



**KARAKTERISASI MIKROSTRUKTUR POROSITAS ARANG AKTIF TEMPURUNG
BIJI JAMBU METE (*Anacardium occidentale* L.)**

***Characterization of activated charcoal microstructure porosity of
cashewnut shell (*Anacardium occidentale* L.)***

Dewi Alimah¹

¹Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Banjarbaru
Jl. A. Yani Km 28,7 Landasan Ulin, Banjarbaru, Provinsi Kalimantan Selatan

Telepon/Fax.: (+62)511 4707872

Email: dewi_alimah@yahoo.com

ABSTRAK

Tempurung biji jambu mete banyak tersedia sebagai limbah dari industri pengolahan jambu mete. Tempurung jambu mete berpotensi dikembangkan untuk arang aktif. Tulisan ini bertujuan mempelajari karakteristik mikrostruktur porositas arang aktif berbahan tempurung biji jambu mete yang diaktivasi secara fisika pada berbagai suhu aktivasi. Pada awalnya, tempurung biji jambu mete dikumpulkan dan diarangkan pada suhu 500°C selama 3 jam. Selanjutnya, arang tempurung biji jambu mete diaktivasi pada suhu 800°C dan 1.000°C selama 60 menit. Karakterisasi mikrostruktur porositas arang aktif tempurung biji jambu mete pada penampang melintang (*transversal*) secara visual dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) perbesaran 500 kali menggunakan contoh uji berbentuk butiran. Pengamatan porositas yang terbentuk pada permukaan contoh meliputi ukuran pori dan frekuensinya. Data hasil pengamatan disusun dalam bentuk tabulasi dan dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi rongga-rongga pada arang yang diaktivasi pada suhu 1.000°C cenderung lebih banyak bila dibandingkan dengan arang yang diaktivasi pada suhu 800°C. Semakin tinggi suhu aktivasi yang digunakan terjadi peningkatan diameter pori arang dan residu penyumbat pori semakin berkurang.

Kata kunci: mesopori, pirolisis, hidrokarbon

ABSTRACT

*Cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) shell is abundantly available as waste from cashew nut processing industries. Cashew nut shell is potentially used for activated charcoal. This paper characterizes the porosity microstructure of activated charcoal made from cashew nut shells which is physically activated at various activation temperatures. Initially, cashew nut shells were collected and carbonized at 500°C for 3 hours. Then, the charcoal was activated at 800°C and 1000°C for 60 minutes. The characterization of microstructure porosity of cashew nut shell activated charcoal at transverse cross-section was carried out at 500 times magnification of 10 kV Scanning Electron Microscope (SEM) using a grain-shaped test sample. Observation of the porosity formed on the sample surface included pore size and frequency. Observation data were arranged in tabulated form and analyzed descriptively. The results showed that the frequency of pores in charcoal activated at 1000°C tended to be higher than that of charcoal activated at 800°C. The higher activation temperature increased the pore diameter of the charcoal and decreased the clogging residue.*

Keywords: mesoporous, pyrolysis, hydrocarbon

PENDAHULUAN

Pemanfaatan biomassa hutan selain untuk produk perkayuan juga terindikasi kuat prospektif dikembangkan sebagai material karbon terutama karbon aktif atau arang aktif dengan porositas tinggi. Hal ini dilatarbelakangi dari sifat biomassa yang dapat diperbaharui dan meningkatnya pemanfaatan material karbon sebagai komponen utama dari beberapa produk unggulan strategis (Darmawan, Syafii, Wistara, Maddu, & Pari, 2015). Saat ini, arang aktif diproduksi secara komersial dari arang kayu, kayu atau batok kelapa. Limbah biomassa seperti jerami atau ampas produksi yang berbahan dasar dari sektor perkebunan belum banyak dimanfaatkan menjadi produk bernilai tinggi dan ramah lingkungan (Schröder, Thomauske, Weber, Hornung, & Tumiatti, 2007). Tempurung biji jambu mete (*Anacardium occidentale* L.) merupakan limbah material biomassa hasil hutan bukan kayu (HHBK) potensial yang dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif atau arang aktif (Alimah, 2017).

Arang aktif merupakan suatu bentuk arang yang telah melalui aktivasi dengan menggunakan CO₂, uap air, atau bahan kimia untuk membuka pori-pori sehingga daya jerapnya menjadi lebih tinggi terhadap zat cair, warna, dan bau. Arang aktif mengandung 5-15% air, 2-3% abu, dan sisanya terdiri atas karbon. Karbon yang sekarang banyak digunakan berbentuk butiran (granular) dan berbentuk bubuk (tepung) (Widjaja, Altway, & Soeprijanto, 2009). Besarnya daya jerap arang aktif sangat dipengaruhi oleh keadaan pori-pori yang terbentuk. Pori-pori pada arang aktif memiliki beberapa jenis, yaitu antara lain mikropori dengan ukuran diameter di bawah 5 µm, mesopori dengan ukuran diameter antara 5-25 µm, dan makropori dengan ukuran diameter di atas 25 µm (Lempang, Syafii, & Pari, 2011).

