



Pengaruh Penambahan Zat Pendehidrasi terhadap Struktur Mikropori Material Karbon yang Dibuat dari Pirolisis Resin Phenol-tert. buthyl phenol-formaldehid

YD. Rahmawati, I. Prasetyo¹, Rochmadi¹

¹Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Jl. Grafika 2 Yogyakarta 55281 Telp 0274 513665

Email: yuniartidewi.rahmawati@gmail.com

Abstract

Due to its specific internal surface area, porous carbons are widely used in various application such as adsorbent, catalyst and catalyst support. This material can be made from natural materials such as wood, coconut shell, and coal, or synthetic polymers such as phenolic resin, polyacrylonitrile, etc. The disadvantage of natural materials as a precursor of porous carbon is that the properties of the material is affected by the age and environment where the material is originated. In this research, porous carbons were prepared by pyrolysis of resin that produced through polymerization of phenol, tert.buthyl phenol and formaldehyde at temperature 90°C and pH 8. The porous carbon obtained from this pyrolysis is expected to have high surface area and homogenous pore size distribution. The objected of this research was to study the effect of various dehydrating agent to microstructure of the porous carbon. Porous carbon preparation was initiated by preparation of resin polymer as a carbon precursor. The polymer was then carbonized in the reactor at 400-800°C for 1 hour in the nitrogen atmosphere. The carbon produced was soaked in dehydrating agent solution for 24 hour prior to further heating treatment at 400°C for 1 hour. The treated carbons were characterized for their surface area, bilangan iodin and pore size distribution. The results show that porous carbon soaked in ZnCl₂ solution prior to the pyrolysis processes posses highest surface area.

Key word: porous carbon, phenol-tertiarybutylphenol-formaldehyde resin, pyrolysis

Pendahuluan

Material karbon berpori merupakan hasil pirolisis bahan yang mengandung karbon dan memiliki luas permukaan internal spesifik sehingga banyak digunakan dalam proses pemisahan gas, penjerapan kontaminan dalam air, *recovery solvent*, katalis dan penyangga katalis. Pemanfaatan material ini dapat dijumpai pada berbagai jenis industri, seperti industri makanan, minuman, kimia dan farmasi. Karbon berpori dapat dibuat dari bahan polimer alam seperti kayu, batubara dan tempurung kelapa dan bahan polimer sintesis seperti resin phenol formaldehid dan *polyacrylonitrile* (PAN). Kelebihan material karbon berpori bahan polimer sintesis kondisi operasi dapat diatur sehingga diharapkan struktur pori yang dihasilkan lebih teratur. Menurut Cai dkk., (2004) kadar abu dari resin polimer sintesis

berbasis phenol sangat rendah sehingga kadar *impurities* pada karbon yang dihasilkan juga rendah. Pada penelitian ini polimer sintesis yang digunakan adalah phenol formaldehid tert.butyl (PFTBP) yaitu suatu resin yang dihasilkan dari reaksi polimerisasi antara phenol (P), formaldehid (F), dan tert. Butyl phenol (TBP). Penambahan TBP pada pembuatan resin diharapkan agar struktur jaring resin yang terbentuk lebih teratur karena TBP akan mengisi posisi orto pada hidroksimetilol phenol sehingga posisi para hanya diisi oleh formaldehid.

Kualitas karbon berpori berbahan polimer sintesis dapat dikontrol dengan melakukan aktivasi baik secara kimia maupun fisika bertujuan memperbesar luas permukaan karbon tersebut. Aktivasi fisika dilakukan secara *partial gasification* menggunakan CO₂ atau *steam* sedangkan aktivasi kimia dilakukan dengan

merendam karbon menggunakan bahan kimia. Bahan kimia ini merupakan zat pendehidrasi yang mampu mendehidrasi zat-zat pengotor yang ada dalam material karbon sehingga dihasilkan karbon berpori dengan luas permukaan yang lebih besar. Zat pendehidrasi yang digunakan misalnya $ZnCl_2$, H_3PO_4 , KOH, NaOH dan K_2CO_3 (Abdullah dkk., 2000).

Pada tahun 2004, Cai dkk., melakukan penelitian pembuatan karbon berpori menggunakan bahan baku *Phenolic resin-based activated carbon spheres* (P-ACSs) dengan suhu pirolisis $800^\circ C$ selama 30 menit. Zat pendehidrasi yang digunakan adalah *steam* dengan suhu $650^\circ C$ dan luas permukaan yang dihasilkan $919\text{ m}^2/\text{g}$. Adinata dkk., (2005) melakukan penelitian pembuatan karbon berpori yang berbahan baku kulit kelapa sawit dengan suhu pirolisis $700^\circ C$ selama 2 jam dengan zat pendehidrasi K_2CO_3 memiliki luas permukaan $425\text{ m}^2/\text{g}$.

