

PEMBUATAN ARANG AKTIF DARI SAMPAH PERKOTAAN DENGAN METODA PEMANASAN DAN STEAM

PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM MUNICIPAL WASTE WITH HEATING AND STEAM METHODS

Abdul Gani Haji¹⁾, Zainal Alim Mas'ud²⁾, dan Gustan Pari³⁾

¹⁾ Program Studi Kimia FKIP Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh

²⁾ Departemen Kimia FMIPA Institut Pertanian Bogor, Kampus Darmaga Bogor

³⁾ Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Jl. Gunung Batu No.5 Bogor

¹⁾ Email: aganihaji@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pembuatan arang aktif dari sampah perkotaan dengan pemanasan dan steam. Proses pembuatan arang aktif dimulai dengan pirolisis sampah perkotaan menggunakan reaktor drum pada suhu 500°C selama 5 jam. Selanjutnya, arang yang diperoleh diaktivasi dengan panas dan steam menggunakan *retort* listrik pada suhu 700 dan 800°C, dengan waktu selama 60 dan 120 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk memperoleh produk arang aktif dengan kualitas terbaik diperoleh pada proses aktivasi dengan steam pada suhu 800°C dan waktu aktivasi selama 120 menit. Rendemen arang aktif yang dihasilkan pada perlakuan tersebut, yaitu 57,60% (w/w). Hasil karakterisasinya diperoleh kadar air 1,36% (w/w), kadar zat terbang 8,87% (w/w), kadar abu 12,27% (w/w), kadar karbon terikat 78,86% (w/w), daya serap terhadap benzena 22,51% (w/w) dan daya serap terhadap iodin sebesar 873,53 mg/g. Hasil identifikasi gugus fungsi diketahui arang aktif yang dihasilkan pada semua perlakuan masih mengandung pengotor berupa gugus OH, C=O, dan C-O. Hasil analisis dengan SEM menunjukkan bahwa perlakuan terbaik menghasilkan arang aktif dengan diameter pori rata-rata berkisar 4,8-7,7 µm.

Kata kunci: aktivasi fisika, mutu arang aktif, pirolisis, sampah perkotaan.

Abstract

A research on the manufacture of activated carbon from municipal waste has conducted by heating and steam methods. Production process of activated carbon was begins with the pyrolysis of municipal waste using the drum reactor at a temperature of 500°C for 5 hours. Furthermore, activated carbon obtained by using steam heat and electric retort at 700 and 800°C temperature, and time for 60 and 120 minutes. The results showed that the optimum conditions to obtain activated carbon products with the best quality was available on the activation process with steam at a temperature of 800°C and the activation time for 120 minutes. The yield activated carbon produced in these treatments was 57.60% (w/w). The characterization results obtained water content was 1.36% (w/w), levels of substance was flew 8.87% (w/w), ash content was 12.27% (w/w), levels of carbon bound was 78.86% (w/w), absorption of benzene was 22.51% (w/w) and the iodine absorption was 873.53 mg/g. The results of identification functional group was known that activated carbon is produced in all treatments still contained impurities of OH group, C = O, and CO. The result of analysis by SEM showed that the best treatment to produce activated charcoal with pores diameter ranging on average 4,8-7,7 µm

Keywords: activation of physics, municipal waste, pyrolysis, quality of activated carbon.

1. PENDAHULUAN

Komposisi sampah perkotaan sebagian besar terdiri atas sampah lunak seperti sisa makanan, sayuran, dan kulit buah-buahan, sedangkan sisanya $\pm 20\%$ merupakan sampah padat yang relatif sukar terdekomposisi secara alami, misalnya kayu, bambu, ranting, dan lain-lain. Beberapa jenis sampah padat tersebut hingga saat ini belum ditangani secara serius sehingga menimbulkan masalah yang cukup serius bagi lingkungan hidup. Salah satu teknik penanganan sampah tersebut yang dapat menjadi alternatif solusi yang bermanfaat, yaitu dengan menerapkan teknik pirolisis yang dilengkapi dengan pendingin agar asap yang dihasilkan terkondensasi menjadi asap cair (destilat).

Menurut Sugumaran dan Seshadri (2009), pirolisis merupakan proses pembakaran tidak sempurna bahan yang mengandung karbon (C), misalnya tumbuhan, hewan dan/atau barang tambang sehingga dihasilkan produk berupa arang. Demirbas (2005) menyatakan umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu berkisar $200-400^{\circ}\text{C}$ dalam waktu ± 5 jam dan keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya. Penanganan sampah perkotaan menjadi arang akan memberi banyak manfaat, terutama dalam rangka menekan volume timbunan sampah di berbagai sudut kota. Produk arang yang dihasilkan, selain bermanfaat sebagai sumber energi, juga bermanfaat sebagai *soil conditioning* (Gusmailina *et al.*, 2001). Di samping itu, arang yang dihasilkan dapat ditingkatkan mutunya menjadi arang aktif.

Arang aktif adalah arang yang telah mengalami proses aktivasi sehingga daya serapnya tinggi dengan kadar karbon dan keaktifan yang bervariasi. Menurut Gomez-Serrano *et al.* (2003), permukaan arang masih ditutupi oleh deposit hidrokarbon, sedangkan pada arang aktif permukaannya relatif telah bebas dari deposit dan mampu mengadsorpsi berbagai zat karena permukaannya luas dan pori-porinya telah terbuka. Menurut

Manocha (2003), proses pembuatan arang aktif dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu: aktivasi cara kimia dan cara fisika. Aktivasi arang secara kimia biasanya menggunakan berbagai larutan asam encer, antara lain H_3PO_4 (Mopoung dan Nogklai, 2008), H_2SO_4 (Guo *et al.*, 2007), dan larutan NaOH (Figuroa-Torres *et al.*, 2007), dan KOH (Mopoung, 2008), dan beberapa garam karbonat, seperti Na_2CO_3 (Pujiarti dan Sutapa, 2005), dan K_2CO_3 (Hayashi *et al.*, 2005). Aktivasi arang secara fisika biasanya digunakan uap air (H_2O) (Basumatary *et al.*, 2005) dan gas CO_2 (Maria dan Katarzyna, 2005).

Pemakaian bahan kimia sebagai bahan pengaktif sering kali mengotoripermukaan arang aktif yang dihasilkan (Pari, 2004). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh panas dan/atau steam (uap H_2O), suhu dan waktu aktivasi terhadap rendemen dan mutu arang aktif yang dihasilkan dari sampah perkotaan. Adapun sasaran yang ingin dicapai adalah untuk mencari kondisi optimum pada proses pembuatan arang aktif dari sampah tersebut sehingga diketahui mutunya dengan pembandingan arang aktif teknis berdasarkan SNI-06-3730-1995 (BSN., 1995).

