

**STUDI PENGARUH TEMPERATUR KARBONISASI
TERHADAP KARAKTER KARBON MESOPORI HASIL
SINTESIS DARI LIMBAH LUMPUR INDUSTRI TEKSTIL**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang kimia

oleh :

DIAN HARTATI

0410929001-92



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2008**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI PENGARUH TEMPERATUR KARBONISASI
TERHADAP KARAKTER KARBON MESOPORI HASIL
SINTESIS DARI LIMBAH LUMPUR INDUSTRI TEKSTIL**

oleh :

DIAN HARTATI

0410929001-92

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Kimia**

Pembimbing I

Pembimbing II

Dra. Tutik Setianingsih, M.Si.
NIP. 132085943

Ir. Uswatun Hasanah, M.Si.
NIP. 131616320

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Kimia
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

M.Farid Rahman, S.Si., M.Si
NIP. 132 158 726

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Dian Hartati
NIM : 0410929001-92
Jurusan : Kimia
Penulis skripsi berjudul :

” Studi Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Karakter Karbon Mesopori Hasil Sintesis dari Limbah Lumpur Industri Tekstil ”

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam skripsi ini.
2. Apabila di kemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, tgl_ Januari 2008
Yang menyatakan,

(Dian Hartati)
NIM. 0410929001-92

STUDI PENGARUH TEMPERATUR KARBONISASI TERHADAP KARAKTER KARBON MESOPORI HASIL SINTESIS DARI LIMBAH LUMPUR INDUSTRI TEKSTIL

ABSTRAK

Sintesis karbon mesopori dari limbah lumpur industri tekstil telah dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur karbonisasi terhadap karakter karbon mesopori serta mengetahui kondisi optimum temperatur karbonisasi. Sintesis karbon mesopori menggunakan lumpur kering (sebagai prekursor karbon) dan natrium silikat (dalam bentuk larutan dengan kadar SiO_2 24 % dan Na_2O 7,5 %) sebagai *template*. Sintesis dilakukan dengan komposisi 50 g lumpur kering dan 50 mL larutan natrium silikat pekat, temperatur evaporasi 80°C selama 12 jam, karbonisasi pada berbagai temperatur (400, 500, 600, 700°C) selama 3 jam dengan aliran gas N_2 (kecepatan alir 8 mL/menit). *Template* dalam produk mesofasa dihilangkan dengan larutan HF 48 %. Karakterisasi dilakukan dengan *surface area analyzer*, spektrofotometer infra merah, uji kualitatif spesifik untuk struktur grafit. Temperatur optimum karbonisasi diperoleh pada temperatur 600°C dengan karakter karbon mesopori hasil sintesis sebagai berikut : luas permukaan mesopori $42,770\text{ m}^2/\text{g}$, volume mesopori $0,050\text{ cm}^3/\text{g}$, diameter rata-rata mesopori $47,037\text{ \AA}$, keseragaman pori pada diameter 48 \AA , mempunyai gugus permukaan fenol, karboksilat, dan sulfonat, serta struktur bersifat amorf.

STUDY OF THE INFLUENCE OF CARBONIZATION TEMPERATURE TOWARD THE CHARACTER OF MESOPOROUS CARBON PRODUCT SYNTHESIS FROM SLUDGE WASTE OF TEXTILE INDUSTRY

ABSTRACT

The synthesis of mesoporous carbon from sludge waste of textile industry has been done in order to determine influence of carbonization temperature toward the character of carbon mesoporous and the optimum synthesis condition. The synthesis was conducted by using dried sludge (as carbon precursor) and sodium silicate as template (in the form of solution comprised of SiO₂ 24 % and Na₂O 7.5 %). Synthesis was adjusted with composition of 50 g dried sludge and 50 mL the sodium silicate solution, evaporation temperature of sludge at 80 °C for 12 hours, carbonization for 3 hours at various temperature (400, 500, 600, 700 °C) under nitrogen gas flow (8 mL/menit). Template in the mesophase product was removed by HF solution 48 %. Characterization were performed with surface area analyzer, infra red spectrophotometer, specific qualitative analysis for graphite structure. Carbonization optimum temperature obtained at temperature 600 °C with the best character mesoporous carbon involving surface area 42.770 m²/g, mesopore volume of 0.050 cm³/g, average mesopore diameter of 47.037 Å, pore size uniformity at pore diameter of 48 Å, surface functional groups of phenol, carboxylate, and sulphonate, structure of amorph.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul “**Studi Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Karakter Karbon Mesopori Hasil Sintesis dari Limbah Lumpur Industri Tekstil**” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang kimia di Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.

Dalam penyusunan laporan penelitian ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun secara tidak langsung selama pelaksanaan penelitian. Rasa terima kasih tersebut kami sampaikan kepada :

1. Dra. Tutik Setianingsih, M.Si selaku Dosen Pembimbing I dan Ir. Uswatun Hasanah, M.Si selaku Dosen Pembimbing II atas bimbingan dan kesabaran yang diberikan selama penyusunan tugas akhir ini.
2. Drs. Warsito, M.Si selaku Dosen Penasehat Akademis yang telah memberikan bimbingan selama kuliah.
3. DR. Rurini Retnowati, M.Si, Dra. Anna R, M.App.Sc, Dr. Diah Mardiana, MS, Qonitah Fardiyah, S.Si., M.Si selaku dosen penguji atas waktu dan sarannya.
4. M. Farid Rahman S.Si, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Brawijaya.
5. Seluruh dosen dan karyawan jurusan Kimia Universitas Brawijaya atas segala ilmu dan bantuan yang diberikan.
6. BATAN Yogyakarta yang telah membantu penulis selama penelitian.
7. Bapak, Ibu dan seluruh keluargaku yang telah memberikan cinta dan doa
8. Teman-teman Kimia atas bantuan dan kebersamaannya serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, dengan kerendahan hati penulis mengharap kritik dan saran yang bersifat membangun guna perbaikan dan penyempurnaannya. Akhir kata semoga skripsi ini memberi manfaat bagi semua pihak.

Malang, September 2007

Penulis

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Karakteristik limbah industri tekstil	4
2.1.1 Limbah Lumpur.....	4
2.2 Karbon	5
2.2.1 Karbonisasi	5
2.3 Natrium silikat.....	6
2.4 Sintesis karbon mesopori.....	6
2.5 Penentuan luas permukaan, volume pori dan ukuran pori dengan metode BET.....	9
2.6 Penentuan Distribusi ukuran pori dengan metode POD	11
2.7 Identifikasi gugus fungsional dengan spektrofotometri inframerah	13
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan waktu penelitian	14
3.2 Bahan dan alat penelitian	14
3.2.1 Bahan penelitian	14

3.2.2	Alat penelitian	14
3.3	Rancangan penelitian	14
3.4	Tahapan/ Cara kerja penelitian	15
3.4.1	Preparasi limbah tekstil	15
3.4.2	Sintesis karbon mesopori	15
3.4.3	Karakterisasi	16
3.4.3.1	Uji luas permukaan dan karakter pori Karbon mesopori.....	16
3.4.3.2	Identifikasi gugus fungsi permukaan karbon mesopori	16
3.4.3.3	Uji kualitatif struktur kristal grafit karbon mesopori.....	16
3.5	Analisa data	17
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Pengaruh temperatur karbonisasi.....	21
4.2	Karakterisasi gugus fungsi permukaan karbon mesopori.....	25
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	31
5.2	Saran.....	31
 DAFTAR PUSTAKA.....		32
LAMPIRAN.....		36

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Struktur polimer karbon 5
Gambar 2.2	Mekanisme sintesis karbon nanopori 7
Gambar 2.3	Mekanisme sintesis karbon mesopori cara adsorpsi 7
Gambar 2.4	Mekanisme sintesis karbon mesopori 9
Gambar 2.3	Grafik persamaan BET 10
Gambar 4.1	Gambar struktur permukaan silika gel 19
Gambar 4.2	Distribusi ukuran pori karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur karbonisasi 22
Gambar 4.3	Karakteristik diameter rata-rata pori (D) karbon mesopori hasil sintesis dari berbagai lama karbonisasi..... 24
Gambar 4.4	Karakteristik volume pori karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur karbonisasi..... 24
Gambar 4.5	Karakteristik luas permukaan karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur karbonisasi..... 24
Gambar 4.6	Spektra inframerah lumpur kering 26
Gambar 4.7	Spektra inframerah karbon mesopori hasil sintesis pada kondisi optimum (larutan natrium silikat 50 mL, temperatur karbonisasi 600 °C)..... 26
Gambar 4.8	Spektra inframerah natrium silikat hasil pengeringan pada temperatur 600 °C 27

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1	Data karakter karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur..... 21
Tabel 4.2	Data Spektra Infra merah..... 27
Tabel L.2.1	Pengolahan data adsorpsi gas nitrogen larutan natrium silikat 50 mL, 400 °C 41
Tabel L.2.2	Pengolahan data adsorpsi gas nitrogen larutan natrium silikat 50 mL, 500 °C 42
Tabel L.2.3	Pengolahan data adsorpsi gas nitrogen larutan natrium silikat 50 mL, 600 °C 43
Tabel L.2.4	Pengolahan data adsorpsi gas nitrogen larutan natrium silikat 50 mL, 700 °C 44
Tabel L.2.1	Data karakter karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur karbonisasi (metode POD) 45
Tabel L.3.2	Data karakter karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur karbonisasi (metode BET) 48

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN 1	Diagram alir penelitian..... 36
LAMPIRAN 2	Perhitungan Luas Permukaan Mesopori, Volume Mesopori dan Diameter Mesopori Dengan Metode POD 39
LAMPIRAN 3	Perhitungan luas permukaan spesifik, volume pori total dan diameter pori rata-rata dengan metode BET 47
LAMPIRAN 4	Contoh zat warna yang digunakan dalam industri tekstil 50
LAMPIRAN 5	Rangkaian alat karbonisasi 52



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah industri tekstil merupakan limbah yang kaya akan bahan organik diantaranya amilum, fenol, zat warna dan surfaktan (Anonim, 1996). Lumpur merupakan sisa material semipadatan dari industri pada pengolahan air atau proses pengolahan air limbah. Limbah lumpur industri tekstil terutama berasal dari pengolahan limbah secara kimia (Anonymous, 2007). Pemanfaatan limbah lumpur masih merupakan permasalahan yang perlu mendapatkan perhatian, khususnya limbah lumpur IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) industri tekstil. Jumlah limbah lumpur yang cukup besar dengan klasifikasinya sebagai limbah berbahaya dan beracun (B3) telah menimbulkan beban cukup berat bagi pihak industri di dalam memenuhi peraturan pengelolaannya. Namun demikian atas dasar karakteristik bahan organik yang terkandung di dalam lumpur IPAL, maka limbah lumpur ini berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi produk yang mempunyai nilai tambah (Purwati *dkk*, 2006).

Beberapa peneliti berhasil melakukan sintesis karbon mesopori dari berbagai macam bahan organik dalam sistem larutan (Han, *dkk*, 2003 ; Lee, *dkk*, 2004 ; Setianingsih dan Hasanah, 2004 dan 2005). Limbah tekstil juga potensial untuk diolah menjadi karbon mesopori. Berdasarkan hasil penelitian pendahuluan oleh Setianingsih dan Hasanah (2006) yang menyatakan bahwa limbah padat industri tekstil mengandung lebih dari 50 % bahan organik. Kandungan tersebut berasal dari hasil degradasi tidak sempurna limbah cair yang menurut Anonim (1996) mengandung amilum, fenol, zat warna dan surfaktan.

Karbon mesopori merupakan material karbon yang diarahkan pada pembentukan padatan dengan luas permukaan besar dan keseragaman ukuran pori tinggi di daerah mesopori (20-500 Å). Karakter karbon mesopori tersebut diharapkan dapat lebih efektif digunakan untuk proses katalitik dan adsorpsi molekul berukuran besar (Joo dan Ryoo, 2000 dan 1999).

Natrium silikat dapat digunakan sebagai *template* (cetakan pori) dalam sintesis karbon mesopori. Berdasarkan penelitian Setianingsih dan Hasanah (2004) yang mengkaji pengaruh jenis *template* (natrium silikat dan silika gel) menunjukkan bahwa natrium silikat

memberikan karakter yang lebih baik dibandingkan silika gel, yaitu memberikan daerah mesopori 1,14 X lebih besar dengan luas permukaan mesopori 6 X lebih besar, volume mesopori 7 X, dan diameter mesopori 1,15 X lebih besar.

Temperatur dalam proses karbonisasi mempunyai pengaruh terhadap sintesis karbon mesopori. Pada temperatur yang lebih rendah dekomposisi termal lambat dan beberapa bagian proses dekomposisi terhambat. Pada temperatur lebih tinggi dekomposisi termal cepat dan karbonisasi yang berkelanjutan mengakibatkan volume pori akan semakin berkurang (Jankowska, 1991). Darmstadt *dkk* (2003 dan 2004) mengkaji pengaruh temperatur karbonisasi pada sintesis karbon mesopori dengan mengadsorpsi sukrosa sebagai prekursor karbon pada aluminosilikat mesopori MCM-48 sebagai *template*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin hilang daerah mikropori, semakin besar diameter pori, semakin rendah tingkat keseragaman pori dan semakin tinggi temperatur karbonisasi struktur karbon makin menyerupai grafit. Oleh karena itu parameter tersebut akan dipelajari dalam penelitian ini.

Karakterisasi yang dilakukan meliputi luas permukaan, volume pori, ukuran pori, struktur kristal, dan gugus fungsi permukaan karbon. Karakterisasi luas permukaan pori sangat penting untuk adsorpsi, dimana semakin luas permukaan karbon maka tempat kontak adsorpsi semakin besar. Volume pori yang dihasilkan berpengaruh terhadap besarnya ruang yang dapat ditempati adsorbat, sedangkan ukuran pori berhubungan dengan ukuran adsorbat yang dapat diadsorpsi. Keseragaman pori menjadi sangat penting ketika karbon mesopori akan diaplikasikan sebagai adsorben yang selektif. Karakterisasi gugus fungsi bertujuan untuk melihat kesempurnaan karbonisasi dan uji struktur kristal untuk mengetahui apakah karbon mesopori yang dihasilkan berbentuk grafit ataukah amorf.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh temperatur karbonisasi terhadap karakter karbon mesopori ?
2. Bagaimana karakter karbon mesopori hasil sintesis pada temperatur optimum ?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan perumusan masalah di atas maka batasan masalah penelitian ini adalah :

1. Temperatur karbonisasi optimum ditentukan dari luas permukaan terbesar dan keseragaman pori tertinggi di daerah mesopori
2. Karakter karbon mesopori pada kondisi optimum meliputi : luas permukaan, keseragaman pori, volume pori, ukuran pori, gugus fungsi permukaan dan struktur kristal

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan :

1. Mengetahui pengaruh temperatur karbonisasi terhadap karakter karbon mesopori hasil sintesis dari limbah lumpur industri tekstil
2. Mengetahui karakter karbon mesopori hasil sintesis pada temperatur optimum.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat sebagai metode alternatif dalam pengolahan limbah industri tekstil menjadi adsorben dan pengemban katalis yang potensial untuk molekul berukuran besar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Industri Tekstil

Industri tekstil merupakan industri yang menghasilkan limbah gas/debu, bising, cair dan padat. Industri tekstil pembuat benang (pemintalan), pembuat kain (pertenunan dan perajutan) dan pembuat pakaian jadi (garmen), terutama menimbulkan limbah debu serat dan kebisingan, sedangkan industri penyempurnaan tekstil (finishing) terutama menghasilkan limbah cair dan limbah padat (Anonim, 1996).