Pada bahan dan perlakuan yang berbeda, pori-pori yang terbentuk juga berbeda. Porositas arang aktif yang didominasi mikropori sangat cocok untuk digunakan sebagai penyerap molekul-molekul kecil seperti molekul gas dengan tingkat kontaminan rendah, sedangkan porositas arang aktif yang didominasi makropori cocok untuk menyerap molekul lebih besar seperti cairan dan sangat cocok untuk *decolorizing* (Salamah, 2001).

Pembuatan arang aktif dilakukan dalam dua langkah. Langkah pertama adalah pembentukan arang yang bersifat amorf dan porous melalui pirolisis bahan mentah yang dilakukan pada suhu 500-600°C. Selama proses pirolisis, gas pirolisis primer diproduksi, yang terpisah menjadi gas dan minyak permanen (ter) jika didinginkan pada suhu kamar. Residu dari proses pirolisis merupakan arang primer yang berfungsi sebagai bahan dasar untuk langkah aktivasi. Laju pemanasan, suhu pirolisis, dan waktu tinggal material di zona

panas selama pirolisis mempengaruhi pembentukan porositas awal arang. Langkah kedua adalah proses aktivasi untuk menghilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan arang sehingga porositas arang meningkat (Schröder *et al.*, 2007).

Aktivasi arang untuk menghasilkan arang aktif dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu cara kimia dan fisika. Aktivasi arang dengan cara kimia dilakukan dengan cara perendaman arang dalam larutan senyawa kimia sebelum dipanaskan. Aktivasi arang dengan cara fisika biasanya menggunakan oksidator lemah antara lain uap air (H₂O), gas CO₂, dan nitrogen (Guerrero *et al.*, 1970 dalam Lempang, Syafii, & Pari, 2011). Menurut Schröder *et al.* (2007), pemilihan suhu pirolisis dan aktivasi tergantung pada sifat bahan baku. Bahan dengan kadar zat terbang (*volatile*) tinggi seperti tempurung kelapa atau aneka cangkang biji-bijian membutuhkan suhu pirolisis yang lebih tinggi untuk memastikan devolatilasi biomassa. Umumnya suhu aktivasi yang digunakan mencapai 800-900°C di bawah tekanan atmosfer.

Tempurung biji jambu mete sebagai hasil samping dari pengolahan biji mete belum dimanfaatkan secara optimal. Di Indonesia, hanya sebagian kecil saja dari tempurung biji jambu mete ini yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar tungku (Alimah, 2017). Padahal, ketersediaan tempurung jambu mete ini cenderung melimpah di lapangan. Luas areal tanaman mete pada tahun 2013 mencapai 554.315 ha dengan produksi 116.113 ton biji (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2014). Pemanenan jambu mete untuk diolah menjadi kacang mete diperkirakan mampu menyisakan limbah tempurung biji jambu mete sekitar 58.056,5 ton tempurung. Hal ini mengingatkan bahwa berat tempurung biji mete mencapai 50% dari berat biji mete utuh (Patel, Bandyopadhyay, & Ganesh, 2006). Selain dapat diolah menjadi ekstrak CNSL (*Cashew Nut Shell Liquid*) atau minyak laka, tempurung biji jambu mete juga dapat diolah menjadi arang aktif (Kumar, Ramalingam, & Sathishkumar, 2011; Yuliana, Tran-Thi, & Ju, 2012; Ragupathy, Raghu, & Prabu, 2015).

Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap arang yang diaktivasi pada suhu 800°C dan 1.000°C. Perbedaan struktur arang menjadi produk aktivasi dipelajari untuk mengetahui kondisi porositas arang aktif. Analisis proksimat berupa penentuan kadar zat terbang, kadar abu, kadar karbon terikat, dan daya jerap iodin telah dilakukan untuk mendukung analisis perbedaan struktur arang yang diaktivasi pada suhu 800°C dan 1.000°C. Penulisan artikel ini bertujuan melakukan karakterisasi mikrostruktur porositas arang aktif berbahan tempurung biji jambu mete yang diaktivasi secara fisika pada berbagai suhu aktivasi.

BAHAN DAN METODE

Lokasi penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan arang dari tempurung biji jambu mete menggunakan *retort* listrik di Laboratorium Energi Biomassa Kayu, Universitas Gadjah Mada.
2. Proses aktivasi arang dalam *furnace* merk Uchida Japan untuk menghasilkan arang aktif di Laboratorium Kimia Analitik, Universitas Negeri Yogyakarta.
3. Pengamatan porositas menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada arang aktif di Laboratorium Pengolahan Kimia dan Energi Biomassa Hasil Hutan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Bogor.