2. METODA

Proses Pirolisis

Komponen sampah perkotaan yang saat ini belum dimanfaatkan dan sukar terdegradasi secara alami antara lain bambu, kayu, dan ranting berbagai tanaman pelindung. Oleh karena itu, bahan baku pada penelitian ini dipilih jenis sampah tersebut. Proses pirolisis sampah perkotaan diawali dengan mencampurkan berbagai komponen sampah yang terdiri atas bambu bekas keranjang, kayu bekas tong, dan ranting tanaman dengan komposisi secara berturut 20:40:40% (w/w). Selanjutnya, disiapkan perangkat peralatan pirolisis yang dimulai dengan pembuatan



Gambar 1. Rangkaian peralatan pirolisis

reaktor dari bahan drum bekas dengan ukuran tebal plat $\pm 1,5$ mm, tinggi 48 cm dan diameter 60 cm (Gambar 1). Pipa penyalur asap dibuat dari besi berdiameter 2 inci dengan panjang 200 cm, yang dirancang secara bongkar pasang sebagai penghubung antara reaktor dengan kondensor. Dari bahan yang sama pula dibuat kondensor dengan ukuran tinggi 88 cm dan diameter 60 cm, serta dibuat tungku pembakaran dengan ukuran tinggi 40 cm dan diameter 60 cm.

Campuran bahan baku dengan komposisi di atas ditimbang sebanyak 10 kg dan dimasukkan ke dalam reaktor yang dihubungkan dengan kondensor dan dipasang *thermocouple* untuk memonitor kenaikan suhu. Selanjutnya, dipirolisis selama 5 jam pada suhu 500°C . Asap yang keluar dikondensasi dan ditampung sebagai asap cair. Setelah

proses selesai, dibiarkan reaktor mendingin secara alami hingga 12 jam. Produk arang dan asap cair yang diperoleh ditimbang dan ditentukan rendemennya. Diulangi proses pirolisis tersebut dengan cara yang sama untuk memperoleh produk arang yang mencukupi kebutuhan untuk pembuatan arang aktif.

Pembuatan Arang Aktif

Arang yang dihasilkan pada proses pirolisis di atas, ditimbang sebanyak 200 gram. Kemudian arang dibungkus dengan kawat kasa nikel. Selanjutnya, bungkusan tersebut dimasukkan ke dalam *retort* listrik (Gambar 2) dan diaktivasi bahan tersebut sesuai kombinasi perlakuan seperti disajikan pada Tabel 1. Arang aktif yang diperoleh ditimbang dan ditentukan rendemennya.

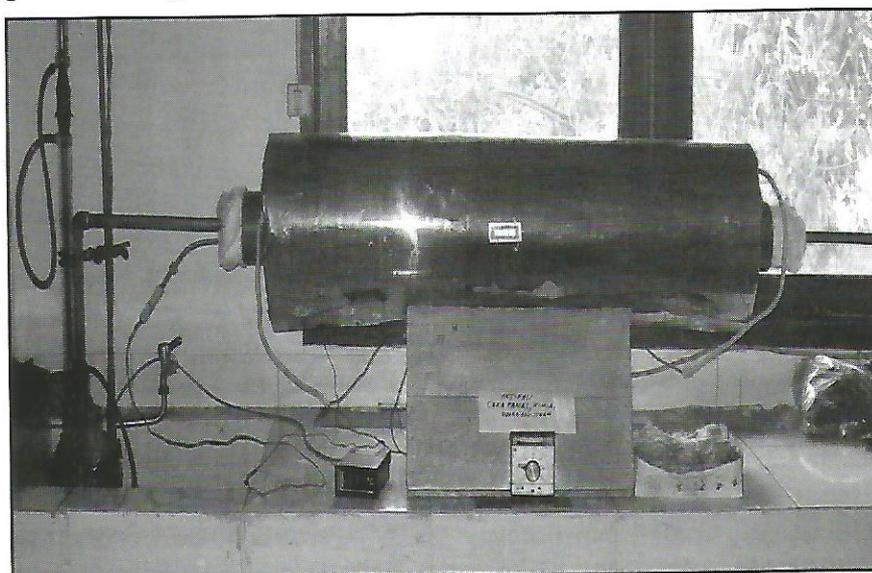
Tabel 1. Kombinasi perlakuan pembuatan arang aktif dari sampah perkotaan

| Kode sampel | Kombinasi Perlakuan | | |
|-------------|---------------------|-----------------------------|---------------|
| | Aktivator | Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | Waktu (menit) |
| SP1-1 | Pemanasan | 700 | 60 |
| SP1-2 | Pemanasan | 700 | 120 |
| SP2-1 | Pemanasan | 800 | 60 |
| SP2-2 | Pemanasan | 800 | 120 |

| Kode sampel | Kombinasi Perlakuan | | |
|-------------|---------------------|-----------|---------------|
| | Aktivator | Suhu (°C) | Waktu (menit) |
| SS1-1 | Steam | 700 | 60 |
| SS1-2 | Steam | 700 | 120 |
| SS2-1 | Steam | 800 | 60 |
| SS2-2 | Steam | 800 | 120 |

Keterangan: SP = sampah dipirolisis dengan cara pemanasan

SS = sampah dipirolisis dengan bantuan steam



Gambar 2. Rangkaian retort pembuatan arang aktif

Penentuan Rendemen Arang Aktif

Rendemen arang aktif yang diperoleh ditetapkan berdasarkan metode yang dikembangkan oleh *Association of Official*

Agricultural Chemists (AOAC) International (Horwitz, 2006), dengan menggunakan persamaan 1.

$$\text{Rendemen arang aktif (\%)} = \frac{\text{bobot arang aktif}}{\text{bobot arang}} \times 100\% \dots\dots\dots 1)$$

Karakterisasi Arang Aktif (Horwitz, 2006)

Karakterisasi bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat dasar arang aktif yang meliputi kadar air, zat menguap, abu, dan

karbonterikat, serta kemampuan daya serapnya terhadap iodin dan benzena. Karakteristik struktur tentang gugus fungsional arang aktif diidentifikasi dengan

teknik *Furier Transform Infra Red* (FTIR) porinya dianalisis dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Penentuan kadar air

Cawan porselin dipanaskan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam, lalu didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Selanjutnya

dan topografi permukaan contoh ditimbang sebanyak 10 gram dan dimasukkan ke dalam cawan porselin yang sudah ditimbang, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Setelah didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang lagi bobotnya dan dihitung kadarnya sesuai persamaan dengan 2.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{bobot contoh awal} - \text{bobot contoh akhir}}{\text{bobot contoh awal}} \times 100\% \dots\dots\dots 2)$$