Limbah padat dari industri tekstil dapat berupa lumpur dari unit pengolahan limbah (UPL) cair. Selain itu limbah industri tekstil juga mengandung zat warna, kanji dan surfaktan yang berasal dari bahan kimia yang digunakan dalam industri tekstil. Hal yang perlu diperhatikan dalam industri tekstil adalah adanya bahan berbahaya dan beracun (B3). Limbah B3 dari industri tekstil berasal dari kegiatan finishing dan pencelupan yaitu lumpur yang mengandung logam berat. Pengolahan limbah cair yang menghasilkan limbah lumpur yaitu pengolahan cara kimia dengan koagulasi menggunakan bahan kimia. Kelemahan dari cara ini dihasilkannya lumpur kimia (*sludge*) yang cukup banyak. Cara lain yang juga menghasilkan limbah lumpur adalah cara biologi, yaitu dengan cara aerobik metode lumpur aktif. (Anonim, 1996).

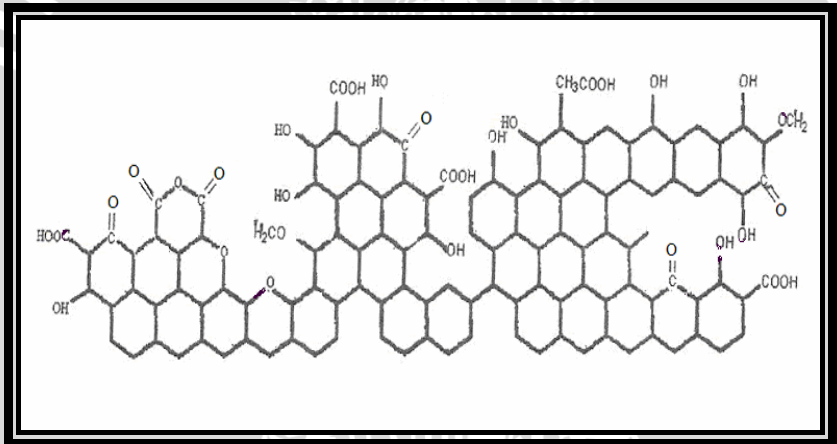
2.1.1 Limbah Lumpur

Lumpur adalah campuran cair atau semicair antara air dan tanah. Lumpur terjadi saat tanah basah. Secara geologis, lumpur ialah campuran air, partikel endapan lumpur dan tanah liat. Lumpur yang dihasilkan pengolahan limbah secara kimia adalah sumber utama limbah pada pabrik tekstil. Lumpur dari pengolahan kimia harus dihilangkan airnya dengan saringan plat atau saringan sabuk (*belt filter*). Lumpur limbah industri tekstil diklasifikasikan sebagai limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) karena kandungan organik dan logam berat yang relatif tinggi. (Anonim, 2007).

2.2 Karbon

Karbon merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol C dan nomor atom 6. Karbon dalam keadaan terikat terdapat di alam semesta dan tersebar secara luas seperti pada matahari, bintang, komet, dan tumbuhan di bumi. Sedangkan dalam keadaan bebas berupa 3 bentuk alotrop, yaitu amorf, grafit, dan intan (Mulyono, 2006).

Karbon memiliki sifat yang unik pada permukaannya yang disebabkan adanya gugus fungsional yang mengandung oksigen seperti karboksil, lakton dan fenol. Semakin banyak gugus fungsional akan mengakibatkan menurunnya volume pori dan luas permukaan spesifik karena pori karbon tertutup oleh gugus fungsional (Parker, 1993).



Gambar 2.1 Struktur polimer karbon

Berdasarkan ukuran porinya, karbon diklasifikasikan menjadi tiga yaitu (Tamai, 1997) : mikropori ($< 20 \text{ \AA}$), mesopori ($20 \text{ \AA} < \text{diameter} < 500 \text{ \AA}$), dan makropori ($> 500 \text{ \AA}$).

2.2.1 Karbonisasi

Karbonisasi merupakan suatu proses perubahan sebuah bahan kimia ke dalam karbon atau residu yang mengandung karbon dari proses pirolisis (Anonymous, 2007). Menurut Astuti (1990) dijelaskan bahwa secara umum proses karbonisasi sempurna adalah

pemanasan bahan baku tanpa adanya udara sampai temperatur yang cukup tinggi untuk mengeringkan dan menguapkan senyawa dalam karbon. Pada proses ini terjadi dekomposisi termal dari bahan yang mengandung karbon, dan menghilangkan senyawa non karbonnya (Herling, 2006).

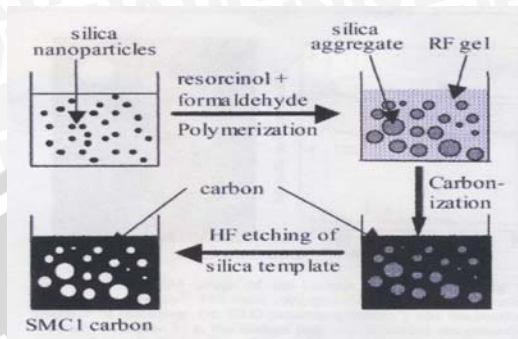
Pada umumnya karbonisasi dilakukan dengan *stationary oven*, *rotary oven* atau *fluidized bed oven*. Struktur pori mulai terbentuk pada saat proses karbonisasi (Jankowska, dkk, 1991). Sifat-sifat dari hasil karbonisasi ditentukan oleh kondisi dan bahan dasarnya. Beberapa parameter yang biasa digunakan untuk menentukan kondisi karbonisasi yang sesuai yaitu, temperatur akhir yang dicapai, waktu karbonisasi, laju peningkatan temperatur dan medium dari proses karbonisasi.

2.3 Natrium Silikat

Natrium silikat adalah silikat yang dapat larut dalam air dan dapat membentuk larutan kental yang disebut "*water glass*" (Kirk-Othmer, 1979). Natrium silikat adalah senyawa yang khas dari segi rasio penyusunnya Na_2O dan SiO_2 . Silikat yang mempunyai rasio molar 1 Na_2O / 1,6 SiO_2 sampai 1 Na_2O / 4 SiO_2 disebut silikat koloid. Natrium metasilikat (Na_2SiO_3) mempunyai rasio 1 mol Na_2O terhadap 1 mol SiO_2 . Senyawa yang mempunyai kadar Na_2O lebih tinggi, dengan 1,5 mol Na_2O terhadap 1 mol SiO_2 disebut natrium seskuisilikat ($\text{Na}_4\text{SiO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$). Senyawa lain yang kandungan Na_2O -nya lebih tinggi lagi adalah natrium ortosilikat (Na_4SiO_4) yang mengandung 2 mol Na_2O terhadap 1 mol SiO_2 (Austin, 1984). Silika tahan terhadap asam kuat HCl , H_2SO_4 , dan HNO_3 , namun sangat reaktif terhadap HF membentuk gas SiF_4 . Ketika HF ditambahkan pada larutan natrium silikat, akan terbentuk gel SiO_2 hidrat yang kehilangan air saat dipanaskan atau didiamkan di udara terbuka (King, dkk, 1977).

2.4 Sintesis Karbon Mesopori

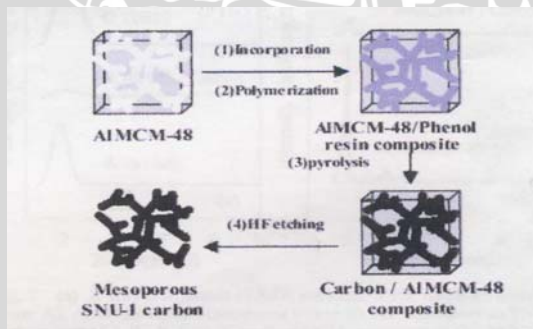
Menurut Lee dkk (2004) sintesis karbon mesopori dapat dilakukan dengan 2 cara diantaranya mencampurkan prekursor karbon dan *template* kemudian dikarbonisasi, sebagai contoh Gambar 2.2 menunjukkan sintesis karbon nanopori yang dilakukan oleh Han dkk (2000).



Gambar 2.2 Mekanisme sintesis karbon nanopori

Pada sintesis ini menggunakan prekursor karbon resorcinol dan formaldehid sedangkan template yang digunakan adalah silika sol. Campuran dari bahan tersebut kemudian dikarbonisasi pada temperatur 850 °C. Pencucian *template* silika dilakukan dengan menggunakan larutan HF.

Sintesis karbon mesopori dapat juga dilakukan dengan cara mengadsorpsikan prekursor karbon pada *template* kemudian dikarbonisasi. Gambar 2.3 menunjukkan contoh sintesis karbon mesopori yang dilakukan oleh Lee dkk (1999).

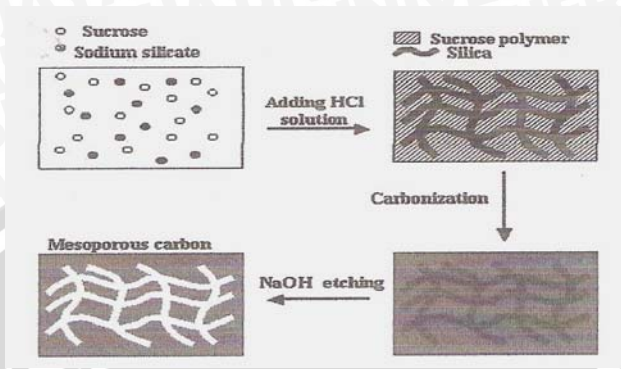


Gambar 2.3 Mekanisme sintesis karbon mesopori cara adsorpsi

Sintesis ini dilakukan dengan menggunakan prekursor karbon fenol yang diadsorpsikan pada *template* Al MCM-48 kemudian dikarbonisasi pada temperatur 700 °C. Pencucian *template* Al MCM-48 menggunakan larutan HF sehingga didapatkan karbon mesopori

Berdasarkan penelitian Setianingsih dan Hasanah (2005) tentang sintesis karbon mesopori dengan variasi konsentrasi HCl dan waktu karbonisasi (1 s/d 4 jam) dengan mencampurkan larutan gula pasir jenuh dan larutan natrium silikat telah diketahui kondisi optimum dicapai pada konsentrasi larutan HCl 4,2 M, dan waktu karbonisasi 2 jam dengan menghasilkan karakter produk : diameter pori rata-rata 39,05 Å, luas permukaan spesifik 408,34 m²/g, keseragaman ukuran pori tertinggi pada diameter 60 Å, struktur campuran turbostratik dan amorf. Menurut penelitian Setianingsih dan Hasanah (2004) yaitu sintesis karbon mesopori dengan variasi jumlah *template* (100 s/d 400 mL) yang dilakukan dengan mencampurkan larutan natrium silikat dan larutan gula pasir jenuh, karbonisasi pada temperatur 900 °C selama 3 jam dengan pencuci *template* larutan HF dan akuades diperoleh nilai karakter produk yang lebih besar. Untuk setiap 100 mL menunjukkan bahwa pada volume 100 mL memberikan daerah mesopori terbesar, luas permukaan spesifik daerah mesopori 679,16 m²/g dan diameter pori rata-rata 39,89 Å. Karbon hasil sintesis merupakan campuran antara karbon amorf dan struktur grafit.

Sintesis karbon aktif mesopori dari bahan sukrosa p.a. dan larutan natrium silikat p.a telah dilakukan Han *dkk* (2003). Sintesis dilakukan dengan mencampurkan larutan prekursor karbon dan *template*. Campuran kemudian ditambah larutan HCl untuk mempercepat proses polimerisasi silikagel dan polimer sukrosa, dan dievaporasi pada berbagai temperatur (50 s/d 80 °C) selama 1 hari. Kemudian dikarbonisasi pada temperatur 200 °C selama 12 jam dilanjutkan pada 850 °C selama 3 jam dengan aliran gas N₂. Karbon hasil sintesis dicuci dengan larutan NaOH 3 M selama 5 jam untuk menghilangkan *template*. Berdasarkan variasi perbandingan mol sukrosa/HCl (0,2 s/d 0,61) diketahui bahwa perbandingan 0,3 memberikan hasil terbaik dengan diameter mesopori 32 Å, diameter pori rata-rata 27 Å, luas permukaan mesopori 723 m²/g, luas permukaan spesifik untuk daerah total 856 m²/g. Untuk variasi temperatur evaporasi, menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi diameter mesopori, kondisi optimum dicapai pada temperatur 80 °C, yaitu diameter mesopori 33 Å dan luas permukaan mesopori 726 m²/g, dan luas permukaan spesifik untuk daerah total 828 m²/g. Gambar 2.2 menunjukkan mekanisme sintesis karbon mesopori yang diterapkan oleh Han *dkk*.



Gambar 2.2 Mekanisme sintesis karbon mesopori

Menurut Darmstadt *dkk* (2003 dan 2004) temperatur karbonisasi mempengaruhi karakter karbon mesopori hasil sintesis. Sintesis karbon mesopori dilakukan dengan mengadsorpsikan sukrosa pada aluminosilikat mesopori MCM-48 sebagai *template*. Temperatur karbonisasi divariasi 700, 1100, & 1600 °C. Data adsorpsi nitrogen menunjukkan bahwa makin tinggi temperatur makin hilang daerah mikropori (pada 1600 °C tidak mengandung mikropori), makin besar diameter pori, yaitu 3,5 nm (untuk 700 °C), 4,8 nm (untuk 1100 °C), dan 5,0 nm (untuk 1600 °C) makin rendah tingkat keseragaman pori. Selain itu diketahui juga bahwa makin tinggi temperatur karbonisasi struktur karbon makin menyerupai grafit.