Bahan dan alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah tempurung biji jambu mete yang diambil dari Desa Karangmojo, Wonosari, Gunung Kidul, Yogyakarta. Alat yang digunakan antara lain *retort* listrik kapasitas 4 kg, *furnace* merk Uchida Japan, grinder dengan daya saring 20 mesh, ayakan merk *USA Standard Testing Sieve* ukuran 20 dan 100 mesh, timbangan analitik merk *OHAUS/GT 2.100* dengan ketelitian 0,001 gram, cawan porselin, dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) merk Zeiss.

Metode Penelitian

Pembuatan arang dan arang aktif

Pembuatan arang dilakukan dengan menggunakan *retort* listrik berkapasitas 4 kg. Sebelum dilakukan pengarangan, tempurung biji jambu mete dikeringkan terlebih dahulu di bawah sinar matahari hingga mencapai kondisi kering angin. Tempurung biji jambu mete yang telah diukur kadar airnya kemudian dimasukkan ke dalam *retort* listrik dan dipanaskan pada suhu 500°C selama 3 jam hingga menjadi arang. Arang yang dihasilkan didiamkan dulu selama 24 jam dan selanjutnya dihaluskan menggunakan grinder hingga lolos ayakan 20 mesh. Proses aktivasi dilakukan dengan memanaskan arang dalam *furnace* pada suhu 800°C dan 1.000°C dengan variasi waktu aktivasi selama 60 menit. Pemilihan spesimen arang aktif dilakukan berdasarkan kualitas arang aktif tempurung biji jambu mete terendah yang diperoleh pada suhu aktivasi 800°C dan kualitas arang aktif terbaik yang diperoleh pada suhu aktivasi 1.000°C.

Karakterisasi mikrostruktur arang aktif

Arang aktif tempurung biji jambu mete digiling menggunakan grinder kemudian diayak untuk mendapatkan serbuk. Serbuk yang lolos ayakan 100 mesh digunakan sebagai contoh untuk karakterisasi mikrostruktur porositas arang aktif. Karakterisasi mikrostruktur porositas arang aktif tempurung biji jambu mete pada penampang melintang (*transversal*) secara visual dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) berkekuatan 10 kV menggunakan contoh uji berbentuk butiran. Pengambilan gambar pada penampang melintang menggunakan pembesaran hingga 2.000 kali. Pengamatan porositas yang terbentuk pada permukaan contoh meliputi ukuran pori dan frekuensinya.

Analisis Data

Data hasil pengamatan disusun dalam bentuk tabulasi dan dianalisis secara deskriptif. Pada penelitian ini juga dilakukan penelusuran literatur untuk menambah data yang sudah ada sehingga analisis datanya lebih lengkap.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Karakterisasi mikrostruktur arang aktif dilakukan untuk melihat morfologi permukaan arang aktif. Analisis struktur permukaan pori menggunakan SEM bertujuan untuk mengetahui topografi permukaan suatu bahan akibat perubahan suhu karbonisasi dan aktivasinya (Rahmawati & Yuanita, 2013). Diameter pori arang aktif tempurung biji jambu mete pada berbagai suhu aktivasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Diameter pori pada permukaan arang aktif tempurung biji mete.

No.	Suhu aktivasi	Diameter pori (μm)		Porsi diameter Pori (%)		
		Minimum	Maksimum	<5 μm	5-25 μm	>25 μm
1.	800°C	3,73	21,44	13,10	86,90	-
2.	1.000°C	12,76	55,70	19,40	44,90	35,70

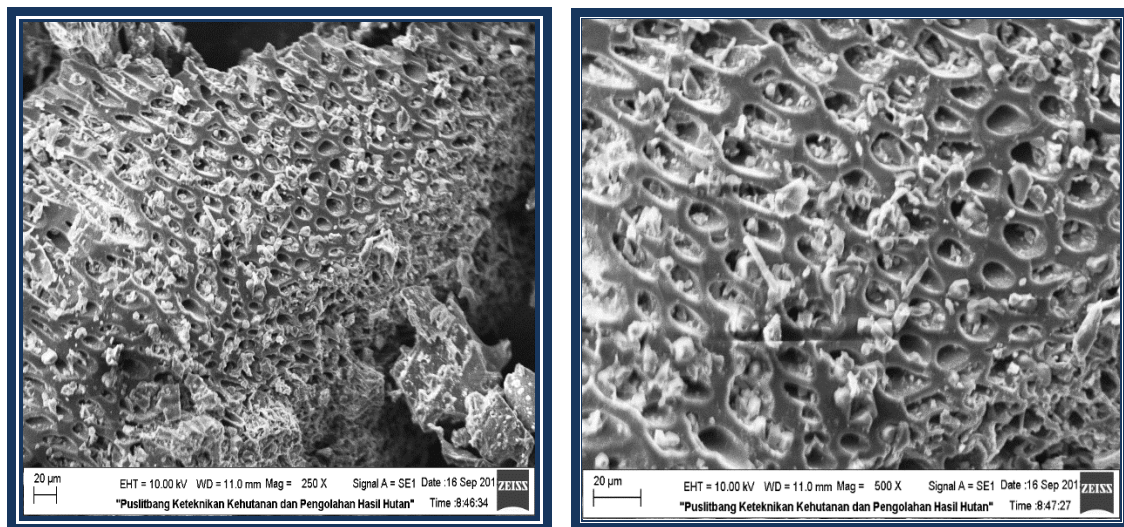
Pada penelitian sebelumnya tentang sifat dan mutu arang aktif dari tempurung biji jambu mete (Alimah, 2017), hasilnya menunjukkan bahwa secara umum parameter kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat dan daya jerap metilen blue dari arang aktif tempurung biji jambu mete telah memenuhi Standar Arang Aktif (SNI 06-3730-1995). Sifat dan mutu arang aktif dari tempurung biji jambu mete pada suhu

