



UNIVERSITAS INDONESIA

**ADSORPSI GAS KARBON MONOKSIDA (CO) DAN PENJERNIHAN
ASAP KEBAKARAN MENGGUNAKAN KARBON AKTIF DARI
TEMPURUNG KELAPA TERMODIFIKASI TiO₂**

SKRIPSI

**MUHAMMAD YUSUF RAMLY DUNGGIO
0906620612**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

HALAMAN JUDUL

**ADSORPSI GAS KARBON MONOKSIDA (CO) DAN PENJERNIHAN
ASAP KEBAKARAN MENGGUNAKAN KARBON AKTIF DARI
TEMPURUNG KELAPA TERMODIFIKASI TiO₂**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknik Kimia**

**Muhammad Yusuf Ramly Dunggio
0906620612**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.



Nama : Muhammad Yusuf Ramly Dunggio
NPM : 0906620612
Tanda Tangan : 
Tanggal : 21 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Muhammad Yusuf Ramly Dunggio
NPM : 0906620612
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Adsorpsi Gas Karbon Monoksida (CO) dan
Penjernihan Asap Kebakaran Menggunakan
Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa
Termodifikasi TiO₂

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Yuliusman, MEng

()

Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Setiji Bismo, DEA

()

Penguji 2 : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT

()

Penguji 3 : Bambang Heru S, ST, MT

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Subhana wa Ta'ala, karena atas berkat dan rahmat-Nya, Saya dapat menyelesaikan seminar ini. Penulisan seminar ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mengawali pengerjaan skripsi. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, tidak mudah menyelesaikannya. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Yuliusman, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini,
2. Prof. Dr. Ir. Widodo W.P., DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI,
3. Ibunda dan Ayahanda tercinta yang telah memberikan dukungan moril maupun materil,
4. Rany zahra muriza atas semua motivasi yang telah diberikan,
5. Rekan-rekan Ekstensi Teknik Kimia angkatan 2009.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga seminar ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2012



Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Yusuf Ramly Dunggio

NPM : 0906620612

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Adsorpsi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Penjernihan Asap Kebakaran Menggunakan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Termodifikasi TiO_2

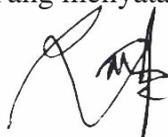
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 21 Juni 2012

Yang menyatakan



(Muhammad Yusuf Ramly Dunggio)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Yusuf Ramly Dunggio
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Adsorpsi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Penjernihan Asap Kebakaran Menggunakan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Termodifikasi TiO₂

Penelitian ini dilakukan untuk pengurangan kadar CO dan penjernihan asap kebakaran dengan pemanfaatan karbon aktif dari tempurung kelapa termodifikasi TiO₂. Pada hasil uji XRF kandungan TiO₂ didalam karbon aktif termodifikasi TiO₂ sebesar 20,54 % wt. Pada hasil uji BET, luas permukaan terjadi peningkatan dari 760,30 m²/g menjadi 782,54 m²/g dari karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi TiO₂. Untuk uji kinerja, karbon aktif termodifikasi TiO₂ ukuran 200 mesh dengan massa 3 gram memiliki kapasitas adsorpsi CO paling tinggi (12,59 %) dan nilai t₁₀ untuk penjernihan asap paling baik yaitu dengan waktu 20 menit, 27 menit, 28 menit.

Kata Kunci:

Kebakaran, Karbon aktif dari tempurung kelapa, TiO₂, adsorpsi karbon monoksida, penjernihan asap.

ABSTRACT

Name : Muhammad Yusuf Ramly Dunggio
Study Program : Chemical Engineering
Title : Adsorption of Carbon Monoxide (CO) gas and Clearing Fire
Smoke Using Activated Carbon from Coconut Shell Modified
TiO₂.

This research was conducted for the reduction of CO levels and purification by use of fire smoke from coconut shell activated carbon modified TiO₂. In the XRF test results in the TiO₂ content of activated carbon modified TiO₂ of 20,54 % wt. The test results showed the BET surface area increased from 760,30 m²/g to 782,54 m²/g of activated carbon and activated carbon modified TiO₂. To test performance, activated carbon modified TiO₂ with a size 200 mesh and 3 gram have the highest CO adsorption capacity (12,59 %) and t₁₀ values for the purification of smoke that is best with a time of 20 minutes, 27 minutes, 28 minutes.

Key Word:

Fires, Activated Carbon, TiO₂, Carbon Monoxide Adsorption, Smoke Clearing

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Awal Proses Kebakaran.....	5
2.2 Timbulnya Asap Akibat Kebakaran	5
2.3 Kandungan Karbon Monoksida (CO) pada Asap Kebakaran	6
2.4 Pengertian Adsorpsi.....	8
2.4.1 Sifat –Sifat Adsorpsi.....	8
2.4.1.1 Adsorpsi Fisika (<i>Physisorption</i>).....	9
2.4.1.2 Adsorpsi Kimia (<i>chemisorptions</i>)	9
2.4.2 Pengertian Adsorpsi Isotermis	10
2.4.2.1 Adsorpsi Isotermis Langmuir.....	12
2.4.2.2 Adsorpsi Isotermis BET	13
2.4.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	14

2.4.3.1 Karakteristik adsorben	14
2.4.3.2 Jenis adsorbat	15
2.4.3.3 Pengaruh Temperatur pada Proses Adsorpsi	15
2.4.3.4 Pengaruh Tekanan pada Proses Adsorpsi	15
2.4.3.5 Pengaruh Pusat aktif pada Proses Adsorpsi	15
2.4.4 Keseimbangan Adsorpsi	16
2.5 Jenis-Jenis Adsorben	17
2.5.1 Karbon Aktif Tempurung Kelapa.....	19
2.5.1.1 Pengertian Karbon Aktif	22
2.5.1.2 Daya Serap Karbon Aktif.....	24
2.5.1.3 Proses Pembuatan dan Aktivasi Karbon Aktif.....	25
2.5.1.4 Kegunaan Karbon Aktif	28
2.5.2 TiO ₂ untuk Proses Modifikasi Karbon Aktif	29
BAB 3	31
METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Peralatan Penelitian	32
3.2.1 Alat Pembuatan Karbon (Arang) dari Tempurung Kelapa.....	32
3.2.2 Alat Pembuatan Karbon Aktif termodifikasi TiO ₂	32
3.2.3 Alat Karakterisasi Adsorben dari Tempurung Kelapa.....	32
3.2.4 Alat Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran.....	33
3.3 Bahan-Bahan Penelitian	34
3.3.1 Bahan Pembuatan Karbon (arang) dari Tempurung Kelapa.....	34
3.3.2 Bahan Aktivasi Karbon (Arang).....	34
3.3.3 Bahan-bahan Preparasi Sol-Gel TiO ₂	34
3.3.4 Bahan Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran	34
3.4 Variable Dalam Penelitian.....	35
3.5 Prosedur Penelitian	35
3.5.1 Pembuatan Karbon (Arang) dari Tempurung Kelapa.....	35
3.5.2 Aktivasi Karbon dari Tempurung Kelapa.....	35
3.5.3 Preparasi Karbon Aktif termodifikasi TiO ₂	36
3.5.4 Karakterisasi Adsorben Karbon Tempurung Kelapa.....	36

3.5.4.1	Luas Permukaan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (BET)..	36
3.5.4.2	Komposisi Karbon Aktif (XRF)	36
3.5.5	Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran.....	37
3.6	Data Penelitian.....	38
3.7	Pengolahan Data.....	39
BAB IV	.....	40
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	40
4.1	Karbonisasi	40
4.2	Tahap Aktivasi Arang Tempurung Kelapa.....	42
4.2.1	Aktivasi Kimia.....	42
4.2.2	Aktivasi Fisika.....	44
4.2.3	Proses Pencucian dan Hasil Karbon Aktif.....	47
4.3	Modifikasi Karbon Aktif dengan TiO ₂	48
4.4	Persiapan Ruang Uji.....	49
4.4.1	Pembuatan Ruang Uji.....	49
4.4.2	Pembuatan Asap Kebakaran	49
4.5	Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran	50
4.5.1	Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran Tanpa Adsorben.....	50
4.5.2	Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran dengan Karbon Aktif.....	53
4.5.3	Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran dengan Karbon Aktif termodifikasi TiO ₂	55
4.5.4	Pengaruh Ukuran Partikel dan Massa.....	56
4.5.4.1	Pengaruh Ukuran Partikel	56
4.5.4.2	Pengaruh Massa	59
BAB 5	.....	63
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	.....	65
LAMPIRAN	.....	67