Penentuan kadar zat menguap

Contoh kering yang sudah diketahui kadar air, ditimbang sebanyak 1 gram dan dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui

bobotnya. Contoh tersebut dimasukkan ke dalam tanur listrik pada suhu 950°C selama 10 menit. Setelah didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang bobotnya, dan dihitung kadarnya sesuai persamaan dengan 3.

$$\text{Kadar zat menguap contoh (\%)} = \frac{\text{bobot contoh yang hilang}}{\text{bobot contoh awal}} \times 100\% \dots\dots\dots 3)$$

Penentuan kadar abu

Contoh yang sudah diketahui kadar air, ditimbang sebanyak 1 gram dan dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui bobotnya. Contoh tersebut dimasukkan ke

dalam tanur listrik pada suhu 700°C selama 5 jam. Setelah didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang bobotnya dan dihitung kadarnya sesuai persamaan dengan 4.

$$\text{Kadar abu arang (\%)} = \frac{\text{bobot contoh sisa}}{\text{bobot contoh awal}} \times 100\% \dots\dots\dots 4)$$

Penentuan kadar karbon terikat

Kadar karbon terikat dalam contoh dihitung dengan persamaan 5.

$$\text{Kadar karbon contoh (\%)} = 100\% - (\% \text{ kadar abu} + \% \text{ kadar zat menguap}) \dots\dots\dots 5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Arang

Rendemen arang hasil pirolisis sampah perkotaan dengan reaktor drum berkisar 22,36-41,12 (%w/w), sedangkan asap cairnya berkisar 30,33-37,83 (%w/w). Tinggi rendahnya rendemen arang sangat bergantung pada kadar air bahan bakunya. Arang yang dihasilkan bentuknya sangat beragam dan penampakan fisiknya berwarna hitam, tidak berbau dan tidak larut dalam air. Adapun produk arang yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 3.

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa arang yang diperoleh mengandung rata-rata kadar (%w/w) air 3,09%, zat terbang 19,99%, abu 13,02%, karbon terikat 67,01%, dan nilai kalor 6,64 kkal. Adapun rata-rata daya serap arang tersebut terhadap larutan iodin sebesar 379,76 mg/g dan terhadap uap benzena sebesar 12,37%. Dari data tersebut terutama ditinjau dari kandungan karbonnya, maka arang hasil pirolisis sampah organik cukup berpotensi untuk dikembangkan menjadi arang aktif. Hal ini sesuai dengan penelitian Sugumaran dan Seshadri (2009) bahwa jika kadar karbon dari suatu bahan tinggi, maka dapat dikembangkan menjadi arang aktif. Demikian juga halnya dengan pendapat Ahmad *et al.* (2009) yang menyatakan bahwa arang cangkang sawit sangat bagus dikembangkan menjadi arang aktif karena

mengandung karbon terikat sebesar 76,28%. Hasil ini sudah melebihi kadar karbon pada arang tempurung kelapa sesuai SNI-06-4369-1996 yaitu maksimum 70% (w/w) (BSN., 1996). Namun hingga saat ini, sejauh penelusuran literatur yang telah dilakukan belum ditemukan data SNI tentang arang yang berasal dari sampah perkotaan.