2.5 Penentuan Luas Permukaan, volume pori dan ukuran pori dengan Metode BET (Lowell dan Shields, 1984)

Metode BET merupakan salah satu metode adsorpsi isoteremis yang ditemukan oleh Brenauer, Emmet dan Teller (BET) sebagai metode yang dapat digunakan untuk menentukan luas permukaan padatan, volume pori dan ukuran porinya. Luas permukaan padatan per satu gram sampel padatan tersebut. Pada penentuan luas permukaan padatan digunakan persamaan BET sebagai berikut :

$$\frac{1}{W(P_0/P - 1)} = \frac{1}{WmC} + \frac{C-1}{WmC} \left[\frac{P}{P_0} \right] \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

P : tekanan gas saat pengukuran

P₀ : tekanan uap jenuh

W : berat adsorbat yang teradsorpsi

W_m : berat adsorbat pada monolayer jenuh

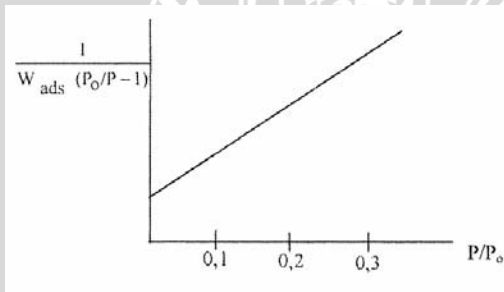
C : konstanta BET.

Berat adsorbat (W) diperoleh sebagai berikut :

$$W = V_{\text{ads}} \times W_{\text{sampel}} \times \rho \text{ N}_2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : $\rho \text{ N}_2 = 1,2506 \text{ g/L}$

Pada perhitungan luas permukaan padatan dengan metode BET data P/P₀ yang digunakan adalah kisaran 0,05 – 0,35 karena pada daerah inilah yang memberikan kurva hubungan linier.



Gambar 2.3 Grafik persamaan BET

Sehingga dengan $Y = \frac{1}{W(P_0/P - 1)}$ dan $x = P/P_0$ diketahui slope

(s) dan intersep (i) sebagai berikut :

$$s = (C-1)/W_m C \text{ dan } i = 1/W_m C \dots\dots\dots(2.3)$$

Sehingga diperoleh :

$$W_m = 1 / (i+s) \dots\dots\dots(2.4)$$

Luas permukaan padatan total dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$S_t = \frac{W_m \times N \times A}{M} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

N : bilangan Avogadro molekul adsorbat = $6,022 \times 10^{23}$ / mol,

A : luas permukaan = $16,2 \text{ \AA}^2$

M : berat molekul $N_2 = 28$ g/mol

Luas permukaan spesifik dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$S_{BET} = S_t/W_m \dots\dots\dots(2.6)$$

Volume pori-pori total dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$V_p = V_{liq} = \frac{P \times V_{ads} \times V_m}{R \times T} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

R : konstanta untuk gas = $82,057 \text{ cm}^3 \text{ atm/g.mol.K}$

P : tekanan uap N_2 cair = 1 atm

T : suhu N_2 cair yaitu 273 K

V_{ads} : volume gas N_2 yang teradsorpsi

V_m : volume N_2 cair yaitu $34,6 \text{ cm}^3/\text{mol}$

Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$V_p = V_{gas} \times 1,54 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

V_{gas} : jumlah gas N_2 yang diadsorpsi pada $P/P_0 \approx 1$

Untuk menentukan ukuran pori, BET mengasumsikan bentuk pori silinder, sehingga terdapat hubungan sebagai berikut:

$$\check{r} = \frac{2V_p}{S_{BET}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

\check{r} : jari-jari pori

V_p : volume pori-pori

S_{BET} : luas permukaan spesifik.

2.6 Penentuan Distribusi Ukuran Pori dengan Metode POD (Lowell and Shields, 1984)

Metode POD digunakan untuk menentukan distribusi ukuran pori, yang ditemukan oleh Pierce dan dimodifikasi oleh Orr dan Dalla Valle (POD). Metode ini didasarkan pada persamaan Kelvin yang ditulis sebagai berikut :

$$r_k = \frac{4,15}{\log(P_0 / P)} (\text{\AA}) \dots\dots\dots (2.10)$$

r_k disebut jari-jari Kelvin atau jari-jari kritis. Jika tebal lapisan adsorpsi pada kondensasi atau evaporasi disebut t , maka jari-jari pori nyata r_p dinyatakan sebagai :

$$r_p = r_k + t \dots\dots\dots (2.11)$$

Metode ini mengasumsikan bahwa tebal film teradsorpsi dalam pori adalah sama dengan pada bidang permukaannya pada berbagai nilai tekanan relatif, maka dapat ditulis :

$$t = \left(\frac{W_a}{W_m} \right) \tau \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

W_a : berat adsorben pada tekanan relatif tertentu

W_m : bobot yang terkait dengan monolayer BET

τ : 3.54 \AA.

Kurva yang umum digambarkan oleh persamaan Halsey, dimana untuk nitrogen ditulis sebagai berikut :

$$t = 3,54 \left(\frac{5}{2,303 \log P_0 / P} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (2.13)$$

ΔV_{liq} adalah volume cairan yang bersesuaian dengan ΔV_{gas} . Cara langsung untuk mengubah ΔV_{gas} menjadi ΔV_{liq} adalah dengan menghitung mol gas, dan dikalikan dengan volume molar cairan. Pada nitrogen pada temperatur dan tekanan standar dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta V_{liq} = \frac{\Delta V_{gas}}{22,4 \times 10^3} \times 34,6 = \Delta V_{gas} (1,54 \times 10^{-3}) \text{ cm}^3 \dots\dots (2.14)$$

ΔV_{liq} dapat ditulis sebagai :

$$\Delta V_{liq} = \pi \bar{r}_k^2 l \dots\dots\dots (2.15)$$

dan jika :

$$V_p = \pi \bar{r}_p^2 l \dots\dots\dots (2.16)$$

l adalah panjang pori, dengan menggabungkan kedua persamaan diperoleh :

$$V_p = \left(\frac{r_p}{r_k} \right)^2 [\Delta V_{liq}] \text{ cm}^3 \dots\dots\dots (2.17)$$

Luas permukaan dinding pori (S) dapat dihitung melalui :

$$S = \frac{2V_p}{r_p} \times 10^4 (\text{m}^2) \dots\dots\dots (2.18)$$

2.7 Identifikasi Gugus Fungsional Dengan Spektrofotometri Inframerah

Metode spektrofotometer inframerah digunakan sebagai teknik untuk analisis kimia dan penentuan struktur. Didasarkan pada prinsip vibrasi molekul yang terjadi di daerah inframerah dari spektrum elektromagnetik dan gugus fungsi mempunyai ciri frekuensi yang khas. Pada spektrofotometer IR (Infrared) terdapat sumber cahaya IR, yang meliputi seluruh kisaran frekuensi yang dibelah menjadi berkas dengan intensitas yang sama. Salah satu berkas dilewatkan pada cuplikan, sedangkan berkas yang lain digunakan sebagai rujukan, lalu keduanya dibandingkan. Spektrum memperlihatkan puncak-puncak serapan, yang diplotkan terhadap panjang gelombang atau frekuensi (John Daintith, 1994).

Daerah radiasi spektroskopi inframerah berkisar pada bilangan gelombang 12800 – 10 cm⁻¹ atau panjang gelombang 0,78 – 1000 x 10⁻³ nm. Dalam daerah radiasi inframerah, energinya terbatas pada energi tingkat molekul. Untuk tingkat molekul, perbedaan energi dalam keadaan vibrasi dan rotasi digunakan untuk mengabsorpsi sinar inframerah (Khopkar, 1990).

Serapan setiap tipe ikatan (N-H, C-H, O-H, C-X, C=O, dan sebagainya) hanya diperoleh dalam bagian-bagian kecil tertentu dari daerah vibrasi inframerah. Serapan dalam kisaran 3000 ± 150 cm⁻¹ hampir selalu disebabkan adanya ikatan C-H dalam molekul. Serapan dalam kisaran 1700 ± 100 cm⁻¹ biasanya disebabkan adanya ikatan C=O (Sastrohamidjojo, 1992).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan (April – Oktober 2006). Sintesis karbon mesopori dari limbah lumpur industri tekstil di Laboratorium Kimia Anorganik dan Kimia Fisik Jurusan Kimia Universitas Brawijaya. Karakterisasi dengan *surface area analyzer* dilakukan di BATAN Yogyakarta, dan spektrofotometer inframerah di Jurusan Kimia Universitas Brawijaya.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah lumpur industri tekstil, larutan natrium silikat teknis ($\text{SiO}_2 = 24\%$ b/b, $\text{Na}_2\text{O} = 7,5\%$ b/b, $\text{bj} = 1,8519\text{ g/mL}$), larutan HF 48 % v/v teknis, gas N_2 teknis dan akuades, asam sulfat pekat (96 %, $\text{bj} = 1,84\text{ g/mL}$).

3.2.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, gelas ukur plastik, seperangkat alat gelas, cawan penguap besar, wadah aluminium, mortar penumbuk, ayakan 120, 150, 250 dan 300 mesh, pengaduk elektrik, hot plate, oven, corong buchner, spektrofotometer IR (merk FTIR-8400s SHIMADZU), *Surface Area Analyzer* (NOVA-1000), dan seperangkat alat karbonisasi.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur sebagai berikut :

Temperatur karbonisasi : 400, 500, 600, 700 °C

Setiap produk dikarakterisasi dengan *surface area analyzer* untuk menentukan porositas dan luas permukaannya. Kondisi optimum sintesis didasarkan pada keseragaman ukuran pori tertinggi dan luas permukaan terbesar. Karakterisasi struktur kristal grafit dengan

larutan H_2SO_4 , karakterisasi gugus fungsi permukaan karbon dengan spektrofotometer inframerah.

3.4 Tahapan/Cara Kerja Penelitian

3.4.1 Preparasi Limbah tekstil

Limbah lumpur sebanyak 500 g dijemur di bawah sinar matahari sampai agak kering, kemudian lumpur dimasukkan pada wadah aluminium dan dievaporasi pada temperatur $100\text{ }^{\circ}C$ selama 2 jam. Setelah itu didinginkan dan dihaluskan dengan mortar sehingga didapatkan lumpur kering dalam bentuk serbuk. Lumpur kering diayak dengan ayakan 120 mesh dan padatan yang lolos diayak lagi dengan ayakan 150, diambil yang tertahan pada ayakan 150 mesh.

3.4.2 Sintesis Karbon Mesopori

Prosedur sintesis mengacu pada penelitian Setianingsih dan Hasanah (2004). Sintesis diawali dengan membuat campuran antara hasil preparasi 3.4.1 sebanyak 50 g dengan larutan natrium silikat pekat ($SiO_2 = 24\%$ dan $Na_2O = 7,5\%$) sebanyak 50 mL dalam gelas ukur plastik 500 mL. Campuran dihomogenasi dan selanjutnya dievaporasi pada temperatur $80\text{ }^{\circ}C$ selama 12 jam dan dikarbonisasi pada temperatur $400\text{ }^{\circ}C$ dengan aliran gas N_2 (kecepatan alir 8 mL/menit) selama 3 jam terhitung sejak dicapai temperatur tersebut. Produk mesofasa yang dihasilkan dimasukkan ke dalam gelas ukur plastik dan direndam dengan larutan HF 48 % untuk menghilangkan silika (selama 2 hari dan setiap harinya melibatkan pengadukan selama 5 jam). Selanjutnya dilakukan penyaringan dan padatan yang diperoleh dicuci kembali dengan akuades sampai pH pencuci sama dengan pH akuades. Padatan karbon mesopori yang diperoleh dikeringkan pada $100\text{ }^{\circ}C$ selama 2 jam. Setelah itu padatan diayak dengan ayakan 250 mesh dan padatan yang lolos diayak lagi dengan ayakan 300 mesh, diambil yang tertahan. Prosedur ini dilakukan 2 kali dan produk yang diperoleh dicampur, dihomogenasi, selanjutnya dikarakterisasi.

Untuk kajian pengaruh temperatur karbonisasi dilakukan prosedur yang sama pada berbagai temperatur karbonisasi 400, 500, 600, 700 $^{\circ}C$.

3.4.3 Karakterisasi

3.4.3.1. Uji Luas Permukaan dan Karakter Pori Karbon Mesopori

Semua karbon mesopori hasil sintesis digunakan untuk penentuan luas permukaan, volume pori dan diameter pori dengan *surface area analyzer*. Penentuan ini didasarkan pada pengukuran adsorpsi gas nitrogen yang kemudian diolah dengan metode BET dan POD .

Karbon mesopori hasil sintesis sebelum dikarakterisasi dengan *Surface Area Analyzer* terlebih dahulu ditimbang kemudian dipanaskan pada suhu 110 °C dan selanjutnya ditempatkan dalam desikator sampai diperoleh berat konstan. Sampel kemudian *didegassing* dengan menggunakan gas N₂ pada kecepatan alir 40 mBar/menit pada suhu 150 °C selama 1 jam. Selanjutnya dikarakterisasi dengan *Surface Area Analyzer*, sebelum dilakukan karakterisasi kondisi pengukuran harus divakumkan terlebih dahulu dengan menurunkan tekanan mendekati angka nol.

3.4.3.2. Identifikasi Gugus Fungsi Permukaan Karbon Mesopori

Karbon mesopori yang disintesis pada kondisi optimum digunakan untuk interpretasi gugus fungsi dengan spektrofotometer inframerah. Spektra yang dihasilkan diidentifikasi berdasarkan informasi gugus fungsi pada literatur.

Identifikasi gugus fungsi karbon mesopori hasil sintesis dilakukan dengan preparasi sampel pelet KBr. Pada pembuatan pelet KBr, sampel harus dihaluskan terlebih dahulu kemudian ditambah serbuk KBr dan digerus agar campuran homogen. Campuran ditempatkan pada permukaan plat baja dan dijepit diantara kedua plat tersebut sambil diberi tekanan dengan pompa hidrolik selama 15 menit agar terbentuk lapisan tipis yang memiliki ketebalan 0,01 mm. Kemudian dilakukan identifikasi spektra pada daerah bilangan gelombang 400 – 4000 cm⁻¹.

3.4.3.3. Uji Kualitatif Struktur Kristal Grafit Karbon Mesopori (Arianto, 2005)

Karbon mesopori yang disintesis pada kondisi optimum digunakan untuk identifikasi struktur grafit dengan larutan asam

sulfat. Uji struktur grafit menunjukkan hasil positif jika memberikan warna biru setelah ditambahkan larutan asam sulfat dan ab sorbansi di daerah sinar tampak.

Uji struktur grafit karbon mesopori hasil sintesis dilakukan dengan menimbang 0,1 g karbon mesopori hasil sintesis dan ditambah 1 mL larutan H_2SO_4 pekat, selanjutnya dipanaskan dan ditambah akuades hingga 15 mL. Setelah sampel didinginkan dan disaring, filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan spektrofotometer Vis pada panjang gelombang 400 – 600 nm.