DAFTAR GAMBAR

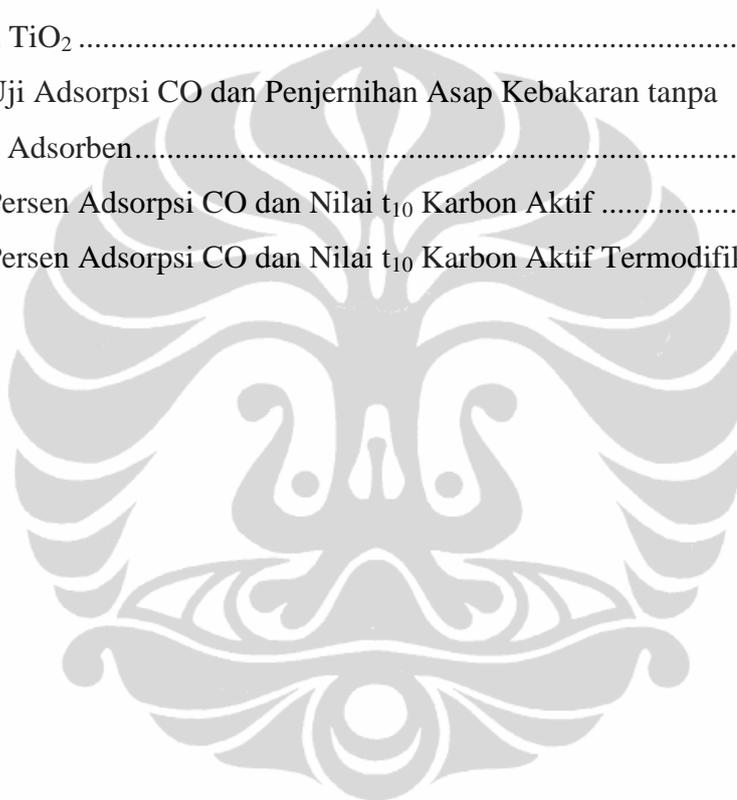
Gambar 2.1 : Kurva Adsorpsi Isotermis Langmuir dan BET	10
Gambar 2.2 : Pendekatan Isoterm Adsorpsi Langmuir	12
Gambar 2.3 : Pendekatan Isoterm adsorpsi BET	13
Gambar 2.4 : Adsorpsi Gas Material Berpori pada Kondisi Kesetimbangan	17
Gambar 3.1 : Diagram Alir Penelitian Secara Umum	31
Gambar 3.2 : Skema Ruang Uji	33
Gambar 4.1 : Tempurung kelapa di oven pada suhu 110 ⁰ C.....	40
Gambar 4.2 : Hasil Karbonisasi dari Tempurung Kelapa.....	41
Gambar 4.3 : Arang Tempurung Kelapa sebelum Aktivasi.....	42
Gambar 4.4 : Proses Impregnasi tempurung kelapa dengan KOH	43
Gambar 4.5 : Alat Proses Aktivasi pada Pembuatan Karbon Aktif.....	44
Gambar 4.6 : Hasil Karbon Aktif dari Hasil Aktivasi.....	47
Gambar 4.7 : Hasil Karbon Aktif.....	48
Gambar 4.8 : Wadah Pembakar	50
Gambar 4.9 : Pengukuran Opasitas.....	51
Gambar 4.10 : Pengukuran Konsentrasi CO dengan Gas Analyzer.....	51
Gambar 4.11 : Rasio CO Tiap Menit Dengan CO Awal	52
Gambar 4.12 : Persen Adsorpsi CO untuk Tiap Ukuran dan Variasi Massa Karbon Aktif	53
Gambar 4.13 : Persen Adsorpsi CO untuk Tiap Ukuran dan Variasi Massa Karbon Aktif Termodifikasi TiO ₂	55
Gambar 4.14 : Nilai t ₁₀ Karbon Aktif dan Karbon Aktif Modifikasi TiO ₂ 1 gram pada titik 1 (a), titik 2 (b), titik 3 (c)	57
Gambar 4.15 : Nilai t ₁₀ Karbon Aktif dan Karbon Aktif Modifikasi TiO ₂ 3 gram pada titik 1 (a), titik 2 (b), titik 3 (c)	58
Gambar 4.16 : Nilai t ₁₀ Karbon Aktif dan Karbon Aktif Modifikasi TiO ₂ Ukuran 60 Mesh pada titik 1 (a), titik 2 (b), titik 3 (c)	60
Gambar 4.17. Nilai t ₁₀ Karbon Aktif dan Karbon Aktif Modifikasi TiO ₂ Ukuran 200 Mesh pada titik 1 (a), titik 2 (b), titik 3 (c)	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Perbedaan Adsorpsi Fisik dan Kimia.....	9
Tabel 2.2 : Karakteristik Adsorben Beserta Kegunaan dan Kerugiannya	18
Tabel 2.3 : Perkembangan Penelitian Pembuatan Karbon Aktif.....	20
Tabel 2.4 : Tahapan dalam Proses Karbonasi	26
Tabel 2.5 : Perbandingan Sifat Berbagai Bentuk Kristal TiO ₂	30
Tabel 4.1 : <i>Yield</i> Proses Karbonasi Tempurung Kelapa	41
Tabel 4.2 : Karakteristik Tempurung Kelapa.....	42
Tabel 4.3 : Persentase Air Menguap pada Hasil Pencampuran Larutan <i>Activating Agent</i> dengan Arang Tepurung Kelapa	43
Tabel 4.4 : Kondisi dan Hasil Pengamatan Proses Aktivasi Fisika	45
Tabel 4.5 : Persentase Kehilangan pada Aktivasi Fisika	46
Tabel 4.6 : Proses Pencucian Karbon Aktif dari Hasil Aktivasi	48
Tabel 4.7 : Penurunan konsentrasi CO dan pencapaian nilai t_{10} pada asap kebakaran tanpa adsorben	52
Tabel 4.8 : Perbandingan nilai t_{10} dan % adsorpsi CO ukuran dan variasi massa pada karbon aktif.....	54
Tabel 4.9 : Perbandingan nilai t_{10} dan % adsorpsi CO ukuran dan variasi massa pada karbon aktif termodifikasi TiO ₂	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Komposisi (XRF) Karbon Aktif Tempurung Kelapa.....	67
Lampiran 2. Komposisi (XRF) Karbon Aktif Tempurung Kelapa Termodifikasi TiO ₂	68
Lampiran 3. Luas Permukaan (BET) Karbon Aktif Tempurung Kelapa.....	69
Lampiran 4. Luas Permukaan (BET) Karbon Aktif Tempurung Kelapa Termodifikasi TiO ₂	75
Lampiran 5. Uji Adsorpsi CO dan Penjernihan Asap Kebakaran tanpa menggunakan Adsorben.....	81
Lampiran 6. Persen Adsorpsi CO dan Nilai t ₁₀ Karbon Aktif	82
Lampiran 7. Persen Adsorpsi CO dan Nilai t ₁₀ Karbon Aktif Termodifikasi TiO ₂	86



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebakaran merupakan reaksi oksidasi eksotermis yang berlangsung dengan cepat dari suatu bahan bakar yang disertai dengan timbulnya api atau penyalan. Statistik kebakaran di daerah DKI Jakarta dari tahun 1998 sampai 2007 memperlihatkan bahwa 30 % nyawa korban kebakaran tidak dapat terselamatkan. Namun korban jiwa (kematian), yang disebabkan karena kebakaran (*fire*) paling banyak terjadi karena menghirup asap (*smoke inhalation*) dari peristiwa kebakaran itu sendiri. Diperkirakan sekitar 50%-80% kematian pada saat kebakaran dikarenakan menghirup asap daripada luka bakar. Menghirup asap dari produk-produk pembakaran berdampak sangat buruk. Secara umum, asap yang dihasilkan dari kebakaran terdiri dari partikulat mikro, bahan yang tidak habis terbakar, uap air, karbon monoksida (CO), serta gas-gas toksik dan korosif. Karbon monoksida merupakan gas yang banyak dihasilkan pada waktu terjadi kebakaran. Gas CO akan bereaksi dengan haemoglobin membentuk karboksi haemoglobin yang menyebabkan respirasi intraseluler menjadi kurang efektif (Butler, 2004).

Pada semua jenis kebakaran, orang-orang terpapar karbon monoksida dalam jumlah yang beragam. Pasien bisa jadi tidak mengalami masalah pernapasan, namun masih mungkin menghirup sejumlah karbon monoksida. Akibatnya bisa muncul gejala-gejala seperti sakit kepala, mual dan muntah, Bingung, jatuh pingsan, kejang hingga koma ketika orang menghirup asap kebakaran. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu usaha untuk mengurangi korban jiwa karena keracunan asap kebakaran. Salah satunya adalah dengan melakukan proses evakuasi, yaitu memindahkan korban yang terjebak dalam ruang penuh asap ke lokasi yang lebih aman. Proses evakuasi ini tidak akan bisa dilakukan jika kondisi lokasi kebakaran masih penuh oleh asap. Agar evakuasi berjalan lancar, asap yang memenuhi lokasi perlu dijernihkan (diserap atau diadsorpsi) terlebih dahulu dan dikurangi kandungan CO-nya.

Belum banyak peneliti yang melakukan penelitian untuk menjernihkan asap dan menurunkan kandungan CO sekaligus. Yadav, dkk (2007) menemukan bahwa oksida logam dapat digunakan untuk menjernihkan kabut asap buatan yang dibuat dari senyawa glikol. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium, membandingkan efektivitas material berukuran nano dengan material berukuran konvensional dalam menjernihkan asap pada ruang tertutup. Material yang diuji adalah TiO_2 , MgO , Na MgO plus , NaHCO_3 , Ca(OH)_2 . Mulukutla, dkk (2007) mengeluarkan paten penjernihan asap. Penelitian dilakukan dalam ruang tertutup dan bahan bakar yang digunakan adalah kertas, diesel, *jet mill*, dan glikol. Sedangkan adsorben yang dipakai adalah logam berukuran nano, yaitu oksida logam dan hidroksida logam. Hasilnya menunjukkan bahwa TiO_2 dan MgO merupakan adsorben yang paling efektif untuk menjernihkan asap.

Pada penelitian ini adsorben yang digunakan adalah karbon aktif dari tempurung kelapa yang dimodifikasi dengan TiO_2 . Proses modifikasi ini dilakukan untuk menambah pusat aktif pada karbon aktif dan memperluas permukaan sehingga memiliki kapasitas adsorpsi CO dan penjernihan asap yang besar. Pori-pori arang tempurung kelapa mempunyai bentuk dan ukuran yang bervariasi dan tidak teratur, berkisar antara 10-10000 Å. Pori-pori ini dapat menangkap dan menjerap partikel-partikel sangat halus (molekul). Semakin banyaknya zat-zat yang diadsorpsi maka pori-pori ini pada akhirnya akan jenuh sehingga arang tempurung kelapa tidak akan berfungsi lagi. Arang Tempurung kelapa yang telah jenuh dapat direaktifasi kembali, meskipun demikian tidak jarang yang disarankan untuk sekali pakai. Arang tempurung kelapa yang digunakan untuk menjerap molekul-molekul gas adalah yang berpori-pori mikro. Arang tempurung kelapa ini dapat menyebabkan molekul gas yang sangat kecil mampu melewatinya (Cheremisinof, 1998). Arang tempurung kelapa adalah penyerap gas dibuat dari tempurung kelapa yang berukuran pori 20 Å. TiO_2 yang digunakan adalah TiO_2 dengan menggunakan metode sol-gel, TiO_2 digunakan karena tidak memiliki sifat racun, stabil terhadap cahaya, memiliki kestabilan kimia, dan ketahanan korosi yang baik dalam semua kondisi reaksi.

Dengan adanya penelitian ini diharapkan, ruang uji serta adsorben yang telah dibuat dapat dikembangkan dan diamati lebih lanjut sehingga kelak dapat

diaplikasikan di masyarakat untuk adsorpsi gas CO dan penjernihan asap kebakaran.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dipelajari dan dianalisis adalah bagaimana membuat karbon aktif dari tempurung kelapa yang termodifikasi TiO₂ dengan komposisi dan kondisi operasi yang paling optimal dan bagaimana pengaruh karbon aktif yang termodifikasi TiO₂ terhadap proses adsorpsi CO dan penjernihan asap kebakaran.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan percobaan ini adalah :

1. Peningkatan luas permukaan karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi TiO₂
2. Kandungan TiO₂ hasil modifikasi diperoleh nilai ± 20 % wt
3. Mendapatkan adsorben karbon aktif dari tempurung kelapa termodifikasi TiO₂ yang memiliki kapasitas kemampuan adsorpsi gas CO yang tinggi dan mampu menjernihkan asap kebakaran.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Katalis yang digunakan adalah TiO₂ Degussa P-25
2. Adsorben yang digunakan adalah karbon aktif yang diproduksi dari tempurung kelapa yang diaktivasi secara kimia dan fisika yang mengacu pada metode peneliti terdahulu (Pujiyanto, 2009)
3. Proses pengujian kemampuan adsorpsi gas CO dengan karbon aktif dari tempurung kelapa termodifikasi TiO₂ yang mengacu pada metode peneliti terdahulu (reza suraputra, 2011).

1.5 Sistematika Penulisan

BAB 1 : PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang penelitian dan penulisan, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, ruang lingkup penelitian, serta sistematika penulisan skripsi ini.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka yang menjadi dasar penelitian yang meliputi pengertian proses Adsorpsi Isotermis, persamaan-persamaan kimia fisik adsorpsi, mekanisme dasar adsorpsi, karakterisasi calon adsorben.