pirolisis 500°C dan berbagai suhu aktivasi berbeda dengan arang yang diaktivasi (Tabel 2). Mikrofotogram SEM pada contoh bahan tersebut bervariasi tergantung suhu aktivasinya (Gambar 1. dan 2.).

Tabel 2. Sifat arang dan arang aktif tempurung biji jambu mete.

No.	Parameter	Satuan	Perlakuan			Standar Arang Aktif (SNI 06-3730-1995)
			Arang dengan suhu pirolisis 500°C (tanpa aktivasi)	Arang dengan suhu aktivasi 800°C	Arang dengan suhu aktivasi 1.000°C	
1.	Rendemen	%	-	70,46	45,19	-
2.	Kadar air	%	4,04	1,76	0,40	Maks. 15
3.	Kadar abu	%	6,01	8,20	13,75	Maks. 10
4.	Kadar zat terbang	%	26,35	7,89	8,85	Maks. 25
5.	Karbon terikat	%	67,64	83,91	77,40	Min. 65
6.	Daya jerap iodium	mg/g	363,33	256,54	703,73	Min. 750
7.	Daya jerap metilen biru	mg/g	133,53	130,93	131,35	Min. 120

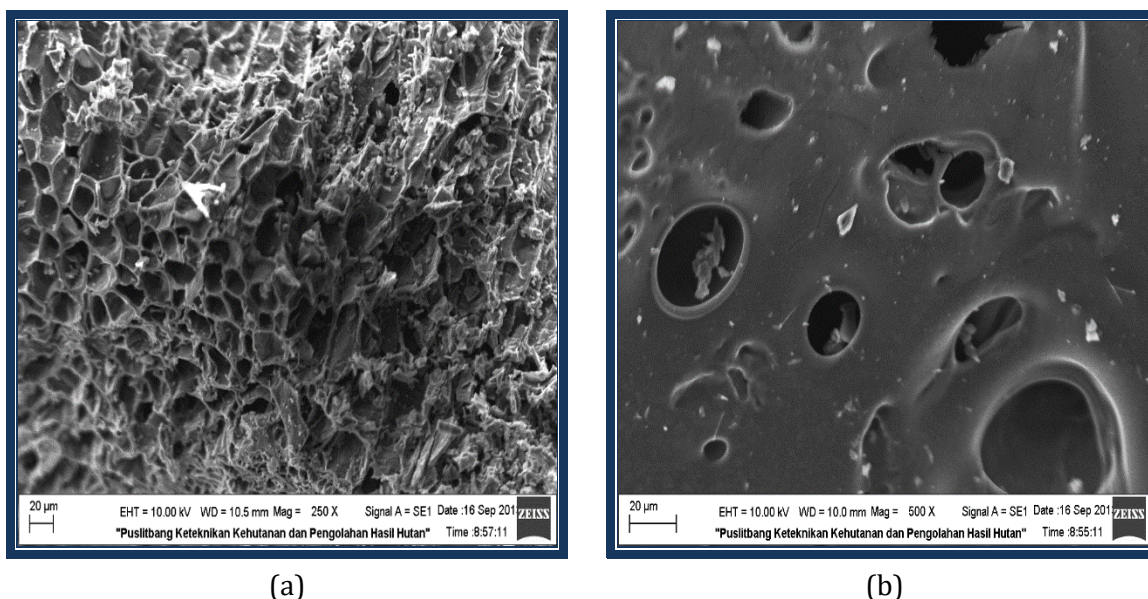
Sumber: Data diolah dari Alimah, 2017



(a)

(b)

Gambar 1. Mikrofotogram SEM pada permukaan arang tempurung biji jambu mete yang diaktivasi pada suhu 800°C; (a) dengan perbesaran 250x dan (b) dengan perbesaran 500x