3.5. Analisa Data

Analisa data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Data karakterisasi dengan metode BET dan POD dibandingkan satu sama lain berdasarkan kajian yang diteliti.
2. Data spektra dari spektrofotometer inframerah yang dihasilkan diidentifikasi berdasarkan gugus fungsi pada literatur.
3. Data karakterisasi struktur grafit dengan asam sulfat dipaparkan berdasarkan hasil yang diperoleh



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

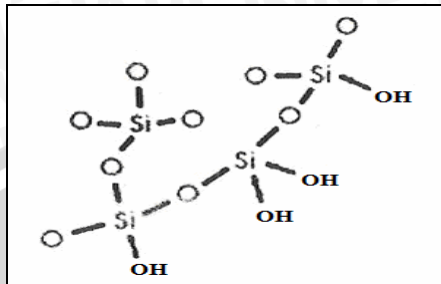
Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis karbon mesopori dari limbah lumpur industri tekstil dengan mengkaji pengaruh temperatur karbonisasi untuk mengetahui sejauh mana pengaruh temperatur karbonisasi dan untuk mendapatkan kondisi optimum sintesis. Pada kondisi optimum sintesis dilakukan karakterisasi gugus fungsi permukaan karbon dengan spektrofotometri infra merah. Karakterisasi struktur grafit dengan larutan asam sulfat tidak terbentuk filtrat berwarna biru, dan ketika filtrat diukur dengan spektrofotometer Vis tidak memberikan absorbansi di daerah sinar tampak. Hal ini menunjukkan bahwa karbon yang terbentuk bukan grafit, karena menurut West (1984), grafit bereaksi dengan larutan asam sulfat membentuk larutan berwarna biru akibat proses oksidasi sebagai berikut :



Berdasarkan penelitian Darmstadt, *dkk* (2003) diketahui bahwa struktur grafit mulai terbentuk pada temperatur 900 °C, sehingga karbon mesopori hasil sintesis ini merupakan karbon amorf (bukan kristal).

Proses sintesis dilakukan dengan mencampur prekursor karbon dan *template* yang ditambahkan dalam bentuk larutan. Ketika berlangsung proses homogenisasi larutan natrium silikat dan lumpur kering, maka partikel-partikel padatan lumpur kering terdistribusi secara merata di antara larutan natrium silikat yang sangat kental.

Ketika proses evaporasi pada 80 °C, terjadi penguapan sebagian besar H₂O yang ada dipermukaan silikat meninggalkan partikel padatan lumpur yang terdistribusi pada polimer silikat padat yang disebut silika gel (SiO₂. nH₂O).

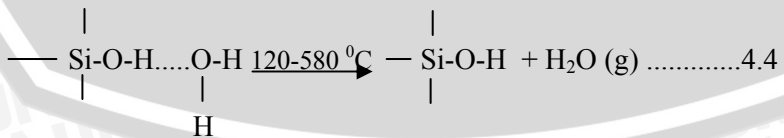


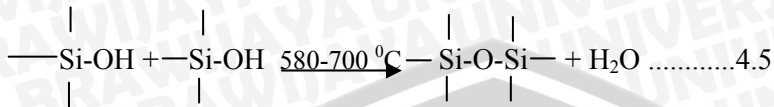
Gambar 4.1 Gambar struktur permukaan silika gel
(Anonymous, 2005)

Larutan natrium silikat dengan pH 11 dan pH limbah padat basah adalah 10,5. Sistem campuran lumpur – larutan natrium silikat tersebut dalam kondisi basa. Reaksi kondensasi silikat pada pH tinggi melibatkan serangan gugus silanol terdeprotonasi pada monomer netral (gugus silanol) sebagai berikut:

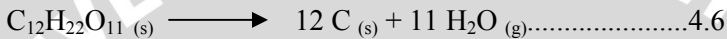


Ketika proses karbonisasi selain terjadi penguapan hidrat yang masih tersisa juga terjadi penyempurnaan polimerisasi pada silikagel yang banyak mengandung gugus silanol (Si-OH), yaitu menjadi silika (SiO₂) yang lebih rapat sebagai cetakan rongga mesopori. Hal ini sesuai dengan pernyataan Nuryono dan Narsito (2005) bahwa pada temperatur 120 – 580 °C terjadi proses dehidrasi natrium silikat yaitu pelepasan molekul H₂O yang terikat pada silanol. Sedangkan di atas 580-700 °C terjadi kondensasi gugus silanol pada silika gel membentuk polimer silika sebagai berikut :

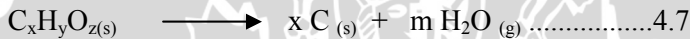




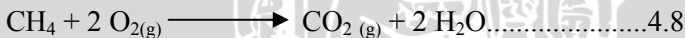
Pada saat proses karbonisasi bahan organik dalam lumpur mengalami pirolisis membentuk polimer karbon (seperti pada Gambar 2.1) yang di akhir karbonisasi menjadi dinding rongga mesopori. Kandungan bahan organik yang terdapat dalam lumpur tidak diketahui secara pasti, dengan menganalogkan reaksi pada gula sebagai berikut (King, dkk, 1977):



maka secara umum pembentukan polimer karbon dapat ditunjukkan dengan reaksi sebagai berikut :



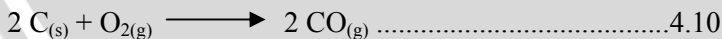
Gas nitrogen yang dialirkan selama proses karbonisasi dimaksudkan untuk mengoptimalkan pembentukan polimer karbon dan mencegah reaksi bahan organik dengan oksigen dari udara menjadi CO₂ dan H₂O. Dengan menganalogkan reaksi pada metana sebagai berikut (Anonymous, 2007) :



maka untuk limbah padat berlaku reaksi sebagai berikut :



Gas nitrogen juga mencegah oksidasi karbon dengan oksigen menghasilkan gas karbon monoksida dengan reaksi sebagai berikut (Sharpe, 1986) :



Ketika proses pencucian dengan larutan HF 48 %, silika akan larut dalam larutan pencuci dan lepas dari senyawa karbon sehingga diperoleh karbon berpori. Menurut King dkk (1977), silika bereaksi dengan HF membentuk gas SiF₄ sebagai berikut:



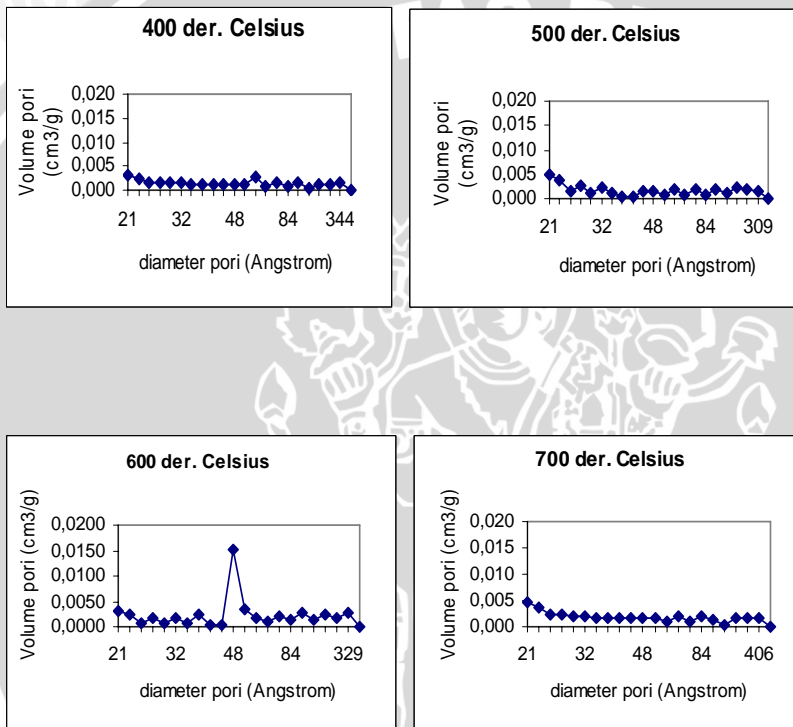
Pengadukan selama pencucian dan pengeraman dalam waktu yang cukup lama dimaksudkan agar proses reaksi antara silika dan HF berjalan optimal, sehingga produk karbon yang dihasilkan benar-benar bebas dari silika. Untuk mengetahui apakah karbon mesopori yang diperoleh bebas dari silika adalah dilihat secara visual tidak ada warna putih pada karbon dan dengan pengukuran menggunakan spektrofotometer infra merah menunjukkan hilangnya pita-pita karakteristik silika.

4.1 Pengaruh Temperatur Karbonisasi

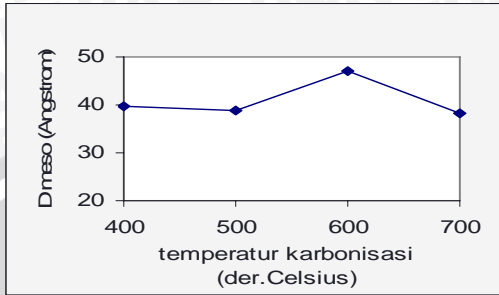
Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis pada berbagai temperatur karbonisasi agar dapat diketahui pengaruh dan kondisi optimum sintesis karbon mesopori. Karakteristik karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur terdapat pada Tabel 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 hasil olah data pada Lampiran 3 dan 4.

Tabel 4.1 Data karakter karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur

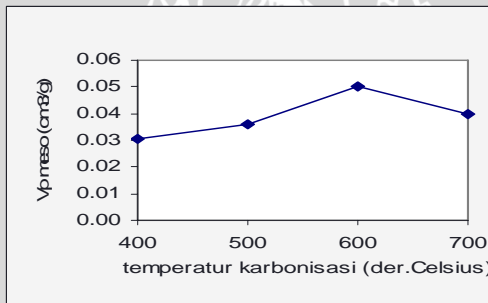
Karakter	Satuan	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C
V _p (meso)	cm ³ /g	0,031	0,036	0,050	0,040
S _{meso}	m ² /g	30,929	37,244	42,770	41,675
r _{meso}	Å	19,844	19,338	23,518	19,305
D _{meso}	Å	39,687	38,677	47,037	38,305



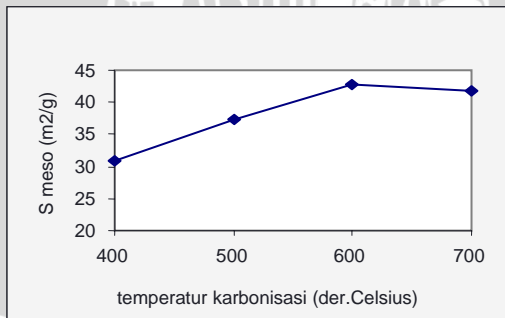
Gambar 4.2 Distribusi ukuran pori karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur karbonisasi



Gambar 4.3. Karakteristik diameter rata-rata pori (D) karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur karbonisasi



Gambar 4.4. Karakteristik volume pori karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur karbonisasi



Gambar 4.5. Karakteristik luas permukaan karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur karbonisasi

Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat bahwa distribusi ukuran pori pada temperatur karbonisasi 400 °C relatif merata di berbagai diameter yang tidak menunjukkan adanya ukuran pori yang dominan pada diameter pori tertentu, sehingga keseragaman ukuran pori rendah. Pada temperatur karbonisasi 500 °C juga tidak menunjukkan ukuran pori yang dominan pada diameter tertentu, sedangkan pada temperatur karbonisasi 600 °C terjadi peningkatan jumlah pori pada diameter 47,73 Å . Hal ini ditunjukkan dengan adanya puncak yang tinggi pada diameter pori 47,73 Å sehingga keseragaman pori tinggi.. Pada temperatur karbonisasi 700 °C distribusi ukuran pori kembali merata di berbagai diameter sehingga keseragaman pori menurun yang ditunjukkan dengan hilangnya puncak yang mendominasi pada diameter 47,73 Å.

Adanya puncak tinggi pada diameter pori tertentu (Gambar 4.2) dan didukung oleh data diameter rata-rata pori karbon pada Gambar 4.3 menunjukkan adanya keseragaman pori. Hal ini berarti terjadi pembentukan pori yang cukup banyak pada diameter tersebut. Pembentukan pori yang cukup banyak mengakibatkan ruang pori cukup besar sehingga volume pori (Gambar 4.4) dan luas permukaan karbon besar (Gambar 4.5). Pembentukan pori efektif pada temperatur karbonisasi 600 °C diperkirakan karena polimerisasi silika dan polimerisasi karbon semakin sempurna. Ditinjau dari proses polimerisasi karbon makin tinggi temperatur makin sempurna polimerisasi karbon dan semakin berkurangnya sisa hidrokarbon. Berkurangnya sisa hidrokarbon dalam rongga pori mengakibatkan rongga pori lebih terbuka sehingga volume pori lebih besar. Selain itu berkurangnya sisa hidrokarbon yang menempati permukaan karbon mengakibatkan luas permukaan internal menjadi lebih besar.

Polimerisasi silika yang makin sempurna menunjukkan bahwa pembentukan cetakan pori semakin rigid (kaku) sehingga pembentukan cetakan lebih stabil atau tidak mudah berubah ukuran mesopori yang sudah terbentuk. Hal ini berhubungan dengan kondensasi antara gugus silanol dengan gugus silanol pada silika gel yang terjadi pada temperatur > 580 °C (persamaan 4.5). Kondensasi tersebut yang telah mengakibatkan cetakan mesopori lebih rigid dan rapat sekaligus menata ulang menjadi ukuran cetakan lebih besar. Kerigidan cetakan diduga menyokong terjadinya keseragaman pori. Selain itu diperkirakan laju polimerisasi silika dan polimerisasi karbon semakin seiring. Menurut Han *dkk* (2003) jika laju

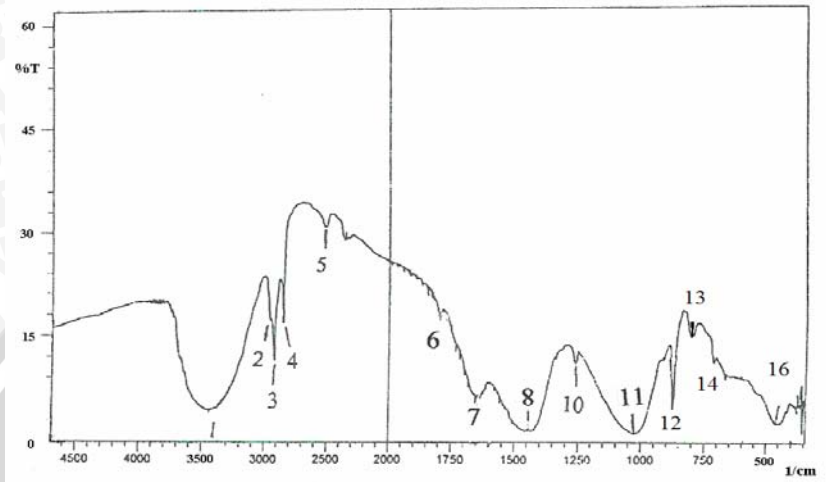
polimerisasi silika lebih cepat dari laju polimerisasi karbon maka cetakan pori yang terbentuk akan semakin besar atau tebal sehingga dinding pori karbon yang terbentuk semakin tipis dan pada saat pencucian dengan HF maka dinding pori akan runtuh. Jika laju polimerisasi karbon lebih cepat dari laju polimerisasi silika maka akan berpengaruh pada keseragaman pori dan dapat membentuk mikropori.