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan karbon berpori dengan bahan baku polimer sintesis yaitu resin PFTBP. Proses aktivasi dilakukan dengan cara kimia dengan zat pendehidrasi KOH, $ZnCl_2$ dan H_3PO_4 variasi konsentrasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis dan konsentrasi zat pendehidrasi serta suhu pirolisis terhadap luas permukaan internal, distribusi ukuran pori dan morfologi permukaan karbon.

Landasan Teori

Karbon berpori merupakan karbon dalam bentuk *amorf* yang mempunyai luas permukaan yang besar dan daya serap yang tinggi. Luas permukaan merupakan sifat fisis yang paling penting dari karbon berpori, sehingga memungkinkan dijadikan sebagai bahan adsorben. Material ini dibuat dari pirolisis prekursor karbon organik, polimer alam maupun polimer sintesis yang kemudian diaktifkan untuk memperbesar *surface area*nya (Ying dkk., 2005). Pirolisis bertujuan membuang material non karbon sehingga hanya meninggalkan karbon dan aktivasi bertujuan memperbesar luas permukaan.

Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan

struktur kimia menjadi fase gas. Pada umumnya proses ini dilakukan pada temperatur $500-800^\circ C$. Kandungan zat yang mudah menguap akan hilang sehingga terbentuk pori (Jankowska dkk., 1991).

Pirolisis digunakan untuk mengubah resin PFTBP menjadi karbon, sehingga pada proses penguraian senyawa-senyawa penyusun resin PFTBP hanya meninggalkan karbon. Proses ini bisa terjadi karena pada pirolisis bukan oksigen yang bereaksi, tetapi gas *inert* (N_2) yang dialirkan terus-menerus ke dalam reaktor. Penggunaan gas *inert* yang berupa gas N_2 disamping untuk mencegah masuknya gas oksigen ke dalam reaktor, juga berfungsi sebagai *carrier gas* yang membawa sisa-sisa penguraian selain karbon. Hasil dari proses pirolisis yang berupa karbon selanjutnya diaktivasi.

Aktivasi merupakan proses untuk memperbesar porositas dan *surface area*. Proses ini menghilangkan sebagian besar diameter pori yang telah terbentuk selama pirolisis. Aktivasi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu (i) aktivasi secara kimia dan (ii) aktivasi secara fisika.

Aktivasi secara kimia dilakukan dengan mereaksikan karbon hasil pirolisis dengan bahan-bahan kimia. Bahan kimia yang biasanya digunakan untuk proses aktivasi secara kimia contohnya H_2SO_4 , K_2S , KOH, $ZnCl_2$, *alkali metal hydroxide*, karbonat dan klorat dari Ca^{+2} , Mg^{+2} , dan Fe^{+3} dan H_3PO_4 (Bansal, 1988; Derbyshire dkk., 1995). Bahan-bahan pengaktif tersebut bersifat dehidrator yang dapat mereduksi OH dan CO yang masih tersisa dari karbon hasil pirolisis. Beberapa penelitian yang dilakukan Baker (1998), Ottawa dan Yoshiro (1991) menunjukkan aktivasi dengan menggunakan KOH serta $ZnCl_2$ dapat menghasilkan luas area penjerapan yang tinggi. Sedangkan aktivasi secara fisika dapat dilakukan dengan mereaksikan uap air dan karbon dioksida dengan karbon hasil pirolisis. Pada penelitian ini proses aktivasi yang dilakukan adalah aktivasi secara kimia menggunakan KOH, $ZnCl_2$ dan H_3PO_4 . Menurut Adinata dkk., (2005), aktivasi secara kimia adalah metode yang efektif untuk meningkatkan luas permukaan karbon aktif walaupun mekanisme aktivasi tidak banyak diketahui. Secara garis besar dapat disimpulkan bahwa pada proses aktivasi secara kimia terjadi proses reduksi OH yang masih terkandung

dalam karbon hasil pirolisis sehingga dapat membentuk struktur pori yang lebih luas. Karbon yang telah diaktivasi kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui kualitas yang dihasilkan. Karakterisasi yang dilakukan meliputi penggambaran morfologi struktur permukaan menggunakan SEM, luas permukaan karbon berpori menggunakan metode BET (Brunauer-Emmet-Teller) dan metode *bilangan iodin* serta distribusi ukuran pori menggunakan metode Dubinin Astakhov.