BAB 3 : METODE PENELITIAN

Berisi diagram alir penelitian, peralatan percobaan, bahan percobaan dan prosedur yang dilakukan dalam penelitian.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi data-data karakterisasi adsorben, data yang diperoleh dari penelitian, hasil dan hasil pengolahannya, serta analisa dari hasil adsorpsi dan perhitungan kapasitas yang didapatkan.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan yang berhasil ditarik dari analisa yang dilakukan serta saran yang diperoleh dari analisa penelitian dan hasil percobaan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Awal Proses Kebakaran

Kebakaran adalah reaksi kimia kompleks eksotermik antara bahan bakar (biasanya hidrokarbon) dengan suatu pengoksidasi yang menghasilkan panas, cahaya, asap, dan gas. Menganalisis kebakaran tidak lepas dari teori timbulnya api. Api adalah persenyawaan antara suatu bahan/bahan bakar dengan oksigen pada temperatur tertentu yang pada prosesnya timbul nyala, suara dan cahaya, sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan berikut:



Kebakaran dapat dibedakan berdasarkan kondisi di mana lokasi sumber api berada. Kebakaran pada bangunan umumnya berawal dari kebakaran dalam suatu ruangan, yang sering disebut sebagai kebakaran dalam ruangan tertutup (*compartment fire*). Sifat kimia dan fisika yang terjadi saat penyulutan, dilanjutkan dengan pembakaran (*combustion*) ditambah dengan tersedianya beban api (*fire load*) dengan kuantitas yang cukup termasuk perletakannya, dimensi ruangan serta faktor ventilasi yang menunjang, maka kebakaran meningkat intensitasnya, ditandai dengan kecepatan penjaralan dan panas yang tinggi dalam waktu yang relatif singkat.

Kebakaran dalam ruangan bisa mengarah kepada terjadinya *flashover* dengan temperatur ruangan mencapai 500⁰C di atas *ambient* dalam waktu kurang dari 5 menit, atau ledakan asap (*backdraft*) apabila ruangan yang minim ventilasi tetapi cukup tahan terhadap tekanan yang timbul akibat kebakaran. Kedua fenomena tersebut harus diwaspadai karena bisa berakibat fatal.

2.2 Timbulnya Asap Akibat Kebakaran

Menurut *NFPA (USA)* asap merupakan pembunuh terbesar. Sebanyak 72% korban kebakaran diakibatkan oleh asap. Dengan kecepatan asap berkisar antara

1,0 – 1,4 m/detik, maka dengan mudah asap mampu melampaui kecepatan jalan anak-anak, wanita hamil dan orang-orang saat dilakukan evakuasi.

Selain bisa melumpuhkan kesadaran seseorang, asap pekat bisa menimbulkan gangguan dalam mengurangi jarak pandang (*visibility*). Selain itu produk kebakaran lainnya selain asap, yakni gas-gas hasil pembakaran (selain CO₂ dan CO) seperti HCl dan HCN yang kerap tidak berwarna dan tidak berbau namun sangat beracun (*toxic*). Sehingga banyak menimbulkan korban baik di kalangan pengguna bangunan maupun dari kalangan petugas pemadam kebakaran, saat dilakukan operasi pemadaman. Kebakaran bisa berakibat fatal terhadap bahan dan konstruksi bangunan akibat temperatur maupun tekanan yang ditimbulkannya. Pada suhu sekitar 400⁰C bahan padat seperti kayu, *plywood* mengalami dekomposisi lewat proses pirolisis menimbulkan gas-gas *flammable* yang setiap saat bisa menyulut meluasnya kebakaran. Kebakaran bisa meningkatkan temperatur dalam ruang melebihi 500⁰C. Pada kondisi seperti ini akan terjadi tekanan berlebih (*overpressures*) dalam ruang hingga mencapai 1,64 atm. Apa yang terjadi pada situasi *overpressures* ini dapat kita bayangkan. Kaca-kaca jendela akan pecah pada tekanan kurang lebih 0,067 atm, dan kerangka kayu dalam bangunan akan rusak pada tekanan berlebih 1,002 atm, struktur bangunan bisa runtuh pada pada tekanan yang semakin meningkat. Begitu kaca jendela terbuka, udara luar masuk, api semakin membesar dan meningkat intensitasnya sampai berhenti saat bahan habis terbakar atau dihentikan oleh upaya pemadaman. Asap ini diemisikan ketika suatu material terbakar. Gas yang terdapat di atas api umumnya dibagi ke dalam tiga kelompok (Apriawan, 2009):

1. Uap dan gas panas yang dihasilkan oleh material yang terbakar
2. Dekomposisi dan kondensasi material yang tidak terbakar
3. Udara yang dipanaskan oleh api dan terbawa bersama asap yang terbang

2.3 Kandungan Karbon Monoksida (CO) pada Asap Kebakaran

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Karena sifat tersebut, gas yang memiliki diameter 0,1128 nm ini sangat sulit mendeteksi keberadaannya. Keberadaan gas CO di alam dapat terbentuk secara alamiah ataupun buatan (antropogenik). Secara alamiah, gas CO

dengan jumlah relatif sedikit dapat terbentuk dari hasil kegiatan gunung berapi dan proses biologi. Sedangkan secara buatan (antropogenik).

Gas CO dikenal sebagai polutan yang sangat berbahaya bagi manusia sehingga kandungannya dalam udara perlu dikurangi. Gas CO sangat berbahaya karena pada konsentrasi relatif rendah (<100 ppm) dapat menimbulkan gangguan kesehatan. Gas CO jika terhisap ke dalam paru-paru maka akan ikut peredaran darah dan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan oleh tubuh. Hal ini terjadi karena CO bersifat racun metabolis, yang ikut bereaksi secara metabolis dengan darah. Seperti oksigen, gas CO juga mudah bereaksi dengan haemoglobin darah. Ikatan CO dengan haemoglobin darah (karboksihaemoglobin-CO_{Hb}) lebih stabil dibandingkan ikatan O₂ dengan haemoglobin darah (oksihaemoglobin-O₂Hb). Kestabilan CO_{Hb} sekitar 200 kali kestabilan O₂Hb (Goldstein, 2008), hal ini menyebabkan haemoglobin darah lebih mudah menangkap gas CO dibandingkan O₂ dan menyebabkan fungsi vital darah sebagai pengangkut oksigen terganggu. Reaksi antara CO dan O₂ dengan haemoglobin dapat dilihat pada reaksi berikut:



Apabila hal ini terjadi maka akan berakibat fatal pada tubuh manusia. Pertama, O₂ akan kalah bersaing dengan CO saat berikatan dengan molekul haemoglobin sehingga kadar O₂ dalam darah akan berkurang. Kedua, gas CO akan menghambat oksidasi sitokrom. Hal ini menyebabkan respirasi intraseluler menjadi kurang efektif. Terakhir, gas CO dapat berikatan secara langsung dengan sel otot jantung dan tulang. Efek paling serius adalah terjadi keracunan secara langsung terhadap sel-sel tersebut dan menyebabkan gangguan pada sistem saraf (DR.P.V.Chadha, 1995)

Baku mutu keberadaan CO adalah 10.000 µg/Nm³ udara dengan rata-rata waktu pengukuran 24 jam. Konsentrasi CO sampai dengan 100 ppm dianggap aman bila waktu kontak hanya sebentar. Jika CO sebanyak 30 ppm dihisap oleh manusia selama delapan jam akan menimbulkan rasa pusing dan mual. Konsentrasi CO sebanyak 1000 ppm dan waktu kontak selama satu jam

menyebabkan pusing dan kulit berubah menjadi kemerah-merahan. Selanjutnya, untuk waktu kontak yang sama dengan konsentrasi CO sebanyak 1300 ppm menyebabkan kulit langsung berubah menjadi merah tua dan disertai rasa pusing yang hebat. Untuk keadaan yang lebih tinggi lagi dapat menimbulkan akibat lebih fatal, yaitu kematian.

Konsentrasi COHb di dalam darah dipengaruhi secara langsung oleh konsentrasi CO dari udara yang terhisap. Pada konsentrasi CO tertentu di udara maka konsentrasi COHb di dalam darah akan mencapai konsentrasi ekuilibrium setelah beberapa waktu tertentu. Konsentrasi ekuilibrium COHb tersebut akan tetap dipertahankan di dalam darah selama konsentrasi CO di dalam udara di sekelilingnya tetap tidak berubah. COHb secara perlahan-lahan akan berubah sesuai dengan perubahan konsentrasi CO di udara untuk mencapai ekuilibrium yang baru.

2.4 Pengertian Adsorpsi

Istilah adsorpsi biasa digunakan untuk menggambarkan keberadaan suatu bahan tertentu (cairan atau padatan) dengan konsentrasi yang lebih tinggi pada permukaannya dari pada di dalam medium fasa ruahnya. Secara singkat, adsorpsi menunjukkan kelebihan konsentrasi pada permukaan.

2.4.1 Sifat –Sifat Adsorpsi

Proses adsorpsi adalah suatu proses penyerapan suatu fasa tertentu (gas, cair) pada permukaan adsorben yang berupa padatan. Hal ini terjadi karena adanya ketidakseimbangan gaya-gaya molekul pada zat padat, yang cenderung menarik molekul lain yang bersentuhan pada permukaannya. Zat yang terserap pada permukaan padatan disebut fasa teradsorpsi (adsorbat) sedangkan zat yang menarik disebut adsorben.

Langkah-langkah dapat diringkas:

- larutan berdifusi melalui fluida ke area dekat permukaan partikel padat
- partikel terlarut berdifusi ke dalam pori-pori partikel
- larutan berdifusi ke dinding pori
- adsorpsi zat terlarut pada permukaan dinding pori

2.4.1.1 Adsorpsi Fisika (*Physisorption*)

Adsorpsi ini mirip dengan proses kondensasi dan biasanya terjadi pada temperatur rendah pada proses ini gaya yang menahan molekul fluida pada permukaan solid relatif lemah, dan besarnya sama dengan gaya kohesi molekul pada fase cair (gaya van der Waals) mempunyai derajat yang sama dengan panas kondensasi dari gas menjadi cair, yaitu sekitar 2,19-21,9 kJ/mol (Weber, 1972). Keseimbangan antara permukaan *solid* dengan molekul fluida biasanya cepat tercapai dan bersifat reversibel.

Adsorpsi ini terjadi karena gaya Van der Waals dimana ketika gaya tarik molekul antara larutan dan permukaan media lebih besar daripada gaya tarik substansi terlarut dan larutan, maka substansi terlarut akan diadsorpsi oleh permukaan media. *Physisorption* ini memiliki gaya tarik Van der Waals yang kekuatannya relatif kecil. Molekul terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif rendah sekitar 20 kJ/mol.

2.4.1.2 Adsorpsi Kimia (*chemisorptions*)

Chemisorption terjadi ketika terbentuknya ikatan kimia antara substansi terlarut dalam larutan dengan molekul dalam media. Kemisorpsi terjadi diawali dengan adsorpsi fisik, yaitu partikel-partikel adsorbat mendekati ke permukaan adsorben melalui gaya van der Waals atau melalui ikatan hidrogen. Dalam adsorpsi kimia partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia (biasanya ikatan kovalen), dan cenderung mencari tempat yang memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat (Atkins, 1999).