Semakin hilangnya puncak-puncak pada pola distribusi ukuran pori (Gambar 4.2) dan penurunan kurva diameter rata-rata pori pada Gambar 4.5 dari temperatur 600 °C ke 700 °C diperkirakan terjadi pemutusan ikatan karbon-karbon. Semakin tinggi temperatur berpotensi merusak polimer karbon dan pada saat pencucian dengan HF diperkirakan dinding karbon runtuh, sehingga diameter rata-rata mesopori semakin menurun. Kerusakan polimer karbon diperkirakan telah menyebabkan penggabungan beberapa cetakan yang berakibat menurunnya keseragaman pori, sehingga terjadi hilangnya puncak (Gambar 4.2) pada distribusi ukuran pori dan menurunnya diameter pori, volume pori serta luas permukaan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3, Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.

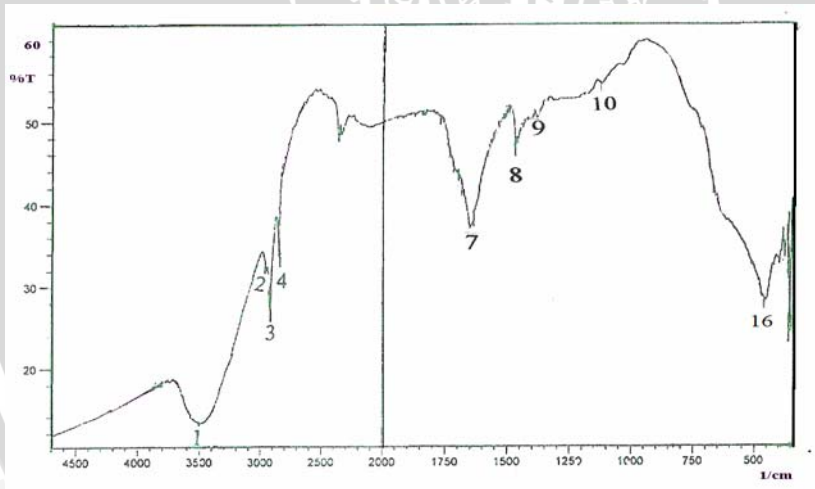
Kajian temperatur karbonisasi ini menunjukkan bahwa pada temperatur karbonisasi 600 °C memberikan karakter mesopori terbaik yang meliputi : luas permukaan mesopori 42,770 m²/g, volume mesopori 0,050 cm³/g, diameter rata-rata mesopori 47,04 Å dan keseragaman pori dicapai pada diameter 48 Å. Luas permukaan yang masih rendah karena masih banyak terdapat hidrokarbon dan logam impuritis.

4.2 Karakterisasi Gugus Fungsi Permukaan Karbon Mesopori

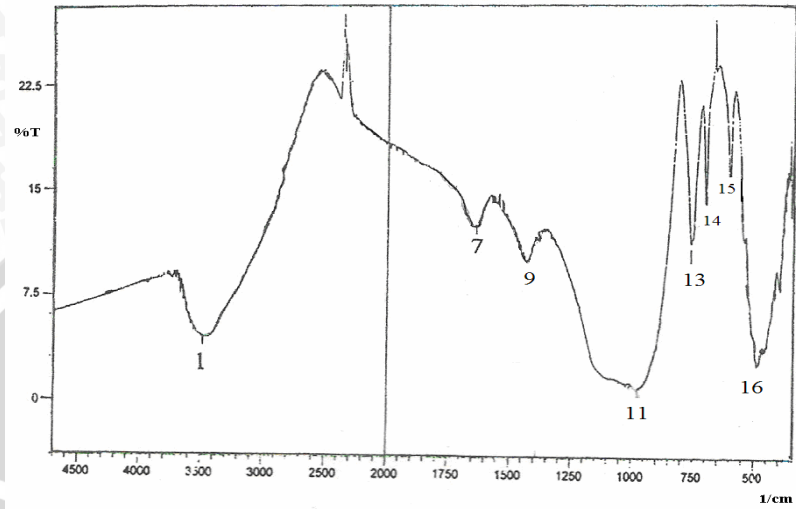
Pada penelitian ini karbon mesopori telah dilakukan karakterisasi dengan spektrofotometri infra merah untuk mengetahui masih ada atau tidaknya sisa natrium silikat, apakah polimerisasi telah sempurna yang diketahui dari adanya sisa hidrokarbon pada karbon mesopori hasil sintesis. Data pengukuran dengan spektrofotometri infra merah terdapat dalam Tabel 4.2 Gambar 4.6, Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4.6. Spektra infra merah lumpur kering



Gambar 4.7 Spektra infra merah karbon mesopori hasil sintesis pada kondisi optimum (temperatur karbonisasi 600 °C)



Gambar 4.8 Spektra infra merah natrium silikat hasil pengeringan pada temperatur 600 °C

Tabel 4.2 Data Spektra Inframerah

No. pita	Lumpur kering		C-mesop.		Natsil (v)	Data referensi * pembeding	
	v	A	N	A		v	Ket.
1	3500,00 (k, lb)	0,762	3500,00 (k, lb)	0,284	3500,0 (k, lb)	3200-3500 (s)	Ulur OH ikatan H pada alkohol, fenol, as.karboksilat
2	2957,10 (l)	0,331	2954,74 (l)	0,118	-	2950 (k)	Ulur C-H dari as. CH ₃
3	2918,00 (k)	0,438	2919,06 (k)	0,212	-	2920 (k)	Ulur C-H dari as.CH ₂
4	2849,62 (k)	0,288	2849,63 (k)	0,265	-	2850(k)	Ulur C-H dari sim. CH ₂
5	2512,11 (s)	0,036	-	-	-	2400-3400 (s)	OH asam karboksilat
6	1800,00(l)	1,918	-	-	-	1800	klorida
7	1650,00 (k,lb)	0,477	1650,00 (k,lb)	0,139	1650,0	1640-1690	C=N
						1650 - 1740	C=O as. karboksilat
						1600 - 1680(s-l)	C=C alkena
8	1450,00 (k, lb)	1,041	1450,00 (l, lb)	0,035	-	1450-1600 (s)	Ulur C=C aromatik
						1395-1440	δ OH as karboksilat
						1430-1470 (l)	Tekuk as. CH ₃ dan CH ₂ pada alkana
9	-		1375	0,301	1375,0	1375	SiO ⁻ - Na Na ⁺ - H ₂ O
10	1261,00 (s)	0,117	1200,00 (l)	0,032	-	1160-1250	Rent asim S=O
						1250-1400	δ OH fenol dan alkohol
						1000-1300(s-k)	C-O as karboksilat , alkohol

Lanjutan.....

No. pita	Lumpur kering		C-mesop.		Natsil (v)	Data referensi * pembeding	
	v	A	v	A		v	Ket.
11	1025,0 (k, lb)	1,342	1025,0 0	0,015	1024,13 (k,lb)	1020	Ulur asim. T - O - T (T= Si, Al)
						1000-1200(k)	C-O alkohol dan fenol
						1000-1080	Rent sim S=O
12	872,73 (s)	0,602	-	-	-	690-900 (k)	Aromatik ulur bidang datar
13	801,37 (s)	0,054	-	-	764,72	600-800	klorida
						800-900	Ulur sim eksternal O-T-O (T = Si, Al)
14	712,65 (l)	0,135	-	-	700	650-800	Ulur sim Internal O-T-O (T = Si, Al)
15	-	-	-	-	610	500-650	Cincin ganda pada silika atau aluminio silikat
						600-630	Rentang C-S pada R- S
16	450,00 (k, lb)	0,523	450,00 (k, lb)	0,225	450	400-600	Tekuk dan <i>rocking</i> pada karboksilat

Keterangan : k = kuat, l = lemah, s = sedang, lb = lebar, sh = *shoulder*
* Sastrohamidjojo, 1992

Berdasarkan data pada Tabel 4.2 maupun pola spektra pada Gambar 4.6 diketahui bahwa lumpur kering yang dikarakterisasi juga mengandung puncak-puncak karakteristik untuk natrium silikat (Gambar 4.8) maupun aluminosilikat sebagaimana ditulis oleh Sastrohamidjojo (1992). Hal ini terkait dengan adanya kandungan tanah dalam lumpur yang merupakan senyawa aluminosilikat.

Pada spektra karbon mesopori (Gambar 4.7) tidak menunjukkan pita karakteristik untuk natrium silikat yang berarti dalam produk karbon tidak terdapat natrium silikat. Jika dibandingkan dengan pita-pita pada spektra lumpur (no.2-4) pada Gambar 4.6, terlihat juga bahwa karbon mesopori (Gambar 4.7) masih mengandung hidrokarbon. Hal ini menunjukkan bahwa proses karbonisasi belum berjalan 100 % sehingga membutuhkan aktivasi lebih lanjut. Selain itu dari pita no. 1, 5 dan 8 Gambar 4.7 diperkirakan ada gugus OH dari asam karboksilat. Pada pita no. 1 dan 10 menunjukkan adanya gugus OH dari fenol. Permukaan karbon mesopori hasil sintesis ini cenderung polar. Pada pita serapan no. 7 menunjukkan adanya gugus C=N dan C=O karboksilat, sedangkan pita no. 10 dan 11 menunjukkan adanya gugus S=O. Kandungan bahan organik dalam lumpur tidak diketahui secara pasti sehingga gugus C=N, S=O dan C=O karboksilat ini diperkirakan berasal dari zat warna tekstil yang digunakan dalam proses industri tekstil. Contoh-contoh struktur zat warna tekstil terdapat pada lampiran 4. Adanya gugus OH dan gugus C=O dari asam karboksilat menunjukkan adanya gugus permukaan karboksilat. Selain itu gugus S=O juga lebih dominan daripada gugus C=N sehingga menunjukkan adanya gugus permukaan sulfonat. Pada pita no. 13 yang berhubungan dengan adanya klorida diduga terkait dengan gugus reaktif zat warna monoklorotriazin, sedangkan pita no. 7 dan 11 diduga terkait dengan adanya gugus reaktif vinil sulfon zat warna reaktif yang belum terdegradasi.



BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dalam rentang temperatur 400-600 °C semakin tinggi temperatur semakin tinggi volume mesopori, luas permukaan spesifik mesopori dan diameter mesopori, sedangkan rentang temperatur 600-700 °C volume mesopori, luas permukaan spesifik mesopori dan diameter mesopori semakin menurun.
2. Temperatur optimum karbonisasi diperoleh pada temperatur 600 °C, dengan karakter karbon mesopori hasil sintesis sebagai berikut : luas permukaan mesopori 42,770 m²/g, volume mesopori 0,050 cm³/g, diameter rata-rata mesopori 47,037 Å, keseragaman pori pada diameter 48 Å, mempunyai gugus permukaan fenol, karboksilat, dan sulfonat, serta karbon mesopori bersifat amorf

5.2 Saran

Pada penelitian ini perlu dilakukan aktivasi pada produk karbon mesopori yaitu aktivasi termal untuk menghilangkan sisa hidrokarbon pada permukaan karbon mesopori. Selain itu juga diperlukan karakterisasi pada karbon mesopori dengan difraksi sinar-X untuk memastikan struktur kristal karbon.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim , 1996, Buku Panduan : **Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Tekstil**, BAPEDAL, Jakarta
- _____, 2007, **Lumpur**, <http://id.wikipedia.org/wiki/Lumpur>, tanggal akses : 7 Nopember 2007
- _____, 2007, **Pengolahan dan Pemanfaatan Limbah Tekstil**, <http://shantybio.transdigit.com/?Biology-Dasar> **Pengolahan Limbah:PENGOLAHAN DAN PEMANFAATAN LIMBAH TEKSTIL**, tanggal akses : 7 Nopember 2007
- _____,2007, **Pengujian Sifat Fisik Batu Bata yang dibuat dari Lumpur Aktif Pabrik Tekstil**, <http://abstraksi-ta.fti.itb.ac.id/?abstraksi=1&details=1&id=565&tahun=2004>, tanggal akses : 7 Nopember 2007
- Anonymous, 2007, **Carbon**, <http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon>, tanggal akses : 1 Januari 2007
- _____, 2007, **Carbonization**, <http://en.wikipedia.org/wiki/Carbonization>, tanggal akses : 5 Januari 2007
- _____, 2007, **Stoichiometry**, http://chem.ufl.edu/~itl/2045/lectures/lec_4.html#ans4_1, tanggal akses : 20 September 2007
- _____, 2005, **Separation Science**, <http://www.chromatography.amershambioscience.com/aptrix/upp00919.nsf/content/labsep-homepage>, diakses tanggal 30 Juni 2007
- _____, 2007, **Sludge**, <http://en.wikipedia.org/wiki/Sludge> tanggal akses : 28 Oktober 2007

Arianto, B., 2005, **Pengaruh Jumlah Template Natrium Silikat Terhadap Karakter Karbon Aktif Mesopori**, Tugas Akhir Sarjana Sains FMIPA UNIBRAW, Malang, halaman 19-22.

Austin, George T, 1984, **Industri Proses Kimia**, Alih bahasa : E. Jasjfi M.Sc, Erlangga, Jakarta

Daintith, Jhon, 1994, **Kamus Lengkap Kimia**, Alih Bahasa : Suminar Achmadi, Erlangga, Jakarta

Darmstadt, H., C. Roy. and S. Kaliaguine, 2004, **Morphology & Surface Chemistry of Mesoporous Carbon Molecular Sieves Studied by Low-pressure Nitrogen Adsorption & Surface Spectroscopy Methods**,[http:// www.geh.ulaval.ca/~darmstad/CMC.S.pdf](http://www.geh.ulaval.ca/~darmstad/CMC.S.pdf).