A. Gambar Morfologi Struktur Permukaan

Untuk mengetahui morfologi permukaan karbon yang dihasilkan dari proses ini (baik tanpa aktivasi maupun dengan aktivasi) dilakukan pencitraan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran tertentu. SEM merupakan pencitraan material dengan prinsip mikroskopi menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik sebagai lensanya. Struktur mikro suatu material meliputi tekstur, morfologi, komposisi dan informasi kristalografi permukaan dapat diketahui melalui SEM (Pusposendjojo, 1988).

B. Luas Permukaan

Metode perhitungan luas permukaan menggunakan metode BET didasarkan pada fenomena lapis jamak yang berlangsung pada temperatur tetap. Brunauer, Emmet dan Teller (BET) dalam Do (1998) mengusulkan suatu persamaan isotherm, dengan mengambil asumsi bahwa permukaan zat padat tidak akan tertutup secara sempurna selama tekanan uap jenuh belum tercapai. Persamaan BET dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{P}{P(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m.C} + \left(\frac{C - 1}{V_m.C}\right)\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (1)$$

Selain menggunakan metode BET, perhitungan luas permukaan karbon berpori juga dapat dilakukan menggunakan metode bilangan iodin. Metode perhitungan bilangan iodin dilakukan untuk mengetahui level aktivasi relatif atau daya serap karbon berpori terhadap larutan iodin (ASTM D4607-94, 1999).

C. Distribusi Ukuran Pori

Sifat penting lain untuk menggambarkan karakter suatu adsorben adalah distribusi ukuran pori. Distribusi ukuran pori merupakan aspek terpenting dari adsorpsi karena berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi, selektivitas adsorpsi dan merupakan dasar dalam sintesis adsorben. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan distribusi ukuran pori adalah metode adsorpsi N₂ pada normal *boiling point* yaitu 77 K. Pada metode ini, penentuan distribusi ukuran pori didasarkan pada adsorpsi N₂ di permukaan dan kondensasi kapiler N₂ di dalam pori. Ketebalan lapisan adsorbat pada permukaan adsorben dan ukuran pori ketika terjadi kondensasi tergantung pada tekanan parsial N₂.

Dari isotherm adsorpsi N₂, distribusi ukuran pori dapat dihitung dengan pertimbangan bentuk dan ukuran pori dapat dihitung dengan pertimbangan bentuk dan ukuran pori pada permukaan. Pengukuran distribusi ukuran pori pada material berpori untuk mikropori dan mesopori biasanya dilakukan dengan metode adsorpsi pada tekanan rendah dan medium sedangkan adsorpsi pada makropori hanya signifikan pada tekanan yang sangat tinggi. Mesopori pada umumnya ditentukan dengan metode adsorpsi fisik menggunakan prinsip kondensasi kapiler.

Pori pada karbon berbentuk silinder, sehingga untuk menentukan distribusi ukuran pori perlu dipilih metode yang digunakan. Salah satu metode yang digunakan adalah Dubinin Astakhov. Persamaan yang digunakan pada metode Dubinin Astakhov adalah sebagai berikut (Yang, 2003):

$$V_1 = (V_{01} - V_2) \exp \left[-C_1 \ln \frac{P_{01}}{P_1} \right]^2 \quad (2)$$

Metodologi

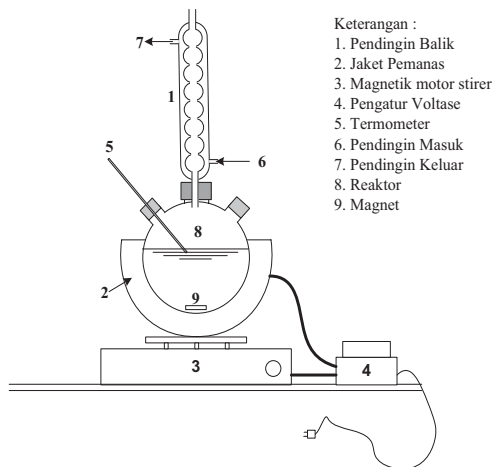
Metodologi dalam penelitian ini terdiri dari bahan penelitian, alat percobaan dan cara penelitian.

A. Bahan

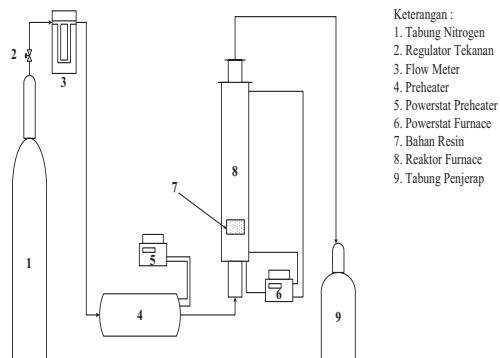
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan utama untuk membuat polimer sintesis yaitu phenol,

formaldehid dan TBP serta bahan zat pendehidrasi KOH, $ZnCl_2$ dan H_3PO_4 . Sedangkan bahan yang digunakan untuk karakterisasi antara lain N_2 untuk analisis dengan metode BET, bahan kimia I_2 , KI, $Na_2S_2O_3$, HCl untuk analisis metode bilangan iodin.