Tabel 2.1 Perbedaan Adsorpsi Fisik dan Kimia (Tunjung, 2010)

Adsorpsi Fisik	Adsorpsi kimia
Molekul terikat pada adsorben oleh gaya van der Waals	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia
Mempunyai entalpi reaksi -4 sampai -40 KJ/mol	Mempunyai entalpi reaksi -40 sampai -800 kJ/mol
Dapat membentuk lapisan <i>multilayer</i>	Membentuk lapisan <i>monolayer</i>

Tabel 2.1 Perbedaan Adsorpsi Fisik dan Kimia (Tunjung, 2010) (lanjutan)

Adsorpsi Fisik	Adsorpsi Kimia
Adsorpsi hanya terjadi pada suhu dibawah titik didih adsorbat	Adsorpsi dapat terjadi pada suhu tinggi
Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat
Tidak melibatkan energi aktivasi tertentu	Melibatkan energi aktivasi tertentu
Bersifat tidak spesifik	Bersifat sangat spesifik

2.4.2 Pengertian Adsorpsi Isotermis

Adsorpsi isotermis adalah hubungan antara jumlah zat yang diadsorpsi dengan kesetimbangan tekanan pada suhu tetap. Persamaan matematika pertama untuk kondisi isothermal diberikan oleh Freundlich dan Küster, 1984, dan ini merupakan formula empiris murni untuk adsorbat fasa gas.

$$\frac{x}{m} = kP^n \quad (2.4)$$

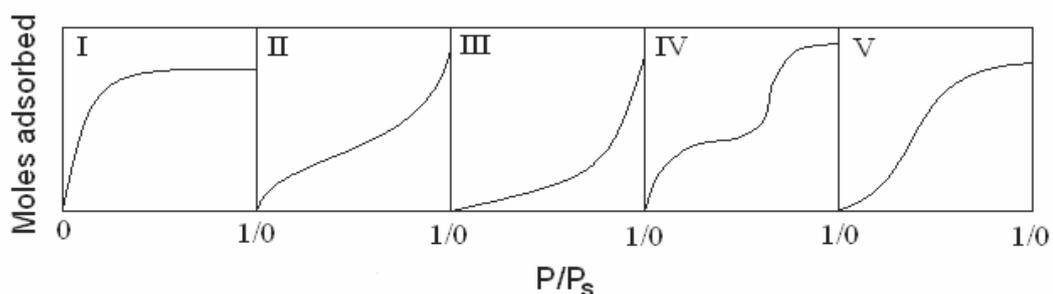
dengan x = kuantitas adsorben

m = massa adsorben

P = tekanan adsorbat

k dan n = konstanta empiris pasangan adsorbat-adsorben pada suhu tertentu

Brunauer mengklasifikasikan adsorpsi isotermis ke dalam lima jenis kurva seperti gambar berikut (Maron and Lando, 1974).

**Gambar 2.1** Kurva Adsorpsi Isotermis Langmuir dan BET

a. Tipe I

Tipe ini disebut *Langmuir Isoterm* menggambarkan adsorpsi satu lapis (*monolayer*). Banyaknya adsorbat mendekati harga pembatas saat P/P_0 mendekati satu. Jenis ini biasanya diperoleh dari adsorben berpori kecil (mikropori) kurang dari 2 nm dan luas area eksternal yang sangat sedikit. Kurva jenis ini biasanya diperoleh dari adsorben karbon aktif dan *zeolit molecular sieve*.

b. Tipe II

Jenis ini adalah bentuk normal isoterm pada adsorben tak berpori (nonpori) atau padatan berpori besar (*macropores*) dengan ukuran lebih besar dari 50 nm yang menunjukkan adsorpsi *monolayer-multilayer*. Titik B yang ditunjukkan pada gambar menunjukkan kondisi awal tahap linier dari isoterm, biasanya digunakan untuk mengindikasikan tekanan relatif saat pelapisan *monolayer* selesai.

c. Tipe III

Tipe ini menunjukkan tipe kuantitas adsorben semakin tinggi saat tekanan relatif bertambah. Tidak adanya titik B seperti pada jenis kedua disebabkan karena interaksi adsorbat-adsorbat yang lebih kuat dibanding adsorben-adsorben. Sama seperti tipe II, jumlah lapisan pada permukaan adsorben tidak terbatas (*multilayer*).

d. Tipe IV

Tipe ini hampir sama dengan tipe II pada rentang tekanan relatif rendah sampai menengah. Volume terbesar adsorbat yang teradsorpsi dapat dihitung dari *capillary condensation* yang telah sempurna mengisi pori. Kurva jenis ini dihasilkan dari padatan adsorben berukuran *mesopore* (2-50 nm).

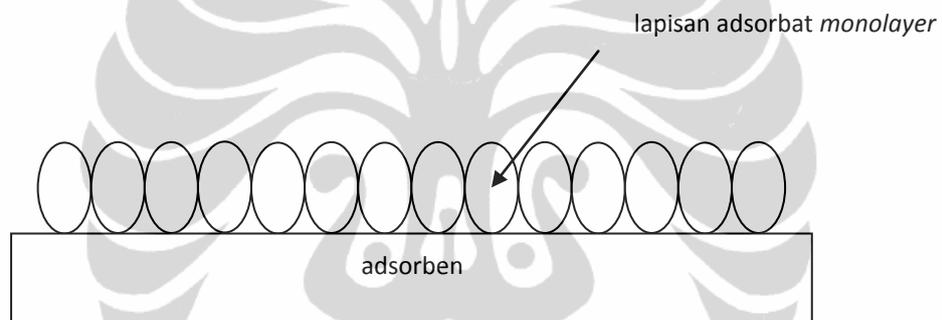
e. Tipe V

Tipe ini hampir sama dengan tipe III, dihasilkan dari interaksi yang rendah antara adsorben dengan adsorbat. Tipe V ini juga ditunjukkan oleh pori dengan ukuran sama seperti tipe IV.

2.4.2.1 Adsorpsi Isotermis Langmuir

Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori isoterm adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Pendekatan Langmuir meliputi lima asumsi mutlak, yaitu:

1. Gas yang teradsorpsi berkelakuan ideal dalam fasa uap.
2. Gas yang teradsorpsi dibatasi sampai lapisan *monolayer*.
3. Permukaan adsorbat homogen, artinya afinitas setiap kedudukan ikatan untuk molekul gas sama.
4. Tidak ada aksi lateral antar molekul adsorbat.
5. Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi, artinya mereka tidak bergerak pada permukaan.



Gambar 2.2 Pendekatan Isoterm Adsorpsi Langmuir

Pada kesetimbangan, laju adsorpsi dan desorpsi gas adalah sama. Fraksi yang ditempati oleh adsorbat dan P menyatakan tekanan gas yang teradsorpsi, maka

$$k_1\theta = k_2P(1 - \theta) \quad (2.5)$$

dengan k_1 dan k_2 masing – masing merupakan tetapan laju adsorpsi dan desorpsi.

Jika didefinisikan $a = k_1 / k_2$, maka θ

$$\theta = \frac{P}{(a + P)} \quad (2.6)$$

Pada adsorpsi *monolayer*, jumlah gas yang teradsorpsi pada tekanan P (y) dan jumlah gas yang diperlukan untuk membentuk lapisan *monolayer* dihubungkan dengan θ melalui persamaan

$$\theta = \frac{y}{y_m} \quad (2.7)$$

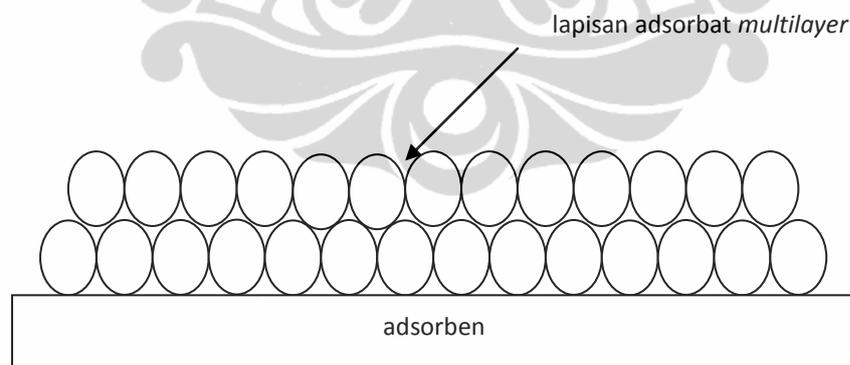
$$y = \frac{y_m P}{a + P} \quad (2.8)$$

Teori isoterm adsorpsi Langmuir berlaku untuk adsorpsi kimia, dimana reaksi yang terjadi adalah spesifik dan umumnya membentuk lapisan *monolayer*.

2.4.2.2 Adsorpsi Isotermis BET

Teori isoterm adsorpsi BET merupakan hasil kerja dari S. Brunauer, P.H. Emmet, dan E. Teller. Teori ini menganggap bahwa adsorpsi juga dapat terjadi di atas lapisan adsorbat *monolayer*. Sehingga, isoterm adsorpsi BET dapat diaplikasikan untuk adsorpsi *multilayer*. Keseluruhan proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai

- Penempelan molekul pada permukaan padatan (adsorben) membentuk lapisan *monolayer*
- Penempelan molekul pada lapisan *monolayer* membentuk lapisan *multilayer*.



Pada pendekatan ini, perbandingan kekuatan ikatan pada permukaan adsorben dan pada lapisan adsorbat *monolayer* didefinisikan sebagai konstanta c . Lapisan adsorbat akan terbentuk sampai tekanan uapnya mendekati tekanan uap dari gas yang teradsorpsi. Pada tahap ini, permukaan dapat dikatakan "basah (*wet*)". Bila V menyatakan volume gas teradsorpsi, V_m menyatakan volume gas

yang diperlukan untuk membentuk lapisan *monolayer*, dan x adalah P/P^* , maka isoterm adsorpsi BET dapat dinyatakan sebagai

$$\frac{V}{V_m} = \frac{cx}{(1-x)(1-x+cx)} \quad (2.9)$$

Kesetimbangan antara fasa gas dan senyawa yang teradsorpsi dapat dibandingkan dengan kesetimbangan antara fasa gas dan cairan dari suatu senyawa. Dengan menggunakan analogi persamaan Clausius – Clapeyron, maka

$$\frac{d(\ln P)}{dT} = -\frac{\Delta H_{ads}}{RT^2} \quad (2.10)$$

Dimana ΔH_{ads} adalah entalpi adsorpsi. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa tekanan kesetimbangan dari gas teradsorpsi bergantung pada permukaan dan entalpi adsorpsi.

2.4.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi, seperti yang tersebut di bawah ini:

2.4.3.1 Karakteristik adsorben

Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi yang baik:

1. Luas permukaan adsorben. (Semakin besar luas permukaan maka semakin besar pula daya adsorpsinya, karena proses adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben).
2. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan desorpsi.
3. Kemurnian adsorben. (Adsorben yang memiliki tingkat kemurnian tinggi, daya adsorpsinya lebih baik).
4. Jenis/gugus fungsi atom yang ada pada permukaan adsorben. (Sifat-sifat atom di permukaan berkaitan dengan interaksi molekuler antara adsorbat dan adsorben yang lebih besar pada adsorbat tertentu).

2.4.3.2 Jenis adsorbat

a. Kepolaran adsorbat

Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul yang kurang polar. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar, yang telah diserap terlebih dahulu.

b. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.

2.4.3.3 Pengaruh Temperatur pada Proses Adsorpsi

Ketika molekul-molekul adsorbat melekat pada permukaan adsorben terjadi pembebasan sejumlah energi (panas). Oleh karena itu, adsorpsi adalah peristiwa eksotermis. Sesuai dengan azas *Le Chatelier* pada proses fisika, dengan berkurangnya temperatur akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi, demikian pula sebaliknya. Adsorpsi fisika yang substansial, biasanya terjadi pada temperatur di bawah titik didih adsorbat terutama 50°C.

2.4.3.4 Pengaruh Tekanan pada Proses Adsorpsi

Peningkatan tekanan adsorbat pada adsorpsi fisika, dapat menaikkan jumlah adsorbat yang diadsorpsi. Sebaliknya pada adsorpsi kimia, peningkatan tekanan adsorbat justru mengurangi jumlah yang diadsorpsi.

