

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

SKRIPSI

oleh :

VITA HASTARIA

0310923042-92



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

**STUDI PENGARUH LAMA 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 :

VITA HASTARIA

0310923042-92



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

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

oleh :

VITA HASTARIA

0310923042-92

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

Pembimbing I

Dra. Tutik Setianingsih, M.Si
M.Si

NIP. 132 085 943

Pembimbing II

Ir. Uswatun Hasanah,

NIP. 131 616 320

**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 : Vita Hastaria
NIM : 0310923042-92
Jurusan : Kimia
Penulis skripsi berjudul :

"Studi Pengaruh Lama 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,

(Vita Hastaria)
NIM. 0310923042-92

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

ABSTRAK

Sintesis karbon mesopori dari limbah lumpur industri tekstil dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh lama karbonisasi terhadap karakter karbon mesopori. Sintesis karbon mesopori dari limbah industri tekstil dilakukan dengan mencampurkan 50,00 g lumpur kering dan 50 mL larutan natrium silikat pekat ($\text{SiO}_2 = 24,5\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 7,5\%$). Sintesis dilakukan pada temperatur evaporasi 80°C selama 12 jam dan karbonisasi pada 600°C selama 1, 2, 3, 4, 5 jam dengan aliran gas N_2 (kecepatan alir 8 mL/menit). Natrium silikat dalam produk mesofasa dihilangkan dengan larutan HF 48% (v/v). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama karbonisasi (1-3 jam) maka volume pori, luas permukaan pori dan diameter pori semakin tinggi, namun karbonisasi yang terlalu lama (diatas 3 jam) mengakibatkan menurunnya volume pori, luas permukaan spesifik dan diameter pori. Kondisi optimum sintesis dicapai pada lama karbonisasi 3 jam yang memberikan karakter karbon mesopori terbaik, meliputi luas permukaan $42,770 \text{ m}^2/\text{g}$, volume $0,050 \text{ cm}^3/\text{g}$, diameter rata-rata $47,037 \text{ \AA}$, keseragaman pori pada diameter $48 \text{ \AA}$, dan mengandung hidrokarbon.

Kata kunci: karbon mesopori, sintesis, limbah industri tekstil



**STUDY OF THE INFLUENCE OF CARBONIZATION
PERIOD 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 the influence of carbonization period toward the character of mesoporous carbon. The synthesis of mesoporous carbon from sludge waste of textile industry was done by mixing 50.00 g dried sludge and 50 mL concentrated sodium silicate solution ($\text{SiO}_2 = 24.5\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 7.5\%$). The synthesis has been done at evaporate temperature of 80°C for 12 hours and carbonization at 600°C for 1, 2, 3, 4, 5 hours under nitrogen gas flow (8 mL/minute). Natrium silicate in the mesophase product was removed with HF solution 48% (v/v). The result of this research showed when the period of carbonization was longer (1-3 hours), so that mesopore volume, surface area and mesopore diameter was being higher, but longer than 3 hours carbonization would decrease mesopore volume, surface area and mesopore diameter. Optimum synthesis condition was obtained at 3 hours of carbonization that show the best character mesoporous carbon involving surface area $42.770 \text{ m}^2/\text{g}$, volume of $0.050 \text{ cm}^3/\text{g}$, average diameter of $47.037 \text{ \AA}$, uniformity at pore diameter of $48 \text{ \AA}$, and containing hydrocarbon.

Key word : mesoporous carbon, synthesis, waste of textile industry

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 Lama 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.

Penyusunan tugas akhir ini tak lepas dari bantuan yang diberikan oleh berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih 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. Dra. Sri Wardani, M.Si selaku Dosen Penasehat Akademis yang telah memberikan bimbingan selama kuliah
3. M. Farid Rahman S.Si, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Brawijaya
4. Dr. Soebiantoro, Apt.M.Sc, Dr. Atikah, Apt.M.Si, Ir. Bambang Poerwadi, MS, Arie Srihardyastuti, S.Si, M.Kes selaku Bapak dan Ibu Dosen Penguji atas waktu dan saran yang diberikan kepada penulis untuk perbaikan naskah tugas akhir ini
5. Seluruh dosen dan karyawan jurusan Kimia Universitas Brawijaya atas segala ilmu dan bantuan yang diberikan
6. BATAN dan Jurusan Kimia FMIPA Universitas Gajah Mada Yogyakarta.
7. Keluargaku yang telah memberikan dukungan, cinta dan doa.
8. Teman-teman Kimia 2003 khususnya kelas B atas bantuan, kebersamaan, kekompakan dan segala kenangan indah

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, Januari 2008

Penulis

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 Karbon	5
2.2 Karakteristik Limbah Industri Tekstil	5
2.3 Sintesis Karbon Mesopori	6
2.4 Natrium Silikat	8
2.5 Penentuan Luas Permukaan, Volume Pori dan Ukuran Pori dengan Metode BET	8
2.6 Penentuan Distribusi Ukuran Pori dengan Metode POD	11
2.7 Penentuan Sisa Hidrokarbon dan <i>Template</i> dengan Spektrofotometri Inframerah	13
 BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	15
3.2 Bahan dan Alat Penelitian	15
3.2.1 Bahan penelitian	15
3.2.2 Alat penelitian	15
3.3 Rancangan Penelitian	15

	Halaman
3.4 Tahapan/ Cara Kerja Penelitian	16
3.4.1 Preparasi limbah tekstil	16
3.4.2 Uji pendahuluan	16
3.4.2.1 Penentuan kadar bahan organik secara gravimetri.....	16
3.4.2.2 Penentuan kadar bahan organik melalui reaksi redoks	16
3.4.3 Sintesis karbon mesopori	17
3.4.4 Karakterisasi	17
3.4.4.1 Uji luas permukaan dan karakter pori karbon mesopori	17
3.4.4.2 Karakterisasi sisa hidrokarbon dan <i>template</i> pada permukaan karbon mesopori.....	18
3.5 Analisa data	18

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Lama Karbonisasi terhadap Karakter Karbon Mesopori.....	22
4.2 Karakterisasi Sisa Hidrokarbon dan <i>Template</i> pada Permukaan Karbon Mesopori	26

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran.....	33

DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	39

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Struktur polimer karbon..... 5
Gambar 2.2	Mekanisme sintesis karbon mesopori 8
Gambar 2.3	Grafik persamaan BET 9
Gambar 4.1	Struktur permukaan silika gel 20
Gambar 4.2	Distribusi ukuran pori karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai lama karbonisasi 24
Gambar 4.3	Karakteristik diameter rata-rata pori (D) karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai lama karbonisasi 25
Gambar 4.4	Karakteristik volume pori (V) karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai lama karbonisasi 25
Gambar 4.5	Karakteristik luas permukaan (S) karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai lama karbonisasi 25
Gambar 4.6	Spektra inframerah karbon mesopori hasil sintesis pada kondisi optimum (lama karbonisasi 3 jam) 28
Gambar 4.7	Spektra inframerah lumpur kering 28
Gambar 4.8	Spektra inframerah natrium silikat hasil pengeringan pada temperatur 600°C 29
Gambar 4.9	Spektra inframerah karbon aktif perdagangan 29

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Data karakter karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai lama karbonisasi.....	22
Tabel 4.2 Data spektra inframerah	30
Tabel L.2.1 Pengolahan data adsorpsi gas nitrogen dengan metode POD (natsil 50 mL, 600°C, 1jam).....	45
Tabel L.2.2 Pengolahan data adsorpsi gas nitrogen dengan metode POD (natsil 50 mL, 600°C, 2 jam)	46
Tabel L.2.3 Pengolahan data adsorpsi gas nitrogen dengan metode POD (natsil 50 mL, 600°C, 3 jam)	47
Tabel L.2.4 Pengolahan data adsorpsi gas nitrogen dengan metode POD (natsil 50 mL, 600°C, 4 jam)	48
Tabel L.2.5 Pengolahan data adsorpsi gas nitrogen dengan metode POD (natsil 50 mL, 600°C, 5 jam).....	49
Tabel L.2.6 Data karakter karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai lama karbonisasi (metode POD).....	50
Tabel L.3.1 Data karakter karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai lama karbonisasi (metode BET)	53

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN 1	Diagram alir penelitian..... 39
LAMPIRAN 2	Contoh perhitungan luas permukaan mesopori, volume mesopori pori dan diametr mesopori dengan metode POD 42
LAMPIRAN 3	Contoh perhitungan luas permukaan spesifik, volume pori total dan diameter pori rata-rata dengan metode BET 51
LAMPIRAN 4	Penentuan % bahan organik dan karbon organik dalam limbah lumpur industri tekstil..... 54
LAMPIRAN 5	Contoh zat warna yang digunakan dalam industri tekstil..... 56
LAMPIRAN 6	Rangkaian alat karbonisasi 58



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Karbon merupakan arang yang diproses sedemikian rupa sehingga mempunyai daya serap yang tinggi terhadap bahan yang berbentuk larutan atau uap. Karbon berfungsi antara lain sebagai filter, pemisahan gas, pemurnian air, pengemban katalis dan adsorben (Jankowska, dkk, 1991). Karbon dapat disintesis dari bahan yang mengandung unsur karbon baik organik maupun anorganik (Anonim, 1999).

Secara umum karbon mempunyai 3 macam pori yang dibentuk selama proses karbonisasi dan aktivasi. Pembagian ini didasarkan pada perbedaan ukuran pori, yaitu mikropori dengan jari-jari efektif $<20 \text{ \AA}$, mesopori dengan jari-jari efektif antara $20 \text{ \AA}$ sampai $500 \text{ \AA}$ dan makropori dengan jari-jari efektif $>500 \text{ \AA}$ (Tamai, 1997).

Karbon mesopori merupakan material hasil rekayasa dengan luas permukaan berpori besar, dimana umumnya karbon berpori yang selama ini dihasilkan adalah karbon mikropori yang hanya dapat diaplikasikan pada molekul-molekul berukuran kecil. Karbon mesopori memiliki keseragaman pori yang tinggi di daerah mesopori sehingga dapat digunakan dalam proses katalitik dan adsorpsi molekul-molekul berukuran besar.

Beberapa peneliti telah berhasil mensintesis karbon mesopori dari berbagai jenis bahan organik dalam sistem larutan (Han, dkk, 2003 ; Lee, dkk, 2004 ; Setianingsih dan Hasanah, 2004 dan 2005). Limbah industri tekstil juga potensial untuk diolah menjadi karbon mesopori. Hal ini mengingat pada hasil uji pendahuluan dalam penentuan kadar bahan organik secara gravimetri didapatkan bahwa dalam limbah lumpur industri tekstil mengandung lebih dari 50 % bahan organik, sedangkan dalam penentuan kadar bahan organik melalui reaksi redoks dengan pereaksi kalium dikromat dan ammonium ferro sulfat diperoleh bahwa limbah lumpur mengandung hampir 30 % bahan organik. Kandungan bahan organik tersebut berasal dari hasil degradasi tidak sempurna limbah cair yang mengandung amilum, fenol, zat warna dan surfaktan (Anonim, 1996).

Proses karbonisasi sangat mempengaruhi karakter karbon yang dihasilkan. Salah satu faktornya adalah lama proses karbonisasi. Hu dan Srinivasan (2001) mengkaji pengaruh lama karbonisasi terhadap karakter karbon mesopori yang disintesis menggunakan prekursor

karbon tempurung kelapa dengan *template* ZnCl_2 pada temperatur 800°C dan lama karbonisasi 2-6 jam. Data yang dihasilkan menunjukkan pada lama karbonisasi 6 jam didapatkan diameter pori dan luas permukaan terbesar. Semakin lama proses karbonisasi berlangsung, reaksi polimerisasi karbon diperkirakan berjalan semakin baik. Namun jika karbonisasi berjalan terlalu lama maka dapat mengakibatkan kerusakan polimer karbon yang terbentuk. Karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis karbon mesopori dari limbah lumpur industri tekstil dengan variasi lama karbonisasi untuk mengetahui kondisi optimum sintesis.

Karakterisasi yang akan dilakukan pada karbon mesopori hasil sintesis meliputi luas permukaan pori, volume pori, ukuran pori, dan uji sisa hidrokarbon dan sisa *template* pada permukaan karbon. Karakterisasi luas permukaan pori dimaksudkan untuk mengoptimalkan adsorpsi, dimana semakin luas permukaan karbon maka ruang kontak adsorpsi semakin besar. Volume pori berpengaruh terhadap besarnya ruang untuk ditempati adsorbat, sedangkan ukuran pori berhubungan dengan ukuran adsorbat yang diadsorpsi. Karakterisasi sisa hidrokarbon dan *template* bertujuan untuk mengukur kesempurnaan karbonisasi.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

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

1. Bagaimana pengaruh lama karbonisasi terhadap karakter karbon mesopori hasil sintesis dari limbah lumpur industri tekstil ?
2. Bagaimana karakter karbon mesopori hasil sintesis pada kondisi (lama karbonisasi) optimum ?

1.3 BATASAN MASALAH

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Lama karbonisasi optimum ditentukan dari luas permukaan tertinggi dan keseragaman pori di daerah mesopori
2. Karakterisasi karbon mesopori yang ditentukan pada kondisi optimum meliputi luas permukaan pori, volume pori, ukuran pori, dan karakterisasi sisa hidrokarbon dan *template* pada permukaan karbon

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama karbonisasi terhadap karakter karbon mesopori hasil sintesis dari limbah lumpur industri tekstil.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Dapat memberikan alternatif pengolahan limbah industri tekstil menjadi adsorben yang potensial untuk molekul berukuran besar.