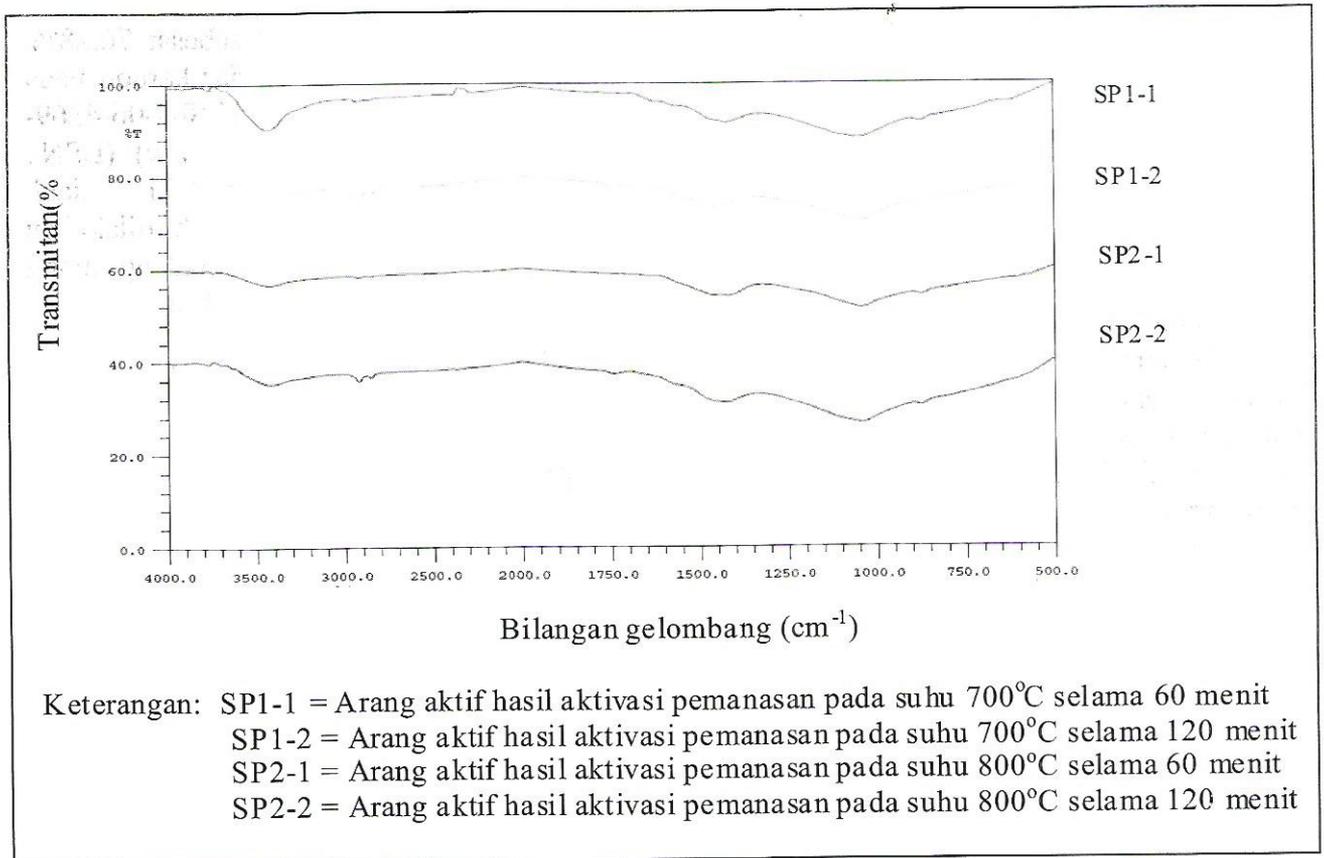
Karakteristik Struktur Arang Aktif

Gugus Fungsional Arang Aktif

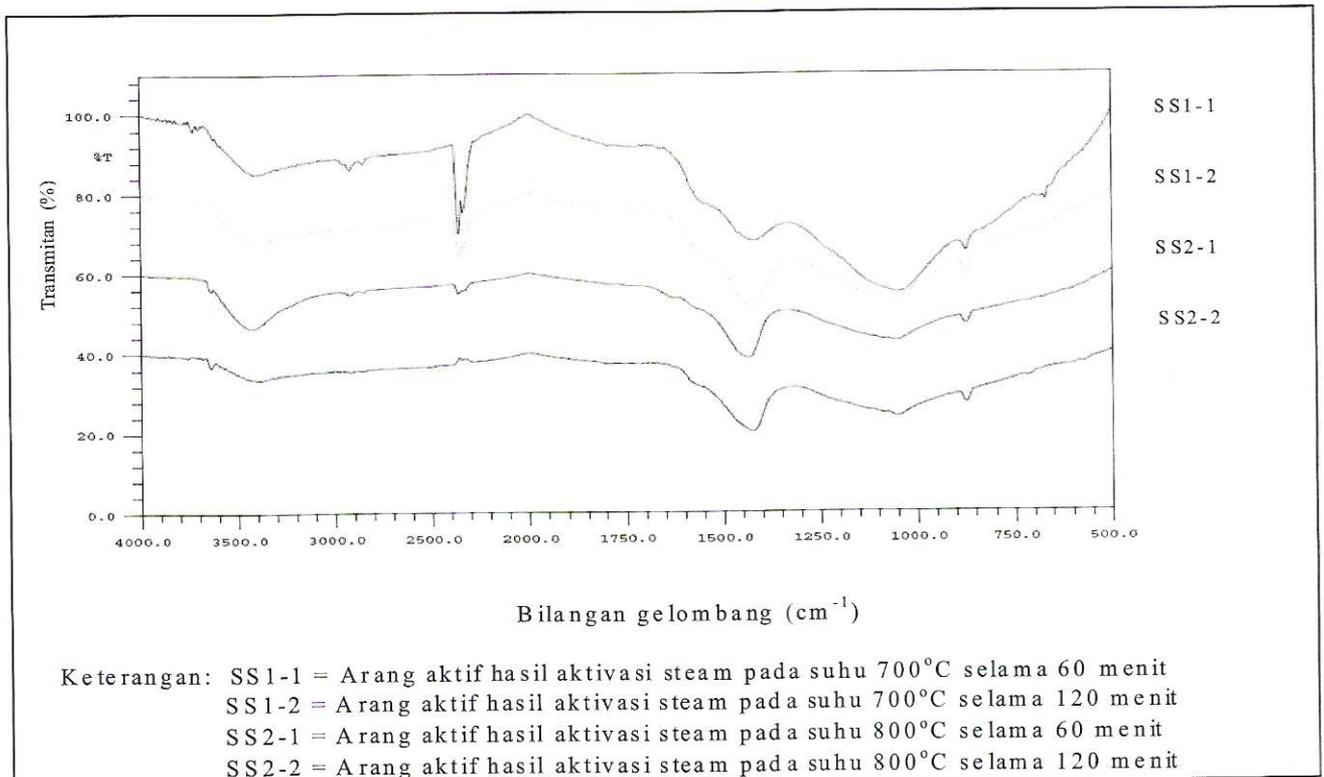
Hasil identifikasi gugus fungsi arang aktif dengan FTIR disajikan pada Gambar 4 dan 5. Arang aktif hasil pemanasan pada semua perlakuan (Gambar 4) mempunyai serapan di daerah bilangan gelombang yang sama. Hal ini berbeda dengan perlakuan aktivasi steam (Gambar 5). Perbedaan tersebut ditunjukkan pada perlakuan aktivasi steam pada suhu 700°C selama 60 menit (SS1-1) dan aktivasi steam pada suhu 700°C selama 120 menit (SS1-2), terutama serapan yang tajam di daerah bilangan gelombang 1743,5 cm^{-1} artinya akibat perlakuan tersebut mengindikasikan terbentuknya gugus C=O pada arang aktif yang dihasilkan. Jika serapan IR berada di daerah yang sama artinya arang aktif tersebut mengandung gugus fungsional yang sama. Di samping itu, akibat perlakuan ini pita serapan di daerah 3417,5-3429,2 cm^{-1} semakin kuat, sehingga arang aktif yang dihasilkan mengandung konsentrasi OH cukup besar, akibatnya lebih bersifat polar.



Gambar 3. Produk arang sampah perkotaan akibatnya lebih bersifat polar.



Gambar 4. Spektrum serapan IR arang aktif hasil aktivasi dengan pemanasan



Gambar 5. Spektrum serapan IR arang aktif hasil aktivasi dengan steam

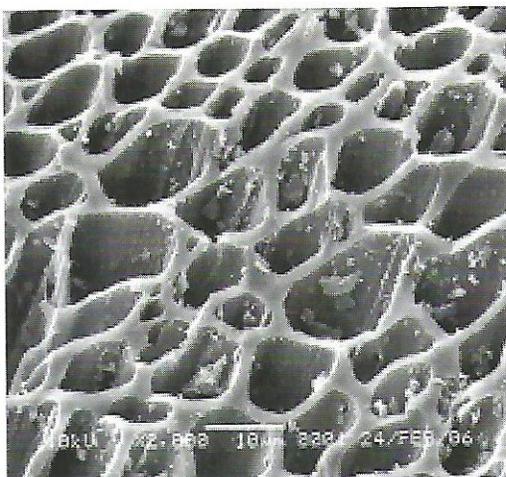
Berdasarkan data Gambar 4 dan 5, proses perlakuan pirolisis pada suhu 300 sampai 500°C belum mampu mendegradasi sampah perkotaan menjadi bahan atau komponen yang menunjukkan gugus fungsi berbeda pada produk arang yang dihasilkan. Hal ini kemungkinan disebabkan pada sampah tersebut terkandung senyawa lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang pada pemanasannya dengan suhu mencapai 500°C hanya terurai menghasilkan ter, uap H₂O, dan karbon (C) serta sebahagian gas CO dan CO₂