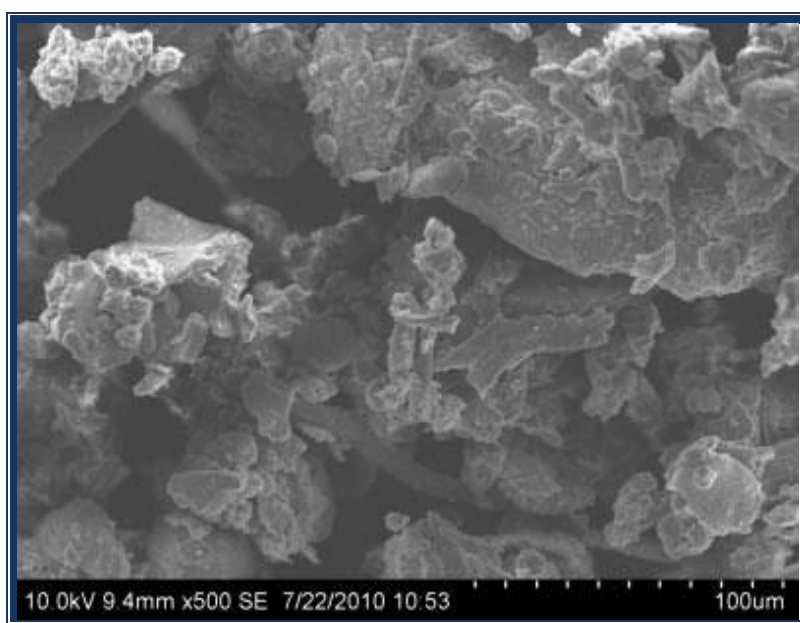
Gambar 2. Mikrofotogram SEM pada permukaan arang tempurung biji jambu mete yang diaktivasi pada suhu 1.000°C; (a) dengan perbesaran 250x dan (b) dengan perbesaran 500x

Pembahasan

Aktivasi menyebabkan semakin banyaknya kadar zat terbang (*volatile*) terlepas dari arang sehingga menyebabkan terbukanya struktur *seluler* yang tersisa sehingga berakibat pada pembentukan pori (Lempang *et al.*, 2011). Dari Tabel 1 diketahui bahwa aktivasi arang menjadi arang aktif pada suhu 800°C selama 60 menit mampu membuka pori-pori kecil dan mengurangi penutupan hidrokarbon pada permukaan arang. Pori-pori yang terbentuk secara keseluruhan tergolong mesopori (\varnothing 5-25 μm) dengan diameter sekitar 5,0-21,44 μm sebanyak 86,90%. Jumlah makropori (\varnothing >25 μm) mulai muncul dan bertambah banyak ketika suhu aktivasi ditingkatkan menjadi 1.000°C. Pada suhu aktivasi 1.000°C tersebut, pori-pori arang terbentuk hingga mencapai diameter sekitar 55,70 μm dengan makropori yang terbentuk sebanyak 35,70% (Gambar 2b). Walaupun demikian, secara keseluruhan mesopori tetap mendominasi penampang melintang butiran serbuk arang aktif sebanyak 44,90%. Menurut Bonelli *et al.* (2001), pembentukan dan pembesaran pori arang disebabkan oleh penguapan komponen yang terdegradasi dan lepasnya zat terbang. Dengan berkurangnya senyawa hidrokarbon pada zat terbang, maka pori pada permukaan arang aktif semakin jelas terlihat. Secara keseluruhan diameter pori pada permukaan arang aktif tempurung biji jambu mete hasil analisa SEM termasuk ke dalam struktur mikro pori (\varnothing < 5 μm), sampai mesopori (\varnothing 5-25 μm) yang lebih dominan, dan makropori (\varnothing >25 μm) dengan diameter 3,73-55,70 μm . Hal ini sesuai dengan penelitian Nagalakshmi & Kalaiselvi (2019)

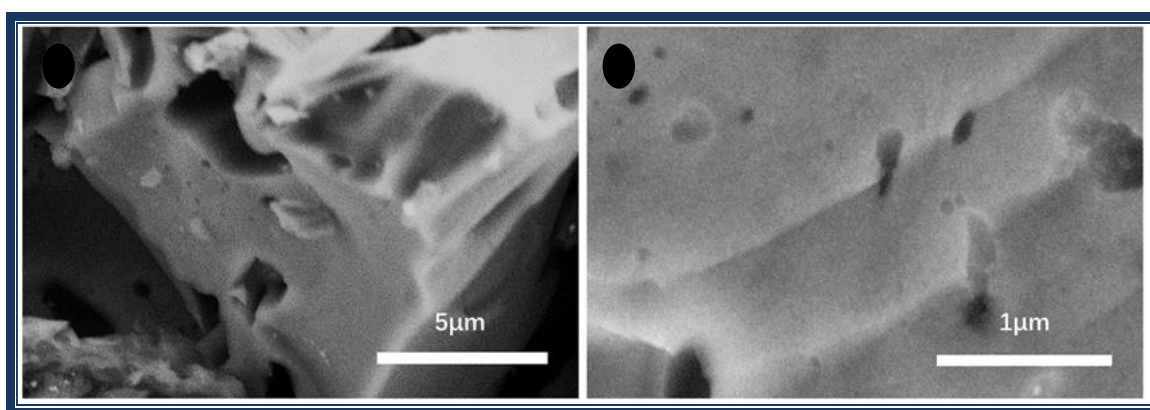
yang menyatakan bahwa arang aktif tempurung biji jambu mete didominasi oleh mesopori dan karakter ini dapat digunakan sebagai material anoda baterai lithium-natrium ion dan berpeluang menjadi calon sumber energi di masa depan.