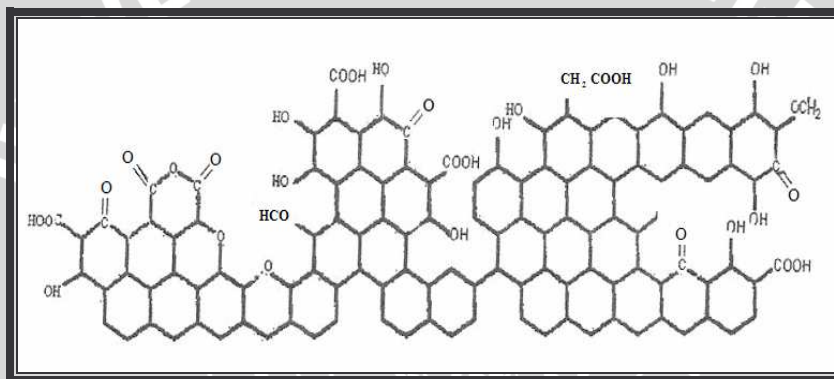


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karbon

Karbon merupakan arang yang diproses sedemikian rupa sehingga memiliki daya serap yang tinggi terhadap bahan yang berbentuk larutan atau uap (Anonim, 1999).

Karbon memiliki daerah pori yang tersebar di daerah mikropori hingga makropori (Joo and Ryoo, 2002). Permukaan karbon memiliki sifat yang unik yang disebabkan adanya gugus fungsional permukaan yang mengandung oksigen seperti karboksil, dan fenol. Gugus fungsional permukaan karbon adalah gugus yang diikat secara kimia pada atom C dalam lempengan padatnya. Peningkatan gugus fungsional dapat menurunkan volume pori dan luas permukaan spesifik karena gugus fungsional dapat menutupi pori karbon. Gugus ini menjadikan karbon memiliki potensi sebagai adsorben untuk menghilangkan ion logam dari limbah cair industri (Parker, 1993).



Gambar 2.1 Struktur polimer karbon

2.2 Karakteristik Limbah Industri Tekstil

Industri tekstil merupakan industri yang menghasilkan limbah gas/debu, bising, cair dan padat dalam kategori pencemaran sedang. Industri tekstil pembuat benang (pemintalan), pembuat kain (pertenunan dan perajutan) 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 sisa-sisa serat, benang dan kain, limbah padat dari bahan kemasan, serta lumpur dari unit pengolahan limbah (UPL) cair. Selain itu limbah industri tekstil juga mengandung zat warna, amilum dan surfaktan yang berasal dari bahan kimia yang digunakan dalam industri tekstil. Adanya penggunaan zat – zat kimia seperti alkali, asam, kanji, oksidator, reduktor, elektrolit, zat aktif permukaan (surfaktan), zat warna dan panas, dapat menyebabkan air buangan industri tekstil bersifat asam, COD dan BOD tinggi, berwarna, berbusa dan berbau.

Hal yang menjadi kendala besar 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 (Anonim, 1996).

2.3 Sintesis Karbon Mesopori

Salah satu tahapan dalam proses pembuatan karbon yang sangat penting pengaruhnya terhadap karakter karbon yang dihasilkan adalah karbonisasi. Karbonisasi adalah proses pirolisis/pembakaran tidak sempurna dari bahan dasar yang digunakan tanpa adanya udara dan umumnya dikerjakan pada temperatur 500-800°C. Pada temperatur tinggi terjadi berbagai macam reaksi dari bahan mentah sesuai dengan sifat dan struktur kimianya. Reaktivitas dari hasil karbonisasi yang didapatkan setelah pirolisis pada temperatur 300°C lebih rendah jika dibandingkan dengan pirolisis pada temperatur 600°C, sedangkan untuk karbonisasi diatas 600°C, yakni antara 700-800°C didapatkan karbon dengan reaktifitas yang tidak jauh berbeda dengan karbon yang dikarbonisasi pada temperatur 600°C (Jankowska, dkk, 1991). Pada proses karbonisasi kebanyakan dari elemen non-karbon seperti hidrogen dan oksigen diubah kedalam fasa gas oleh dekomposisi pirolisis (Hoque, dkk, 2002).

Lee dkk (2004) mensintesis karbon mesopori dengan mencampurkan prekursor karbon dengan *template* (cetakan) sebelum karbonisasi. Metode ini telah berhasil diterapkan baik menggunakan bahan *template* dalam bentuk padat maupun larutan.

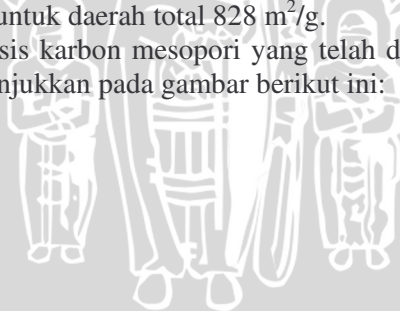
Karbon mesopori dapat disintesis dengan menggunakan prekursor karbon tempurung kelapa dan *template* ZnCl_2 . Sintesis karbon ini dikerjakan pada temperatur karbonisasi 800°C dengan lama pemanasan 2 s/d 6 jam. Data menunjukkan bahwa makin lama

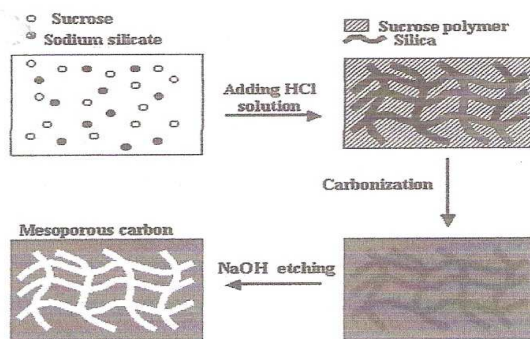
pemanasan makin besar diameter pori (20,4 s/d 26,8 Å) dan makin besar luas permukaan mesopori (177 s/d 1067 m²/g) (Hu dan Srinivasan, 2001).

Setianingsih dan Hasanah (2005) mensintesis karbon mesopori dengan melakukan variasi konsentrasi HCl (0 - 4,2 M) dan lama karbonisasi (1 s/d 4 jam). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum dicapai pada temperatur 800°C, konsentrasi larutan HCl 4,2 M, dan lama karbonisasi 2 jam dengan memberikan karakter produk : luas permukaan spesifik 408,34 m²/g , diameter pori rata-rata 39,05 Å, dan keseragaman ukuran pori tertinggi pada diameter 60 Å. Dalam penelitian sebelumnya sintesis karbon mesopori dilakukan dengan mencampur larutan natrium silikat dengan larutan gula pasir jenuh, temperatur karbonisasi 900°C selama 3 jam dengan pencuci *template* larutan HF dan akuades. Dengan variasi *template* (100 s/d 400 mL) untuk setiap 100 mL menunjukkan bahwa pada volume 100 mL memberikan daerah mesopori terbesar (96%), diameter pori rata-rata 39,89 Å dan luas permukaan spesifik daerah mesopori 679,16 m²/g. Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan sintesis yang dilakukan pada temperatur 800°C.

Han dkk (2003) mensintesis karbon aktif mesopori dari bahan sukrosa p.a. dan larutan natrium silikat p.a. Sebelum dikarbonisasi campuran larutan prekursor karbon dan *template* ditambah larutan HCl untuk mempercepat proses polimerisasi silikagel dan polimerisasi sukrosa kemudian dievaporasi pada berbagai temperatur (50 s/d 80°C) selama 1 hari. Temperatur karbonisasi 200°C selama 12 jam dilanjutkan pada 850°C selama 3 jam dengan aliran gas N₂. Karbon hasil sintesis dicuci dengan larutan NaOH 3M selama 5 jam untuk menghilangkan *template*. Dalam kajian variasi temperatur evaporasi, semakin tinggi temperatur, makin tinggi diameter mesopori, dengan data terbaik 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.

Mekanisme sintesis karbon mesopori yang telah diterapkan oleh Han dkk (2003) ditunjukkan pada gambar berikut ini:





Gambar 2.2 Mekanisme sintesis karbon mesopori

2.4 Natrium silikat

Natrium silikat merupakan salah satu *template* yang banyak digunakan dalam sintesis karbon mesopori. Natrium silikat adalah silikat yang dapat larut dalam air dan dapat membentuk larutan kental yang disebut "water glass" (Kirk-Othmer, 1979). Natrium silikat dapat terbentuk ketika natrium karbonat dan silikon dioksida bereaksi dalam keadaan cair. Rumus umum silikat adalah $M_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ dimana M adalah logam alkali, m dan n adalah jumlah mol dari SiO_2 dan H_2O relatif terhadap satu mol M_2O . Silika tahan terhadap asam kuat HCl , H_2SO_4 , dan HNO_3 , namun sangat reaktif terhadap HF membentuk gas SiF_4 . Ketika HF ditambahkan dalam larutan natrium silikat, akan terbentuk gel SiO_2 hidrat yang kehilangan air saat dipanaskan atau didiamkan di udara terbuka (King, dkk, 1977).

2.5 Penentuan Luas Permukaan dan Porositas dengan Metode BET (Lowell dan Shields, 1984)

Luas permukaan merupakan sifat fisik karbon yang sangat penting. Luas permukaan berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan karbon aktif memiliki sifat sebagai adsorben. Ketidaksesuaian antara perkiraan luas permukaan, ukuran pori dan kapasitas adsorben seringkali dapat dijelaskan dengan adanya gugus fungsi pada permukaan karbon (Kirk-Othmer, 1979).

Untuk pengukuran luas permukaan zat padat digunakan teori BET (Braunauer, Emmett, dan Teller) yang didasarkan pada teori

kinetik gas (teori Langmuir) yang diperluas untuk n lapisan. Teori kinetik gas mengasumsikan bahwa :

1. Laju adsorpsi = laju desorpsi
2. Tumbukan antar molekul diabaikan
3. Tumbukan antar molekul dengan permukaan (adsorbat-adsorben) bersifat elastis
4. Molekul yang teradsorpsi tebalnya 1 molekul (merupakan lapisan molekul tunggal/monolayer)
5. Permukaan adsorben bersifat homogen

Pada teori BET digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{1}{W(P_0/P - 1)} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C-1}{W_m C} \left[\frac{P}{P_0} \right] \dots\dots\dots(1.1)$$

dimana W = berat adsorbat yang teradsorpsi
 P_0 = tekanan uap jenuh adsorbat
 P = tekanan gas saat pengukuran
 W_m = berat gas yang teradsorpsi pada saat monolayer terlapsi maksimum (monolayer jenuh)
 C = konstanta BET

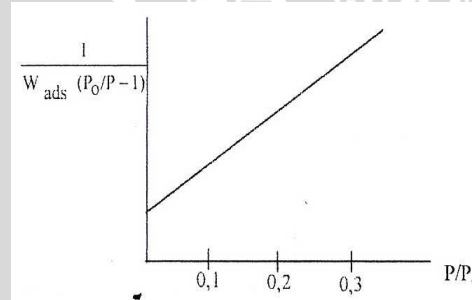
Adsorbat yang biasa digunakan adalah gas N_2 .

Berat adsorbat (W) diperoleh sebagai berikut :

$$W = V_{\text{ads}} \times W_{\text{sampel}} \times \rho_{N_2} \dots\dots\dots(1.2)$$

dengan : $\rho_{N_2} = 1,2506 \text{ g/L}$

Dari persamaan 1.1 diatas dapat dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 2.3 Grafik Persamaan BET

dengan sumbu $y = \frac{1}{W(P_0/P - 1)}$ dan $x = P/P_0$

Grafik diatas dikatakan linier hanya ketika harga P/P_0 berada dalam rentang antara 0,05-0,35. Dengan menggunakan persamaan regresi linier, diperoleh slope (s) dan intersep (i) sebagai berikut :

$$s = \frac{C+1}{W_m C} \quad \text{dan} \quad i = \frac{1}{W_m C}$$

Dengan demikian diperoleh :

$$W_m = \frac{1}{s+1} \quad \dots\dots\dots(1.3)$$

Luas permukaan total dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$S_t = \frac{W_m \times N \times A}{M} \quad \dots\dots\dots(1.4)$$

Dimana S_t = luas permukaan total
 W_m = berat gas yang teradsorpsi pada saat monolayer terlapsi maksimum
 N = bilangan Avogadro
 A = luas permukaan adsorbat (untuk $N_2=16,2 \text{ \AA}^2$)
 M = berat molekul N_2

Luas permukaan spesifik dihitung dengan membagi luas permukaan total (S_t) dengan berat sampel (W_s) sebagai berikut :

$$S = \frac{S_t}{W_s} \quad \dots\dots\dots(1.5)$$

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

$$r = \frac{2V_p}{S} \quad \dots\dots\dots(1.6)$$

dimana S = luas permukaan spesifik padatan
 r = jari-jari pori
 V_p = volume pori

Volume pori spesifik padatan (V_p) ditentukan menggunakan data volume gas N_2 yang teradsorpsi (V_{ads}) pada P/P_0 mendekati 1 ($P/P_0 \approx 1$) dengan mengasumsikan bahwa pori terisi penuh dengan adsorbat cair. Karena data eksperimen yang diperoleh berupa data volume gas N_2 yang teradsorpsi, maka perlu ditentukan volume cair adsorbat N_2 dengan persamaan berikut :

$$V_p = V_{liq} = \frac{P x V_{ads} x V_m}{R x T} \dots\dots\dots (1.7)$$

dimana R = konstanta gas yaitu $82,057 \text{ cm}^3 \cdot \text{atm} / \text{g} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}$
 P = tekanan uap N_2 cair yaitu 1 atm
 T = suhu N_2 cair yaitu 273 K
 V_{ads} = volume gas N_2 yang teradsorpsi
 V_m = volume molar N_2 cair yaitu $34,6 \text{ cm}^3 / \text{mol}$

Dengan demikian diperoleh persamaan :

$$V_{liq} = 1,54 \cdot 10^{-3} x V_{ads} (\text{cm}^3 / \text{g}) \dots\dots\dots (1.8)$$

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

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

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

$$r_k = \frac{4.15}{\log(P_0 / P)} (\text{\AA}) \dots\dots\dots (2.1)$$

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

$$r_p = r_k + t \dots\dots\dots (2.2)$$

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

$$t = \left(\frac{W_a}{W_m} \right) \tau \dots\dots\dots (2.3)$$

W_a adalah berat adsorben pada tekanan relatif tertentu, W_m adalah bobot yang terkait dengan monolayer BET, dan nilai τ adalah 3.54 Å.