Topografi Permukaan Struktur Arang Aktif

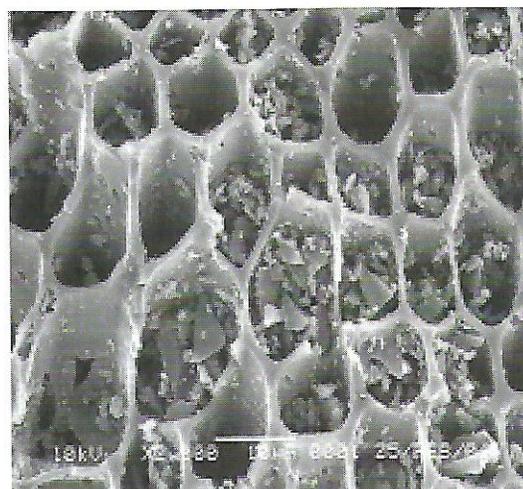
Pola struktur pori arang aktif hasil analisis topografi permukaannya dengan SEM disajikan pada Gambar 6 dan 7. Analisis ini bertujuan mengetahui topografi permukaan struktur bahan akibat perubahan suhu karbonisasinya. Data Gambar 6 menunjukkan bahwa arang aktif hasil aktivasi panas dengan semua perlakuan suhu dan waktu aktivasi mempunyai topografi permukaannya yang tidak terjadi peningkatan jumlah dan diameter pori secara signifikan, sedangkan dari Gambar 7 menunjukkan bahwa arang aktif hasil aktivasi steam terjadi peningkatan jumlah dan diameter pori secara signifikan terutama akibat meningkatnya suhu dan

waktu aktivasi. Diameter pori terbesar terdapat pada arang aktif hasil aktivasi dengan steam, suhu 800°C dan waktunya selama 120 menit yaitu berkisar 3,8-7,7 µm. Hasil ini sesuai dengan pola topografi permukaan pori arang aktif dari serat rayon yang diperoleh Mopoung(2008). Proses terbentuknya pori-pori pada arang aktif disebabkan oleh menguapnya sejumlah zat terbang dari bahan baku akibat proses pirolisis.

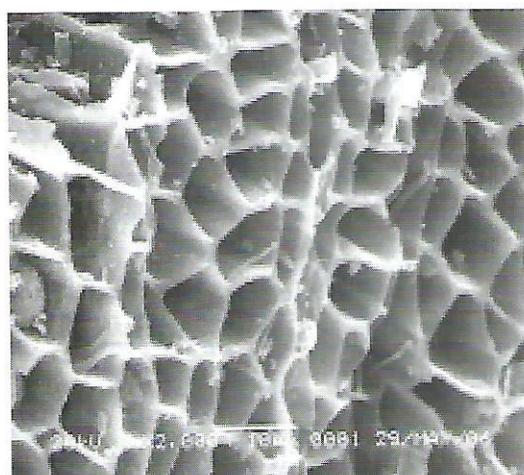
Semakin besar ukuran pori yang terbentuk pada suatu bahan disebabkan oleh peningkatan suhu aktivasi, ada pula kemungkinan semakin banyak jumlah komponen bahan baku yang akan menguap. Penguapan komponen tersebut dapat mengakibatkan terjadinya pergeseran antar lapisan kristal dan mengubah struktur kristal arang, sehingga terbentuk kristal baru yang berbeda dengan struktur bahan bakunya. Di samping itu, dengan menguapnya berbagai komponen senyawa pada proses karbonisasi, maka akan menguntungkan karena bila tidak menguap, komponen tersebut akan menutupi celah di antara kisi kristal arang, sehingga daya serapnya berkurang (Villegas dan Valle, 2001). Oleh karena itu, proses karbonisasi dapat mengubah pola struktur permukaan arang sehingga mempunyai kemampuan sebagai absorben



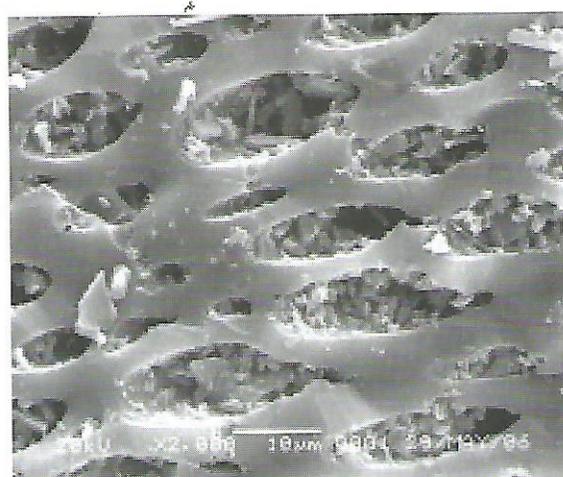
SP1-1



SP1-2



SP2-1



SP2-2

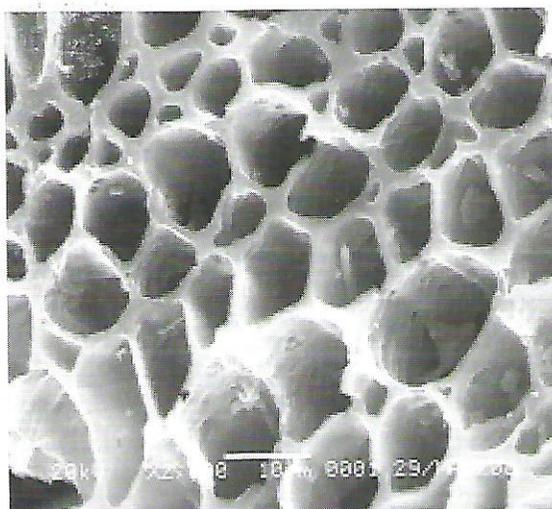
Gambar 6. FotoSEM permukaan arang aktif hasil pemanasan pada pembesaran 2000x

Keterangan: SP1-1 = Arang aktif hasil aktivasi pemanasan pada suhu 700°C selama 60 menit

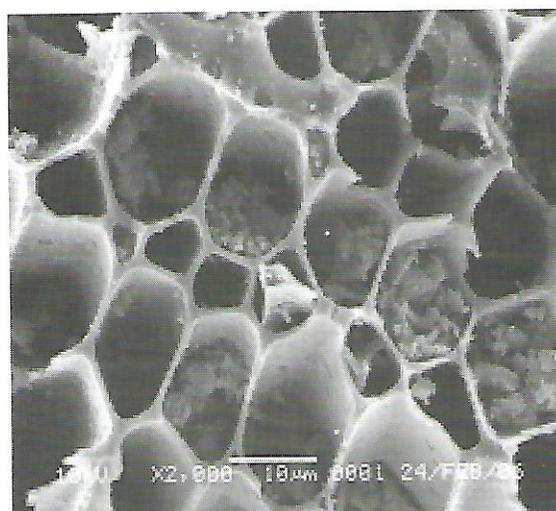
SP1-2 = Arang aktif hasil aktivasi pemanasan pada suhu 700°C selama 120 menit