B. Alat



Gambar .1 Rangkaian Alat Polimerisasi



Gambar 2. Rangkaian Alat Pirolisis

C. Cara Penelitian

Penelitian dilakukan dalam 4 tahap, yaitu tahap pembuatan resin PFTBP, tahap pirolisis,

tahap aktivasi, dan tahap karakterisasi dari produk material karbon berpori.

1. Pembuatan resin

Pembuatan resin PFTBP dilakukan dengan mencampur phenol, TBP dan formaldehid menggunakan perbandingan 1 mol phenol terhadap 2,8 mol formaldehid. Satu mol phenol tersebut terdiri dari 0,8 mol phenol dan 0,2 mol TBP. Campuran tersebut kemudian dipanaskan sampai suhu $90^{\circ}C$. Pada penelitian ini resin yang dibuat adalah jenis resol, yaitu resin berbasis phenol yang menggunakan katalis basa. Katalis yang digunakan adalah KOH yang ditambahkan setelah suhu reaksi mencapai $90^{\circ}C$. PH reaksi dikontrol pada keadaan basa yaitu 8. Reaksi dibiarkan berlangsung selama 75 menit. Proses selanjutnya adalah menghilangkan kandungan air yang ada dalam resin dengan mengkondensasikannya pada tekanan vakum. Setelah resin mengental karena kandungan airnya berkurang, ditambahkan HCl dengan tujuan untuk menetralkan pH dan selanjutnya didinginkan. Setelah suhu resin mencapai suhu kamar kemudian ditambahkan pTSA sebagai *crosslinking agent* dan diaduk hingga homogen. Akibat dari penambahan pTSA, resin menjadi lebih kental dan selanjutnya dipanaskan selama 10-15 menit hingga resin mengeras dan siap dipirolisis.

2. Pirolisis

Pirolisis dilakukan dengan memasukkan resin ke dalam *retort*. Proses ini berlangsung pada suhu $400-800^{\circ}C$ selama 1 jam. Selama proses berlangsung dialirkan gas N_2 secara kontinyu untuk menghilangkan oksigen dan zat-zat pengotor lainnya sehingga hanya meninggalkan karbon sebagai hasil akhir. Karbon hasil pirolisis ini kemudian diaktivasi untuk memperbesar luas permukannya.

3. Aktivasi

Proses aktivasi dilakukan dengan cara merendam karbon hasil pirolisis ke dalam bahan pengaktif dengan konsentrasi tertentu selama 24 jam dalam keadaan tertutup. Karbon yang telah direndam kemudian dipanaskan pada suhu $400^{\circ}C$ selama 1 jam untuk menghilangkan zat pendehidrator dan zat-zat yang terdehidrasi. Proses selanjutnya adalah mencuci karbon

tersebut dengan aquades dan dioven pada suhu 110°C untuk menghilangkan sisa-sisa pengotor. Karbon selanjutnya dikarakterisasi untuk mengetahui kualitasnya.

4. Karakterisasi

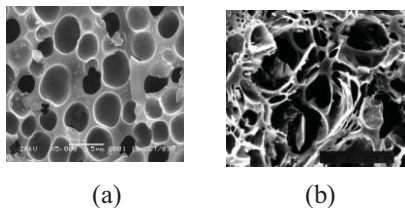
Karakterisasi yang dilakukan meliputi penggambaran morfologi struktur permukaan menggunakan SEM, analisis daya serap karbon menggunakan metode bilangan iodin, analisis luas permukaan internal menggunakan metode BET dan distribusi ukuran pori yang menggunakan metode Dubinin Astakhov.

Hasil dan Pembahasan

Karbon yang diproduksi dalam penelitian ini, diperoleh melalui 4 tahapan proses, yaitu (i) pembuatan resin PFTBP sebagai prekursor karbon, (ii) pembuatan karbon dengan pirolisis resin PFTBP, (iii) aktivasi dan (iv) karakterisasi. Resin dalam penelitian ini dibuat dengan cara mereaksikan phenol, formaldehid dan TBP. Resin hasil polimerisasi kemudian dipirolisis hingga menjadi karbon, selanjutnya direndam dalam larutan zat pendehidrasi. Karbon yang telah direndam dipanaskan kembali sehingga diperoleh material karbon berpori sesuai dengan yang diinginkan.

