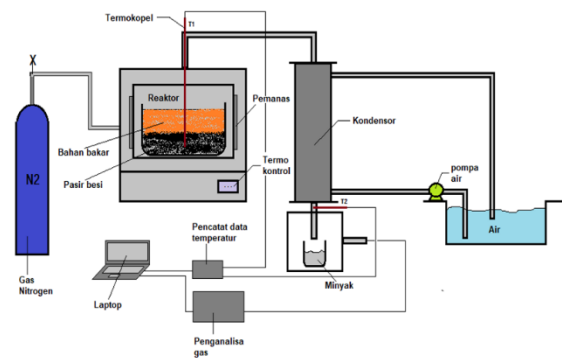
V_s = Volume spesifik air (mm^3/gr)

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan peralatan dan bahan sebagai berikut:

1. Bambu betung (*Dendrocalamus Asper*)
2. Gerinda & *cutter*
3. Image J
4. Timbangan
5. Aluminium foil & cawan
6. Peralatan pengujian karbonisasi

7. Peralatan pengujian *scanning electron microscope* (SEM)



Gambar 2. Peralatan pengujian karbonisasi.

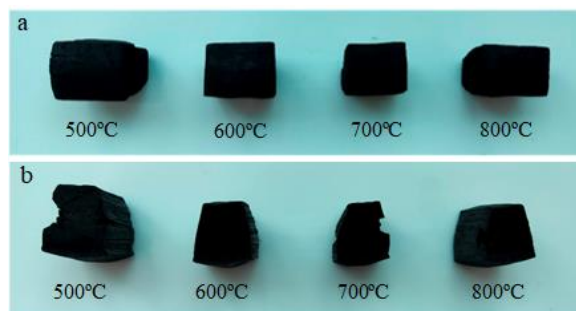


Gambar 3. Peralatan pengujian *scanning electron microscope* (SEM).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Karbonisasi

Dari pengujian karbonisasi maka dihasilkan arang bambu betung. Pada penelitian ini, diharapkan struktur pori yang dihasilkan dari spesimen bambu betung yang telah dikarbonisasi mempunyai jari-jari pori yang relatif kecil dengan jumlah yang banyak dan homogen, agar spesimen bambu betung yang telah dikarbonisasi mempunyai nilai porositas yang tinggi dan tekanan kapiler (*capillary force*) yang tinggi. Gambar 4, menunjukkan hasil pengujian karbonisasi berupa arang bambu betung.



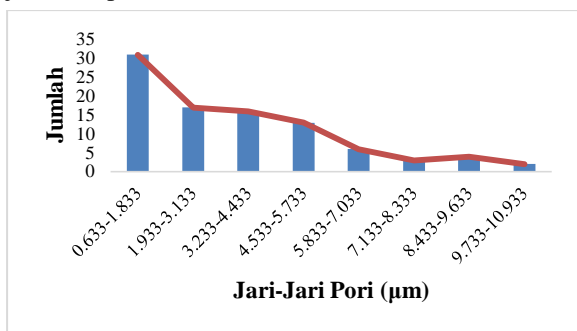
Gambar 4. Arang bambu betung. a) Permukaan kulit pada arang bambu betung. b) Permukaan pori pada arang bambu betung

4.2. Karakteristik Struktur Pori

Struktur pori terdiri dari jari-jari pori, distribusi pori, luas permukaan pori, dan volume pori. Struktur pori pada bambu betung dapat diketahui melalui

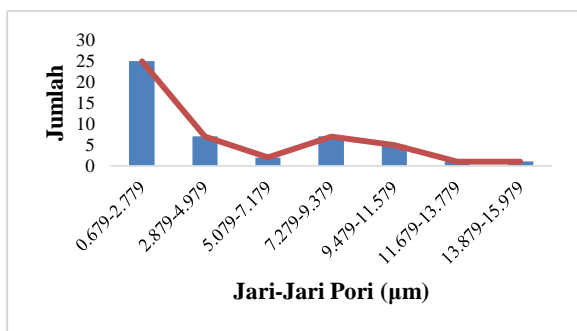
pengujian *scanning electron microscope* (SEM) dan analisis menggunakan aplikasi Image J.