Dari Gambar 1. dan 2. terlihat perbedaan morfologi permukaan arang yang diaktivasi pada suhu 800°C dan 1.000°C. Pada suhu aktivasi 800°C, pori-pori arang aktif sudah terbentuk dengan baik. Pori-pori membentuk lubang-lubang besar dan luas secara merata atau dengan kata lain arang aktif dari tempurung biji jambu mete ini berbentuk *sponge*. Khang *et al.* (2020) juga menyebutkan bahwa interaksi antara uap air dan residu padat pada permukaan tempurung biji jambu mete sewaktu proses pirolisis menghasilkan gugus *sponge*. Frekuensi pori-pori pada arang yang diaktivasi pada suhu 1.000°C cenderung lebih banyak bila dibandingkan dengan arang yang diaktivasi pada suhu 800°C. Sementara itu, penampang atas tempurung biji jambu mete pada penelitian Senthilkumar *et al.* (2012) (Gambar 3), tidak terlihat adanya pori-pori yang terbuka. Hal ini menunjukkan bahwa tempurung biji jambu mete merupakan bahan massif yang memiliki ukuran pori yang sangat kecil. Cai *et al.* (2020) menyebutkan bahwa arang tempurung biji jambu mete yang telah diaktivasi secara kimia menggunakan aktivator potassium hidroksida (KOH) menghasilkan arang aktif dengan luas permukaan pori sebesar 2.742 m²/g dan total volume pori 1.528 cm³/g.



Gambar 3. Mikrofotogram SEM pada permukaan tempurung biji jambu mete
Sumber: Senthilkumar *et al.*, 2012

Hasil penelitian Cai *et al.* (2020) (Gambar 4), pada tempurung biji jambu mete yang telah dipirolisis pada suhu 600°C untuk menghasilkan arang, distribusi pori-pori arang hasil pirolisis tersebut masih sedikit dan diameternya pun cenderung tergolong kecil (mikropori). Hal ini dikarenakan seluruh permukaan arang tersebut masih tertutup oleh senyawa hidrokarbon dan abu. Menurut Lempang *et al.* (2011), pada karbonisasi tempurung kemiri menjadi arang akan dihasilkan lebih banyak karbon, sedikit hidrogen dan oksigen, namun demikian pada arang masih terdapat cukup banyak senyawa hidrokarbon. Senyawa tersebut menutupi pori dan permukaan arang yang dapat menyebabkan kemampuan daya jerapnya rendah.



Gambar 4. Mikrofotogram SEM arang tempurung biji jambu mete yang telah dipirolisis pada suhu 600°C

Sumber: Cai *et al.*, 2020

Dari pengamatan Gambar 1. dan 2. juga diketahui bahwa perbedaan suhu aktivasi yang digunakan terbukti memperlihatkan berkurangnya senyawa hidrokarbon secara nyata. Pori-pori arang yang diaktivasi pada suhu 1.000°C cenderung lebih bersih (tidak terisi sumbatan senyawa hidrokarbon) bila dibandingkan dengan pori-pori arang yang diaktivasi pada suhu 800°C. Sebagian besar pori-pori arang yang diaktivasi pada suhu 800°C terisi oleh senyawa hidrokarbon yang kurang menguntungkan terhadap daya jerap arang. Menurut Masthura & Putra (2018), kandungan kadar abu yang tinggi menyebabkan sebagian pori-pori arang aktif tertutup abu. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Alimah (2017) terhadap bahan yang sama, dimana pada Tabel 2. diketahui bahwa arang yang diaktivasi pada suhu 1.000°C memiliki kadar abu lebih banyak (13,75%) bila dibandingkan dengan arang yang diaktivasi pada suhu 800°C dan arang yang tidak diaktivasi yang secara berturut-turut sebesar 8,20% dan 6,01%. Tingginya kadar abu yang dihasilkan pada suhu aktivasi akhir disebabkan adanya senyawa sebagai komponen penyusun kadar abu hanya

mampu terurai pada titik bakar tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian Hastuti *et al.* (2015) menyatakan bahwa rendahnya kadar abu yang dihasilkan menunjukkan senyawa yang tidak terbakar selama proses destilasi kering. Kandungan abu ini biasanya didominasi senyawa yang memiliki titik bakar tinggi. Hasil penelitian Santi & Morin (2019) juga menyatakan bahwa kenaikan temperatur kalsinasi (pembakaran) menyebabkan perbedaan kandungan mineral yang dihasilkan pada kadar abu kayu. Hal ini terbukti dengan munculnya puncak silikon oksida (SiO_2) dan silikon (Si) pada kalsinasi dengan temperatur 600°C yang tidak dijumpai pada produk dengan temperatur 500°C berdasarkan hasil pembacaan pola difraktogram menggunakan difraksi sinar-X (XRD).