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

$$t = 3,54 \left(\frac{5}{2,303 \log P_0 / P} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (2.4)$$

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, untuk temperatur dan tekanan standar dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta V_{liq} = \frac{\Delta V_{gas}}{22,4 \times 10^{-3}} \times 34,6 = \Delta V_{gas} (1,54 \times 10^{-3}) \text{ cm}^3 \dots\dots\dots (2.5)$$

ΔV_{liq} dapat ditulis sebagai :

$$\Delta V_{liq} = \pi r_k^2 l \dots\dots\dots (2.6)$$

dan jika :

$$V_p = \pi r_p^2 l \dots\dots\dots (2.7)$$

l adalah panjang pori, dengan menggabungkan kedua persamaan diperoleh :

$$V_p = \left(\frac{r_p}{r_k} \right)^2 [\Delta V_{liq}] \text{ cm}^3 \dots\dots\dots (2.8)$$

Luas permukaan dinding pori (S) dapat dihitung melalui :

$$S = \frac{2V_p}{r_p} \times 10^4 (\text{m}^2) \dots\dots\dots (2.9)$$

2.7 Penentuan Sisa Hidrokarbon dan *Template* dengan Spektrofotometri Inframerah

Hampir setiap senyawa memiliki ikatan kovalen, baik senyawa organik maupun senyawa anorganik, akan menyerap berbagai frekuensi radiasi elektromagnetik dalam daerah spektrum inframerah. Alat yang dapat menentukan spektrum serapan ($4000\text{--}650\text{ cm}^{-1}$) suatu senyawa disebut spektrofotometer inframerah (Sastrohamidjojo, 1991).

Karbon merupakan senyawa hidrokarbon yang memiliki gugus fungsi tertentu yang dapat dikarakterisasi dengan spektrofotometri inframerah (Jankowska, dkk, 1991).

Atom-atom didalam suatu molekul tidak diam, melainkan bergetar (bervibrasi). Bila radiasi inframerah dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya akan menyerap energi dan terjadilah transisi diantara tingkat vibrasi dasar (ground state) dan tingkat vibrasi tereksitasi (excited state) (Silverstein, 1986).

Ikatan-ikatan yang berbeda (C-C , C=C , $\text{C}\equiv\text{C}$, C-O , C=O , O-H , N-H) mempunyai frekuensi vibrasi yang berbeda. Ikatan-ikatan dalam molekul organik tersebut dapat dideteksi dengan mengidentifikasi frekuensi karakteristiknya sebagai pita serapan dalam spektrum inframerah. Dan meskipun ada dua molekul yang berbeda strukturnya memiliki tipe ikatan yang sama, namun spektra inframerah yang dihasilkan tidak akan sama, sehingga dengan membandingkan spektra inframerah dua senyawa yang diperkirakan identik, akan dapat dinyatakan apakah kedua senyawa tersebut identik atau tidak (Sastrihamidjojo, 1991).



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



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 dilakukan di Laboratorium Kimia Fisik dan Kimia Anorganik Jurusan Kimia Universitas Brawijaya. Karakterisasi luas permukaan dan ukuran pori menggunakan *surface area analyzer* dilakukan di BATAN Yogyakarta. Karakterisasi sisa hidrokarbon dan *template* pada permukaan karbon menggunakan spektrofotometer inframerah dilakukan di Laboratorium Instrumen 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, natrium silikat teknis (b/b) ($\text{SiO}_2 = 24,5\%$ dan $\text{Na}_2\text{O} = 7,5\%$), larutan HF 48 % (v/v) teknis, gas N_2 teknis, kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), asam sulfat (H_2SO_4) pekat (98 %, b.j. 1,84), asam orthofosfat (H_3PO_4) pekat, indikator difenilamin ($(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$), ammonium ferro sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0,5 M dan akuades.

3.2.2 Alat penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, gelas ukur plastik 500 mL, seperangkat alat gelas, cawan penguap besar, mortar penumbuk, kertas saring, ayakan 250-300 mesh dan 120-150 mesh, pengaduk elektrik, hot plate, oven, corong buchner, buret, seperangkat alat karbonisasi, *Surface Area Analyzer* dan spektrofotometer inframerah (merk SHIMADZU FTIR-8400s).

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi lama karbonisasi sebagai berikut :

Lama karbonisasi : 1, 2, 3, 4, 5 jam

Setiap produk dikarakterisasi dengan *surface area analyzer* untuk menentukan luas permukaan dan ukuran porinya. Kondisi optimum

sintesis didasarkan pada luas permukaan terbesar dan keseragaman ukuran pori di daerah mesopori. Karakterisasi sisa hidrokarbon dan *template* pada permukaan karbon menggunakan spektrofotometer inframerah.

3.4 Tahapan/Cara Kerja Penelitian

3.4.1 Preparasi limbah tekstil

Limbah lumpur sebanyak 500 g ditempatkan dalam cawan penguap dan dievaporasi dengan meletakkannya di bawah sinar matahari sampai setengah kering. Kemudian limbah dikeringkan di dalam oven dengan temperatur 100°C selama 2 jam. Setelah dingin, lumpur kering dihaluskan dan diayak dengan ayakan 120 mesh dan 150 mesh.

3.4.2 Uji Pendahuluan

3.4.2.1 Penentuan kadar bahan organik secara gravimetri

Sebanyak 2,001 g limbah lumpur kering ditempatkan dalam cawan porselen dan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105 °C selama 3 jam. Selanjutnya cawan didinginkan dalam desikator selama ± 15 menit kemudian ditimbang. Lakukan kembali pemanasan dengan prosedur yang sama hingga didapatkan berat konstan. Setelah didapatkan berat konstan, cawan dimasukkan ke dalam tanur dan dipanaskan dengan suhu 900 °C selama 3 jam. Selanjutnya cawan dimasukkan kedalam desikator ± 30 menit dan ditimbang hingga didapatkan berat konstan.

3.4.2.2 Penentuan kadar bahan organik melalui reaksi redoks

Limbah lumpur kering sebanyak 0,105 g dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 mL, ditambah 10 mL larutan kalium dikromat 1 N dan 20 mL larutan asam sulfat pekat, diaduk dan didiamkan ± 30 menit. Selanjutnya ditambahkan 200 mL akuades dan 10 mL asam orthofosfat pekat. Campuran didiamkan hingga dingin kemudian ditambah 10-15 tetes indikator difenilamin dan diaduk dengan stirer. Campuran kemudian dititrasi dengan larutan ammonium ferro sulfat 0,5 M hingga terjadi perubahan warna dari ungu-biru ke hijau.. Preparasi blanko dengan perlakuan yang sama tanpa sampel limbah.

3.4.3 Sintesis karbon mesopori

Prosedur sintesis mengacu pada penelitian Setianingsih dan Hasanah (2004). Sebanyak 50,00 g lumpur kering hasil preparasi pada 3.4.1 dicampur dengan larutan natrium silikat pekat ($\text{SiO}_2 = 24,5\%$ dan $\text{Na}_2\text{O} = 7,5\%$) sebanyak 50 mL dalam gelas ukur plastik 500 mL. Campuran dihomogenasi kemudian dievaporasi dalam oven pada temperatur 80°C selama 12 jam. Campuran dikarbonisasi pada temperatur 600°C dengan aliran gas N_2 (kecepatan alir 8 mL/menit) selama 1, 2, 3, 4, 5 jam terhitung sejak tercapainya temperatur tersebut. Produk mesofasa yang dihasilkan ditempatkan dalam gelas ukur plastik dan direndam dalam larutan HF 48% untuk menghilangkan silika (selama 2 hari dan setiap harinya melibatkan pengadukan selama 5 jam). Setelah dilakukan pengadukan, padatan dalam larutan HF 48% dibiarkan mengendap untuk kemudian mengganti larutan HF 48% dengan yang baru. Selanjutnya dilakukan penyaringan dan padatan yang diperoleh dicuci kembali dengan akuades hingga pH pencuci sama dengan pH akuades. Padatan karbon mesopori yang diperoleh dikeringkan pada 100°C selama 2 jam. Setelah itu dihaluskan dan 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.

3.4.4 Karakterisasi

3.4.4.1 Uji luas permukaan dan karakter pori karbon mesopori

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

Karbon mesopori hasil sintesis sebelum dikarakterisasi menggunakan *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 N_2 pada kecepatan alir 40 mBar/menit pada suhu 150°C selama 1 jam. Selanjutnya dikarakterisasi dengan *surface area analyzer*.

3.4.4.2 Karakterisasi sisa hidrokarbon dan *template* pada permukaan karbon mesopori

Karbon mesopori yang disintesis pada kondisi optimum digunakan untuk uji sisa hidrokarbon dan *template* menggunakan spektrofotometer inframerah. Spektra yang dihasilkan diidentifikasi berdasarkan informasi spektra hidrokarbon dan *template* natrium silikat pada literatur.

Penentuan sisa hidrokarbon dan *template* pada karbon mesopori hasil sintesis dilakukan dengan metode 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 kemudian diberi tekanan dengan pompa hidrolis selama 15 menit agar terbentuk lapisan tipis yang memiliki ketebalan 0,01 mm. Selanjutnya dilakukan pengukuran spektra pada daerah bilangan gelombang $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$.

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 spektra hidrokarbon dan *template* natrium silikat pada literatur.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis karbon mesopori dilakukan dengan bahan limbah lumpur industri tekstil yang banyak mengandung bahan organik seperti pada hasil uji pendahuluan secara gravimetri dan titrasi redoks. Secara gravimetri diperoleh bahwa limbah lumpur mengandung 51,9 % bahan organik yang banyak digunakan untuk sintesis karbon mesopori. Bahan organik dalam limbah lumpur diantaranya berasal dari amilum, fenol, zat warna dan surfaktan yang banyak digunakan dalam proses pencapan dan pencelupan. Sedangkan secara titrasi redoks didapatkan bahwa limbah lumpur mengandung 17,15 % karbon organik dan 29,57 % bahan organik. Kadar karbon organik yang dihasilkan pada titrasi redoks merupakan karbon yang dapat teroksidasi oleh kalium dikromat. Berdasarkan kandungan bahan organik yang diperoleh, maka limbah lumpur industri tekstil sangat berpotensi untuk sintesis karbon mesopori.

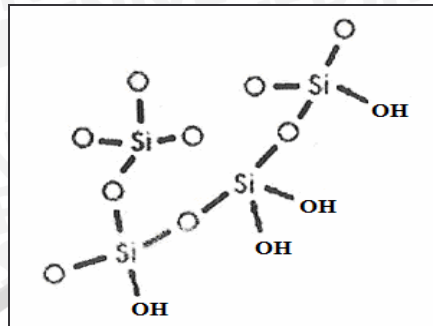
Pada penelitian ini disintesis karbon mesopori dari limbah lumpur industri tekstil dengan mengkaji pengaruh lama karbonisasi guna mengetahui sejauh mana lama proses karbonisasi mempengaruhi karakter karbon yang dihasilkan serta untuk mendapatkan kondisi optimum sintesis.

Kondisi optimum sintesis didasarkan pada karakter karbon mesopori yang dihasilkan meliputi luas permukaan dan keseragaman pori. Uji sisa hidrokarbon dan *template* pada permukaan karbon dengan spektrofotometri inframerah dilakukan hanya pada karbon mesopori pada kondisi optimum yaitu pada lama karbonisasi 3 jam.

Tahap awal yang dilakukan dalam rangkaian penelitian ini adalah preparasi sampel dengan evaporasi limbah lumpur di bawah sinar matahari hingga setengah kering dan di dalam oven dengan temperatur 100°C selama 2 jam. Perlakuan ini bertujuan untuk menghilangkan kadar air sehingga diperoleh lumpur kering. Setelah dingin, lumpur kering dihaluskan dan diayak 120-150 mesh dengan tujuan menyeragamkan ukuran partikel.

Sintesis karbon mesopori dilakukan dengan mencampur prekursor karbon (lumpur kering) dengan *template* dalam bentuk larutan. Dalam proses homogenisasi larutan natrium silikat dan lumpur kering terjadi pendistribusian partikel-partikel padatan lumpur kering di antara larutan natrium silikat yang sangat kental. Larutan campuran dievaporasi pada 80°C dalam oven selama 12 jam.