Darmstadt, H., C. Roy, and S., Kaliaguine, 2003, **Pore Structure and Graphitic Surface Nature of Ordered Mesoporous Carbons Probed by Low-Pressure Nitrogen Adsorption**, J. Micro & Meso.materials, 60, 139-149

H.A.M., Mulyono., 2006, **Kamus Kimia**, Bumi Aksara, Jakarta

Han, S., K. Sohn and T. Hyeon, 2000, **Fabrication of New Nanoporous Carbons through Silica Templates and Their to the Adsorption of Bulky Dyes**, Chem Mater., 12, 3337

Han, S., M. Kim, and T. Hyeon, 2003, **Direct Fabrication of Mesoporous Carbons Using In-Situ Polymerized Silica Gel Networks as a Template**, Carbon, 41, 1525-1532

Jankowska,H., A. Swiatkowski, and J.Choma, 1991, **Active Carbon**, Horwood, London, pp. 29-85

Joo,S.H. and R. Ryoo, 1999., **Synthesis Of Highly Ordered Carbon Molecular Sieves Via Template-Mediated Structural Transformation**, Physical Chemistry B., v.103,n.37, 7743

Joo,S.H. and R. Ryoo, 2000, **Characterization of Ordered Mesoporous Carbons Synthesized Using MCM-48 Silica as Templates**, J. Phys. Chem. B, 104, 7960-7968

Khopkar, S.M., 1990, **Konsep Dasar Kimia Analitik**, Penerjemah Saptorahardjo, Cetakan I, UI Press, Jakarta, hal 274,287

King, G. Brooks, William E. C., and Max B. William, 1977, **College Chemistry**, 7th ed., Van Nostrand Company, New York, pp. 507, 136

Lee, J., S. Yoon, T. Hyeon, Seung M.Oh, and K. B. Kim., 1999, **Synthesis of a new mesoporous carbon & Its application to Elektrochemical double-layer capasitors**, J. Chem Commun, 2177-2178

Lee, J., S. Han and T. Hyeon, 2004, **Synthesis of New Nanoporous Carbon Materials Using Nanostructured Silica Materials as Template**, J. Mater. Chem, 14, 478-486

Lowell and Shields, 1984, **Powder Surface Area and Porosity**, 2nd ed., Chapman and Hall, John Wiley and Sons, inc., London

Nuryono dan Narsito, 2005, **Pengaruh Konsentrasi Asam Terhadap Karakter Silika Gel Hasil Sintesis dari Natrium Silikat**, Indo, J. Chem, 5(1), 23-30

Parker, S. P, 1993, **Encyclopedia of Chemistry**, 2nd. Ed., Mc. Graw-Hill Inc, New York, pp. 16

Purwati, Sri., Yusup Setiawan, dan Yuniarti PK., 2006, **Pemanfaatan Limbah Lumpur Ipal Industri Tekstil Untuk Kompos Dan Pengaruhnya Terhadap Tanaman Dan Media Tanah**, Teknologi informasi BBPK Departemen perindustrian Republik Indonesia,
<http://www.bbpk.go.id/berita.php?bid=10&status=1&&jasa=Berita%20yang%20lalu&sc=3955c114363ec4ac49e68399c5b524f6>, tanggal akses : 1 Januari 2007

Sastrohamidjojo, H., 1991, **Spektroskopi**, Edisi Kedua, Penerbit Liberty, Yogyakarta

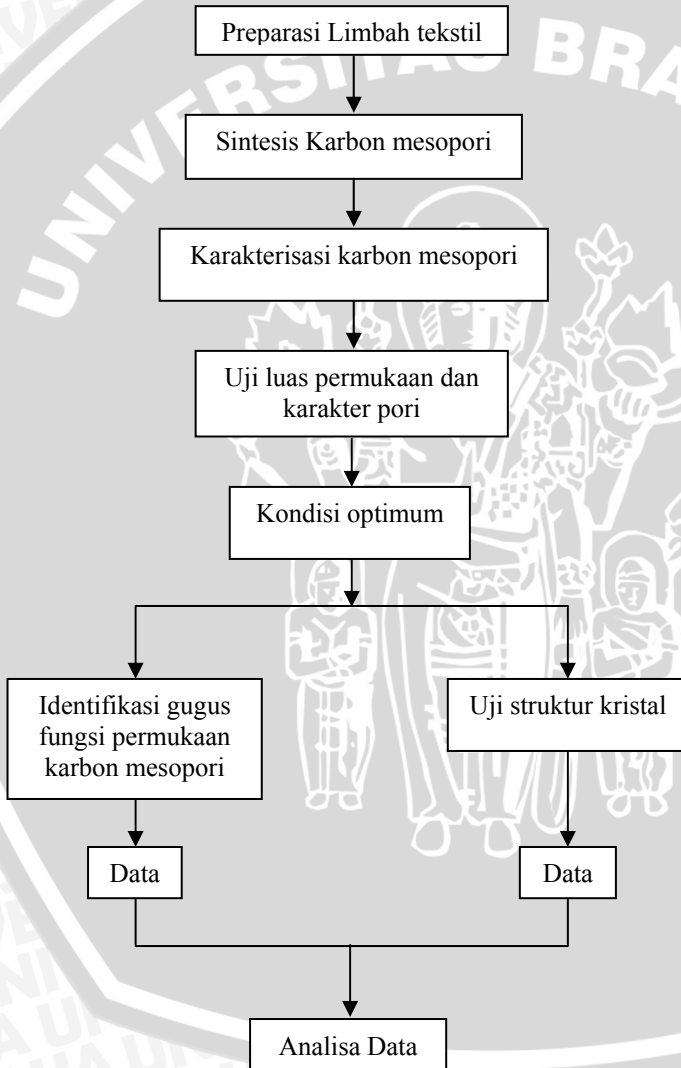
- Sastrohamidjojo, H., 1992, **Spektroskopi**, Edisi pertama, Liberty, Yogyakarta
- Setianingsih,T., dan U. Hasanah, 2004, **Sintesis Karbon Mesopori dengan Template Silikagel dan Natrium Silikat**, laporan penelitian DPP/SPP, FMIPA, UNIBRAW
- Setianingsih,T., dan U. Hasanah, 2005, **Sintesis Karbon Mesopori dengan Metode Polimerisasi Serentak**, laporan penelitian DPP/SPP, FMIPA, UNIBRAW
- Sharpe,A.G., 1986, **Inorganic Chemistry**, 2nd ed, Longman, Singapore, pp 307
- Tamai, H.M. Ikeuchi, H. S. Kajoma, and Yasuda, 1997, **Adv. Amter** **9**, <http://www.elsiver.com/locate/micromeso>.
- Tangkuman, Herling D.,2006, **Jagung Versus Jarak Pagar Aren danKelapa**,<http://www.hariankomentar.com/arsip/arsip2006/nov22/kOpin001.html> , tanggal akses : 1 Januari 2007
- West, S.R, 1984, **Solid state Chemistry and its Application**, John Wiley and Sons Ltd., Singapore, pp. 18-19, 163, 25-26

LAMPIRAN

Lampiran 1

DIAGRAM ALIR PENELITIAN

L.1.1 Tahapan Penelitian

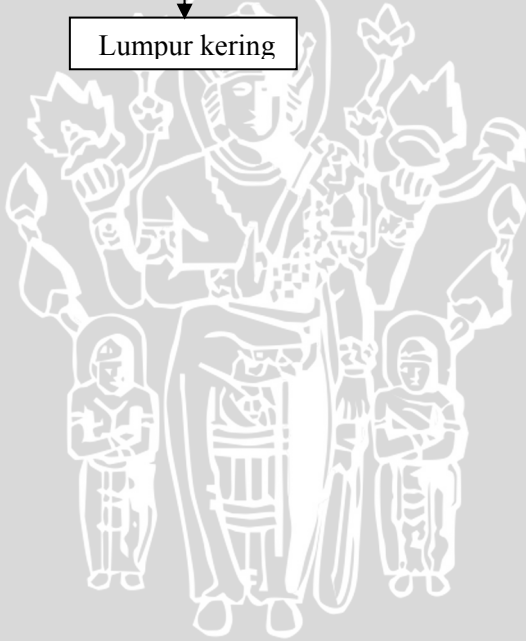


L.1.2 Preparasi Limbah Tekstil

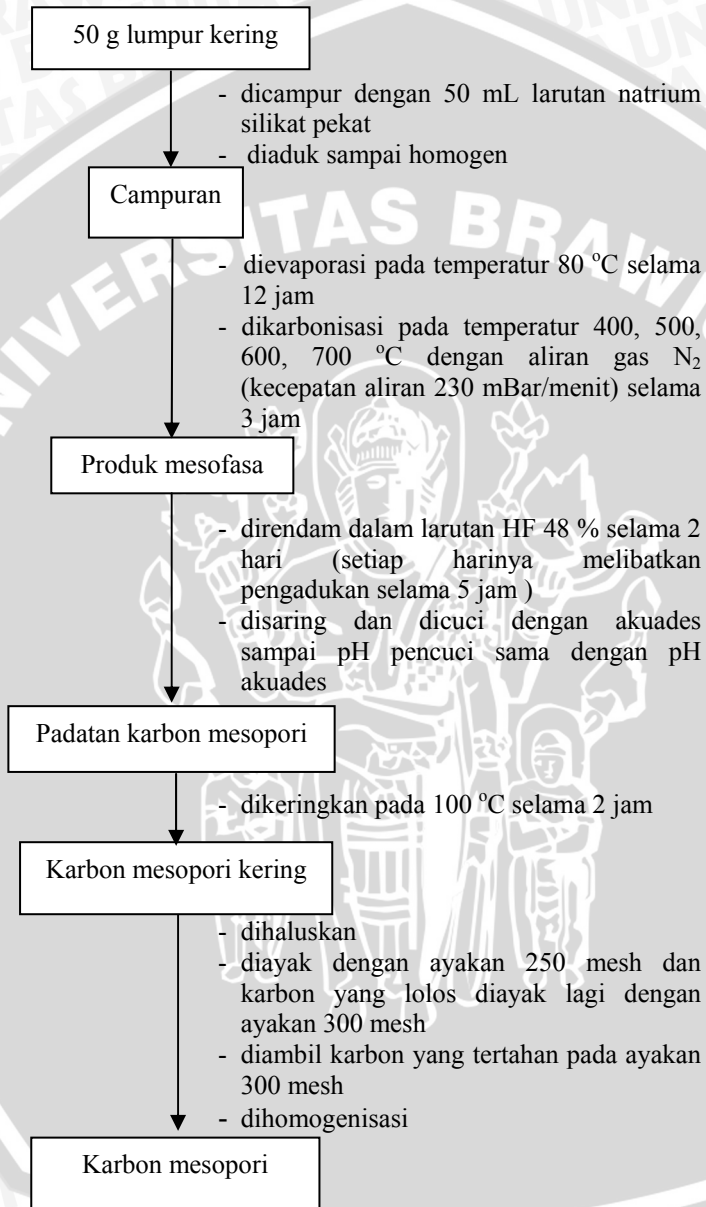
500 g Limbah lumpur

- diletakkan di bawah sinar matahari sampai agak kering
- dikeringkan di dalam oven dengan temperatur 100 °C selama 2 jam
- didinginkan
- dihaluskan dan diayak dengan ayakan 120 dan 150 Mesh

Lumpur kering



L.1.3 Sintesis Karbon Mesopori



LAMPIRAN 2

Perhitungan Luas Permukaan Mesopori, Volume Mesopori dan Diameter Mesopori Dengan Metode POD

Contoh perhitungan untuk larutan natrium silikat 50 mL, 400 °C

a. Perhitungan Jari-jari Kelvin

$$\begin{aligned}\log \frac{P_0}{P} &= \log \frac{1}{P/P_0} \\ &= \log \frac{1}{0,0509} \\ &= 1,2933 \\ r_k &= \frac{4,15}{\log P_0/P} \\ &= \frac{4,15}{1,2933} \\ &= 3,2089 \text{ \AA}\end{aligned}$$

$r_{k(\text{rata-rata})}$ diperoleh dari rata-rata r_k pada 2 baris yang berdekatan dalam kolom r_k pada Tabel 3.1

$$\begin{aligned}r_{k(\text{rata-rata})} &= \frac{r_{k1} + r_{k2}}{2} \\ &= \frac{3,2089 + 3,5702}{2} \\ &= 3,3895 \text{ \AA}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Jari-jari pori nyata

$$\begin{aligned}t &= 3,54 \left(\frac{5}{2,303 \log P/P_0} \right)^{1/3} \\ &= 3,54 \left(\frac{5}{2,303 \cdot 1,2933} \right)^{1/3} \\ &= 4,2037 \\ r_p &= r_k + t \\ &= 3,2089 + 4,2037\end{aligned}$$

$$= 7,4126 \text{ \AA}$$

$r_{p(\text{rata-rata})}$ diperoleh dari rata-rata r_p pada 2 baris yang berdekatan dalam kolom r_p pada Tabel 3.1

$$\begin{aligned} r_{p(\text{rata-rata})} &= \frac{r_{p1} + r_{p2}}{2} \\ &= \frac{7,9261 + 7,4126}{2} \\ &= 7,6693 \text{ \AA} \end{aligned}$$

c. Perhitungan Volume pori

ΔV_{gas} diperoleh dari selisih V_{gas} pada 2 baris yang berdekatan dalam kolom V_{gas} pada Tabel 3.1

$$\Delta V_{\text{gas}(n)} = V_{n+1} - V_n$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{gas}(1)} &= V_2 - V_1 \\ &= 2,8602 - 2,5401 \\ &= 0,3201 \text{ cm}^3 / \text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{liq}(1)} &= \Delta V_{\text{gas}(1)} \times 1,54 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3 / \text{g} \\ &= 0,3201 \times 1,54 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3 / \text{g} \\ &= 0,0005 \text{ cm}^3 / \text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_p &= \left(\frac{r_p}{r_k} \right)^2 (\Delta V_{\text{liq}}) \text{ cm}^3 / \text{g} \\ &= \left(\frac{7,6693}{3,3895} \right)^2 \times 0,0005 \\ &= 0,0025 \text{ cm}^3 / \text{g} \end{aligned}$$

$V_{p \text{ meso}}$ = total V_p pada tabel POD untuk $D \geq 20$

$$V_{p \text{ meso}} = 0,0307 \text{ cm}^3 / \text{g}$$

d. Perhitungan Luas Permukaan Mesopori

$$\begin{aligned} S &= \frac{2V_p}{r_p} \times 10^4 \\ &= \frac{2.0,0025}{7,6693} \times 10^4 \text{ m}^2 / \text{g} \\ &= 6,5814 \text{ m}^2 / \text{g} \end{aligned}$$

S_{meso} = total S pada tabel POD untuk $D \geq 20$

$$S_{\text{meso}} = 30,9298 \text{ m}^2/\text{g}$$

e. Perhitungan Diameter Mesopori

$$\begin{aligned} r_{\text{meso}} &= 2 \frac{V_{\text{meso}}}{S_{\text{meso}}} \\ r_{\text{meso}} &= 2 \frac{0,0307 \cdot 10^4 \text{ m}^3 / \text{g}}{30,9298 \text{ m}^2 / \text{g}} \\ &= 19,8514 \text{ \AA} \\ D_{\text{meso}} &= 2 \times r_{\text{meso}} \\ &= 2 \times 19,8514 \text{ \AA} \\ &= 39,7028 \text{ \AA} \end{aligned}$$