2.4.3.5 Pengaruh Pusat aktif pada Proses Adsorpsi

Pada permukaan yang beragam, hanya sebagian permukaan yang mempunyai daya serap. Hal ini dapat terjadi, disebabkan oleh permukaan yang heterogen. Sehingga hanya beberapa jenis zat yang dapat diserap oleh bagian permukaan yang aktif, disebut sebagai pusat aktif (*active center*).

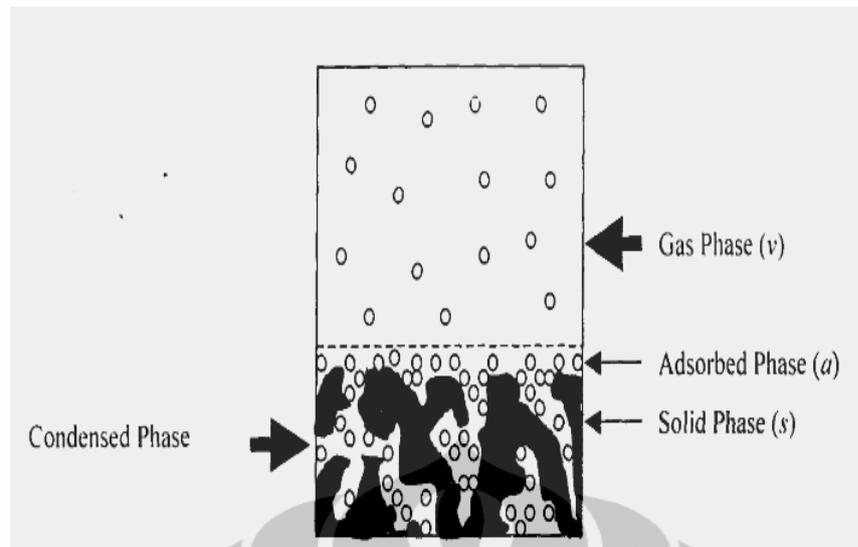
Kelajuan adsorpsi bertambah dengan berkurangnya ukuran partikel adsorben. Sehingga kelajuan ditentukan oleh proses difusi. Ada dua proses difusi yang menentukan proses adsorpsi, yaitu:

- a. Proses difusi pada suatu lapisan tipis cairan di sekeliling partikel adsorben, yang disebut dengan difusi film.
- b. Proses adsorpsi dalam partikel adsorben, yang disebut difusi partikel.

Proses difusi ditentukan oleh beberapa faktor yang meliputi besar dari muatan partikel adsorben, besar dari muatan molekul atau ion adsorbat dari konsentrasi larutan adsorbat. Parameter fisis yang berpengaruh pada proses adsorpsi, biasanya dinyatakan sebagai jenis adsorben, waktu adsorpsi, konsentrasi awal larutan adsorbat, komposisi adsorbat, ukuran partikel adsorben, dosis partikel, dan temperatur larutan adsorbat.

2.4.4 Keseimbangan Adsorpsi

Proses dinamika kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben tidak pernah tercapai dikarenakan adanya efek dari proses perpindahan massa yang terjadi pada kontak zat padat dan gas. Untuk memperkirakan proses dinamika kapasitas adsorpsi diperlukan studi tentang keseimbangan yang terjadi pada proses adsorpsi. Gambar 2.4 mengilustrasikan keadaan pada proses adsorpsi terjadi. Keseimbangan adsorpsi meliputi aspek kemampuan/kapasitas adsorben untuk menyerap adsorbat pada kondisi tertentu (temperatur dan tekanan) dan proses adsorpsi jika fluida yang digunakan berupa campuran dari beberapa komponen. Dalam studi ini, banyak sekali studi empirik dan teoritis yang dicapai, beberapa ilmuwan telah banyak meneliti tentang keseimbangan adsorpsi diantaranya Ross dan Oliver (1964), Ruthven (1984), dan Myers (1988).



Gambar 2. 4 Adsorpsi gas material berpori pada kondisi kesetimbangan (Sudibandriyo, 2003)

Pada saat adsorben dikontakan pada fluida pada komposisi tertentu, adsorpsi terjadi. Adsorben dan fluida adsorbat mencapai kesetimbangan antara adsorpsi dan desorpsinya.

2.5 Jenis-Jenis Adsorben

Kemampuan kerja alat untuk menghasilkan suhu yang rendah sangat dipengaruhi oleh jenis adsorben. Dimana penyerapan adsorben dipengaruhi oleh volume yang dipakai. Untuk proses adsorpsi dan desorpsi ada 3 jenis adsorben yang biasa dipakai:

a) Silika gel

Silika gel cenderung mengikat adsorbat dengan energi yang relative lebih kecil dan membutuhkan temperatur yang rendah untuk proses desorpsinya, dibandingkan jika menggunakan adsorben lain seperti karbon atau zeolit. Kemampuan desorpsi silica gel meningkat dengan meningkatnya temperatur. Silika gel terbuat dari silika dengan ikatan kimia mengandung air kurang lebih 5%. Pada umumnya temperatur kerja silica gel sampai pada 200 °C, jika dioperasikan lebih dari batas temperatur kerjanya maka kandungan air dalam silika gel akan hilang dan menyebabkan kemampuan adsorpsinya hilang.

b) Karbon Aktif

Aktif karbon dapat dibuat dari batu bara, kayu, dan tempurung kelapa melalui proses *pyrolizing* dan *carburizing* pada temperatur 600 °C sampai 900 °C. Hampir semua adsorbat dapat diserap oleh karbon aktif kecuali air. Aktif karbon dapat ditemukan dalam bentuk bubuk dan granular.

c) Zeolit

Zeolit mengandung kristal zeolit yaitu mineral *aluminosilicate* yang disebut sebagai penyaring molekul. Mineral aluminosilicate ini terbentuk secara alami. Zeolit buatan dibuat dan dikembangkan untuk tujuan khusus, diantaranya 4A, 5A, 10X, dan 13X yang memiliki volume rongga antara 0,05 sampai 0,30 cm³/gram dan dapat dipanaskan sampai 500 °C tanpa harus kehilangan kemampuan adsorpsi dan regenerasinya. Zeolit 4A (NaA) digunakan untuk mengeringkan dan memisahkan campuran hydrocarbon. Zeolit 5A (CaA) digunakan untuk memisahkan paraffins dan beberapa *Cyclic hydrocarbon*. Zeolit 10X (CaX) dan 13X (NaX) memiliki diameter pori yang lebih besar sehingga dapat mengadsorpsi adsorbat pada umumnya.

Tabel 2.2 Karakteristik adsorben beserta kegunaan dan kerugiannya (deng,shuguang, 2008)

Tipe	Karakteristik	Kegunaan	Kerugian
Karbon aktif	Hidrofobik	Pemisahan polutan organik	Sulit untuk diregenerasi
Zeolite	Hidrofilik, polar	Pemisahan udara	Kapasitas total rendah
Silika gel	Kapasitas tinggi, hidrofilik	Pengeringan aliran gas	Pemisahan tidak efektif

Kebanyakan adsorben industri termasuk salah satu dari tiga kelas di bawah ini:

- Senyawa yang mengandung oksigen – biasanya hidrofilik dan polar, termasuk material seperti jel silika dan zeolite
- Senyawa berbasis karbon – biasanya hidrofobik dan non-polar, termasuk material seperti karbon teraktivasi dan grafit,
- Senyawa berbasis polimer – merupakan gugus fungsi polar dan non-polar di dalam matriks polimer.

Kriteria kinerja adsorben dapat dilihat dari parameter berikut ini (Deng, Shuguang, 2008):

1. Selektivitas tinggi
2. Kapasitas adsorpsi besar
3. Kinetika adsorpsi cepat
4. Mudah digenerasi
5. Kekuatan mekanik tinggi
6. Murah

Untuk mencapai kinerja di atas adsorben harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Volume pori internal besar
2. Luas permukaan besar
3. Distribusi pori mikro
4. Ikatan adsorbat dan adsorben lemah (adsorpsi fisika)
5. Stabil secara mekanik
6. Bahan baku murah

2.5.1 Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Arang aktif adalah bahan berupa karbon bebas atau arang yang telah dibuat dan diolah secara khusus melalui proses aktivasi, sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian mempunyai daya serap yang besar terhadap zat-zat lainnya, baik dalam fase cair maupun dalam fase gas. (Meilita S, 2003).

Perkembangan penelitian untuk meningkatkan daya adsorpsi karbon aktif dalam skala laboratorium dapat dilihat pada Tabel 2.1. Dari tabel tersebut terlihat

Tabel 2.3 Perkembangan Penelitian Pembuatan Karbon Aktif

No	Nama jurnal	Proses	Hasil
1	<i>Activated carbon from Moringa husks and pods</i> [McConnachie, 1996]	Dipanaskan dengan dialiri steam (2 ml/min) dan besar laju pemanasan adalah 20 ⁰ C/min, temperatur akhir bervariasi dari 500 ⁰ C sampai 800 ⁰ C selama 1 atau 2 jam	Surface area untuk 800 ⁰ C = 713 m ² /gr
2	<i>Preparation of Activated Carbons from Bituminous Coals with CO₂ Activation. 1. Effects of Oxygen Content in Raw Coals</i> [Teng, 1996]	Pirolisis dengan aliran CO ₂ /N ₂ dipanaskan dengan laju pemanasan 30 °C/min dari temperatur ruang ke <i>maximum heat treatment Temperatures</i> yaitu 800-950 °C. Kemudian dilakukan gasifikasi dengan aliran CO ₂ pada temperatur <i>maximum heat treatment</i> .	Hasil yang terbaik adalah 658 m ² /g
3	<i>Production of Activated Carbon from Palm-oil shell by pyrolysis and steam activation in a fixed bed reactor</i> [Vitidsant, 1999]	Pirolisis bahan baku dengan laju alir udara 0.72 ml/min selama 30 menit dengan menggunakan steam dengan temperatur 750 ⁰ C selama 3 jam	$\rho_{\text{bulk}}=0.505$ g/cm ³ Surface area = 669.75 m ² /g
4	<i>High-Porosity Carbons Prepared from Bituminous Coal with Potassium Hydroxide Activation</i> [Teng, 1999]	Dilakukan karbonasi di <i>horizontal cylindrical furnace</i> (60-mm i.d.) dengan atmosfer N ₂ (100 mL/min) dan laju pemanasan (v) = 30 °C/min dari temperatur ruang sampai 500-1000 °C selama 0-3 jam.	KOH/coal = 4.25:1 dengan 800 ⁰ C selama 1 jam mendapat surface area = 3000 m ² /g
5	<i>Production and characterization of Activated Carbon from pine wastes gasified in a pilot reactor</i> [Garcia, 2002]	Pencampuran bahan baku dengan KOH (rasio berat alkali/char = 4/1) Dialiri gas N ₂ 4 l/min dengan temperatur bervariasi dari 725 sampai 800 ⁰ C selama 1 jam	Volume mikropori = 0.678 cm ³ /g, Surface area = 1908 m ² /g

Tabel 2.3 Perkembangan Penelitian Pembuatan Karbon Aktif (lanjutan)