Selama proses evaporasi, sebagian besar H_2O menguap meninggalkan padatan lumpur yang terdistribusi di antara polimer silikat padat yang disebut silika gel ($SiO_2 \cdot nH_2O$). Polimerisasi silikat akan terjadi akibat pemekatan larutan.



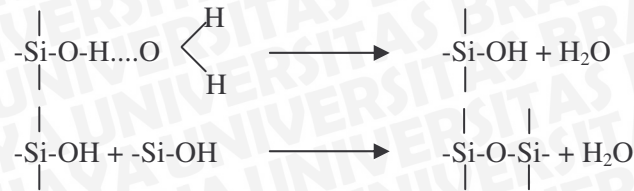
Gambar 4.1 Struktur permukaan silika gel
(Anonymous, 2005)

Larutan natrium silikat yang digunakan memiliki pH 11 dengan kadar Si 11,43%, sedangkan pH limbah lumpur basah adalah 10,5. Dengan demikian sistem campuran ber kondisi basa. Reaksi kondensasi silikat pada pH tinggi melibatkan serangan gugus silanol terdeprotonasi pada monomer netral (gugus silanol) sebagai berikut:



Karbonisasi dikerjakan pada temperatur $600^\circ C$ dengan variasi lama proses karbonisasi yaitu: 1, 2, 3, 4, dan 5 jam. Pada saat karbonisasi, seiring dengan kenaikan temperatur (mencapai temperatur yang ditentukan) terjadi penguapan hidrat sisa serta penyempurnaan polimerisasi silika gel yang banyak mengandung gugus silanol ($Si-OH$) menjadi silika (SiO_2) yang lebih rapat sebagai cetakan rongga mesopori. Hal ini sesuai dengan pernyataan Nuryono dan Narsito (2005) bahwa pada pemanasan $120-580^\circ C$ terjadi pelepasan hidrat yang terikat pada silanol dengan ikatan hidrogen.

Sedang di atas 580°C, terjadi kondensasi gugus silanol sebagai berikut :



Di sisi lain selama proses karbonisasi bahan organik dalam lumpur mengalami pirolisis membentuk polimer karbon (seperti pada Gambar 2.1) yang pada 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 diunjukkan dengan reaksi sebagai berikut :



Selama proses karbonisasi, gas nitrogen dialirkan dengan tujuan untuk mengoptimalkan pembentukan polimer karbon dan mencegah dekomposisi bahan organik menjadi CO_2 dan H_2O .



Produk mesofasa yang dihasilkan dicuci dengan larutan HF 48% untuk melarutkan silika dalam larutan pencuci dan melepaskannya dari bahan karbon. Menurut King dkk (1977), silika bereaksi dengan HF membentuk gas SiF_4 sebagai berikut:



Pengadukan selama pencucian dan pengeraman dalam waktu yang cukup lama dimaksudkan agar 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 inframerah menunjukkan hilangnya pita-pita karakteristik silika.

4.1 Pengaruh Lama Karbonisasi terhadap Karakter Karbon Mesopori

Pada penelitian ini dilaporkan hasil sintesis karbon pada berbagai lama karbonisasi untuk dapat diketahui bagaimana pengaruh lama aksi termal tersebut terhadap karbon selama pemanasan sekaligus mengetahui berapa kondisi optimumnya. Karakteristik karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai lama karbonisasi dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.2, 4.3, 4.4, 4.5.

Tabel 4.1 Data karakter karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai lama karbonisasi

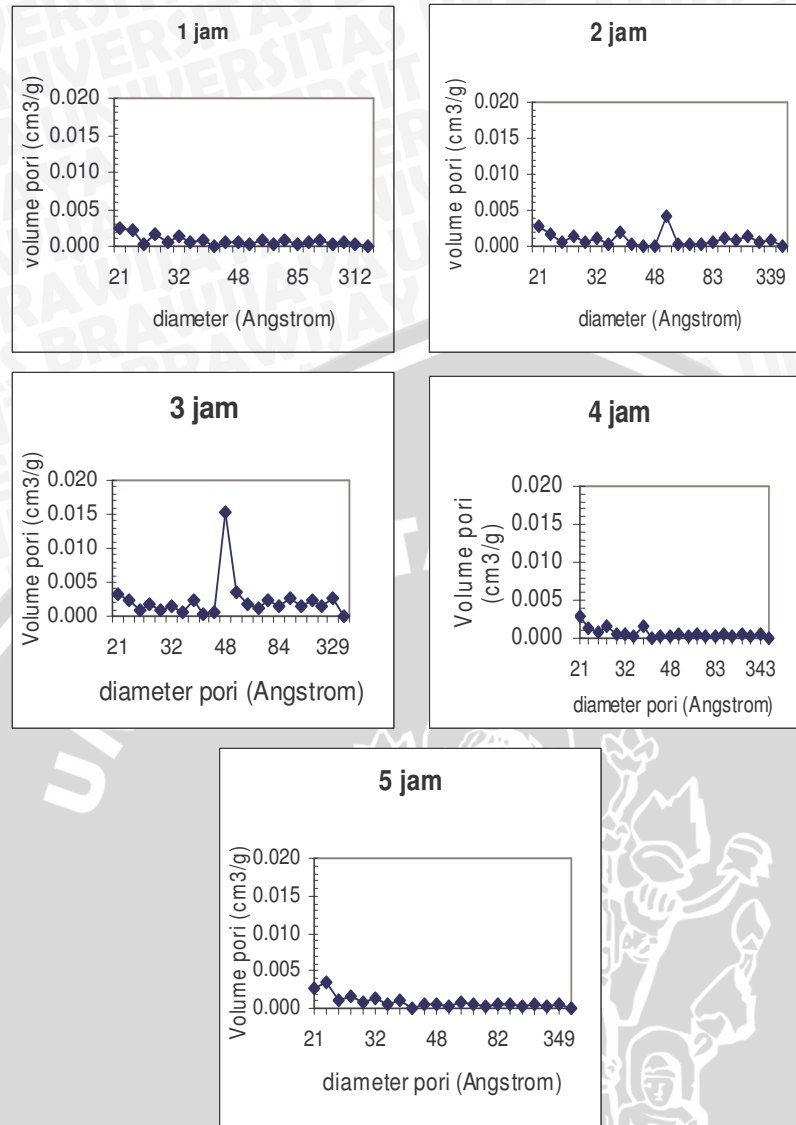
Karakter	Satuan	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	5 jam
V_{meso}	cm^3/g	0.015	0.021	0.050	0.018	0.013
S_{meso}	m^2/g	17.700	21.275	42.770	22.612	16.624
r_{meso}	A	17.398	19.885	23.518	16.195	16.367
D_{meso}	A	34.796	39.769	47.037	32.391	32.734

Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa terjadi perubahan pola kurva distribusi ukuran pori pada berbagai lama karbonisasi. Pada kurva lama karbonisasi 1 jam terlihat bahwa distribusi ukuran pori merata di berbagai diameter yang menunjukkan belum adanya ukuran pori yang mendominasi pada diameter tertentu. Pada kurva lama karbonisasi 2 jam, mulai terdapat dominasi ukuran pori pada diameter tertentu yaitu 37,07 Å dan 52,18 Å yang ditunjukkan dari munculnya puncak-puncak pada diameter tersebut. Pada lama karbonisasi 3 jam, terjadi peningkatan jumlah pori pada diameter 47,04 Å atau terjadi peningkatan keseragaman pori pada diameter tersebut. Hal ini ditunjukkan dengan adanya puncak yang sangat tinggi pada diameter tersebut. Pada lama karbonisasi 4 jam, distribusi ukuran pori kembali merata dan tersebar di berbagai diameter sehingga menurunkan keseragaman pori yang ditunjukkan dengan hilangnya puncak pada diameter 47,04 Å. Pada lama karbonisasi 5 jam, puncak yang menunjukkan adanya keseragaman

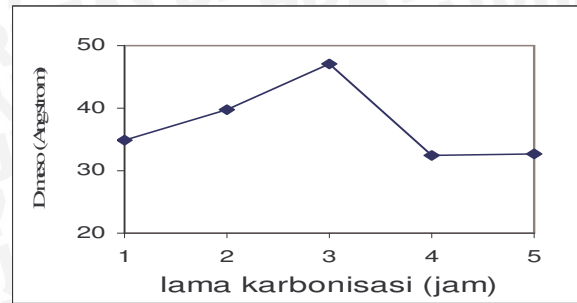
pori tidak terlihat. Hal ini menunjukkan ukuran pori semakin menurun dan tidak ada dominasi ukuran pori pada diameter tertentu.

Munculnya puncak-puncak pada diameter tertentu pada Gambar 4.2 menunjukkan adanya keseragaman pori dan didukung oleh data diameter rata-rata pori karbon pada Gambar 4.3. Dalam hal ini terjadi pembentukan pori dengan jumlah cukup banyak pada diameter tersebut. Pembentukan pori yang semakin optimal terjadi karena proses karbonisasi yang semakin lama memungkinkan terjadinya pemutusan ikatan karbon-nonkarbon yang semakin banyak sehingga mulai terbentuk polimer karbon yang merupakan penyusun rongga pori. Seiring berjalannya waktu, polimerisasi karbon dan polimerisasi silika berjalan optimal, akibatnya pembentukan cetakan pori semakin besar dan dinding pori semakin kuat, sehingga berpengaruh terhadap peningkatan volume pori serta luas permukaan pori. Pernyataan tersebut didukung oleh hasil penelitian Hu dan Srinivasan (2001) yang menyatakan bahwa semakin lama proses karbonisasi berlangsung, reaksi polimerisasi karbon berjalan semakin baik. Dalam hal ini sisa hidrokarbon pada rongga pori juga semakin berkurang dan menyebabkan rongga pori lebih terbuka sehingga volume pori dan luas permukaan internal menjadi lebih besar seperti yang terlihat pada Gambar 4.4 dan 4.5.

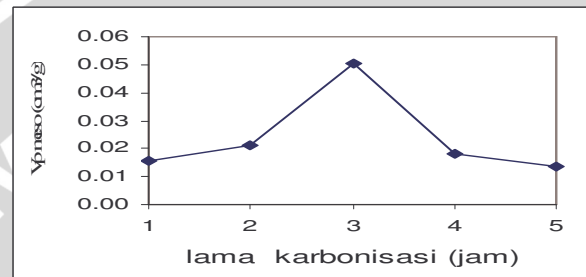
Keseragaman pori yang meningkat diperkirakan terjadi karena penataan ulang sehingga ukuran cetakan menjadi lebih besar dan rigid (kaku). Kerigidan cetakan pori diduga menyokong terjadinya keseragaman. Disamping itu laju polimerisasi silika dan laju polimerisasi karbon berjalan seiring dalam tahap ini. Menurut Handik (2003) jika laju polimerisasi silika lebih cepat dari laju polimerisasi karbon maka rongga pori yang terbentuk semakin besar sedangkan dinding pori karbon semakin tipis sehingga pada saat pencucian dengan HF, dinding pori akan mudah runtuh. Sebaliknya jika laju polimerisasi karbon lebih cepat dari laju polimerisasi silika maka dinding pori menjadi semakin tebal dan rongga pori semakin kecil sehingga dikhawatirkan dapat membentuk mikropori.



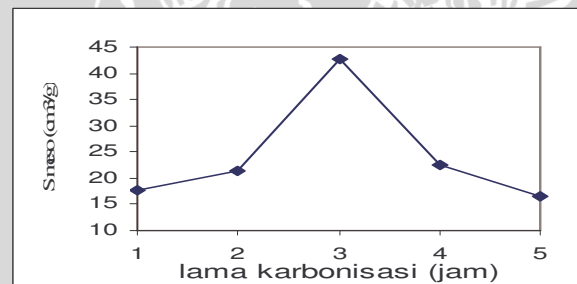
Gambar 4.2 Distribusi ukuran pori karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai lama karbonisasi



Gambar 4.3 Karakteristik diameter rata-tara pori (D) karbon mesopori hasil sintesis dari berbagai lama karbonisasi



Gambar 4.4 Karakteristik volume pori (V) karbon mesopori hasil sintesis dari berbagai lama karbonisasi



Gambar 4.5 Karakteristik luas permukaan (S) karbon mesopori hasil sintesis dari berbagai lama karbonisasi

Penurunan keseragaman pori yang terlihat dari hilangnya puncak tinggi pada diameter 47,04 Å dalam Gambar 4.2 dan penurunan kurva diameter rata-rata pori pada Gambar 4.3, menunjukkan adanya penurunan jumlah mesopori pada diameter tersebut. Berbeda dengan silika yang tahan terhadap temperatur tinggi, karbon sangat rentan terhadap aksi termal. Dalam tahap ini diperkirakan telah terjadi pemutusan ikatan karbon-karbon akibat pemanasan (karbonisasi) yang terlalu lama sehingga banyak polimer karbon yang rusak, akibatnya pada saat pelarutan silika dengan larutan HF 48 %, sebagian dinding pori akan runtuh sehingga mengurangi volume rongga dan memperkecil luas permukaan internal rongga pori yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan 4.5.

Dengan kajian lama karbonisasi ini maka dapat diketahui bahwa karbonisasi selama 3 jam memberikan karakter mesopori terbaik yang meliputi : luas permukaan 42,770 m²/g, volume 0,050 cm³/g, diameter rata-rata 47,04 Å dan keseragaman pori dicapai pada diameter 48 Å. Luas permukaan yang masih rendah kemungkinan disebabkan oleh adanya sisa hidrokarbon yang dapat mengganggu atau menutupi rongga pori karbon. Oleh karena itu dilakukan karakterisasi dengan spektrofotometri inframerah untuk membuktikan apakah memang terdapat sisa hidrokarbon tersebut.