Gambar 5, menunjukkan grafik distribusi jari-jari pori pada spesimen T1 (500°C). Berdasarkan grafik tersebut, terdapat total 92 pori. Dimana frekuensi jari-jari pori terbesar terdapat pada interval kelas 0.633-1.833 (μm) dengan jumlah 31 pori. Sementara frekuensi jari-jari pori terkecil terdapat pada interval kelas 9.733-10.933 (μm) dengan jumlah 2 pori



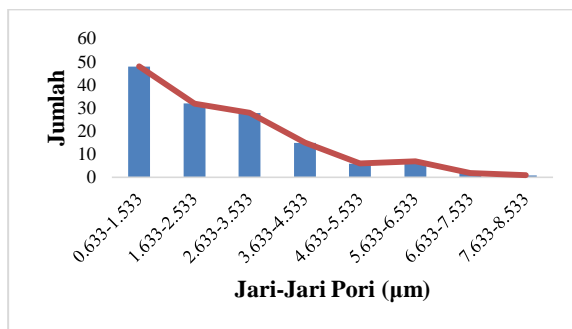
Gambar 5. Grafik distribusi jari-jari pori pada spesimen T1 (500°C).

Gambar 6, menunjukkan grafik distribusi jari-jari pori pada spesimen T2 (600°C). Berdasarkan grafik tersebut, terdapat total 48 pori. Dimana frekuensi jari-jari pori terbesar terdapat pada interval kelas 0.679-2.779 (μm) dengan jumlah 25 pori. Sementara frekuensi jari-jari pori terkecil terdapat pada interval kelas 11.679-13.779 (μm) dan 13.879-15.979 (μm) dengan jumlah 1 pori.



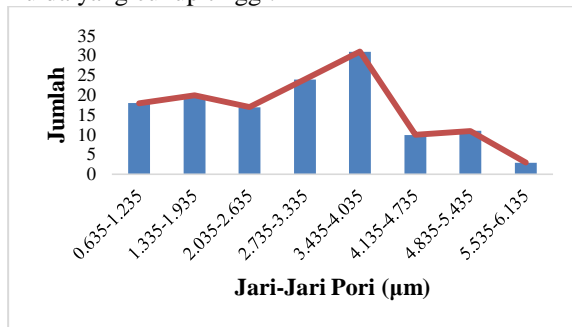
Gambar 6. Grafik distribusi jari-jari pori pada spesimen T2 (600°C).

Gambar 7, menunjukkan grafik distribusi jari-jari pori pada spesimen T3 (700°C). Berdasarkan grafik tersebut, terdapat total 139 pori. Dimana pada spesimen T3 (700°C) memiliki lebih banyak jumlah pori jika dibandingkan dengan spesimen T1 (500°C), T2 (600°C), dan T4 (800°C). Dengan frekuensi jari-jari pori terbesar terdapat pada interval kelas 0.633-1.533 (μm) dengan jumlah 48 pori. Sementara frekuensi jari-jari pori terkecil terdapat pada interval kelas 7.633-8.533 (μm) dengan jumlah 1 pori.



Gambar 7. Grafik distribusi jari-jari pori pada spesimen T3 (700°C).

Gambar 8, menunjukkan grafik distribusi jari-jari pori pada spesimen T4 (800°C). Berdasarkan grafik tersebut, terdapat total 134 pori. Dimana frekuensi jari-jari pori terbesar terdapat pada interval kelas 3.435-4.035 (μm) dengan jumlah 31 pori. Sementara frekuensi jari-jari pori terkecil terdapat pada interval kelas 5.535-6.135 (μm) dengan jumlah 3 pori. Dengan ukuran jari-jari pori yang kecil dan relatif lebih homogen jika dibandingkan dengan spesimen T1 (500°C), T2 (600°C), dan T3 (700°C) sehingga spesimen T4 (800°C) memiliki daya serap fluida yang cukup tinggi.