No	Nama Jurnal	Proses	Hasil
6	<i>Preparation and Examination of Activated Carbon from Date Pits Impregnated with KOH</i> [Banat, 2003]	Dengan mencampur 30 wt% KOH dan kemudian dipanaskan sampai temperatur 600 C selama 2 jam	Surface area adalah 470 m ² /g
7	<i>Understanding chemical reaction between carbon and NaOH and KOH</i> [Lillo, 2003]	Bahan baku dicampur dengan NaOH (NaOH/C=3:1) dengan laju pemanasan adalah 5 ⁰ C/min sampai 760 ⁰ C Dengan dialiri N ₂ ,CO ₂ dan Steam (laju steam adalah 40,100 dan 500 ml/min)	Hasil paling baik : dialiri N ₂ 500 ml/min= 2193 m ² /g
8	<i>Effect of Two-Stage Process on the Preparation and Characterization of Porous Carbon Composite from Rice Husk by Phosphoric Acid Activation</i> [Kennedy, 2004]	<i>Precarbonized</i> karbon dengan dicampur 250 g yang mengandung 85% berat H ₃ PO ₄ . Rasio H ₃ PO ₄ : coal = 4,2:1 pada 85 ⁰ C selama 4 jam. Lalu dikeringkan dengan kondisi vacuum pada 110 °C selama 24 jam dan diaktivasi dengan atmosfer N ₂ (v=100 mL/min) dan laju pemanasan = 5 °C/min. Temperatur yang digunakan adalah dari 700, 800,900 ⁰ C selama 1 jam lalu didinginkan.	Surface area T = 900 ⁰ C adalah 438.9 (m ² /g)
9	<i>Activated Carbon from Bamboo - Technology Development towards Commercialisation</i> [Baksi,2006]	Dicampur asam fosfat (H ₃ PO ₄), Zinc Klorid (ZnCl ₂) di <i>fluidised bed reactor</i> pada 900-1100 ⁰ C dengan adanya steam atau CO ₂ .	Surface area rata-rata adalah 1250 m ² /g

2.5.1.1 Pengertian Karbon Aktif

Karbon aktif adalah karbon yang diproses sehingga pori-porinya terbuka, dan dengan demikian akan mempunyai daya serap yang tinggi. Karbon aktif merupakan karbon yang akan membentuk amorf, yang sebagian besar terdiri dari karbon yang bebas serta memiliki permukaan dalam (*internal surface*), sehingga mempunyai daya serap yang baik. Keaktifan menyerap dari karbon aktif ini tergantung dari jumlah senyawa karbonnya yang berkisar antara 85 % sampai 95 % karbon bebas. Karbon aktif atau sering disebut sebagai arang aktif adalah arang yang telah mempunyai suatu tingkat daya serap tertentu terhadap bahan organik terlarut, warna, bau, rasa dan zat-zat lain. Karbon aktif ini mempunyai dua bentuk sesuai ukuran butirannya, yaitu karbon aktif bubuk dan karbon aktif granular (butiran). Karbon aktif bubuk ukuran diameter butirannya kurang dari atau sama dengan 325 mesh. Sedangkan karbon aktif granular ukuran diameter butirannya lebih besar dari 325 mesh. (DeMarco, 1998).

Karbon aktif yang berwarna hitam, tidak berbau, tidak berasa, dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon yang belum menjalani proses aktivasi, serta mempunyai permukaan yang luas, yaitu antara 300 sampai 2000 m²/gram. Luas permukaan yang luas disebabkan karbon mempunyai kemampuan menyerap gas dan uap atau zat yang berada didalam suatu larutan. Sifat dari karbon aktif yang dihasilkan tergantung dari bahan yang digunakan, misalnya, tempurung kelapa menghasilkan arang yang lunak.

Karbon aktif dapat di bagi menjadi dua kelompok, yaitu bubuk dan granular. Karbon bentuk bubuk digunakan untuk adsorpsi dalam larutan. Misalnya untuk menghilangkan warna (*decolourisasi*), sedangkan karbon bentuk granular digunakan untuk absorsi gas dan uap, dikenal pula sebagai karbon pengadopsi gas. Karbon bentuk granular kadang-kadang juga digunakan didalam media larutan khususnya untuk deklorinasi air dan untuk menghilangkan klor dalam larutan serta pemisahan komponen-komponen dalam suatu sistem yang mengalir.

Karbon aktif bubuk dan karbon aktif granular mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing (Supranto, 1998).

Karbon aktif bubuk mempunyai kelebihan sebagai berikut :

1. Sangat ekonomis karena ukuran butiran yang kecil dan luas permukaan kontak per-satuan berat sangat besar.
2. Kontak menjadi sangat baik dengan mengadakan pengadukan cepat dan merata.
3. Tidak memerlukan tambahan alat lagi karena karbon akan mengendap bersama lumpur yang terbentuk.
4. Kemungkinan tumbuh mikroorganisme kecil.

Adapun kerugiannya ialah :

1. Cara penanganan karbon aktif, karena berbentuk serbuk yang sangat halus, kemungkinan mudah terbang terbawa angin, sulit tercampur dengan air dan mudah terbakar.
2. Karena tercampur dengan lumpur maka sulit diregenerasi dan biaya operasinya mahal.
3. Kemungkinan terjadi penyumbatan lebih besar karena karbon bercampur dengan lumpur.

Dalam penggunaan karbon aktif granular maka karbon aktif yang ditempatkan dalam tabung diberi penyangga. Dengan cara ini karbon aktif diam sedangkan airnya yang mengalir diantara butir-butir karbon.

Adapun keuntungan dari pemakaian karbon aktif granular ialah :

1. Pengoperasian mudah karena air mengalir dalam media karbon.
2. Proses berjalan cepat karena ukuran butiran karbonnya lebih besar.
3. Karbon tidak tercampur dengan lumpur sehingga dapat diregenerasi.

Sedangkan kerugian dari karbon aktif granular antara lain :

1. Perlu tambahan unit pengolah lagi, yaitu unit filter.
2. Luas permukaan kontak per-satuan berat lebih kecil karena ukuran butiran karbon besar.

Karbon aktif yang berbahan dasar dari kayu mempunyai struktur pori-pori besar yang jauh lebih teratur dibandingkan karbon aktif berbahan dasar batu bara.

Ada 3 kriteria bahan dasar yang dapat dibuat sebagai karbon aktif, yaitu:

1. bahan dasar harus mengandung karbon
2. pengotor pada bahan dasar harus dijaga seminimal mungkin
3. bahan dasar harus mempunyai kualitas yang konstan

Konsentrasi pengotor yang serendah mungkin sangat penting karena setelah proses aktivasi juga akan terbentuk senyawa-senyawa pengotor tersebut dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Pada karbon aktif juga terdapat pengotor berupa logam. Hal ini menjadi perhatian khusus karena adanya kemungkinan untuk proses *leaching* sehingga bisa masuk ke dalam air, reaksi permukaan katalitik, dan racun terhadap aktivitas biologi yang menguntungkan pada kolom karbon aktif granular atau *Granular Activated Carbon (GAC)*.

2.5.1.2 Daya Serap Karbon Aktif

Pada proses adsorpsi terbagi menjadi dua yaitu proses adsorpsi secara fisika dan adsorpsi secara kimia. Adsorpsi secara fisika yaitu proses berlangsung cepat, dan dapat balik dengan panas adsorpsi kecil ($\pm 5-6$ kkal/mol), sehingga diduga gaya yang bekerja di dalamnya sama dengan seperti cairan (gaya Van Der Waals). Unsur yang terserap tidak terikat secara kuat pada bagian permukaan penyerap. Adsorpsi fisika dapat balik (*reversibel*), tergantung pada kekuatan daya tarik antar molekul penyerap dan bahan terserap lemah maka terjadi proses adsorpsi, yaitu pembebasan molekul bahan penyerap.

Adsorpsi kimia adalah merupakan hasil interaksi kimia antara penyerap dengan zat-zat terserap, kekuatan ikatan kimia sangat bervariasi dan ikatan kimia sebenarnya tidak benar-benar terbentuk tetapi kekuatan adhesi yang terbentuk lebih kuat dibanding dengan daya ikat penyerap fisika. Panas adsorpsi kimia lebih besar dibanding dengan adsorpsi fisika ($\pm 10-100$ kkal/mol). Pada proses kimia tidak dapat balik (*inreversibel*) dikarenakan memerlukan energi untuk membentuk senyawa kimia baru pada permukaan adsorben sehingga proses balik juga diperlukan energi yang tinggi.

2.5.1.3 Proses Pembuatan dan Aktivasi Karbon Aktif

Karbon Aktif dapat diperoleh dengan berbagai cara. Misalnya menurut DeMarco (1998), Karbon aktif dapat dibuat dari beberapa macam material melalui pembakaran seperti kayu, batu bara, lignit, kulit kacang, serbuk gergaji, tulang, residu minyak tanah dan tempurung kelapa. Tempurung merupakan bahan yang baik sekali untuk dibuat arang aktif. Selain karena kekerasannya juga karena bentuknya yang terlalu tebal sehingga memungkinkan proses berlangsung dengan merata (Anonim, 1980). Karbon sebelum dimanfaatkan harus diaktifkan terlebih dahulu. Hal ini dimaksudkan untuk memperluas struktur pori dan membentuk luas permukaan internal karbon.

Pada abad XV, diketahui bahwa karbon aktif dapat dihasilkan melalui komposisi kayu dan dapat digunakan sebagai adsorben warna dari larutan. Aplikasi komersial, baru dikembangkan pada tahun 1974 yaitu pada industri gula sebagai pemucat, dan menjadi sangat terkenal karena kemampuannya menyerap uap gas beracun yang digunakan pada Perang Dunia I.

Pembuatan karbon aktif telah banyak yang telah diteliti, dan dalam pustaka telah didapat data yang cukup banyak. Diantaranya dituliskan bahwa karbonisasi untuk memperoleh karbon yang baik untuk di aktivasi arang dan uap air sangat baik pada temperature 900-1000°C, dan penambahan garam KCNS akan mempertinggi daya adsorpsi karbon aktif yang diperoleh.

Secara umum dalam pembuatan karbon aktif terdapat tiga tingkatan proses yaitu :

1. Proses dehidrasi

Tahap dehidrasi atau pelepasan air adalah proses yang dilakukan untuk menghilangkan kandungan air yang ada pada bahan dasar pada pembuatan karbon aktif. Hal tersebut, dilakukan dengan cara dijemur diterik matahari atau bahan tersebut dipanaskan $\pm 110^{\circ}\text{C}$ sampai diperoleh bobot konstan.

2. Proses pengarangan (karbonisasi)

Proses ini merupakan proses pembentukan arang dari bahan baku. Secara umum, karbonisasi sempurna adalah pemanasan bahan baku tanpa adanya udara, sampai temperatur yang cukup tinggi untuk mengeringkan dan menguapkan

senyawa dalam karbon. Hasil yang diperoleh biasanya kurang aktif dan hanya mempunyai luas permukaan beberapa meter persegi pergram. Selama proses karbonisasi dengan adanya dekomposisi pirolitik bahan baku, sebagian elemen-elemen bukan karbon, yaitu hidrogen dan oksigen dikeluarkan dalam bentuk gas dan atom-atom yang terbebaskan dari karbon elementer membentuk kristal yang tidak teratur, yang disebut sebagai kristal grafit elementer. Struktur kristalnya tidak teratur dan celah-celah kristal ditempati oleh zat dekomposisi tar. Senyawa ini menutupi pori-pori karbon, sehingga hasil proses karbonisasi hanya mempunyai kemampuan adsorpsi yang kecil. Oleh karena itu karbon aktif dapat juga dibuat dengan cara lain, yaitu dengan mengkarbonisasi bahan baku yang telah dicampur dengan garam dehidrasi atau zat yang dapat mencegah terbentuknya tar, misalnya $ZnCl$, $MgCl$, dan $CaCl$. Perbandingan garam dengan bahan baku adalah penting untuk menaikkan sifat-sifat tertentu dari karbon.