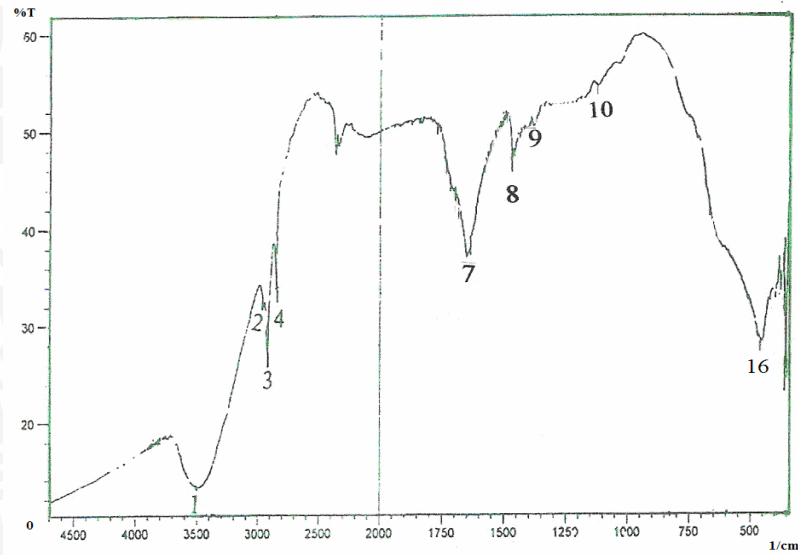
4.2 Karakterisasi Sisa Hidrokarbon dan *Template* pada Permukaan Karbon Mesopori

Karbon mesopori hasil sintesis dikarakterisasi dengan spektrofotometer inframerah untuk mengetahui sisa hidrokarbon pada karbon mesopori hasil sintesis, serta untuk mendeteksi masih ada atau tidaknya sisa *template* natrium silikat di dalam karbon mesopori. Data pengukuran dengan spektrofotometer inframerah terdapat dalam Tabel 4.2, Gambar 4.6 s/d 4.9.

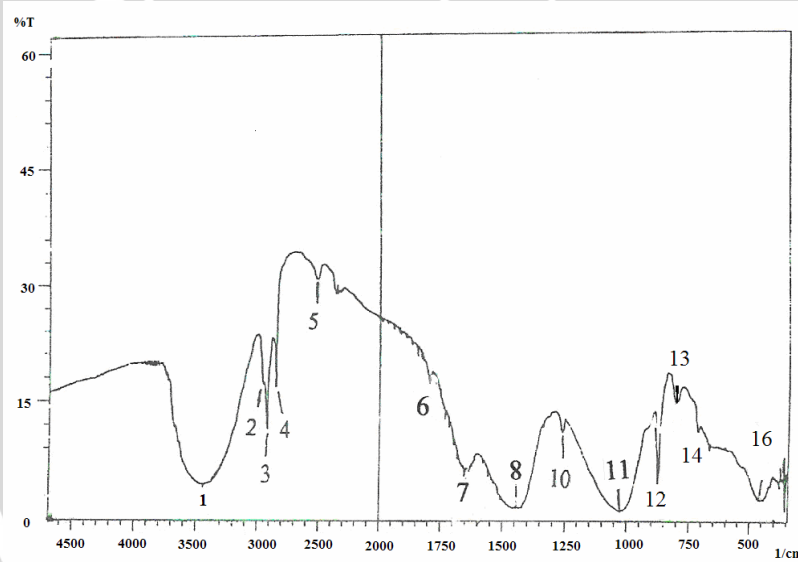
Dari data pada Tabel 4.2 maupun pola spektra pada Gambar 4.7 diketahui bahwa lumpur kering yang dikarakterisasi juga mengandung puncak-puncak karakteristik untuk natrium silikat (Gambar 4.8) maupun aluminosilikat. Hal ini terkait dengan adanya kandungan tanah dalam lumpur yang merupakan senyawa aluminosilikat.

Spektra karbon mesopori pada Gambar 4.6 tidak menampilkan pita karakteristik untuk natrium silikat yang berarti produk karbon tidak mengandung natrium silikat. Jika dibandingkan dengan pita-pita pada spektra lumpur (no.2-4,8) pada gambar 4.7, terlihat bahwa karbon mesopori masih mengandung hidrokarbon. Hal ini menunjukkan bahwa proses karbonisasi belum berjalan 100% sehingga membutuhkan aktivasi lebih lanjut. Selain itu dari pita no. 1, 7, 10 dan 16 Gambar 4.6 juga diperkirakan adanya gugus OH dari asam karboksilat. Sedangkan pita no. 1, dan 10 juga menunjukkan adanya gugus OH dari fenol. Permukaan karbon mesopori hasil sintesis cenderung lebih polar. Pita serapan no. 7 dan 10 menunjukkan adanya gugus C=N, C=O karboksilat dan pita no. 10, 11 (Gambar 4.7) menunjukkan adanya gugus S=O. Kandungan bahan organik dalam lumpur tidak diketahui secara pasti, namun sebagian gugus seperti S=O, C=N, C-O (karboksilat) diperkirakan berasal dari zat warna tekstil yang digunakan. Contoh zat warna tekstil terdapat pada Lampiran 5. Gugus S=O lebih dominan daripada gugus C=N dan C=O karboksilat 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, 8, 11 dan 16 diduga terkait dengan adanya gugus reaktif vinil sulfon zat warna reaktif yang belum terdegradasi.

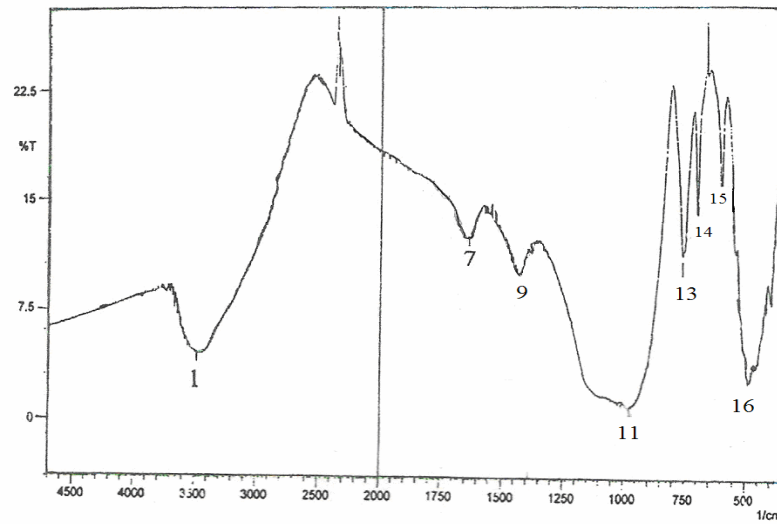
Pada Gambar 4.9 dapat dilihat spektra karbon aktif perdagangan sebagai pembanding dari spektra karbon mesopori hasil sintesis dari limbah tekstil (Gambar 4.6). Dari spektra karbon aktif perdagangan terlihat jelas bahwa sudah tidak terdapat puncak-puncak karakteristik. Hal ini menandakan tidak adanya hidrokarbon dan sisa bahan organik seperti pada karbon mesopori hasil sintesis.



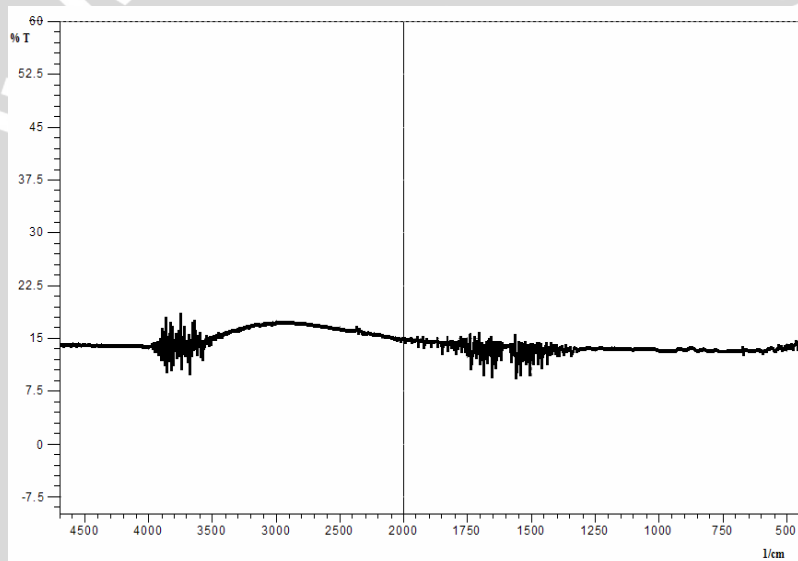
Gambar 4.6 Spektra inframerah karbon mesopori hasil sintesis pada kondisi optimum (lama karbonisasi 3 jam)



Gambar 4.7 Spektra inframerah lumpur kering (pembanding)



Gambar 4.8 Spektra inframerah natrium silikat hasil pengeringan pada temperatur 600°C (pembanding)



Gambar 4.9 Spektra inframerah karbon aktif perdagangan (pembanding)

Tabel 4.2 Data Spektra Inframerah

No. pita	Lumpur kering		C-mesop.		Natsil (v)	Data referensi * pemanding	
	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 alkana
						1430-1470 (l)	Tekuk as. CH ₃ dan CH ₂ pada alkana
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
						1375	SiO ⁻ - Na Na ⁺ - H ₂ O
9	-		1375	0,301	1375,0	1000-1300(s-k)	C-O as karboksilat , alkohol
10	1261,00 (s)	0,117	1200,00 (l)	0,032	-	1160-1250	Rent asim S=O
						1250-1400	δ OH fenol dan 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 alumino silikat
						600-630	Rentangan 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

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin lama karbonisasi (1-3 jam), volume, luas permukaan spesifik dan diameter pori semakin meningkat. Namun karbonisasi yang terlalu lama (diatas 3 jam) menyebabkan volume, luas permukaan spesifik dan diameter pori semakin menurun
2. Karakter karbon terbaik diperoleh pada lama karbonisasi 3 jam yang meliputi : 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, karbon mesopori yang dihasilkan mengandung hidrokarbon

5.2 Saran

Dalam penelitian ini perlu dilakukan aktivasi terhadap karbon mesopori yang dihasilkan dengan tujuan untuk menghilangkan sisa hidrokarbon pada permukaan mesopori.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 1996, **Buku Panduan Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Tekstil**, BAPEDAL, Jakarta,

_____, 1999, **Arang Aktif dari Tempurung Kelapa**,
<http://pdii.lipi.go.id>, diakses tanggal 1 Maret 2007

Anonymous, 2005, **Separation Science**,
<http://www.chromatography.amershambioscience.com/aptrix/upp00919.nsf/content/labsep-homepage>, diakses tanggal 30 Juni 2007

_____, 2005, **Soil Chemical Analysis**,
<http://soil.scijournals.org/cgi/content/full/66/1/299?maxtoshow=&Hits=10&hits&RESULTFORMAT=&fulltext=calibration&searchid=1&FIRSTINDEX=30&resourcetype=HWF16>,
diakses tanggal 25 oktober 2007

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

Hoque, M.M., Ota, M., and Bhattacharya, S.C., 2002, **Activated Charcoal from Coconut Shell Using ZnCl₂ Activation**, Biomass and Bioenergy 22, pp. 397-400

Hu, Z., and M.P. Srinivasan, 2001, **Mesoporous High-Surface-Area Activated Carbon**, Microporous and Mesoporous Materials, 43, 267-275

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

Joo,S.H. and Ryoo, R., 2002, **Structural Characterization of Nobel Metal Cluster Supported Mesoporous Carbon by XAFS**. <http://pfwww.kek.jp/acr2002pdf>.