SP2-1 = Arang aktif hasil aktivasi pemanasan pada suhu 800°C selama 60 menit

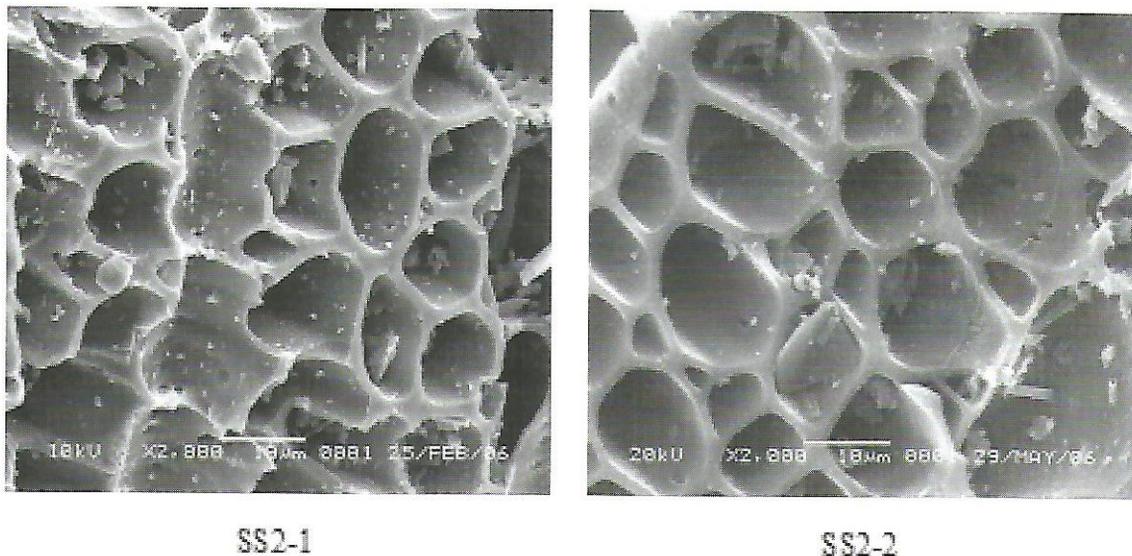
SP2-2 = Arang aktif hasil aktivasi pemanasan pada suhu 800°C selama 120 menit



SS1-1



SS1-2



Gambar 7. FotoSEM permukaan arang aktif hasil steam pada pembesaran 2000x

Keterangan: SS1-1 = Arang aktif hasil aktivasi steam pada suhu 700°C selama 60 menit

SS1-2 = Arang aktif hasil aktivasi steam pada suhu 700°C selama 120 menit

SS2-1 = Arang aktif hasil aktivasi steam pada suhu 800°C selama 60 menit

SS2-2 = Arang aktif hasil aktivasi steam pada suhu 800°C selama 120 menit

Karakteristik Arang Aktif

karakterisasi arang aktif dari sampah perkotaan disajikan pada Tabel 2.

Data Hasil penentuan rendemen dan

Tabel 2. Data hasil penentuan rendemen dan karakterisasi arang aktif

| Kode Sampel | Rendeme n (%/w/w) | Kadar (%w/w) | | | Daya serap | | |
|--------------------|-------------------------|--------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| | | Air | Zat Terbang | Abu | Karbon terikat | Iodin (mg/g) | Benzena (%/w/w) |
| SP1-1 | 78,25 | 2,36 | 19,32 | 15,56 | 65,12 | 546,76 | 8,75 |
| SP1-2 | 82,20 | 1,02 | 18,66 | 17,38 | 63,97 | 700,16 | 8,55 |
| SP2-1 | 79,50 | 1,28 | 17,82 | 12,55 | 69,63 | 339,56 | 8,12 |
| SP2-2 | 84,25 | 2,23 | 20,00 | 14,44 | 65,56 | 209,63 | 7,88 |
| SS1-1 | 55,88 | 0,98 | 12,77 | 14,86 | 72,38 | 616,94 | 14,99 |
| SS1-2 | 57,35 | 0,92 | 10,87 | 16,87 | 72,26 | 757,82 | 16,70 |
| SS2-1 | 52,75 | 1,19 | 10,49 | 14,95 | 74,56 | 504,82 | 15,87 |
| SS2-2 | 57,60 | 1,36 | 8,87 | 12,27 | 78,86 | 873,53 | 22,51 |
| Pembanding* | - | ≤ 15 | ≤ 25 | ≤ 10 | ≥ 65 | ≥ 750 | ≥ 25 |

*BSN, 1995

Keterangan: SP1-1 = Arang aktif hasil aktivasi pemanasan pada suhu 700°C selama 60 menit

SP1-2 = Arang aktif hasil aktivasi pemanasan pada suhu 700°C selama 120 menit

SP2-1 = Arang aktif hasil aktivasi pemanasan pada suhu 800°C selama 60 menit

SP2-2 = Arang aktif hasil aktivasi pemanasan pada suhu 800°C selama 120 menit

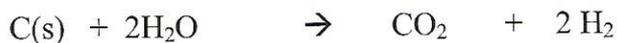
SS1-1 = Arang aktif hasil aktivasi steam pada suhu 700°C selama 60 menit

SS1-2 = Arang aktif hasil aktivasi steam pada suhu 700°C selama 120 menit

- SS2-1 = Arang aktif hasil aktivasi steam pada suhu 800°C selama 60 menit
 SS2-2 = Arang aktif hasil aktivasi steam pada suhu 800°C selama 120 menit

Rendemen

Rendemen arang aktif yang dihasilkan pada berbagai perlakuan berkisar 52,75-84,25% (w/w) (Tabel 2). Rendemen tersebut cenderung meningkat seiring meningkatnya waktu aktivasi. Berdasarkan data Tabel 2 ditunjukkan bahwa secara umum rendemen arang aktif yang tinggi diperoleh dari hasil aktivasi dengan pemanasan, sedangkan hasil aktivasi dengan steam umumnya rendah.



$$\Delta H = +75 \text{ kJ}$$

$$\Delta H = +159 \text{ kJ}$$

Rendemen arang aktif yang diperoleh pada penelitian ini masih lebih tinggi dibandingkan dengan rendemen arang aktif dari kulit kayu *Acacia mangium* yang mencapai 62,00% dan dari gambut yang mencapai 78,25% (Pari et al., 2008).