Tahap-tahap pada proses karbonisasi yang pemanasannya berlangsung sampai suhu sekitar $500^{\circ}C$ dapat terlihat pada tabel berikut:

Tabel 2.4 Tahapan dalam Proses Karbonisasi (Septi, 2008)

SUHU	PROSES
0 - $150^{\circ}C$	Penguapan H_2O
$150^{\circ}C$	Mulai terbentuk CO dan CO_2
	Sisa H_2O ikut terbawa
200 - $300^{\circ}C$	Pembentukan destilat CO dan CO_2 bertambah
	Mulai terbentuk destilat asam asetat, asam format dan metanol
	Mulai terbentuk karbon
	Dekomposisi lignin, selulosa, dan hemiselulosa dimana lepasnya gugus karbonil serta logam
	Terbentuknya mikropori
	Reaksi endodermik
300 - $400^{\circ}C$	Terbentuk gas-gas CH_4 , H_2

Tabel 2.4 Tahapan dalam Proses Karbonisasi (Septi, 2008) (lanjutan)

SUHU	PROSES
	Terbentuk senyawa aromatik seperti fenol
	Pembentukan mikropori berkurang dan mesopori mulai terbentuk
	Reaksi eksotermik
	Tar yang dihasilkan terbanyak
	Lignin terurai
	Mesopori makin banyak, pembentukan karbon makin sempurna
500 °C	Pemurnian karbon, Kadar C mencapai ± 90 %

3. Proses aktivasi

Secara umum, aktivasi adalah perubahan karbon dengan daya serap rendah menjadi karbon yang mempunyai daya serap tinggi. Untuk menaikkan luas permukaan dan memperoleh karbon yang berpori, karbon diaktivasi, misalnya dengan menggunakan uap panas, gas karbondioksida dengan temperatur antara 700-1100°C, atau penambahan bahan-bahan mineral sebagai *activator*. Selain itu aktivasi juga berfungsi untuk mengusir tar yang melekat pada permukaan dan pori-pori karbon. Aktivasi menaikkan luas permukaan dalam (*internal area*), menghasilkan volume yang besar, berasal dari kapiler-kapiler yang sangat kecil, dan mengubah permukaan dalam dari struktur pori.

Jadi karbon aktif dapat dibuat dengan dua metode aktivasi, yaitu :

1. Aktivasi fisika, pada aktivasi ini menggunakan gas pengaktif, misalnya N₂ atau CO, yang dialirkan pada karbon hasil yang dibuat dengan metode karbonisasi biasa. Pada saat ini senyawa – senyawa hasil yang terbawa akan hilang dan akhirnya akan memperluas hasil permukaan. Aktivasi ini dilakukan sampai derajat aktivasi cukup, yaitu sampai kehilangan berat bekisar antara 30-70 %.

2. Aktivasi kimia, pada aktivasi ini bahan dikarbonisasi dengan tambahan Zat pengaktif (*activator*) yang mempengaruhi jalannya pirolisis. Kemudian dicuci dengan air dan kemudian dikeringkan. Biasanya proses aktivasi fisika merupakan awal dari proses aktivasi kimia.

Menurut Lykins (1988) ada dua metode dalam pengaktifan karbon, yaitu:

1. Dengan menggunakan gas untuk mengoksidasikan karbon pada suhu yang tinggi. Gas yang digunakan biasanya adalah karbondioksida dan N_2 . Pengaktifan dengan menggunakan gas selalu berjalan dalam kecepatan reaksi orde pertama dengan temperatur 100–1000°C. Pengaktifan dengan gas ini ditujukan untuk memperluas struktur pori karbon melalui proses oksidasi.
2. Pengaktifan secara kimia. Zat kimia yang sering digunakan adalah $ZnCl_2$, asam fosfor, Na_2SO_4 dan KOH. Pengaktifan secara kimia berjalan pada temperatur 400–650°C. Proses ini ditujukan untuk membuat luas permukaan pori bagian dalam karbon.

2.5.1.4 Kegunaan Karbon Aktif

Karbon aktif dapat digunakan sebagai bahan pemucat, penyerap gas, penyerap logam, menghilangkan polutan mikro misalnya zat organik, detergen, bau, senyawa phenol dan lain sebagainya. Pada saringan arang aktif ini terjadi proses adsorpsi, yaitu proses penyerapan zat–zat yang akan dihilangkan oleh permukaan arang aktif. Apabila seluruh permukaan arang aktif sudah jenuh, atau sudah tidak mampu lagi menyerap maka kualitas air yang disaring sudah tidak baik lagi, sehingga arang aktif harus diganti dengan arang aktif yang baru.

Banyak penelitian yang mempelajari tentang manfaat dari karbon aktif yang dapat menyerap senyawa organik maupun anorganik, penyerap gas, penyerap logam, menghilangkan polutan mikro misalnya detergen, bau, senyawa phenol dan lain sebagainya. Pada saringan arang aktif ini terjadi proses adsorpsi, yaitu proses penyerapan zat-zat yang akan dihilangkan oleh permukaan arang aktif. Apabila seluruh permukaan arang aktif sudah jenuh, atau sudah tidak

mampu lagi menyerap maka kualitas air yang di saring sudah tidak baik lagi, sehingga arang aktif harus di ganti dengan arang aktif yang baru.

2.5.2 TiO₂ untuk Proses Modifikasi Karbon Aktif

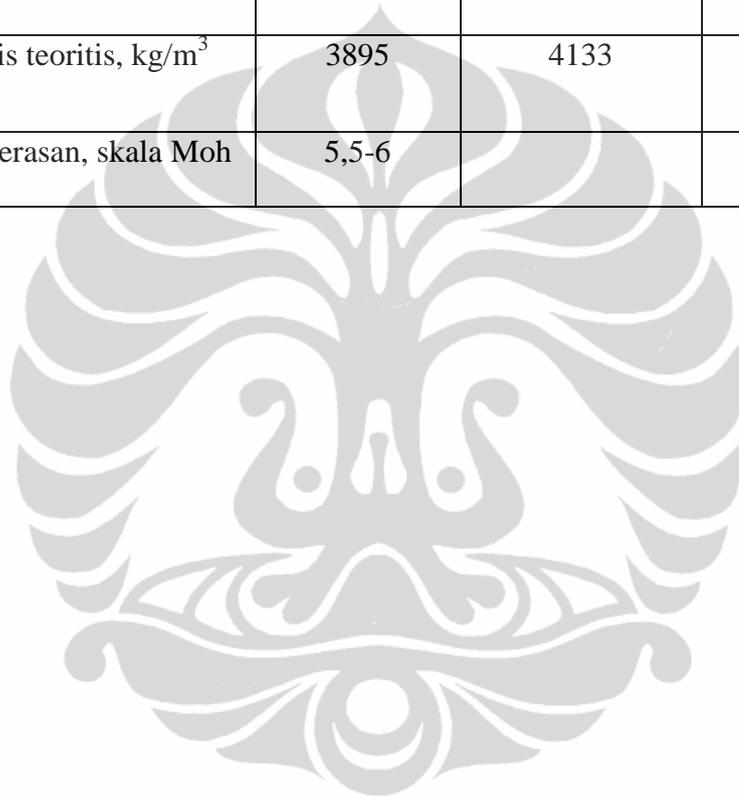
TiO₂ termasuk salah satu jenis oksida logam yang merupakan katalis semikonduktor pada proses fotokatalisis. Diantara sekian banyak jenis semikonduktor, hingga saat ini TiO₂ memegang peranan utama dalam proses-proses fotokatalisis karena berbagai kelebihan sifat-sifat kimia fisiknya seperti aktivitas fotokatalisisnya yang tinggi, stabil, dan tidak beracun. Secara komersil, TiO₂ juga memiliki kelebihan dibandingkan dengan fotokatalis lainnya karena mudah didapat dan diproduksi dalam jumlah besar. Hal ini dapat dibandingkan dengan oksida logam lainnya seperti ZnO yang aktivitasnya berkurang seiring berjalannya waktu karena mengalami proses korosi, CdS yang beracun, ataupun Fe₂O₃ yang daya oksidasinya lemah. Terdapat beberapa kelebihan TiO₂ dibandingkan bahan semikonduktor lainnya yaitu :

1. Aktivitas fotokatalisis yang lebih tinggi daripada fotokatalis lain seperti ZnO, CdS, WO₃, dan SnO₂.
2. Tidak beracun dan tidak larut dalam kondisi eksperimen
3. Bersifat inert dalam reaksi
4. Mempunyai sifat stabil terhadap cahaya (fotostabil)
5. Mampu menyerap dengan baik cahaya ultraviolet.
6. Memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi, termasuk zat organik yang sulit terurai sekalipun seperti haloaromatik, polimer, herbisida, dan pestisida.
7. Relatif murah jika digunakan dalam jumlah besar

Ada tiga jenis struktur kristal TiO₂ yaitu *anatase*, *rutile*, dan *brookite*. Kristal-kristal ini terkadang memiliki pengotor seperti besi, kromium, ataupun vanadium dalam jumlah yang kecil (Othmer, 1997). Perbedaan diantara ketiga bentuk kristal dari TiO₂ dapat dilihat pada Tabel 2.4. Anatase merupakan bentuk alotropik yang paling aktif dibandingkan bentuk lainnya. Secara termodinamika, bentuk anatase lebih stabil dan pembentukannya secara kinetik lebih baik pada suhu rendah. Temperatur rendah ini dapat menjelaskan luas permukaan yang tinggi untuk adsorpsi dan untuk katalisis.