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

Kirk-Othmer, 1979, **Encyclopedia of Chemical Technology**, Vol. 4, 3rd edition, John Wiley and Sons Inc., New York, pp. 561-569

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

Lowell and Shields, 1984, **Powder Surface Area and Porocity**, 2nd ed., Chapman and Hall, 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

Sastrohamidjojo, H., 1991, **Spektroskopi Inframerah**, Edisi pertama, Liberty, Yogyakarta, hal. 46, 64-65

Setianingsih,T., dan Hasanah, U., 2004, **Sintesis Karbon Mesopori dengan Template Silikagel dan Natrium Silikat**, laporan penelitian DPP/SPP, FMIPA, UNIBRAW

Setianingsih,T., dan Hasanah, U., 2005, **Sintesis Karbon Mesopori dengan Metode Polimerisasi Sertentak**, laporan penelitian DPP/SPP, FMIPA, UNIBRAW

Tamai, H.M. Ikeuchi, S. Kajoma, H, and Yasuda, 1997, **Adv. Amter** 9, <http://www.elsiver.com/locate/micromeso>

West, S.R, 1984, **Solid state Chemistry and its Application**, John Wiley and Sons Ltd., Singapore, pp. 18-19, 163, 25-26

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

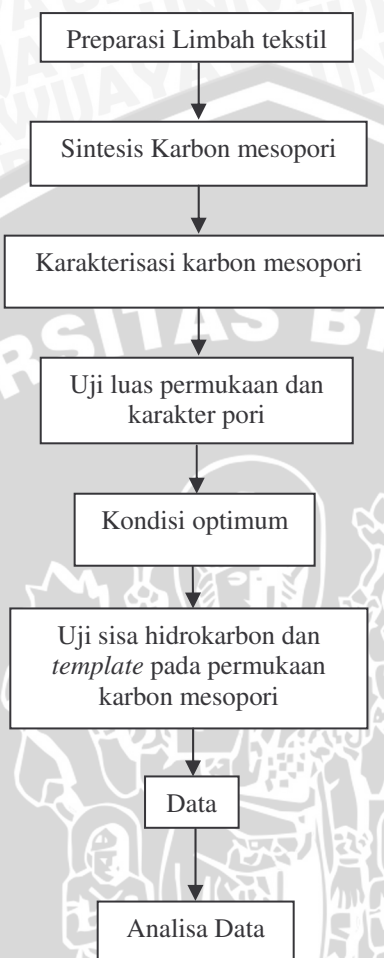


Lampiran 1

LAMPIRAN

DIAGRAM ALIR PENELITIAN

L.1.1 Tahapan Penelitian



L.1.2 Preparasi Limbah Tekstil

500 g Limbah lumpur

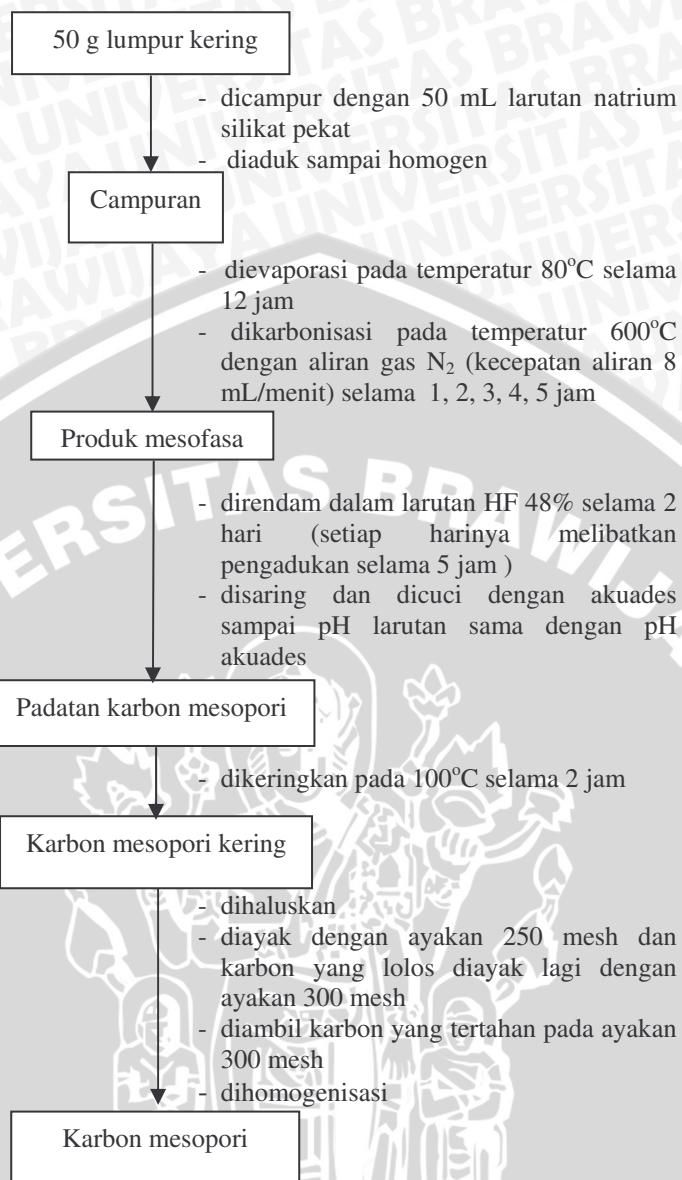
- diletakkan di bawah sinar matahari sampai agak kering
- dikeringkan di dalam oven dengan temperatur 100°C selama 2 jam
- didinginkan
- dihaluskan dan diayak dengan ayakan 120 – 150 Mesh

Lumpur kering

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



L.1.3 Sintesis Karbon Mesopori



Lampiran 2

CONTOH PERHITUNGAN LUAS PERMUKAAN MESOPORI, VOLUME MESOPORI DAN DIAMETER MESOPORI DENGAN METODE POD

Larutan Natrium silikat 50 mL, 600°C, 1 jam

a. Perhitungan Volume Mesopori

$$\begin{aligned}\log \frac{p_0}{P} &= \log \frac{1}{p/p_0} \\ &= \log \frac{1}{0,0446} \\ &= 1,3507\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_k &= \frac{4,15}{\log p_0/p} \\ &= \frac{4,15}{1,3057} \\ &= 3,0726 \text{ \AA}\end{aligned}$$

$r_{k(\text{rata-rata})}$ diperoleh dari rata-rata r_k pada 2 baris yang berdekatan dalam kolom r_k pada Tabel L.2.1

$$\begin{aligned}t &= 3,54 \left(\frac{5}{2,303 \log p/p_0} \right)^{1/3} \\ &= 3,54 \left(\frac{5}{2,303 \cdot 1,3057} \right)^{1/3} \\ &= 4,1433\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\Delta V_{gas(1)} &= V_2 - V_1 \\ &= 2,5161 - 2,1573 \\ &= 0,3588 \text{ cm}^3 / \text{g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta V_{liq(1)} &= \Delta V_{gas(1)} \times 1,54.10^{-3} \text{ cm}^3 / \text{g} \\ &= 0,3588 \times 1,54.10^{-3} \text{ cm}^3 / \text{g} \\ &= 0,0006 \text{ cm}^3 / \text{g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_p &= r_k + t \\ &= 3,0726 + 4,1433 \\ &= 7,2159 \text{ \AA}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_{p(rata-rata)} &= \frac{r_{p1} + r_{p2}}{2} \\ &= \frac{7,2159 - 7,9015}{2} \\ &= 7,5587 \text{ \AA}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_{k(rata-rata)} &= \frac{r_{k1} + r_{k2}}{2} \\ &= \frac{3,0726 + 3,5527}{2} \\ &= 3,3127 \text{ \AA}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_p &= \left(\frac{r_p}{r_k} \right)^2 (\Delta V_{liq}) \text{ cm}^3 / \text{g} \\ &= \left(\frac{7,5587}{3,3127} \right)^2 \times 0,0006 \\ &= 0,0029 \text{ cm}^3 / \text{g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{p \text{ meso}} &= \text{total } V_p \text{ pada tabel POD untuk } D \geq 20 \\ V_{p \text{ meso}} &= 0,0154 \text{ cm}^3 / \text{g}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Luas Permukaan Mesopori

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{2V_p}{r_p} \times 10^4 \\
 &= \frac{2.0,0029}{7,5587} \times 10^4 \text{ m}^2 / \text{g} \\
 &= 7,6121 \text{ m}^2 / \text{g}
 \end{aligned}$$

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

$$S_{\text{meso}} = 17,7003 \text{ m}^2/\text{g}$$

c. Perhitungan Diameter Mesopori

$$\begin{aligned}
 r_{\text{meso}} &= 2 \frac{V_{\text{meso}}}{S_{\text{meso}}} \\
 r_{\text{meso}} &= 2 \frac{0,0154 \cdot 10^4 \text{ m}^3 / \text{g}}{17,7003 \text{ m}^2 / \text{g}}
 \end{aligned}$$

$$= 17,4008 \text{ \AA}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\text{meso}} &= 2 \times r_{\text{meso}} \\
 &= 2 \times 17,4008 \text{ \AA} \\
 &= 34,8016 \text{ \AA}
 \end{aligned}$$



Tabel L2.1 PENGOLAHAN DATA ADSORBSI GAS NITROGEN DENGAN METODE POD

Larutan natrium silikat 50 mL, 600°C, 1 jam

p/po	po/p	v (mL/g)	log po/p	rk (Å)	(log po/p)1/3	t	ΔV gas (cm ³ /g)	ΔV liq (cm ³ /g)	rp (Å)	rp rata (Å)	rk rata (Å)	Vp (cm ³ /g)	S (m ² /g)	D rata
0.1467	6.8166	3.5703	0.8336	4.9786	0.9411	4.8665	0.4302	0.0007	9.8451	10.4990	5.4792	0.0024	4.6338	20.9979
0.2023	4.9432	4.0005	0.6940	5.9798	0.8854	5.1730	0.3987	0.0006	11.1528	11.7714	6.4653	0.0020	3.4582	23.5428
0.2529	3.9541	4.3992	0.5971	6.9508	0.8420	5.4391	0.0617	0.0001	12.3899	12.7372	7.2277	0.0003	0.4634	25.4744
0.2799	3.5727	4.4609	0.5530	7.5046	0.8208	5.5799	0.3304	0.0005	13.0844	13.7318	8.0278	0.0015	2.1683	27.4635
0.3271	3.0572	4.7913	0.4853	8.5511	0.7859	5.8280	0.1434	0.0002	14.3791	14.7599	8.8627	0.0006	0.8299	29.5198
0.3529	2.8337	4.9347	0.4523	9.1743	0.7676	5.9663	0.3159	0.0005	15.1407	15.9066	9.8086	0.0013	1.6086	31.8132
0.4005	2.4969	5.2506	0.3974	10.4429	0.7352	6.2296	0.1271	0.0002	16.6725	17.1511	10.8438	0.0005	0.5710	34.3022
0.4275	2.3392	5.3777	0.3691	11.2447	0.7173	6.3851	0.2253	0.0003	17.6297	18.5567	12.0295	0.0008	0.8898	37.1134
0.4744	2.1079	5.1524	0.3239	12.8144	0.6867	6.6693	-0.0145	0.0000	19.4837	20.0587	13.3062	-0.0001	-0.0506	40.1174
0.5003	1.9988	5.1669	0.3008	13.7979	0.6700	6.8358	0.1850	0.0003	20.6337	21.8289	14.8304	0.0006	0.5655	43.6577
0.5475	1.8265	5.3519	0.2616	15.8630	0.6396	7.1611	0.1443	0.0002	23.0240	24.1523	16.8487	0.0005	0.3781	48.3047
0.5852	1.7088	5.4962	0.2327	17.8345	0.6151	7.4462	0.1019	0.0002	25.2807	26.2111	18.6541	0.0003	0.2364	52.4222
0.6122	1.6335	5.5981	0.2131	19.4738	0.5973	7.6677	0.2877	0.0004	27.1415	29.1877	21.2945	0.0008	0.5704	58.3753
0.6614	1.5119	5.8858	0.1795	23.1152	0.5641	8.1186	0.0975	0.0002	31.2338	32.4753	24.2302	0.0003	0.1661	64.9507
0.6859	1.4579	5.9833	0.1637	25.3452	0.5471	8.3717	0.2830	0.0004	33.7169	36.9837	28.3083	0.0007	0.4023	73.9673
0.7367	1.3574	6.2663	0.1327	31.2714	0.5101	8.9791	0.1042	0.0002	40.2504	42.4642	33.2989	0.0003	0.1229	84.9285
0.7630	1.3106	6.3705	0.1175	35.3265	0.4898	9.3515	0.2014	0.0003	44.6781	48.2913	38.6623	0.0005	0.2004	96.5827
0.7965	1.2555	6.5719	0.0988	41.9980	0.4623	9.9066	0.3222	0.0005	51.9046	59.8395	49.4079	0.0007	0.2433	119.6791
0.8452	1.1832	6.8941	0.0730	56.8178	0.4180	10.9566	0.1167	0.0002	67.7744	74.3007	62.9740	0.0003	0.0673	148.6015
0.8709	1.1482	7.0108	0.0600	69.1301	0.3916	11.6969	0.3163	0.0005	80.8271	103.2681	90.5513	0.0006	0.1227	206.5363
0.9182	1.0891	7.3271	0.0371	111.9724	0.3334	13.7368	0.2101	0.0003	125.7092	156.1788	141.4034	0.0004	0.0505	312.3575
0.9456	1.0575	7.5372	0.0243	170.8344	0.2896	15.8140	0.4045	0.0006	186.6483	93.3242	785.6526	0.0000	0.0019	186.6483
0.9932	1.0068	7.9417	0.0030	1400.4708	0.1436	31.8865						0.0154	17.7003	

Catatan: data P/P₀ dan V gas merupakan data pengukuran dengan Surface Area Analyzer