Gambar 8. Grafik distribusi jari-jari pori pada spesimen T4 (800°C).

Berdasarkan Gambar 5, 6, 7, dan 8, diketahui bahwa ukuran jari-jari pori pada spesimen bambu betung memiliki ukuran *macropore* ($>50\text{nm}$) Dimana material yang memiliki ukuran *macropore* termasuk kedalam material penyerap fluida (cair) yang baik [4]. Kemampuan menyerap air yang baik merupakan salah satu persyaratan utama untuk bambu betung menjadi *material pad* baru pada sistem *direct evaporative cooling*. Dengan demikian proses evaporasi dapat terus berlangsung untuk menghasilkan efek pendinginan udara.

Tabel 1, menunjukkan hasil pengolahan data karakteristik struktur pori pada bambu betung. Berdasarkan tabel tersebut, spesimen T1 (500°C) memiliki ukuran jari-jari pori tertinggi, 41.37 μm , jika dibandingkan dengan spesimen T2 (600°C), T3 (700°C), dan T4 (800°C). Hal ini dikarenakan, semakin tinggi temperatur karbonisasi yang diberikan, semakin besar ukuran pori yang dihasilkan. Data yang ditampilkan pada tabel 1, berdasarkan struktur pori yang telah dianalisis

dengan pengujian *scanning electron microscope* (SEM) dan aplikasi Image J.

Tabel 1 Hasil Pengolahan Data Struktur Pori Pada Bambu Betung.

Nama Spesimen	Jari-Jari Pori (μm)	Luas Permukaan Pori (μm^2)	Volume Pori (mm^3)
Karbonisasi			
T1 (500°C)	41.37	21492.34	3.3757×10^3
T2 (600°C)	40.04	20131.8	3.0145×10^3
T3 (700°C)	35.25	15602.29	2.4738×10^3
T4 (800°C)	36.97	17164.02	2.2434×10^3



Jeremia Romualdo Winner Napitu menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2017 sampai 2021. Ia menyelesaikan program sarjana dengan topik penelitian: karakterisasi *carbonized betung bamboo* sebagai *material pad* baru pada sistem *direct evaporative cooling*.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan termodinamika, perpindahan panas, dan pendingin *evaporative*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh peningkatan temperatur karbonisasi terhadap karakteristik struktur pori, dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Spesimen T4 (800°C) memiliki ukuran jari-jari pori yang kecil, 36.97 μm dengan jumlah 134 pori dan relatif lebih homogen jika dibandingkan dengan spesimen T1 (500°C), T2 (600°C), dan T3 (700°C) sehingga memiliki daya serap fluida yang cukup tinggi. Hal ini dikarenakan, ukuran pori, jumlah pori, dan distribusi pori sangat dipengaruhi oleh temperatur karbonisasi yang diberikan. Semakin tinggi temperatur karbonisasi yang diberikan, semakin baik struktur pori yang dihasilkan untuk *material pad* pada sistem *direct evaporative cooling*.

Daftar Pustaka

- [1] Isa, S.S.M., Ramli, M.M., Hambali, N.A.M.A., Kasjoo, S.R., Isa, M.M., Nor, N.I.M., Ahmad, N., 2016, *Adsorption Properties and Potential Applications of Bamboo Charcoal: A Review*. MATEC Web of Conferences, 78, 01097.
- [2] Huang, Pei-Hsing., Jhan, Jhih-Wei., Cheng, Yi-Ming., Cheng, Hau-Hsein, 2014, *Effect of Carbonization Parameters of Moso-Bamboo Based Porous Charcoal on Capturing Carbon Dioxide*, Scientific World Journal.
- [3] Fitzer, E., Köchling, K.-H., Boehm, H. P., Marsh, H., 1995, *IUPAC Recommendations*, Pure & Appl. Chem. 67(3), pp. 473-506.
- [4] Setyaningsih, H., 1995, *Pengolahan Limbah Batik Dalam Proses Kimia Dan Adsorpsi Karbon Aktif*, Tesis, Tidak Dipublikasikan Program Pascasarjana, Jakarta: Universitas Indonesia.