Kadar Air

Kadar air memberi petunjuk tentang sifat

higroskopis arang aktif yang dihasilkan. Berdasarkan data Tabel 2, kadar air arang aktif yang dihasilkan berkisar 0,92-2,36% (w/w). Dari data tersebut, arang aktif yang diperoleh pada setiap perlakuan memenuhi persyaratan SNI-06-3730-1995 karena kadarnya kurang dari 15% (BSN., 1995). Hasil ini masih lebih baik bila dibandingkan dengan kadar air arang aktif kulit kayu *A. mangium*, yang berkisar 8,39-15,19% (Pari et al., 2008). Kadar air arang aktif yang dikehendaki harus bernilai sekecil-kecilnya karena akan mempengaruhi daya serapnya terhadap gas ataupun cairan. Hal ini sesuai dengan pernyataan El-Hendaway (2003) bahwa kadar air yang terkandung dalam

Rendemen arang aktif paling tinggi dihasilkan pada perlakuan aktivasi dengan panas, suhu 800°C dan waktu selama 120 menit. Hal ini disebabkan pada suhu tinggi dan lamanya waktu, laju reaksi antara karbon dengan gas-gas yang dihasilkan dalam retort listrik semakin meningkat sehingga karbon yang bereaksi dengan gas seperti O₂, uap H₂O, dan gas CO₂ semakin banyak (Khah dan Ansari, 2009)

arang aktif dipengaruhi oleh jumlah uap air di udara, lama proses pendinginan, penggilingan dan pengayakan. Arang aktif yang bersifat higroskopis mudah sekali menyerap uap air di udara karena strukturnya terdiri atas 6 atom karbon pada sudut heksagonal, dapat sehingga memungkinkan uap air terperangkap di dalamnya dan tidak dapat terlepas pada kondisi pengeringan menggunakan oven pada suhu 105°C.

Kadar Zat Menguap

Pada penelitian ini kadar zat menguap arang aktif yang diperoleh berkisar 8,87-20,00% (Tabel 2). Kadar zat menguap arang aktif yang dihasilkan pada semua perlakuan memenuhi persyaratan SNI-06-3730-1995 karena kadarnya kurang dari 25% (BSN., 1995). Kadar zat menguap terendah ditunjukkan pada arang aktif hasil aktivasi steam pada suhu aktivasi 800°C dan waktu aktivasi selama 120 menit. Hasil tersebut jauh lebih baik dibandingkan dengan kadar zat menguap pada arang aktif kulit kayu mangium yang mencapai 13,40% (Pari et al., 2008). Rendahnya kadar zat menguap pada

arang aktif ini menunjukkan bahwa senyawa-senyawa non karbon yang menempel pada permukaan arang aktif tersebut sudah menguapkan dengan lamanya waktu pemanasan sehingga arang aktif tersebut mempunyai kemampuan adsorpsi yang tinggi. Zat menguap pada suatu bahan berasal dari hasil interaksi antara unsur karbon dengan uap air sebagaimana terbukti dari hasil identifikasi gugus fungsi arang aktif dengan FTIR (Gambar 4 dan 5) dan topografi struktur permukaannya dengan SEM (Gambar 6 dan 7).

Kadar Abu

Kadar abu arang aktif yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar 12,27-17,28% (Tabel 2). Dari data tersebut menunjukkan bahwa arang aktif yang dihasilkan pada semua perlakuan penelitian ini memiliki kadar abu yang tinggi sehingga tidak memenuhi persyaratan SNI-06-3730-1995 (BSN., 1995) karena nilainya melebihi batas maksimum 10,00%. Kadar abu arang aktif yang mendekati persyaratan tersebut ditunjukkan pada perlakuan aktivasi dengan steam pada suhu 800°C dan waktu aktivasi selama 120 menit. Menurut Pari *et al.* (2008), tingginya kadar abu pada suatu arang aktif disebabkan oleh terjadinya reaksi oksidasi dan menyebabkan daya adsorpsi menurun, karena pori arang aktif tertutup oleh berbagai mineral, seperti K, Na, Ca, dan Mg yang masih menempel pada permukaan arang aktif tersebut (Gambar 6 dan 7). Tingginya kadar abu pada arang yang dihasilkan dari pirolisis sampah perkotaan kemungkinan disebabkan rangkaian peralatan pirolisis yang digunakan tidak vakum sehingga masih mengandung sejumlah oksigen yang mengoksidasi sampah tersebut menjadi arang dan sebahagiannya jadi abu.

Kadar Karbon Terikat

Kadar karbon terikat arang aktif yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar 65,12-78,86% (Tabel 2). Semua perlakuan

pembuatan arang aktif ini menghasilkan produk yang memenuhi persyaratan SNI-06-3730-1995 (BSN., 1995) karena kadar karbon terikatnya melebihi 65,00%. Kadar karbon terikat ini sesuai yang dinyatakan Puziy *et al.* (2003) bahwa arang aktif tersusun atas atom-atom karbon bebas yang terikat secara kovalen membentuk struktur heksagonal datar. Hasil ini berbeda dengan penelitian Mopoung (2008) yang memperoleh data bahwa semakin meningkat suhu dan lamanya waktu pada proses pembuatan arang aktif menyebabkan semakin menurun kadar karbon terikatnya. Besar kecilnya kadar karbon terikat yang dikandung oleh suatu arang aktif selain dipengaruhi oleh kandungan selulosa dan lignin, juga dipengaruhi oleh aktivator, suhu, dan lamanya waktu aktivasi pada proses pembuatannya.

Daya Serap terhadap Iodin

Arang aktif yang dihasilkan pada penelitian ini mempunyai daya serap terhadap iodin berkisar 209,63-873,53 mg/g (Tabel 2). Daya arang aktif terhadap iodin tertinggi ditunjukkan pada arang aktif hasil aktivasi dengan pada suhu aktivasi 800°C dan waktu aktivasi selama 120 menit. Sebahagian besar produk arang aktif yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan SNI-06-3730-1995 (BSN., 1995), karena minimal daya serapnya terhadap larutan iodin lebih besar dari 750,00 mg/g. Hasil ini masih lebih tinggi kualitasnya dibandingkan hasil penelitian Pari *et al.* (2008) yang memperoleh daya serap arang aktif terhadap larutan iodin berkisar antara 369-607 mg/g. Besarnya daya serap arang aktif terhadap larutan iodine merupakan cerminan jumlah pori yang terbentuk pada arang aktif tersebut semakin banyak. Hasil analisa topografi permukaan arang aktif (Gambar 6 dan 7) menunjukkan selain adanya pori yang terbentuk, juga nampak adanya erosi pada sebagian dinding pori sehingga menyebabkan menurunnya daya serap arang aktif tersebut.