Menurut Pari (2004), abu yang masih tertinggal di dalam pori-pori arang dapat mengurangi daya jerap arang aktif baik terhadap larutan maupun gas. Hal ini dikarenakan kandungan mineral yang terdapat dalam abu seperti kalium, kalsium, natrium, dan magnesium akan menyebar dalam kisi-kisi arang aktif sehingga kinerja arang aktif berkurang. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Alimah (2017) terhadap bahan yang sama didapatkan daya jerap arang yang diaktivasi pada suhu 1.000°C lebih tinggi (703,73 mg/g) terhadap iodium bila dibandingkan dengan dengan arang yang diaktivasi pada suhu 800°C sebesar 256,54 mg/g (Tabel 2.). Schröder *et al.* (2007) juga menyatakan bahwa tingginya kadar abu menjadi salah satu persoalan utama yang dihadapi dalam pembuatan arang aktif, baik itu terbuat dari kayu, *hardcoal* maupun tempurung kelapa. Keberadaan abu yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori pada arang sehingga luas permukaan arang menjadi berkurang.

Dengan metode aktivasi yang sama, bila dibandingkan dengan arang aktif berbahan dasar lainnya, yaitu tempurung biji kemiri dan tempurung kelapa, arang aktif tempurung biji jambu mete cenderung lebih unggul dalam hal ukuran pori yang mendominasi. Hasil penelitian Lempang *et al.* (2011) tentang arang aktif berbahan tempurung biji kemiri diketahui bahwa diameter pori arang aktif tempurung kemiri hasil analisis SEM didominasi oleh struktur mikropori ($\varnothing < 5 \mu\text{m}$) dan diikuti struktur mesopori ($\varnothing 5-25 \mu\text{m}$) dengan diameter 0,2-11,3 μm . Sementara itu, meskipun arang aktif tempurung kelapa juga didominasi oleh mesopori, tetapi bila dibandingkan dengan arang aktif tempurung biji jambu mete, luas permukaan arang aktif tempurung kelapa cenderung lebih rendah, yaitu sebesar 800-1.500 m^2/g dengan volume mesopori sekitar 0,35 cm^3/g (Mi, Wang, Fan, Qu, & Li, 2012). Saat ini arang aktif tempurung biji jambu mete ini banyak dimanfaatkan sebagai bioadsorben penghilang kation logam berat seperti kromium dan tembaga (Oliveira *et al.*, 2021), anoda pada baterai lithium ion (Cai *et al.*, 2020), dan merupakan material yang

efektif menyerap metilen biru atau zat pewarna dalam larutan (Alimah, 2017; Khang, Hai, Thi, & Tuan, 2020).

KESIMPULAN

Proses pirolisis tempurung biji jambu mete menjadi arang dan aktivasi arang menjadi arang aktif dapat mengubah karakteristik struktur permukaan arang dan arang aktif hingga jauh berbeda dengan asalnya. Distribusi rongga-rongga (pori) pada arang yang diaktivasi pada suhu 1.000°C cenderung lebih banyak bila dibandingkan dengan arang yang diaktivasi pada suhu 800°C. Peningkatan suhu aktivasi berakibat pada peningkatan ukuran diameter pori arang dan berkurangnya residu penyumbat pori.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Ali selaku teknisi di Laboratorium Kimia Analitik Universitas Negeri Yogyakarta, Aji Nur Rakhmat selaku teknisi di Laboratorium Energi Biomassa, Universitas Gadjah Mada, dan Bapak Ahmad Junaedi selaku teknisi di Puslitbang Hasil Hutan Bogor atas kerjasama selama kegiatan penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimah, D. (2017). Sifat dan mutu arang aktif dari tempurung biji mete (*Anacardium occidentale* L.). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 35(2), 123–133. <https://doi.org/10.20886/jphh.2017.35.2.123-133>
- Bonelli, P. R., Della Rocca, P. A., Cerrella, E. G., & Cukierman, A. L. (2001). Effect of pyrolysis temperature on composition, surface properties and thermal degradation rates of Brazil Nut shells. *Bioresource Technology*, 76(1), 15–22. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00085-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00085-7)
- Cai, N., Cheng, H., Jin, H., Liu, H., Zhang, P., & Wang, M. (2020). Porous carbon derived from cashew nut husk biomass waste for high-performance supercapacitors. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 861, 113933. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.113933>
- Darmawan, S., Syafii, W., Wistara, N. J., Maddu, A., & Pari, G. (2015). Kajian struktur arang-pirolisis, arang-hidro dan karbon aktif dari kayu *Acacia mangium* Willd. menggunakan difraksi sinar-x. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(2), 81–92.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2014). *Statistik perkebunan Indonesia : jambu mete 2013-2015*. (S. S. Widya Khonik Zuraina, S. K. Eko Pudjianto, S. K. Asep Udin, S. S. Neny Kurniawati, & A. M. Susilo Novianto Damarjati, Eds.). Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan.