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Berdasarkan pengolahan data adsorpsi gas nitrogen untuk sampel hasil sintesis pada 500 °C, 600 °C dan 700 °C dengan metode POD maka diperoleh data luas permukaan spesifik, volume pori dan ukuran pori pada Tabel L.2.1

Tabel L.2.1 Data karakter karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur karbonisasi (metode POD)

Karakter	Satuan	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C
V_p (meso)	cm^3/g	0,0307	0,0360	0,0503	0,0399
S_{meso}	m^2/g	30,9298	37,2437	42,7702	41,6753
r_{meso}	A	19,8514	19,3383	23,5184	19,3048
d_{meso}	A	39,7028	38,6766	47,0367	38,3048



LAMPIRAN 3

Perhitungan Luas Permukaan Spesifik, Volume Pori Total dan Diameter Pori Rata-Rata Dengan Metode BET

Contoh perhitungan untuk larutan natrium silikat 50 mL, 400 °C

a. Perhitungan luas permukaan spesifik

Pada metode BET digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{1}{W_{ads} [(P_0 / P) - 1]} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C-1}{W_m C} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

p/po	V (ml/g)	V x bj	W	Po/p	1/(W(po/p-1))
0.0509	2.5401	0.0032	0.0006	19.6464	93.7916
0.0688	2.8602	0.0036	0.0006	14.5349	114.7514
0.1435	3.8736	0.0048	0.0009	6.9686	192.1405
0.1989	4.4583	0.0056	0.0010	5.0277	247.3932
0.2500	4.9456	0.0062	0.0011	4.0000	299.4117

P_0 : 749.32 mmHg

W_{sampel} : 0.1800 g

bj_{nitrogen} : $1,25 \times 10^{-3}$

P/P_0 : tekanan relatif

V_{gas} : volume gas N_2 yang teradsorpsi

W_{gas} : berat gas N_2 yang teradsorpsi ($V_{\text{gas}} \times \eta_{N_2}$)

$$\text{Jika } Y = \frac{1}{W_{ads} [(P_0 / P) - 1]} \text{ dan } X = P/P_0$$

Maka diperoleh persamaan garis lurus sebagai berikut :

$$Y = 1027.9673X + 43.0946$$

Sehingga diketahui :

$$\text{Slope, } s = 1027.9673$$

$$\text{Intersep, } i = 43.0946$$

$$r = 0.9999$$

Sehingga berat adsorbat pada monolayer jenuh dapat dihitung dengan cara :

$$W_m = \frac{1}{s + i} = \frac{1}{1027.9673 + 43.0946} = 0,0009 \text{ g}$$

Luas permukaan total padatan dihitung dengan cara :

$$S_t = \frac{W_m \times N \times A}{M}$$

Keterangan

N : bilangan Avogadro = $6,022 \cdot 10^{23}$

A : luas permukaan nitrogen cair = $16,2 \text{ \AA}^2$

M : berat molekul N_2 = 28 g/mol

$$S_t = \frac{0,0009 \text{ g} \times 6,022 \cdot 10^{23} / \text{mol} \times 16,2 \text{ \AA}^2 \times 10^{-20} \text{ m}^2 / \text{\AA}^2}{28 \text{ g/mol}}$$

$$= 3.2530 \text{ m}^2$$

Luas permukaan spesifik (S) diperoleh :

$$S = \frac{S_t}{W_s} = \frac{3.2530 \text{ m}^2}{0,1800 \text{ g}} = 18.0722 \text{ m}^2/\text{g}$$

b. Perhitungan volume pori

Diketahui $V_{\text{gas}} (P/P_o = 0.9894) = 14.0889 \text{ cm}^3/\text{g}$

Sehingga $V_{\text{liq}} = 14.0889 \text{ cm}^3/\text{g} \times 1,54 \times 10^{-3}$

$= 0.021697 \text{ cm}^3/\text{g}$

Volume pori = $V_{\text{liq}} = 0.021697 \text{ cm}^3/\text{g}$

c. Perhitungan jari pori rata-rata

$$\bar{r}_p = \frac{2 V_p}{S} = \frac{2 \times 0,021697 \text{ cm}^3 / \text{g} \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{cm}^3}{18.0722 \text{ m}^2 / \text{g}}$$

$$= 2.40114 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 24.0114 \text{ \AA}$$

$$D_p = 2 \times 24.0114 \text{ \AA} = 48.0228 \text{ \AA}$$

Berdasarkan pengolahan data adsorpsi gas nitrogen untuk sampel hasil sintesis pada 500 °C, 600 °C dan 700 °C dengan metode BET maka diperoleh data luas permukaan spesifik, volume pori dan ukuran pori pada Tabel L.3.2.

Tabel L.3.2 Data karakter karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai temperatur karbonisasi (metode BET)

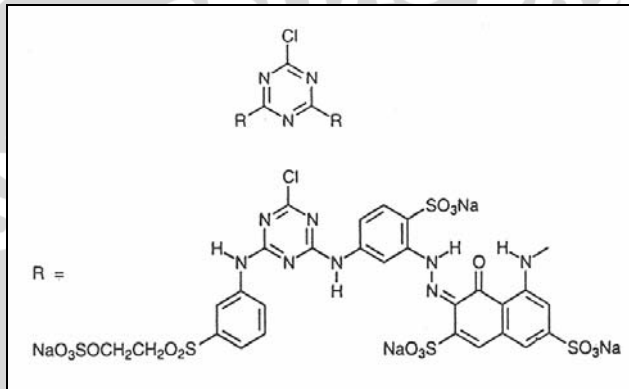
Karakter	Satuan	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C
V_p	cm ³ /g	0,0217	0,0288	0,0341	0,0309
S	m ² /g	18,0722	27,4794	22,1709	29,5463
r_p	Å	24,0114	20,9776	30,7803	20,9006
d_p	Å	48,0228	41,9552	61,5606	41,8013



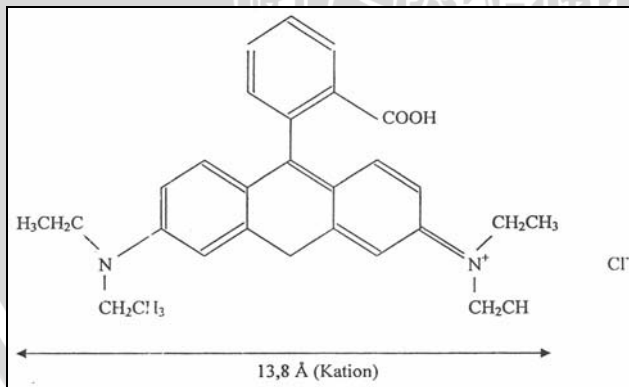
LAMPIRAN 4

CONTOH ZAT WARNA YANG DIGUNAKAN DALAM INDUSTRI TEKSTIL

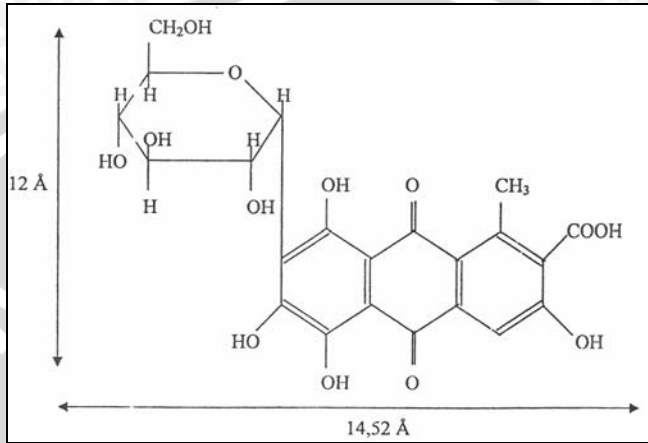
a. H-Acid red dye (50)



b. Rhodamine B

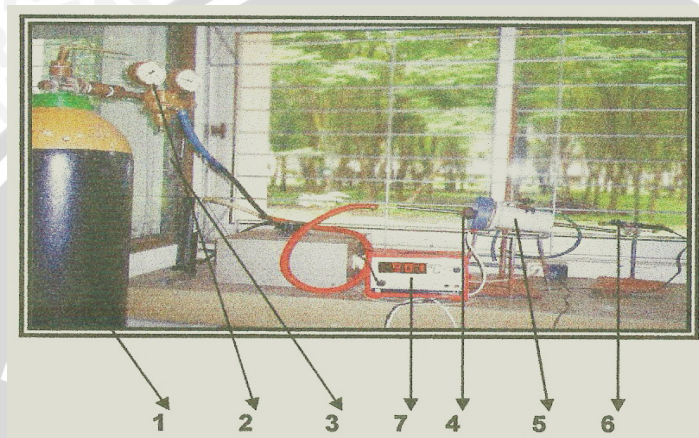


c. Carmine / asam karminat



LAMPIRAN 5

RANGKAIAN ALAT KARBONISASI



Keterangan :

1. Tabung gas nitrogen
2. Kran pembuka tabung
3. *Flow meter*
4. Tabung tempat sampel
5. *Electric furnace* (tungku karbonisasi)
6. Batang indikator suhu
7. *Digital thermometer*

Tabel L.2.1 PENGOLAHAN DATA ADSORPSI GAS NITROGEN DENGAN METODE POD
Larutan Natrium silikat 50 mL, 400 der.Celsius

p/po	po/p	v (mL/g)	logpo/p	r _k (Å)	(log po/p)1/3	t	ΔV gas(cm ³ /g)	ΔV liq(cm ³ /g)	r _p (Å)	r _p rata(Å)	r _k rata(Å)	V _p (cm ³ /g)	S(m ² /g)	D rata
0.0509	19.6464	2.5401	1.2933	3.2089	1.0895	4.2037	0.3201	0.0005	7.4126	7.6693	3.3895	0.0025	6.5814	
0.0688	14.5349	2.8602	1.1624	3.5702	1.0514	4.3559	1.0134	0.0016	7.9261	8.8481	4.2461	0.0068	15.3179	
0.1435	6.9686	3.8736	0.8431	4.9220	0.9447	4.8480	0.5847	0.0009	9.7700	10.4210	5.4195	0.0033	6.3895	20.8419
0.1989	5.0277	4.4583	0.7014	5.9170	0.8885	5.1549	0.4873	0.0008	11.0719	11.6944	6.4050	0.0025	4.2784	23.3889
0.2500	4.0000	4.9456	0.6021	6.8930	0.8444	5.4240	0.3707	0.0006	12.3170	12.8279	7.3009	0.0018	2.7478	25.6557
0.2895	3.4542	5.3163	0.5384	7.7087	0.8135	5.6300	0.3256	0.0005	13.3387	13.8475	8.1205	0.0015	2.1059	27.6949
0.3263	3.0647	5.6419	0.4864	8.5324	0.7864	5.8238	0.3241	0.0005	14.3562	14.9114	8.9875	0.0014	1.8428	29.8227
0.3635	2.7510	5.9660	0.4395	9.4426	0.7603	6.0239	0.3544	0.0005	15.4666	16.0747	9.9471	0.0014	1.7734	32.1493
0.4008	2.4950	6.3204	0.3971	10.4515	0.7350	6.2313	0.3282	0.0005	16.6828	17.3297	10.9942	0.0013	1.4493	34.6595
0.4368	2.2894	6.6486	0.3597	11.5368	0.7112	6.4399	0.3306	0.0005	17.9767	18.7238	12.1702	0.0012	1.2872	37.4477
0.4741	2.1093	6.9792	0.3241	12.8035	0.6869	6.6674	0.3351	0.0005	19.4709	20.3005	13.5140	0.0012	1.1473	40.6010
0.5108	1.9577	7.3143	0.2917	14.2246	0.6632	6.9055	0.3465	0.0005	21.1301	22.0743	15.0413	0.0011	1.0413	44.1485
0.5474	1.8268	7.6608	0.2617	15.8581	0.6396	7.1603	0.3759	0.0006	23.0185	24.1853	16.8777	0.0012	0.9830	48.3706
0.5863	1.7056	8.0367	0.2319	17.8972	0.6144	7.4549	0.3955	0.0006	25.3521	26.6843	19.0728	0.0012	0.8936	53.3686
0.6238	1.6031	8.4322	0.2050	20.2484	0.5896	7.7681	0.9045	0.0014	28.0164	29.5125	21.5810	0.0026	1.7653	59.0251
0.6590	1.5175	9.3367	0.1811	22.9137	0.5658	8.0950	0.3409	0.0005	31.0886	32.3410	24.1098	0.0009	0.5842	64.6821
0.6855	1.4588	9.6776	0.1640	25.3060	0.5474	8.3674	0.6028	0.0009	33.6734	36.7361	28.0826	0.0016	0.8648	73.4722
0.7337	1.3630	10.2804	0.1345	30.8593	0.5123	8.9395	0.3095	0.0005	39.7987	41.9170	32.7977	0.0008	0.3715	83.8340
0.7595	1.3167	10.5899	0.1195	34.7361	0.4925	9.2991	0.5904	0.0009	44.0353	49.0771	39.3947	0.0014	0.5750	98.1542
0.8050	1.2422	11.1803	0.0942	44.0533	0.4550	10.0657	0.1364	0.0002	54.1189	60.8618	50.3558	0.0003	0.1008	121.7236
0.8448	1.1837	11.0439	0.0732	56.6583	0.4184	10.9464	0.5439	0.0008	67.6047	77.6767	66.1755	0.0012	0.2971	155.3533
0.8814	1.1346	11.5878	0.0548	75.6927	0.3799	12.0559	0.6354	0.0010	87.7486	106.2859	93.4070	0.0013	0.2384	212.5718
0.9176	1.0898	12.2232	0.0373	111.1212	0.3343	13.7019	0.8437	0.0013	124.8232	172.0128	156.7942	0.0016	0.1818	344.0257
0.9539	1.0483	13.0669	0.0205	202.4672	0.2737	16.7353	1.0220	0.0016	219.2025	309.6012	549.5823	0.0001	0.0114	219.2025
0.9894	1.0107	14.0889	0.0046	896.6974	0.1666	27.4830						0.0307	30.9298	

Catatan : data P/Po dan V gas merupakan data pengukuran dengan *surface area analyzer*