A. Gambar Morfologi Permukaan

Karbon hasil proses pirolisis (baik tanpa aktivasi maupun dengan aktivasi) diambil gambarnya dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil pencitraan menggunakan SEM yang menggambarkan morfologi permukaan karbon dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Foto SEM karbon hasil pirolisis resin PFTBP pada suhu 400° (a) tanpa aktivasi dengan pembesaran 5000x dan (b) aktivasi $ZnCl_2$ 2% dengan pembesaran 500x

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa karbon yang telah didehidrasi tampak lebih *porous* dibandingkan karbon tanpa zat

pendehidrasi. Hal ini mengindikasikan bahwa aktivasi dapat membuka dan membentuk pori baru pada karbon. Pembentukan pori baru tampak pada distribusi ukuran pori yang akan diuraikan pada sub bab tersendiri. Karbon hasil pirolisis resin PFTBP pada suhu 400°C dengan zat pendehidrasi $ZnCl_2$ 2% yang dilakukan dalam penelitian ini terlihat lebih *porous* dibandingkan karbon hasil pirolisis kulit kacang pada suhu 400°C dengan zat pendehidrasi H_3PO_4 dan KOH yang dilakukan oleh Sricharoenchaikul (2007).

B. Pengaruh Jenis Zat Pendehidrasi Terhadap Bilangan Iodin Karbon Berpori

Salah satu cara untuk mengetahui porositas suatu karbon adalah dengan melakukan penyerapan larutan iodin oleh karbon dan kemudian dinyatakan sebagai bilangan iodin. Bilangan iodin menggambarkan daya serap karbon terhadap larutan iodin. Bilangan iodin karbon hasil pirolisis resin PFTBP pada suhu 400°C dengan berbagai variasi jenis zat pendehidrasi dan tanpa zat pendehidrasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Bilangan iodin karbon hasil pirolisis resin PFTBP pada suhu 400°C

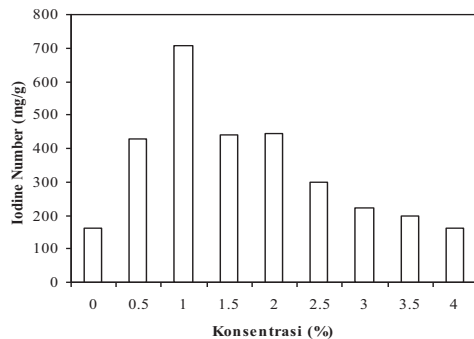
| Zat pendehidrasi | Bilangan iodin (mg/g) |
|------------------|-----------------------|
| KOH 2% | 443,847 |
| $ZnCl_2$ 2% | 1005,546 |
| H_3PO_4 2% | 582,525 |
| Tanpa aktivasi | 160,379 |

Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa karbon berpori yang dihasilkan melalui proses perendaman menggunakan zat pendehidrasi secara umum mempunyai bilangan iodin yang lebih tinggi dibandingkan dengan karbon tanpa melalui proses perendaman. Hal ini mengindikasikan bahwa zat pendehidrasi mampu meningkatkan daya jerap karbon terhadap iodin. Kemampuan menyerap iodin disebabkan oleh peningkatan luas permukaan pada karbon. Bilangan iodin paling tinggi diperoleh dari karbon dengan zat pendehidrasi $ZnCl_2$ 2%. Sedangkan karbon dengan zat pendehidrasi H_3PO_4 memiliki bilangan iodin lebih rendah dari karbon dengan zat pendehidrasi $ZnCl_2$ tetapi lebih tinggi dari

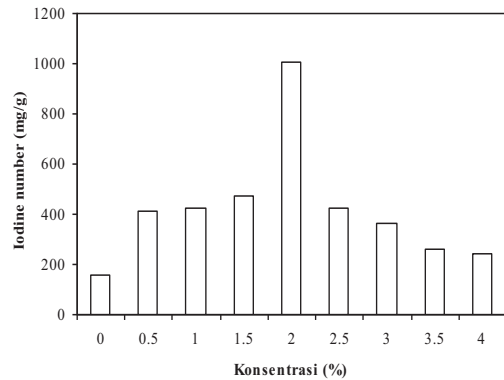
karbon dengan zat pendehidrasi KOH dan tanpa zat pendehidrasi. Menurut Rodriguez dkk., (1995) selama proses perendaman menggunakan zat pendehidrasi $ZnCl_2$ terjadi proses hidrolisis dan pengembangan (*swelling*) partikel-partikel karbon sehingga membentuk pori. Fenomena yang sama terjadi pada penelitian pembuatan karbon dari kulit kelapa sawit menggunakan zat pendehidrasi $ZnCl_2$ yang dipirolisis pada suhu $400^\circ C$ selama 1 jam oleh Panumati (2008) dihasilkan bilangan iodin 808 mg/g. Tawalbeh (2005) mengemukakan bahwa pendehidrasi $ZnCl_2$ menghasilkan karbon yang memiliki bilangan iodin paling tinggi dibandingkan karbon dengan zat pendehidrasi KCl dan H_3PO_4 .