- Hastuti, N., Pari, G., Setiawan, D., Mahpudin, & Saepuloh. (2015). Kualitas arang enam jenis kayu asal Jawa Barat sebagai produk destilasi kering. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(4), 337–346. <https://doi.org/10.20886/jpjh.v33i4.934.337-346>
- Khang, D. S., Hai, T. D., Thi, T. D., & Tuan, P. D. (2020). Dye removal using cashew nut shell activated carbon. *Vietnam Journal of Chemistry*, 58(6), 832–840. <https://doi.org/10.1002/vjch.202000096>
- Kumar, P. S., Ramalingam, S., & Sathishkumar, K. (2011). Removal of methylene blue dye from aqueous solution by activated carbon prepared from cashew nut shell as a new low-cost adsorbent. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 28(1), 149–155. <https://doi.org/10.1007/s11814-010-0342-0>
- Lempang, M., Syafii, W., & Pari, G. (2011). Struktur dan komponen arang serta arang aktif tempurung kemiri. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(3), 278–294. <https://doi.org/10.20886/jpjh.2011.29.3.278-294>
- Masthura, M., & Putra, Z. (2018). Karakterisasi mikrostruktur karbon aktif tempurung kelapa dan kayu bakau. *Elkawanie*, 4(1), 45–54. <https://doi.org/10.22373/ekw.v4i1.3076>
- Mi, J., Wang, X. R., Fan, R. J., Qu, W. H., & Li, W. C. (2012). Coconut-shell-based porous carbons with a tunable micro/mesopore ratio for high-performance supercapacitors. *Energy and Fuels*, 26(8), 5321–5329. <https://doi.org/10.1021/ef3009234>
- Nagalakshmi, M., & Kalaiselvi, N. (2019). Mesoporous dominant cashewnut sheath derived bio-carbon anode for LIBs and SIBs. *Electrochimica Acta*, 304, 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.02.123>
- Oliveira, K. F. S. de, Deus Junior, J. O. de, Nascimento, T. L. da S. do, Anjos, R. B. dos, Melo, D. M. de A., Braga, R. M., & Melo, M. A. de F. (2021). Cashew nut shell (*Anacardium occidentale* L) charcoal as bioadsorbent to remove Cu²⁺ and Cr³⁺. *Research, Society and Development*, 10(2), e0510212238. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12238>
- Pari, G. (2004). *Kajian struktur arang aktif dari serbuk gergaji kayu sebagai adsorben emisi formaldehida kayu lapis [Disertasi Program Doktor]*. Institut Pertanian Bogor.
- Patel, R. N., Bandyopadhyay, S., & Ganesh, A. (2006). Extraction of cashew (*Anacardium occidentale*) nut shell liquid using supercritical carbon dioxide. *Bioresource Technology*, 97(6), 847–853. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.009>
- Ragupathy, S., Raghu, K., & Prabu, P. (2015). Synthesis and characterization of TiO₂ loaded cashew nut shell activated carbon and photocatalytic activity on BG and MB dyes under sunlight radiation. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 138, 314–320. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.11.087>
- Rahmawati, E., & Yuanita, L. (2013). Adsorpsi Pb²⁺ oleh arang aktif sabut siwalan (*Borassus flabellifer*). *UNESA Journal of Chemistry*, 2(3), 82–87.
- Salamah, S. (2001). Pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa dengan perlakuan karbonat. In *Prosiding Seminar Nasional Kejuangan Teknik Kimia*. Yogyakarta.
- Santi, D., & Morin, J. V. (2019). Karakterisasi abu kayu merbau (*Intsia spp*): pengaruh temperatur dan lama kalsinasi. *Jurnal Natural*, 15(1), 30–38.
- Schröder, E., Thomauske, K., Weber, C., Hornung, A., & Tumiatti, V. (2007). Experiments on the generation of activated carbon from biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 79, 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2006.10.015>

- Senthilkumar, P., Ramalingam, S., Abhinaya, R. V., Kirupha, S. D., Vidhyadevi, T., & Sivanesan, S. (2012). Adsorption equilibrium, thermodynamics, kinetics, mechanism and process design of zinc(II) ions onto cashew nut shell. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 90(4), 973–982. <https://doi.org/10.1002/cjce.20588>
- Widjaja, T., Altway, A., & Soeprijanto. (2009). Studi proses hybrid : adsorpsi pada karbon aktif/membran bioreaktor untuk pengolahan limbah cair industri. In *Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia* (Vol. 1, pp. 19–20). Bandung.
- Yuliana, M., Tran-Thi, N. Y., & Ju, Y. H. (2012). Effect of extraction methods on characteristic and composition of Indonesian cashew nut shell liquid. *Industrial Crops and Products*, 35(1), 230–236. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.07.007>