Tabel L.2.2 PENGOLAHAN DATA ADSORBSI GAS NITROGEN DENGAN METODE POD

Lar. Natrium silikat 50 mL, 600°C, 2 jam

p/po	po/p	v (mL/g)	logpo/p	rk (Å)	(log po/p)1/3	t	ΔV gas(cm ³ /g)	ΔV liq(cm ³ /g)	rp(Å)	rp rata (Å)	rk rata(Å)	Vp (cm ³ /g)	S (m ² /g)	D rata
0.1475	6.7797	3.8265	0.8312	4.9927	0.9402	4.8711	0.4856	0.0007	9.8639	10.5036	5.4826	0.0027	5.2264	21.0071
0.2019	4.9529	4.3121	0.6949	5.9724	0.8857	5.1709	0.3253	0.0005	11.1433	11.7666	6.4616	0.0017	2.8236	23.5332
0.2529	3.9541	4.6374	0.5971	6.9508	0.8420	5.4391	0.1189	0.0002	12.3899	12.7280	7.2203	0.0006	0.8941	25.4560
0.2792	3.5817	4.7563	0.5541	7.4898	0.8213	5.5762	0.2963	0.0005	13.0661	13.7125	8.0123	0.0013	1.9493	27.4251
0.3264	3.0637	5.0526	0.4862	8.5347	0.7864	5.8243	0.1129	0.0002	14.3590	14.7468	8.8520	0.0005	0.6544	29.4936
0.3527	2.8353	5.1655	0.4526	9.1694	0.7678	5.9653	0.2405	0.0004	15.1346	15.8984	9.8019	0.0010	1.2257	31.7969
0.4002	2.4988	5.4060	0.3977	10.4344	0.7354	6.2279	0.0806	0.0001	16.6623	17.1294	10.8256	0.0003	0.3628	34.2589
0.4266	2.3441	5.4866	0.3700	11.2168	0.7179	6.3798	0.5668	0.0009	17.5966	18.5359	12.0120	0.0021	2.2427	37.0718
0.4742	2.1088	4.9198	0.3240	12.8071	0.6869	6.6681	0.1065	0.0002	19.4752	20.0661	13.3125	0.0004	0.3714	40.1321
0.5008	1.9968	4.8133	0.3003	13.8179	0.6697	6.8391	0.0333	0.0001	20.6569	21.8599	14.8573	0.0001	0.1016	43.7197
0.5482	1.8242	4.8466	0.2611	15.8967	0.6391	7.1661	0.0197	0.0000	23.0628	23.8485	16.5822	0.0001	0.0526	47.6971
0.5750	1.7391	4.8663	0.2403	17.2678	0.6217	7.3665	1.3436	0.0021	24.6343	26.0885	18.5482	0.0041	3.1381	52.1770
0.6176	1.6192	6.2099	0.2093	19.8287	0.5937	7.7140	0.1365	0.0002	27.5427	29.2664	21.3628	0.0004	0.2696	58.5327
0.6588	1.5179	6.3464	0.1812	22.8970	0.5659	8.0930	0.1399	0.0002	30.9900	33.1309	24.8226	0.0004	0.2317	66.2617
0.6996	1.4294	6.4863	0.1552	26.7483	0.5373	8.5234	0.1174	0.0002	35.2717	37.1264	28.4312	0.0003	0.1661	74.2528
0.7281	1.3734	6.6037	0.1378	30.1142	0.5165	8.8669	0.2007	0.0003	38.9811	41.6082	32.5170	0.0005	0.2433	83.2164
0.7606	1.3148	6.8044	0.1188	34.9198	0.4917	9.3155	0.4654	0.0007	44.2353	49.8447	40.1073	0.0011	0.4442	99.6894
0.8098	1.2349	7.2698	0.0916	45.2947	0.4508	10.1593	0.4188	0.0006	55.4540	59.5006	49.0732	0.0009	0.3187	119.0012
0.8346	1.1982	7.6886	0.0785	52.8517	0.4282	10.6955	0.6209	0.0010	63.5472	75.9001	64.5117	0.0013	0.3488	151.8002
0.8821	1.1337	8.3095	0.0545	76.1717	0.3791	12.0813	0.2716	0.0004	88.2530	100.7010	88.0477	0.0005	0.1087	201.4020
0.9088	1.1004	8.5811	0.0415	99.9237	0.3463	13.2253	0.4254	0.0007	113.1490	169.5109	154.4421	0.0008	0.0931	339.0218
0.9553	1.0468	9.0065	0.0199	208.9604	0.2708	16.9124	0.3171	0.0005	225.8728	112.9364	363.1694	0.0000	0.0084	225.8728
0.9817	1.0186	9.3236	0.0080	517.3784	0.2002	22.8798						0.0212	21.2752	

Catatan: data P/P₀ dan V gas merupakan data pengukuran dengan *Surface Area Analyzer*

Tabel L.2.3 PENGOLAHAN DATA ADSORBSI GAS NITROGEN DENGAN METODE POD

Lar. Natrium silikat 50 mL, 600°C, 3 jam

p/po	po/p	v (mL/g)	logpo/p	rk (Å)	(log po/p)1/3	t	ΔV gas (cm ³ /g)	ΔV liq (cm ³ /g)	rp (Å)	rp rata (Å)	rk rata (Å)	Vp (cm ³ /g)	S (m ² /g)	D rata
0.1474	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	1.7337	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						0.0602	66.1917	

Catatan: data P/P₀ dan V gas merupakan data pengukuran dengan Surface Area Analyzer

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

Lar. Natrium silikat 50 mL, 600°C, 4 jam

p/po	po/p	v (mL/g)	logpo/p	rk (Å)	(log po/p)1/3	t	ΔV gas (cm ³ /g)	ΔV liq (cm ³ /g)	rp (Å)	rp rata (Å)	rk rata (Å)	Vp (cm ³ /g)	S (m ² /g)	D rata
0.1476	6.7751	4.5598	0.8309	4.9945	0.9401	4.8717	0.4783	0.0007	9.8662	10.5071	5.4853	0.0027	5.1444	21.0143
0.2021	4.9180	5.0381	0.6944	5.9761	0.8855	5.1720	0.6841	0.0011	11.1481	11.7476	6.4465	0.0035	5.9562	23.4952
0.2512	3.9809	5.7222	0.6000	6.9169	0.8434	5.4302	0.2190	0.0003	12.3471	12.6987	7.1971	0.0010	1.6537	25.3975
0.2786	3.5894	5.9412	0.5550	7.4772	0.8218	5.5731	0.3581	0.0006	13.0503	13.7133	8.0130	0.0016	2.3556	27.4266
0.3270	3.0581	6.2993	0.4855	8.5487	0.7859	5.8275	0.1865	0.0003	14.3762	14.7645	8.8665	0.0008	1.0788	29.5291
0.3533	2.8305	6.4858	0.4519	9.1843	0.7674	5.9685	0.3174	0.0005	15.1528	15.9212	9.8208	0.0013	1.6138	31.8424
0.4010	2.4938	6.8032	0.3969	10.4572	0.7349	6.2324	0.1553	0.0002	16.6896	17.1468	10.8401	0.0006	0.6980	34.2936
0.4268	2.3430	6.9585	0.3698	11.2230	0.7178	6.3810	0.2609	0.0004	17.6040	18.5375	12.0133	0.0010	1.0322	37.0749
0.4741	2.1093	6.6976	0.3241	12.8035	0.6869	6.6674	0.0066	0.0000	19.4709	20.0639	13.3107	0.0000	0.0230	40.1279
0.5008	1.9968	6.7042	0.3003	13.8179	0.6697	6.8391	0.1826	0.0003	20.6569	21.8710	14.8669	0.0006	0.5565	43.7419
0.5486	1.8228	6.8868	0.2607	15.9160	0.6389	7.1690	0.1527	0.0002	23.0850	24.2316	16.9180	0.0005	0.3982	48.4632
0.5867	1.7044	7.0395	0.2316	17.9201	0.6141	7.4581	0.0962	0.0001	25.3782	26.2196	18.6614	0.0003	0.2231	52.4393
0.6111	1.6364	7.1357	0.2139	19.4027	0.5980	7.6584	0.2325	0.0004	27.0611	28.9054	21.0424	0.0007	0.4675	57.8108
0.6562	1.5239	7.3682	0.1830	22.6821	0.5677	8.0676	0.2326	0.0004	30.7497	33.1298	24.8229	0.0006	0.3852	66.2597
0.7016	1.4253	7.6008	0.1539	26.9637	0.5359	8.5463	0.1157	0.0002	35.5100	36.9008	28.2252	0.0003	0.1651	73.8016
0.7232	1.3827	7.7165	0.1407	29.4867	0.5202	8.8049	0.1936	0.0003	38.2916	41.2270	32.1697	0.0005	0.2375	82.4539
0.7602	1.3154	7.9101	0.1191	34.8528	0.4920	9.3096	0.2744	0.0004	44.1624	49.7797	40.0473	0.0007	0.2623	99.5595
0.8096	1.2352	8.1845	0.0917	45.2417	0.4510	10.1554	0.1446	0.0002	55.3971	59.8122	49.3654	0.0003	0.1093	119.6245
0.8364	1.1956	8.3291	0.0776	53.4890	0.4265	10.7384	0.2603	0.0004	64.2274	76.7535	65.3180	0.0006	0.1442	153.5070
0.8835	1.1319	8.5894	0.0538	77.1469	0.3775	12.1327	0.1187	0.0002	89.2796	102.3786	89.6508	0.0002	0.0466	204.7573
0.9107	1.0981	8.7081	0.0406	102.1547	0.3438	13.3230	0.2713	0.0004	115.4777	174.4862	159.2695	0.0005	0.0575	348.9724
0.9568	1.0452	8.9794	0.0192	216.3844	0.2677	17.1103	0.1424	0.0002	233.4947	116.7473	381.9734	0.0000	0.0035	233.4947
0.9827	1.0176	9.1218	0.0076	547.5625	0.1964	23.3164						0.0183	22.6121	

Catatan: data P/P₀ dan V gas merupakan data pengukuran dengan *Surface Area Analyzer*

Tabel L.2.5 PENGOLAHAN DATA ADSORBSI GAS NITROGEN DENGAN METODE POD

Lar. Natrium silikat 50 mL, 600 der.Celsius, 5 jam

p/po	po/p	v (mL/g)	log po/p	rk (Å)	(log po/p)1/3	t	$\frac{\Delta V}{\text{gas (cm}^3/\text{g)}}$	$\frac{\Delta V}{\text{liq (cm}^3/\text{g)}}$	rp (Å)	rp rata (Å)	rk rata (Å)	Vp (cm ³ /g)	S (m ² /g)	D rata
0.1470	6.8027	4.0957	0.8327	4.9839	0.9408	4.8682	0.5310	0.0008	9.8521	10.4965	5.4772	0.0030	5.7223	20.9930
0.2018	4.9554	4.6267	0.6951	5.9705	0.8858	5.1704	0.2379	0.0004	11.1409	11.7679	6.4627	0.0012	2.0645	23.5359
0.2531	3.9510	4.8646	0.5967	6.9548	0.8419	5.4402	0.1535	0.0002	12.3950	12.7266	7.2192	0.0007	1.1545	25.4532
0.2789	3.5855	5.0181	0.5546	7.4835	0.8216	5.5747	0.3280	0.0005	13.0582	13.7186	8.0173	0.0015	2.1562	27.4373
0.3271	3.0572	5.3461	0.4853	8.5511	0.7859	5.8280	0.1160	0.0002	14.3791	14.7584	8.8615	0.0005	0.6715	29.5168
0.3528	2.8345	5.4621	0.4525	9.1718	0.7677	5.9658	0.1488	0.0002	15.1376	15.9188	9.8188	0.0006	0.7567	31.8375
0.4013	2.4919	5.6109	0.3965	10.4658	0.7347	6.2341	0.0751	0.0001	16.6999	17.1593	10.8506	0.0003	0.3371	34.3185
0.4272	2.3408	5.6860	0.3694	11.2354	0.7175	6.3833	0.4013	0.0006	17.6187	18.5576	12.0303	0.0015	1.5848	37.1151
0.4747	2.1066	5.2847	0.3236	12.8252	0.6865	6.6712	0.0236	0.0000	19.4964	20.0930	13.3355	0.0001	0.0821	40.1860
0.5015	1.9940	5.2611	0.2997	13.8458	0.6692	6.8437	0.0834	0.0001	20.6895	21.8845	14.8785	0.0003	0.2539	43.7690
0.5485	1.8232	5.3445	0.2608	15.9112	0.6389	7.1683	0.0631	0.0001	23.0795	23.8229	16.5597	0.0002	0.1688	47.6457
0.5739	1.7425	5.4076	0.2412	17.2082	0.6224	7.3580	0.1677	0.0003	24.5663	26.1950	18.6429	0.0005	0.3893	52.3899
0.6213	1.6095	5.5753	0.2067	20.0775	0.5913	7.7462	0.0714	0.0001	27.8237	28.9318	21.0629	0.0002	0.1434	57.8636
0.6483	1.5425	5.6467	0.1882	22.0482	0.5731	7.9917	0.2078	0.0003	30.8399	32.5148	24.2708	0.0006	0.3533	65.0296
0.6972	1.4343	5.8545	0.1566	26.4934	0.5391	8.4963	0.0939	0.0001	34.9897	36.9639	28.2843	0.0002	0.1336	73.9279
0.7278	1.3740	5.9484	0.1380	30.0751	0.5167	8.8631	0.1165	0.0002	38.9382	41.5412	32.4556	0.0003	0.1415	83.0823
0.7601	1.3156	6.0649	0.1191	34.8361	0.4920	9.3081	0.2347	0.0004	44.1442	49.7991	40.0654	0.0006	0.2243	99.5982
0.8098	1.2349	6.2996	0.0916	45.2947	0.4508	10.1593	0.0851	0.0001	55.4540	59.5944	49.1610	0.0002	0.0646	119.1887
0.8351	1.1975	6.3847	0.0783	53.0273	0.4277	10.7074	0.2188	0.0003	63.7347	76.5072	65.0871	0.0005	0.1217	153.0143
0.8835	1.1319	6.6035	0.0538	77.1469	0.3775	12.1327	0.1000	0.0002	89.2796	101.6987	88.9993	0.0002	0.0395	203.3974
0.9096	1.0994	6.7035	0.0411	100.8517	0.3452	13.2661	0.2603	0.0004	114.1178	171.7417	156.6068	0.0005	0.0561	343.4833
0.9560	1.0460	6.9638	0.0195	212.3619	0.2694	17.0036	0.1549	0.0002	229.3656	114.6828	388.1820	0.0000	0.0036	229.3656
0.9832	1.0171	7.1187	0.0074	564.0020	0.1945	23.5474						0.0136	16.6236	