C. Pengaruh Konsentrasi Zat Pendehidrasi Terhadap Bilangan Iodin Karbon Berpori

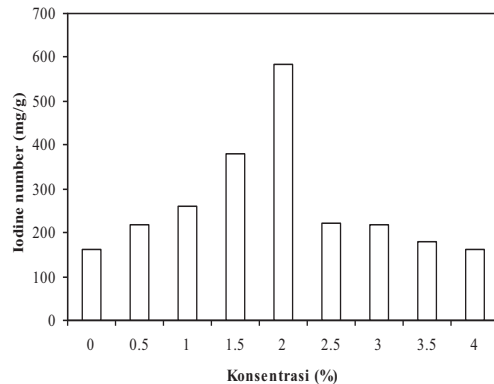
Konsentrasi zat pendehidrasi mempengaruhi bilangan iodin karbon berpori. Bilangan iodin karbon hasil pirolisis resin PFTBP dengan berbagai variasi konsentrasi zat pendehidrasi KOH (Gambar 4), dengan $ZnCl_2$ (Gambar 5) dan dengan H_3PO_4 (Gambar 6).



Gambar 4. Bilangan iodin karbon hasil pirolisis resin PFTBP pada suhu $400^\circ C$ dengan zat pendehidrasi KOH



Gambar 5. Bilangan iodin karbon hasil pirolisis resin PFTBP pada suhu $400^\circ C$ dengan zat pendehidrasi $ZnCl_2$



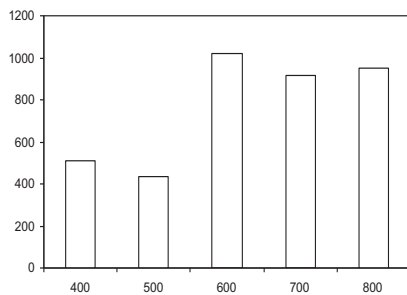
Gambar 6. Bilangan iodin karbon hasil pirolisis resin PFTBP pada suhu $400^\circ C$ dengan zat pendehidrasi H_3PO_4

Secara keseluruhan karbon yang dehidrasi menggunakan zat pendehidrasi pada berbagai variasi konsentrasi memiliki bilangan iodin lebih tinggi dibandingkan karbon tanpa zat pendehidrasi. Gambar 4, 5 dan 6 menunjukkan bahwa secara umum nilai bilangan iodin semakin meningkat dengan adanya peningkatan konsentrasi aktivator hingga mencapai nilai maksimum, kemudian secara bertahap nilai bilangan iodin menurun. Bilangan iodin karbon dengan zat pendehidrasi KOH meningkat sebanding dengan konsentrasi zat pendehidrasi dari 0,5 sampai 1%, zat pendehidrasi $ZnCl_2$ pada konsentrasi 0,5 sampai 2% dan H_3PO_4 pada

konsentrasi 0,5 sampai 2%. Secara umum, pada konsentrasi rendah sejumlah zat pendehidrasi dapat didistribusikan secara merata pada karbon sehingga saat pencucian membentuk mikropori yang hampir seragam. Sedangkan pada konsentrasi zat pendehidrasi tinggi terjadi penurunan penyerapan iodin yang disebabkan adanya kompetisi zat pendehidrasi dalam mendehidrasi karbon. Bilangan iodin paling tinggi dihasilkan oleh karbon dengan zat pendehidrasi $ZnCl_2$ 2% yaitu 1005 mg/g. Penelitian yang dilakukan oleh Khalili dkk., (2000) menunjukkan hasil yang sama. Bilangan iodin karbon aktif meningkat sebanding dengan meningkatnya konsentrasi zat pendehidrasi hingga mencapai nilai maksimum kemudian menurun.