Daya Serap terhadap Benzena

Daya serap arang aktif terhadap uap benzena yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar 7,88-22,51% (Tabel 2). Semua produk arang aktif yang dihasilkan pada penelitian ini menunjukkan daya serap yang rendah terhadap uap benzena. Oleh karena itu, kualitas arang aktif ini tidak ada yang memenuhi persyaratan SNI-06-3730-1995 (BSN., 1995), karena tidak mencapai minimal 25,00%. Rendahnya daya serap arang aktif terhadap uap benzena menunjukkan bahwa masih terdapatnya senyawa bukan karbon dan/atau gugus fungsi lain yang menempel pada permukaan arang aktif tersebut. Hal ini terlihat pada Gambar 4 dan 5 yang menunjukkan indikasi terdapatnya gugus OH, C=O dan C-O yang bersifat polar pada arang aktif tersebut, sehingga kemampuan menyerap senyawa-senyawa yang bersifat nonpolar lebih kecil. Hasil ini lebih redah dibandingkan data yang diteliti oleh Pari *et al.* (2008) bahwa daya serap arang aktif dari kulit kayu mangium terhadap uap benzena mencapai 24,55%. Dengan demikian arang aktif ini tidak cocok digunakan sebagai absorben untuk berbagai bahan yang bersifat non polar.

Walaupun sebagian besar produk arang aktif dari sampah mempunyai kualitas yang tergolong rendah dibandingkan dengan persyaratan SNI-06-3730-1995. Namun upaya penanganan sampah tersebut secara pirolisis dan pengembangannya menjadi arang aktif perlu diberi apresiasi yang positif, terutama untuk menyelamatkan bumi kita dari dampak sampah yang menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan, sehingga menyebabkan perubahan iklim global secara cepat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum untuk memperoleh produk arang aktif dari sampah perkotaan dengan kualitas terbaik adalah pada proses aktivasi dengan

steam pada suhu 800°C selama 120 menit. Rendemen arang aktif yang diperoleh pada perlakuan tersebut, yaitu 57,60% (w/w). Hasil karakterisasinya diperoleh kadar air 1,36% (w/w), kadar zat menguap 8,87% (w/w), kadar abu 12,27% (w/w), kadar karbon terikat 78,86% (w/w), daya serap terhadap benzena 22,51% (w/w) dan daya serap terhadap iodin sebesar 873,53 mg/g. Berdasarkan spektrogram hasil identifikasi gugus fungsi dengan FTIR diketahui bahwa arang aktif yang dihasilkan pada semua perlakuan mengandung gugus fungsi OH, C=O, dan C-O. Hasil analisis dengan SEM menunjukkan bahwa arang aktif yang dihasilkan dari sampah perkotaan mempunyai diameter pori rata-rataberkisar 4,8-7,7 µm.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M.A., W.M.A. Wan Daud dan M.K. Aroua. (2009). **Production of carbon molecular sieves from palm shell and carbon deposition technique.** www.eprints.um.edu.my/519/PT52_25.pdf.
- Basumatary, B., P. Dutta, M. Prasad dan K. Srinivasan. (2005). **Thermal modeling of active carbon based adsorptive natural gas system.** *Carbon* 43(3):541-549
- BSN (1995). SNI 06-3730-95 tentang **arang aktif teknis.** Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- BSN. 1996. SNI 06-4369-1996 **bubuk arang tempurung kelapa.** Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Demirbas, A. (2005). **Pyrolysis of ground beech wood in irregular heating rate conditions.** *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 73:39-4.
- El-Hendaway, A.N. (2003). **Influence of HNO₃ oxidation on the structure and adsorptive properties of corncob-based activated carbon.** *Carbon* 41(4):713-722

- Figueroa-Torres, M.Z., A. Robau-Sanchez, L.D.I. Torre-Saenz, dan A. Aguilar-Elguezabal. (2007). **Hydrogen adsorption by nanostructured carbons synthesized by chemical activation.** *Microporous and Mesoporous Materials* 98:89-93
- Gomez-Serrano, V., M.C. Fernandez-Gonzales, M.L. Rojas-Cervantes, M.F. Alexandre-Franco, dan A. Macias-Garcia. (2003). **Carbonization and demineralization of coals: a study by means of FT-IR spectroscopy.** *Bulletin Material Science* 26(7):721-732
- Guo, J., Y. Luo, A.C. Lua, R.A. Chi, Y.L. Chen, X.T. Bao, dan S.X. Xiang. (2007). **Adsorption of hydrogen sulphide by activated carbons derived from oil-palm shell.** *Carbon* 45:330-336
- Gusmailina, G. Pari, S. Komarayati, dan S. Rostiwati. (2001). **Alternatif arang aktif sebagai soil conditioning pada tanaman.** *Buletin Penelitian Hasil Hutan* 19(3):185-199
- Hayashi, J., N. Yamamoto, T. Horikawa, K. Muroyama, dan V.G. Gomes. (2005). Preparation and characterization of high-specific-surface-area activated carbons from K₂CO₃-treated waste polyurethane. *Journal of Colloids Interface Science* 281(2):437-443
- Horwitz, W. (ed.)(2006). **Official methods of analysis of AOAC International.** Gaithersburg, Maryland USA.
- Khah, A.M. dan R. Ansari. (2009). **Activated charcoal: preparation, characterization and application: A review article.** *International Journal of ChemTech Research* 1(4):859-864
- Manocha, S. (2003). **Porous carbon.** *Sadhana* 28(1-2):335-348
- Maria, J. dan K. Katarzyna. (2005). **Comparison of molecular sieve properties in microporous chars from low-rank bituminous coal activated by steam and CO₂.** *Carbon* 43(4):944-953
- Mopoung, S. (2008). **Surface image of charcoal and activated charcoal from Banan peel.** *Journal of Microscopy Society of Thailand* 22:15-19
- Mopoung, S. dan W. Nogklai. (2008). **Chemical and surface properties of longan seed activated charcoal.** *International Journal of Physical Sciences* 3(10):234-239
- Pari, G., D. Hendra, dan R.A. Pasaribu. (2008). **Peningkatan mutu arang aktif kulit kayu mangium.** *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 20(3):214-225
- Puziy, A.M., O.I. Poddubnaya, A.M. Alonso, F.S. Garcia, dan J.M.D. Tascon. (2003). **Synthetic carbons activated with phosphoric acid III carbon prepared in air.** *Carbon* 41:1181-1191
- Sugumaran, P. dan S. Seshadri. (2009). **Evaluation of selected biomass for charcoal production.** *Journal of Scientific and Industrial Research* 68:719-723
- Villegas, J.P. dan C.J.D. Valle. (2001). **Pore structure of chars and activated carbons prepared using carbon dioxide at different temperatures from extracted rockrose.** *Carbon* 57:1-13