Catatan: data P/P₀ dan V gas merupakan data pengukuran dengan *Surface Area Analyzer*

Dari pengolahan data adsorpsi gas nitrogen dengan POD diperoleh data luas permukaan spesifik, volume pori dan ukuran pori pada Tabel L.2.6

Tabel L.2.6 Data karakter karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai lama karbonisasi (metode POD)

karakter	Satuan	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	5 jam
Vp meso	cm ³ /g	0.0154	0.0212	0.0503	0.0183	0.0136
S meso	m ² /g	17.7003	21.2752	42.7702	22.6121	16.6236
rp meso	A	17.3982	19.8846	23.5184	16.1954	16.3668
dp meso	A	34.7965	39.7692	47.0367	32.3908	32.7336
mesop.	%(S/S)	111	130	193	114	96

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 3

CONTOH PERHITUNGAN LUAS PERMUKAAN SPESIFIK, VOLUME PORI TOTAL DAN DIAMETER PORI RATA-RATA DENGAN METODE BET

Larutan Natrium silikat 50 mL, 600°C, 1 jam

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))
0.0446	2.1573	0.0027	0.0004	22.4215	132.4883
0.0679	2.5161	0.0031	0.0004	14.7275	177.2629
0.1467	3.5703	0.0045	0.0006	6.8166	294.8235
0.2023	4.0005	0.0050	0.0007	4.9432	388.1329
0.2529	4.3992	0.0055	0.0007	3.9541	471.1235

Po : 748.54 mmHg

W sample : 0.1306 g

bj Nitrogen : 1.25×10^{-3} g/mL

P/Po : tekanan relative

V_{gas} : volume gas N₂ yang teradsorpsi (mL/g)

W_{gas} : berat gas N₂ yang teradsorpsi

$$(V_{gas} \times \eta_{N_2} \times W_{sampel})$$

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

Maka, akan diperoleh persamaan garis lurus sebagai berikut

$$Y = 1607.1408X + 63.1379$$

Sehingga diketahui :

$$\text{Slope, } s = \frac{C-1}{W_m C} = 1607.1408$$

$$\text{Intersep, } i = \frac{1}{W_m C} = 63.1379$$

$$r = 0.9997$$

Dengan demikian diperoleh :

$$W_m = \frac{1}{s+i} = \frac{1}{1607.1408+63.1379} = 0.0006 \text{ g}$$

Luas permukaan padatan dapat dihitung dengan persamaan :

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

di mana,

N : bilangan Avogadro = $6.022 \times 10^{23}/\text{mol}$

A : luas permukaan nitrogen cair = $16.2 \text{ \AA}^2$

M : berat molekul $N_2 = 28 \text{ g/mol}$

$$S_t = \frac{0.0006 \text{ g} \times 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 16.2 \text{ \AA}^2 \times 10^{-20} \text{ m}^2 / \text{\AA}^2}{28 \text{ g/mol}}$$

$$= 2.0860 \text{ m}^2$$

Dengan demikian luas permukaan spesifik (S) diperoleh:

$$S = \frac{S_t}{W_s} = 15.9722 \text{ m}^2/\text{g}$$

b. Perhitungan volume pori

$$V_{\text{gas}} (P/P_0 = 0.9932) = 7.9417 \text{ cm}^3/\text{g}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga } V_{\text{liq}} &= 1.54 \times 10^{-3} \times V_{\text{gas}} N_2 \\ &= 1.54 \times 10^{-3} \times 7.9417 \text{ cm}^3/\text{g} \\ &= 0.01223 \text{ cm}^3/\text{g} \end{aligned}$$

$$V_{\text{pori}} = V_{\text{liq}} = 0.01223 \text{ cm}^3/\text{g}$$

c. Perhitungan jari pori rata-rata

$$\begin{aligned} \bar{r}_p &= \frac{2V_p}{S} = \frac{2 \times 0.01223 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \times 10^{-6} \text{ cm}^3 / \text{m}^3}{15.9722 \text{ m}^2 / \text{g}} \\ &= 1.53144 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{m}^2 \\ &= 15.3144 \text{ \AA} \end{aligned}$$

$$d_p = 2 \times 15.3144 \text{ \AA} = 30.6288 \text{ \AA}$$

Dari pengolahan data adsorpsi gas nitrogen untuk sampel hasil sintesis pada 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam dengan metode BET maka diperoleh data luas permukaan spesifik, volume pori dan ukuran pori pada Tabel L.3.1.

Tabel L.3.1 Data karakter karbon mesopori hasil sintesis pada berbagai lama karbonisasi (metode BET)

karakter	Satuan	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	5 jam
V_p	cm^3/g	0.0122	0.0144	0.0341	0.014	0.011
S	m^2/g	15.9722	16.4115	22.1709	19.7819	17.3666
r_p	$\text{\AA}$	15.3144	17.4979	30.7803	14.2025	12.6251
d_p	$\text{\AA}$	30.6287	34.9959	61.5606	28.405	25.2503

Lampiran 4

Penentuan % Bahan Organik dan Karbon Organik dalam Limbah Lumpur Industri Tekstil

a. Hasil analisa kadar bahan organik secara gravimetri



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG
FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA
JL. VETERAN TELP. (0341) 575838 MALANG 65145

LAPORAN HASIL ANALISA

1. Data konsumen :
 - Nama : Tutik Setianingsih, Dra., M. Si.
 - Instansi : Fakultas MIPA Jurusan Kimia Unibraw.
 - Alamat : Jl. Veteran Malang.
 - Telepon : (0341) 725210
 - Status : Dosen
 - Keperluan analisis : Penelitian
2. Sampling dilakukan : oleh konsumen
3. Identifikasi
 - a. Nama sampel : Sludge Pabrik Tekstil
 - b. Wujud : Padatan
 - c. Bentuk : Serbuk
 - d. Warna : Abu - abu
4. Prosedur analisa : dari Laboratorium Lingkungan Jur. Kimia FMIPA Unibraw.
5. Penyampaian laporan hasil analisis : diambil sendiri / langsung.
6. Tanggal terima sampel : 21 September 2006
7. Data hasil analisa :

Parameter	Hasil Analisa		Metode Analisa	
	Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
Bahan Organik	51,91% ± 0,00	%	—	Gravimetri

Catatan :

1. Hasil analisa ini adalah nilai rata - rata pengerjaan analisis secara duplo.
2. Hasil analisa ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel saat itu.

Mengetahui :



M. Kafi Rahman, S. Si, M. Si
NIP. 132158776

Malang, 28 September 2006

Katib Lincungan,



Ir. Bambang Ismuyanto, MS
NIP. 131 616 317

b. Hasil analisa kadar bahan organik melalui titrasi redoks

Menurut jurnal ” Soil Chemical Ananlysis”, total karbon organik dan kadar bahan organik dapat ditentukan melalui titrasi redoks dengan pereaksi kalium dikromat dan ammonium fero sulfat (Anomimous, 2005).

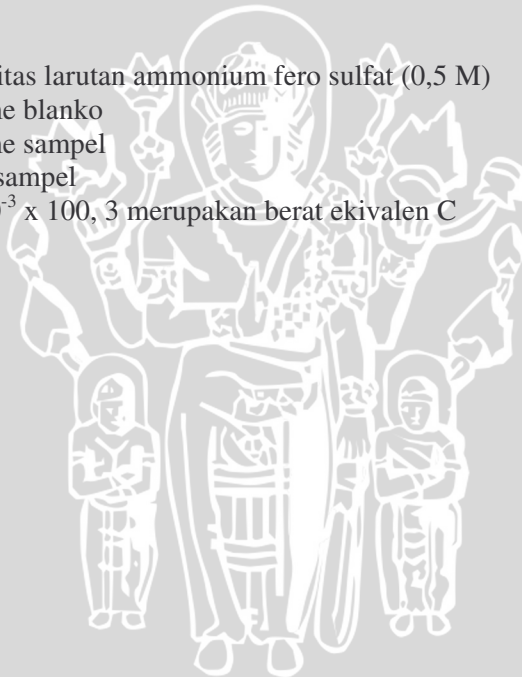
$$\begin{aligned}\% \text{ Karbon organik teroksidasi} &= \frac{[V_{\text{blanko}} - V_{\text{sampel}}] \times 0,3 \times M}{W_t} \\ &= \frac{[21 \text{ mL} - 12 \text{ mL}] \times 0,3 \times 0,5 \text{ M}}{0,105 \text{ g}} \\ &= 12,857 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Total karbon organik} &= 1,334 \times \% \text{ kadar karbon teroksidasi} \\ &= 1,334 \times 12,857 \% \\ &= 17,15 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Bahan organik} &= 1,724 \times \% \text{ total karbon organik} \\ &= 1,724 \times 17,15 \% \\ &= 29,569 \%\end{aligned}$$

Dengan :

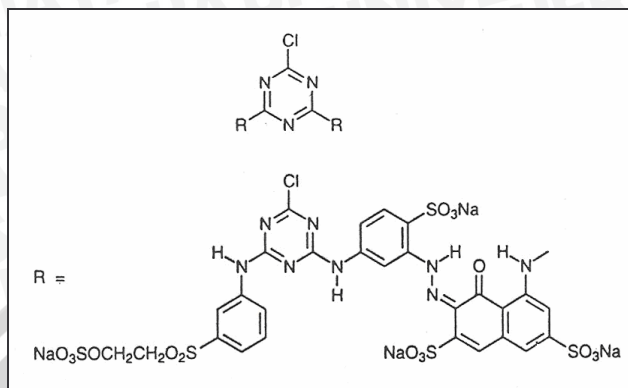
M	= molaritas larutan ammonium fero sulfat (0,5 M)
V blanko	= volume blanko
V sampel	= volume sampel
Wt	= berat sampel
0,3	= $3 \times 10^{-3} \times 100,3$ merupakan berat ekivalen C



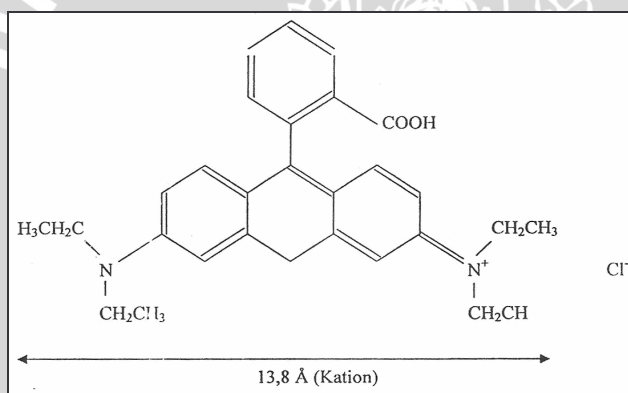
Lampiran 5

CONTOH ZAT WARNA YANG DIGUNAKAN DALAM INDUSTRI TEKSTIL

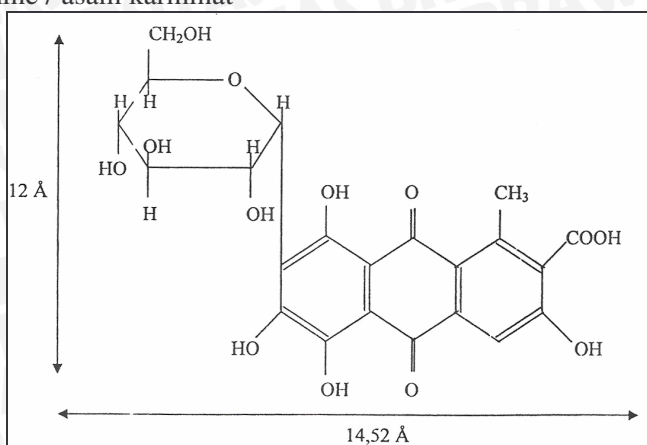
a. H-Acid red dye (50)



b. Rhodamine B



c. Carmine / asam karminat

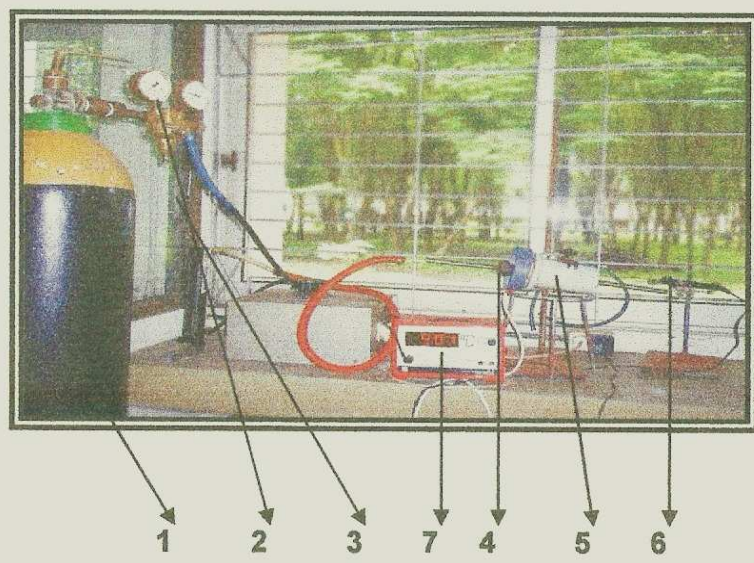


UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 6

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*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