D. Pengaruh Suhu Pirolisis Terhadap Luas Permukaan Karbon Berpori

Menurut Allwar dkk., (2008) luas permukaan dipengaruhi oleh suhu pirolisis, sehingga pada penelitian ini suhu pirolisis divariasikan. Variasi suhu pirolisis yaitu 400-800 °C yang dilakukan pada resin yang akan didehidrasi menggunakan $ZnCl_2$ 2%. Hasil analisis luas permukaan karbon berbahan resin PFTBP dengan variasi suhu pirolisis ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Luas permukaan karbon hasil pirolisis resin PFTBP pada berbagai variasi suhu pirolisis

Secara umum luas permukaan karbon pada berbagai variasi suhu meningkat seiring dengan kenaikan suhu pirolisis hingga mencapai nilai maksimum kemudian menurun seperti yang ditampilkan dalam Gambar 7. Luas permukaan paling tinggi didapatkan dari karbon hasil pirolisis resin PFTBP pada suhu 600°C yaitu 1022 m²/g. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu

optimum pirolisis karbon dari resin PFTBP adalah 600°C.

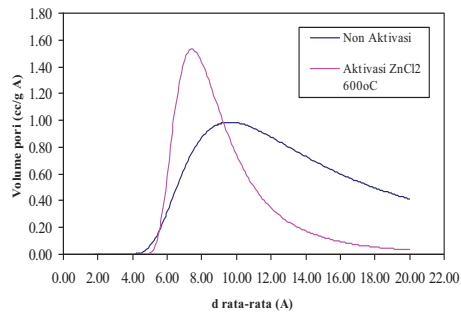
Pada suhu 600 °C zat pengotor yang menutupi pori teruapkan sehingga diperoleh luas permukaan yang jauh lebih besar dari resin yang dipirolisis pada suhu 400°C dan 500°C sedangkan pada suhu dibawah 600 °C zat pengotor yang menguap sedikit karena energi yang digunakan untuk menguapkan pengotor kecil. Dari penelitian yang dilakukan, luas permukaan karbon hasil pirolisis resin PFTBP pada suhu 500°C lebih kecil dibandingkan karbon hasil pirolisis resin pada suhu 400°C. Hal ini bisa disebabkan oleh pengontrolan suhu dan pengaliran N_2 yang kurang optimal sehingga ada oksigen yang bereaksi pada saat pirolisis. Karbon hasil pirolisis resin dengan suhu diatas 600 °C mengalami penurunan luas permukaan karena pada suhu tersebut sudah terjadi *knocking* dan kerusakan struktur pada dinding pori sehingga menghambat pembentukan pori (Allwar dkk., 2008).

Fenomena serupa juga terjadi pada penelitian yang dilakukan Allwar dkk., (2008). Karbon yang dihasilkan dari penelitian tersebut berbahan kulit kelapa sawit dengan zat pendehidrasi $ZnCl_2$ memiliki kenaikan luas permukaan dengan naiknya suhu pirolisis. Luas permukaan naik dari 1148 menjadi 1428 m²/g dengan kenaikan suhu dari 400°C menjadi 500°C, kemudian menurun menjadi 1297 m²/g ketika suhu dinaikkan menjadi 600°C. Penurunan luas permukaan semakin terlihat ketika suhu dinaikkan lebih dari 600°C.

E. Distribusi Ukuran Pori

Distribusi ukuran pori memberikan gambaran tentang ukuran pori pada suatu material. Analisis ini hanya dilakukan pada karbon dengan nilai bilangan iodin paling tinggi yaitu karbon hasil pirolisis resin PFTBP pada suhu 600°C dengan zat pendehidrasi $ZnCl_2$ 2% dan sebagai pembanding juga dilakukan pada karbon tanpa zat pendehidrasi. Perhitungan distribusi pori berdasarkan data adsorpsi-desorpsi isotherm gas N_2 dengan metode Dubinin Astakhov. Pemilihan metode perhitungan ini didasarkan pada asumsi bahwa pori pada karbon berbentuk silinder (Yang, 2003 dan Allwar dkk., 2008). Hasil perhitungan

distribusi ukuran pori diilustrasikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Distribusi ukuran pori karbon hasil pirolisis resin PFTBP dengan metode Dubinin Astakhov

Berdasarkan hasil analisis distribusi ukuran pori yang disajikan pada Gambar 8 tampak bahwa karbon dengan zat pendehidrasi $ZnCl_2$ 2% dan tanpa zat pendehidrasi memiliki pola yang sama yaitu memiliki satu puncak. Karbon hasil pirolisis resin PFTBP pada suhu $600^\circ C$ memiliki diameter pori $6,7 \text{ \AA}$ sedangkan untuk karbon tanpa zat pendehidrasi memiliki puncak $9,8 \text{ \AA}$. Hal menunjukkan bahwa dengan penambahan zat pendehidrasi mampu menyeragamkan ukuran pori. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa volume total pori karbon dengan zat pendehidrasi lebih besar dari karbon tanpa zat pendehidrasi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa zat pendehidrasi mempengaruhi karakteristik material karbon berpori berbahan resin PFTBP. Hal ini dapat dilihat dari morfologi struktur permukaan yang lebih porous, bilangan iodin yang lebih tinggi dan luas permukaan lebih besar. Karbon yang terbaik diperoleh pada zat pendehidrasi $ZnCl_2$ konsentrasi 2% dan suhu pirolisis $600^\circ C$ dengan luas permukaan $1022 \text{ m}^2/\text{g}$.