Tabel L.2.2 PENGOLAHAN DATA ADSORPSI GAS NITROGEN DENGAN METODE POD
Larutan Natrium silikat 50 mL, 500 der.Celsius

p/po	po/p	v (mL/g)	logpo/p	r _k (Å)	(log po/p)1/3	t	ΔV gas(cm ² /g)	ΔV liq(cm ² /g)	r _p (Å)	r _p rata(Å)	r _k rata(Å)	V _p (cm ³ /g)	S(m ² /g)	D rata
0.0412	24.2718	4.0239	1.3851	2.9962	1.1147	4.1087	0.6009	0.0009	7.1049	7.4798	3.2578	0.0049	13.0432	
0.0662	15.1057	4.6248	1.1791	3.5195	1.0565	4.3352	1.5554	0.0024	7.8547	8.8394	4.2411	0.0104	23.5428	
0.1458	6.8587	6.1802	0.8362	4.9627	0.9421	4.8613	0.8753	0.0013	9.8240	10.4705	5.4574	0.0050	9.4778	20.9411
0.2008	4.9801	7.0555	0.6972	5.9521	0.8867	5.1650	0.7093	0.0011	11.1171	11.7422	6.4425	0.0036	6.1805	23.4844
0.2520	3.9683	7.7648	0.5986	6.9328	0.8428	5.4344	0.2795	0.0004	12.3673	12.7036	7.2008	0.0013	2.1091	25.4071
0.2782	3.5945	8.0443	0.5556	7.4688	0.8221	5.5710	0.5855	0.0009	13.0398	13.6923	7.9959	0.0026	3.8620	27.3845
0.3259	3.0684	8.6298	0.4869	8.5230	0.7867	5.8217	0.3080	0.0005	14.3447	14.7260	8.8350	0.0013	1.7897	29.4520
0.3518	2.8425	8.9378	0.4537	9.1169	0.7684	5.9604	0.5769	0.0009	15.1073	15.8729	9.7807	0.0023	2.9483	31.7457
0.3995	2.5031	9.5147	0.3985	10.4145	0.7359	6.2239	0.2928	0.0005	16.6384	17.1138	10.8126	0.0011	1.3201	34.2277
0.4264	2.3452	9.8075	0.3702	11.2107	0.7180	6.3786	0.1378	0.0002	17.5893	18.5153	11.9944	0.0005	0.5462	37.0305
0.4734	2.1124	9.6697	0.3248	12.7782	0.6874	6.6630	0.1063	0.0002	19.4412	20.0259	13.2781	0.0004	0.3719	40.0518
0.4998	2.0008	9.7760	0.3012	13.7780	0.6703	6.8325	0.4124	0.0006	20.6105	21.7676	14.7774	0.0014	1.2662	43.5353
0.5457	1.8325	10.1884	0.2630	15.7767	0.6407	7.1481	0.4532	0.0007	22.9248	24.1743	16.8685	0.0014	1.1859	48.3487
0.5874	1.7024	10.6416	0.2311	17.9602	0.6136	7.4637	0.3023	0.0005	25.4239	26.4196	18.8381	0.0009	0.6932	52.8392
0.6159	1.6236	10.9439	0.2105	19.7159	0.5949	7.6994	0.6105	0.0009	27.4153	29.3766	21.4622	0.0018	1.1992	58.7533
0.6625	1.5094	11.5544	0.1788	23.2085	0.5634	8.1295	0.3353	0.0005	31.3380	32.6424	24.3804	0.0009	0.5671	65.2848
0.6880	1.4535	11.8897	0.1624	25.5524	0.5456	8.3945	0.6887	0.0011	33.9468	36.9325	28.2603	0.0018	0.9809	73.8651
0.7345	1.3615	12.5784	0.1340	30.9683	0.5117	8.9500	0.3623	0.0006	39.9182	42.0676	32.9357	0.0009	0.4327	84.1353
0.7605	1.3149	12.9407	0.1189	34.9031	0.4917	9.3140	0.8425	0.0013	44.2171	49.5674	39.8495	0.0020	0.8100	99.1349
0.8079	1.2378	13.7832	0.0926	44.7959	0.4525	10.1219	0.4643	0.0007	54.9178	59.0467	48.6497	0.0011	0.3568	118.0933
0.8336	1.1996	14.2475	0.0790	52.5035	0.4292	10.6720	1.0514	0.0016	63.1755	75.0014	63.6607	0.0022	0.5993	150.0028
0.8801	1.1362	15.2989	0.0555	74.8179	0.3814	12.0093	0.9441	0.0015	86.8273	106.8690	93.9724	0.0019	0.3519	213.7380
0.9190	1.0881	16.2430	0.0367	113.1268	0.3323	13.7839	0.7261	0.0011	126.9107	154.3487	139.6232	0.0014	0.1771	308.6974
0.9441	1.0592	16.9691	0.0250	166.1196	0.2923	15.6671	1.7469	0.0027	181.7867	90.8934	523.0614	0.0001	0.0179	181.7867
0.9892	1.0109	18.7160	0.0047	880.0031	0.1677	27.3114						0.0360	37.2437	

Catatan : data P/Po dan V gas merupakan data pengukuran dengan *surface area analyzer*

Tabel L.2.3 PENGOLAHAN DATA ADSORPSI GAS NITROGEN DENGAN METODE POD
Larutan Natrium silikat 50 mL, 600 der.Celsius

p/po	po/p	v (mL/g)	logpo/p	r _s (Å)	(log po/p)1/3	t	ΔV gas(cm ³ /g)	ΔV liq(cm ³ /g)	r _p (Å)	r _p rata(Å)	r _k rata(Å)	V _p (cm ³ /g)	S(m ² /g)	D rata
0.0453	22.0751	4.0346	1.3439	3.0880	1.1035	4.1503	0.3354	0.0005	7.2383	7.5795	3.3272	0.0027	7.0730	
0.0686	14.5773	4.3700	1.1637	3.5663	1.0518	4.3543	1.0929	0.0017	7.9206	8.8911	4.2786	0.0073	16.3484	
0.1174	6.7843	5.4629	0.8315	4.9910	0.9403	4.8705	0.5544	0.0009	9.8615	10.5000	5.4798	0.0031	5.9708	21.0000
0.2017	4.9579	6.0173	0.6953	5.9687	0.8859	5.1698	0.4494	0.0007	11.1385	11.7554	6.4528	0.0023	3.9078	23.5108
0.2522	3.9651	6.4667	0.5983	6.9368	0.8426	5.4355	0.1637	0.0003	12.3723	12.7166	7.2112	0.0008	1.2330	25.4331
0.2790	3.5842	6.6304	0.5544	7.4856	0.8215	5.5752	0.3905	0.0006	13.0608	13.7157	8.0148	0.0018	2.5680	27.4313
0.3268	3.0600	7.0209	0.4857	8.5441	0.7861	5.8265	0.1761	0.0003	14.3705	14.7495	8.8542	0.0008	1.0204	29.4990
0.3525	2.8369	7.1970	0.4528	9.1644	0.7679	5.9642	0.3835	0.0006	15.1285	15.9005	9.8037	0.0016	1.9541	31.8010
0.4005	2.4969	7.5805	0.3974	10.4429	0.7352	6.2296	0.1554	0.0002	16.6725	17.1272	10.8237	0.0006	0.6997	34.2545
0.4262	2.3463	7.7359	0.3704	11.2045	0.7182	6.3775	0.6647	0.0010	17.5820	18.5328	12.0094	0.0024	2.6307	37.0656
0.4744	2.1079	7.0712	0.3239	12.8144	0.6867	6.6693	0.0608	0.0001	19.4837	20.0610	13.3081	0.0002	0.2121	40.1220
0.5004	1.9984	7.0104	0.3007	13.8019	0.6699	6.8364	0.1445	0.0002	20.6384	21.8118	14.8156	0.0005	0.4423	43.6237
0.5468	1.8288	7.1549	0.2622	15.8293	0.6400	7.1560	4.8030	0.0074	22.9853	23.8658	16.5976	0.0153	12.8159	47.7316
0.5768	1.7387	11.9579	0.2390	17.3659	0.6206	7.3804	1.1748	0.0018	24.7463	26.3195	18.7523	0.0036	2.7082	52.6391
0.6222	1.6072	13.1327	0.2061	20.1388	0.5907	7.7540	0.5901	0.0009	27.8928	29.5775	21.6397	0.0017	1.1480	59.1549
0.6617	1.5113	13.7228	0.1793	23.1406	0.5639	8.1216	0.4159	0.0006	31.2621	32.5441	24.2920	0.0011	0.7065	65.0882
0.6869	1.4558	14.1387	0.1631	25.4435	0.5464	8.3825	0.8458	0.0013	33.8260	36.8198	28.1582	0.0022	1.2097	73.6397
0.7338	1.3628	14.9845	0.1344	30.8729	0.5123	8.9408	0.5434	0.0008	39.8136	41.9607	32.8378	0.0014	0.6513	83.9214
0.7599	1.3160	15.5279	0.1192	34.8027	0.4922	9.3051	1.0971	0.0017	44.1078	49.5829	39.8645	0.0026	1.0543	99.1657
0.8084	1.2370	16.6250	0.0924	44.9262	0.4520	10.1317	0.6715	0.0010	55.0579	59.0430	48.6458	0.0015	0.5160	118.0860
0.8332	1.2002	17.2965	0.0793	52.3654	0.4295	10.6626	1.1667	0.0018	63.0281	74.9979	63.6584	0.0025	0.6650	149.9958
0.8803	1.1360	18.4632	0.0554	74.9513	0.3811	12.0164	0.7771	0.0012	86.9677	99.2889	86.7007	0.0016	0.3161	198.5777
0.9075	1.1019	19.2403	0.0422	98.4500	0.3480	13.1600	1.4714	0.0023	111.6100	164.7175	149.7884	0.0027	0.3327	329.4350
0.9536	1.0487	20.7117	0.0206	201.1267	0.2743	16.6983	1.4450	0.0022	217.8250	108.9125	800.7988	0.0000	0.0076	217.8250
0.9932	1.0068	22.1567	0.0030	1400.4708	0.1436	31.8865						0.0503	42.7702	

Catatan : data P/Po dan V gas merupakan data pengukuran dengan *surface area analyzer*

Tabel L.2.4 PENGOLAHAN DATA ADSORPSI GAS NITROGEN DENGAN METODE POD

Larutan Natrium silikat 50 mL, 700 der.Celsius

p/po	po/p	v (mL/g)	logpo/p	$r_s(\text{\AA})$	(log po/p) ^{1/3}	l	ΔV gas(cm ³ /g)	ΔV liq(cm ³ /g)	$r_p(\text{\AA})$	r_p rata(\AA)	r_s rata(\AA)	V_p (cm ³ /g)	S(m ² /g)	D rata
0.0450	22.2222	4.8363	1.3468	3.0814	1.1043	4.1473	0.8792	0.0014	7.2287	7.6951	3.4098	0.0069	17.9219	
0.0776	12.8866	5.7155	1.1101	3.7383	1.0354	4.4232	1.2121	0.0019	8.1615	8.9775	4.3390	0.0080	17.8020	
0.1445	6.9204	6.9276	0.8401	4.9397	0.9436	4.8538	0.8123	0.0013	9.7935	10.4256	5.4228	0.0046	8.8698	20.8511
0.1983	5.0429	7.7399	0.7027	5.9060	0.8890	5.1517	0.7136	0.0011	11.0576	11.6760	6.3905	0.0037	6.2838	23.3520
0.2491	4.0145	8.4535	0.6036	6.8751	0.8451	5.4193	0.5182	0.0008	12.2944	12.8032	7.2812	0.0025	3.8545	25.6065
0.2885	3.4662	8.9717	0.5399	7.6873	0.8143	5.6248	0.4856	0.0007	13.3121	13.8341	8.1098	0.0022	3.1460	27.6682
0.3263	3.0647	9.4573	0.4864	8.5324	0.7864	5.8238	0.4585	0.0007	14.3562	14.9052	8.9824	0.0019	2.6088	29.8103
0.3631	2.7541	9.9158	0.4400	9.4324	0.7606	6.0218	0.4765	0.0007	15.4541	16.0616	9.9362	0.0019	2.3876	32.1232
0.4004	2.4975	10.3923	0.3975	10.4401	0.7353	6.2290	0.4513	0.0007	16.6691	17.3343	10.9980	0.0017	1.9920	34.6685
0.4374	2.2862	10.8436	0.3591	11.5560	0.7108	6.4434	0.4550	0.0007	17.9994	18.7373	12.1816	0.0017	1.7696	37.4746
0.4742	2.1088	11.2986	0.3240	12.8071	0.6869	6.6681	0.4554	0.0007	19.4752	20.2834	13.4993	0.0016	1.5612	40.5668
0.5100	1.9608	11.7540	0.2924	14.1914	0.6638	6.9001	0.4672	0.0007	21.0916	22.0247	14.9984	0.0016	1.4089	44.0494
0.5463	1.8305	12.2212	0.2626	15.8054	0.6403	7.1524	0.5656	0.0009	22.9578	24.1517	16.8484	0.0018	1.4821	48.3034
0.5862	1.7059	12.7868	0.2320	17.8915	0.6144	7.4541	0.5220	0.0008	25.3456	26.6617	19.0528	0.0016	1.1808	53.3233
0.6233	1.6044	13.3088	0.2053	20.2140	0.5899	7.7637	0.4014	0.0006	27.9777	29.0706	21.1863	0.0012	0.8007	58.1412
0.6497	1.5392	13.7102	0.1873	22.1585	0.5721	8.0050	0.7383	0.0011	30.1635	32.5069	24.2630	0.0020	1.2557	65.0138
0.6960	1.4368	14.4485	0.1574	26.3675	0.5399	8.4828	0.4149	0.0006	34.8503	36.5226	27.8832	0.0011	0.6003	73.0453
0.7225	1.3841	14.8634	0.1412	29.3988	0.5207	8.7962	0.8367	0.0013	38.1950	41.9995	32.8804	0.0021	1.0011	83.9990
0.7689	1.3006	15.7001	0.1141	36.3620	0.4851	9.4420	0.6025	0.0009	45.8040	51.6327	41.7631	0.0014	0.5493	103.2654
0.8166	1.2246	16.3026	0.0880	47.1641	0.4448	10.2972	0.1097	0.0002	57.4613	62.4696	51.8517	0.0002	0.0785	124.9393
0.8445	1.1841	16.1929	0.0734	56.5392	0.4187	10.9387	0.7484	0.0012	67.4780	77.4349	65.9466	0.0016	0.4104	154.8699
0.8809	1.1352	16.9413	0.0551	75.3540	0.3805	12.0379	0.8922	0.0014	87.3919	139.9405	125.9281	0.0017	0.2425	279.8810
0.9473	1.0556	17.8335	0.0235	176.5021	0.2865	15.9870	0.9878	0.0015	192.4891	203.1428	186.8548	0.0018	0.1770	406.2857
0.9527	1.0496	18.8213	0.0210	197.2074	0.2761	16.5891	1.2286	0.0019	213.7965	106.8983	526.6485	0.0001	0.0146	213.7965
0.9889	1.0112	20.0499	0.0048	856.0897	0.1692	27.0617						0.0399	41.6753	

Catatan : data P/Po dan V gas merupakan data pengukuran dengan *surface area analyzer*