Daftar notasi

V = Volume gas yang teradsorpsi pada kesetimbangan (cm^3)
 V_m = Volume gas yang teradsorpsi satu layar pada permukaan adsorben (cm^3)

C = Konstanta BET
 P° = Tekanan uap jenuh adsorpsi (mmHg)
P = Tekanan gas pada kesetimbangan (mmHg)
V01 = Batas volume pori untuk komponen 1
V2 = Volume gas yang teradsorpsi pada komponen 2

Daftar Pustaka

- Abdullah, A.H., Kassim, A., Zainal, Z., Hussein, M.Z., Kuang, D., Ahmad, F., Wooi, O., 2000, Preparation and Characterization of Activated Carbon from Gelam Wood Bark (*Melaleuca cajuputi*), *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 7, 65-68.
- Adinata, D., Daud, W., & Aroua, M.K., 2005, Preparation and Characterization of Activated Carbon from Palm Shell by Chemical Activation with K_2CO_3 , *Bioresource Technology*, 98, 145-149.
- Allwar, Noor, A., & Nawati, M., 2008, Textural Characteristics of Activated Carbons Prepared from Oil Palm Shell Activated with $ZnCl_2$ and Pyrolysis Under Nitrogen and Carbon Dioxide, *Journal of Physical Science*, 19, 93-104.
- ASTM D4607-94, 1999.
- Baker, 1998, *Production of Highly Microporous Activated Carbon Products*, US Patent 5, 710,093
- Bansal, R., C., 1988, *Active Carbon*, Dekker, New York.
- Cai, Q., Huang, Z., Kang, F., & Yang, J., 2004, Preparation of Activated Carbon Microsphere from Phenolic-resin by Supercritical Water Activation, *Carbon*, 42, 775-783.
- Derbyshire, F., Jagtoyen, M., Thwaites, M., 1995, *Porosity in Carbons, Characterization and applications*, 227, J. W. Patrick, London.
- Jankowska, H., Swatkowski, A. and Choma, J., 1991, *Active Carbon*, Ellis Horwood, New York.
- Khalili, N.R., Campbell, M., Sandi, G., & Golas, J., 2000, Production of Micro- and Mesoporous Activated Carbon from Paper Mill Sludge I. Effect of Zinc Chloride Activation, *Carbon*, 38, 1905-1915.
- Nagakawa, W., Sabio, M.M., Reinoso, F.R., 2008, Modification of The Porous Structure

- Along The Preparation of Activated Carbon Monoliths with H_3PO_4 and $ZnCl_2$, *Apartado*, 99, 1-20.
- Noor Yudhi, 2008, Penentuan Daya Serap Arang Aktif Teknis terhadap Iodium secara Potensiometri, Potentiometric.blogspot.com, 9 Juni 2008.
- Otawa and Yoshiro, 1991, *Production of High Quality Activated Carbon*, US Patent 5,064,805, November 12.
- Panumati, S., Chudecha, K., Vankhaew, P., Choolert, V., Chuenchom, L., Innajitara, W., Sirichote, O., 2008, Adsorption of Phenol from Diluted Aqueous Solution by Activated Carbons Obtained from Bagasse, Oil Palm Shell and Pericarp of Rubber Fruit, *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 30, 2008.
- Pusposendjojo, N., 1988, Mikroskop Elektron, Lakfip-UGM, Yogyakarta.
- Rodriguez, R., 1995, *Chemistry and Physics of Carbon*, P. A. Thrower, Vol. 21, P.1.
- Sricharoenchaikul, V., Pechyen, C., Aht-ong, D., Atong, D., 2007, Preparation and Characterization of Activated Carbon from the Pyrolysis of Phisic Nut (*Jatropha curcas* L.) Waste, Departement of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok
- Tawalbeh, M., Allawzi, M.A., Kandah, M.I., 2005, Production of Activated Carbon from Jojoba Seed Residue by Chemical Activation Using a Static Bed Reactor, *Journal of Applied Sciences*, 5, 482-487
- Ying, J., Y., Martinez, J., G., Lancaster, T., 2005, *Porous Carbon Structures an Methods*, US Patent, 0214539, September 29
- Yang, R. T., 2003, *Adsorbent: Fundamentals and Applications*, Wiley Intersciences, Jhon Wiley & Sons, Inc., USA