Tabel 2.5 Perbandingan sifat berbagai bentuk kristal TiO₂ (Othmer, 1997)

Sifat	Anatase	Brookite	Rutile
Bentuk Kristal	Tetragonal	Orthorombik	Tetragonal
Band gap, eV	3,25	3,05	3,0
Banyaknya TiO ₂ /unit sel	4	8	2
Volume per TiO ₂ , nm ³	0,03407	0,03211	0,03122
Massa jenis teoritis, kg/m ³	3895	4133	4250
Tingkat kekerasan, skala Moh	5,5-6		7-7,5

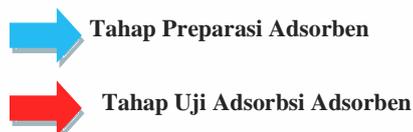
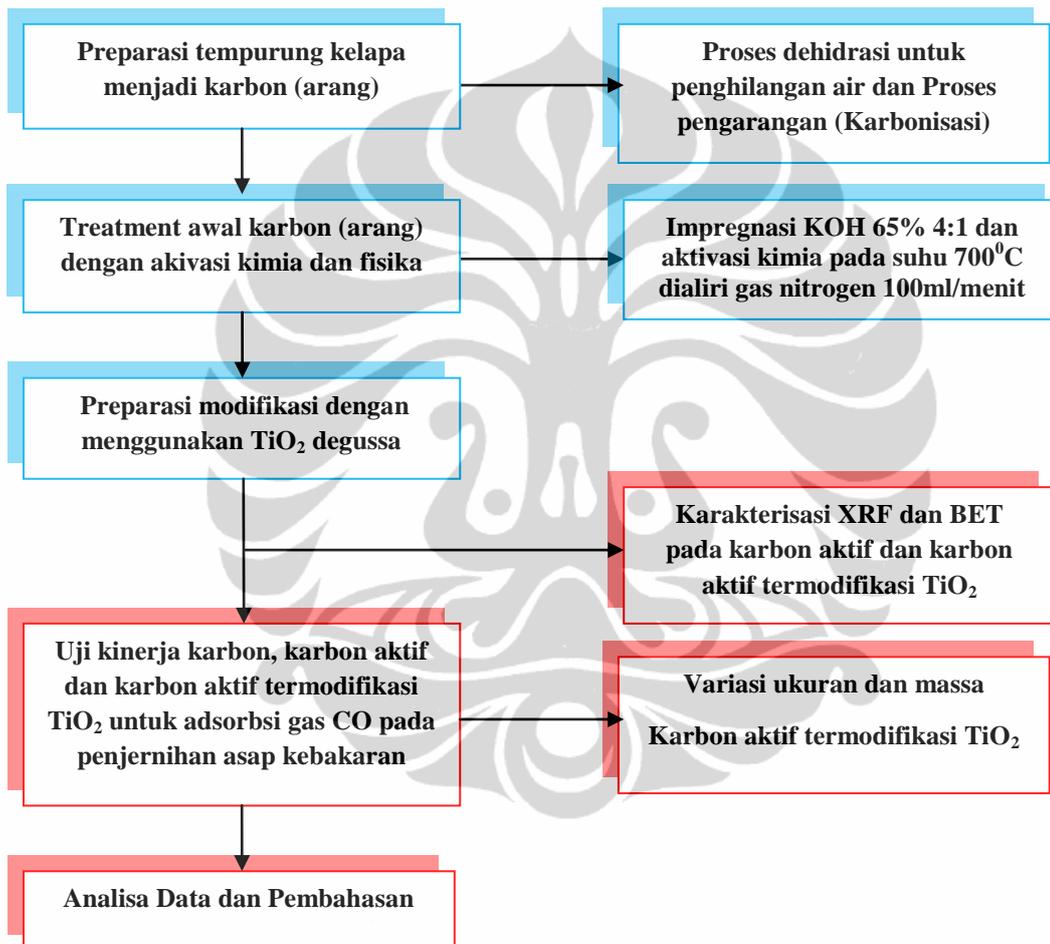


BAB 3

METODE PENELITIAN

Penelitian dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap preparasi adsorben dan tahap uji adsorpsi adsorben.

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian secara umum

3.2 Peralatan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi alat untuk pembuatan karbon (arang) dari tempurung kelapa, alat untuk pembuatan karbon aktif termodifikasi TiO_2 , alat untuk karakterisasi adsorben dari tempurung kelapa dan alat uji adsorpsi gas CO dan penjernihan asap kebakaran.

3.2.1 Alat Pembuatan Karbon (Arang) dari Tempurung Kelapa

1. Furnace.
2. Alumunium foil.
3. *crussible lid*.
4. Desikator.

3.2.2 Alat Pembuatan Karbon Aktif termodifikasi TiO_2

Alat-alat yang digunakan untuk pembuatan karbon aktif termodifikasi TiO_2 yaitu:

1. Beaker glass.
2. Spatula kaca.
3. *Magnetic stirrer*.
4. Kertas saring dan corong.
5. Atmospheric furnace.
6. Cawan.
7. Pipet tetes dan pipet volume.
8. Timbangan mekanik.
9. Alat ultrasonikasi.
10. Mortar.
11. Ayakan ukuran mesh 200.
12. Reaktor aktivasi.

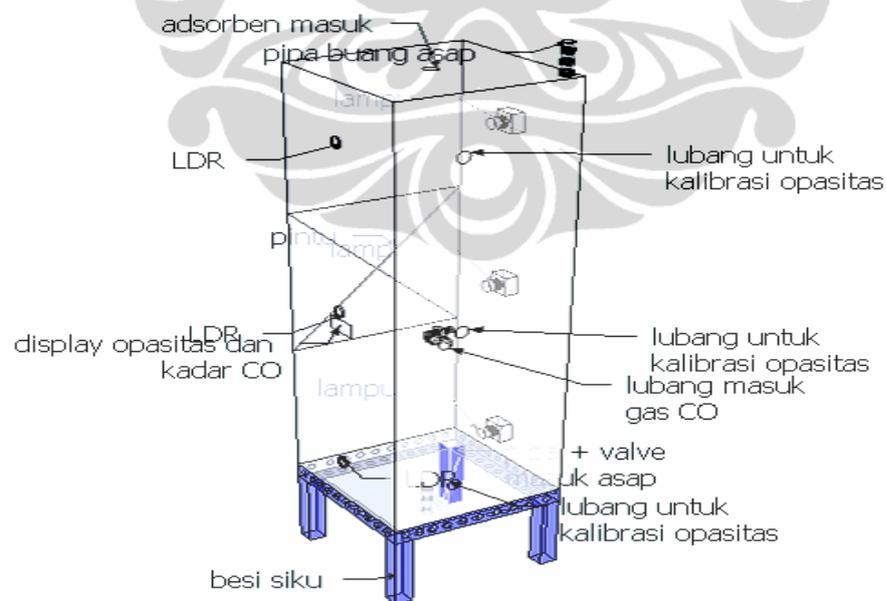
3.2.3 Alat Karakterisasi Adsorben dari Tempurung Kelapa

1. BET (Menentukan luas permukaan).
2. XRF(Menentukan kandungan TiO_2 dalam karbon aktif yang termodifikasi TiO_2)

3.2.4 Alat Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran

1. Wadah dan ruang uji pembakaran
2. *Stopwatch*
3. *Sprayer* adsorben
4. Neraca digital
5. *Gas analyzer*
6. Opasitimeter

Ruang uji kinerja adsorben karbon aktif tempurung kelapa termodifikasi TiO_2 memiliki ukuran 40 cm x 40 cm x 120 cm dengan bahan akrilik. Pada bagian tengah samping kiri ruang uji terdapat pintu berukuran 40 cm x 40 cm yang bisa dibuka untuk membersihkan dinding dan dasar akrilik dari sisa adsorben yang disemprotkan ke dalam ruang uji. Bagian atas ruang uji terdapat lubang untuk asap keluar dan lubang untuk menyemprotkan adsorben. Bagian bawah ruang uji terdapat lubang untuk memasukkan asap yang dihasilkan dari wadah pembakaran. Ruang uji dibuat kedap udara dan dilakukan uji kebocoran agar tidak ada asap yang keluar selama proses adsorpsi berlangsung.



Gambar 3.2 Skema ruang uji

3.3 Bahan-Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi bahan untuk pembuatan karbon (arang) dari tempurung kelapa, bahan aktivasi karbon (arang), bahan preparasi modifikasi dengan TiO_2 , bahan uji kinerja karbon aktif termodifikasi TiO_2 dan bahan analisa sampel.

3.3.1 Bahan Pembuatan Karbon (arang) dari Tempurung Kelapa

Bahan yang digunakan untuk Pembuatan awal karbon aktif adalah:

1. Tempurung kelapa.

3.3.2 Bahan Aktivasi Karbon (Arang)

Bahan-bahan yang digunakan untuk treatment awal karbon aktif tempurung kelapa adalah:

1. Karbon (Arang) dari tempurung kelapa.
2. KOH 65%.
3. Gas N_2 .
4. HCl 5 N.
5. Aquades panas.

3.3.3 Bahan-bahan Preparasi Sol-Gel TiO_2

Bahan-bahan yang digunakan untuk preparasi Sol-Gel TiO_2 yaitu:

1. Serbuk TiO_2 komersial Degussa P-25
2. Karbon (Arang) yang telah diaktivasi.
3. Aquades.

3.3.4 Bahan Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran

Bahan-bahan yang digunakan untuk uji adsorpsi gas CO dan penjernihan asap kebakaran adalah:

1. Adsorben karbon aktif tempurung kelapa dan karbon aktif tempurung kelapa termodifikasi TiO_2 .
2. Serbuk kayu, kertas, dan potongan kabel.
3. Minyak tanah.

4. Lap.
5. *Stopwatch*.

3.4 Variable Dalam Penelitian

Variasi dilakukan untuk mendapatkan ukuran dan massa adsorben karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi TiO_2 yang optimum dalam proses adsorpsi gas CO dan proses penjernihan asap pembakaran. Variasi ini dilakukan dengan cara memvariasikan massa karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi TiO_2 yang disemprotkan pada asap kebakaran yaitu 1g dan 3g, dengan ukuran partikel 60 mesh dan 200 mesh.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Pembuatan Karbon (Arang) dari Tempurung Kelapa

Pada penelitian ini dilakukan Pembuatan Karbon (Arang) dari Tempurung Kelapa dengan metode Karbonisasi. Prosedurnya yaitu:

1. Tempurung kelapa oven pada suhu 110°C sampai didapatkan bobot konstan (dehidrasi).
2. Bungkus dengan aluminium foil.
3. Masukkan kedalam *crucible lid* dan furnace dengan suhu 500°C selama ± 2 jam (karbonisasi), lalu masukkan kedalam desikator.

3.5.2 Aktivasi Karbon dari Tempurung Kelapa

Pada penelitian ini dilakukan aktivasi kimia dan aktivasi fisika karbon (arang) dari tempurung kelapa. Prosedurnya yaitu:

1. Gerus karbon (arang) sampai ukuran mesh 200.
2. Karbon (arang) rendam dengan larutan KOH 65% (1:4) (aktivasi kimia).
3. Aduk 100 rpm pada suhu $\pm 200^{\circ}\text{C}$ selama 5 jam.
4. Oven slury pada suhu 110°C selama 24 jam.
5. Masukkan reaktor aktivasi dengan suhu 700°C selama 1 jam dialiri gas N_2 100 mL/menit (aktivasi fisika).
6. Pendinginan dengan tetap mengalirkan gas N_2 .
7. Karbon (arang) cuci dengan HCl 5 N.

8. Lalu cuci menggunakan aquades panas hingga filtrat mencapai pH netral.
9. Oven pada suhu 110°C selama 24 jam.
10. Sebagian gerus dan ayak dengan ukuran mesh 60 dan ukuran mesh 200.

3.5.3 Preparasi Karbon Aktif termodifikasi TiO_2

1. Sejumlah TiO_2 Degussa P-25 tambah dengan 100 ml aquades dan aduk secara sonikasi selama 10 menit.
2. Larutan TiO_2 campur dengan karbon aktif (perbandingan karbon aktif dengan TiO_2 Degussa P-25 adalah 80:20) dan lanjutkan dengan sonikasi selama 20 menit.
3. Evaporasi campuran karbon aktif – TiO_2 sampai tidak mengandung air.
4. Kalsinasi pada temperatur 100°C
5. Diamkan Adsorben sampai temperaturnya kembali normal
6. Gerus dan ayak dengan ukuran mesh 60 dan ukuran mesh 200.

3.5.4 Karakterisasi Adsorben Karbon Tempurung Kelapa

Karakterisasi yang dilakukan adalah mengukur luas permukaan dan komposisi karbon tempurung kelapa, karbon aktif tempurung kelapa, dan karbon aktif tempurung kelapa termodifikasi TiO_2 .

3.5.4.1 Luas Permukaan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (BET)

Karakterisasi ini dilakukan untuk menghitung luas permukaan karbon tempurung kelapa murni, karbon tempurung kelapa yang telah diaktivasi, dan karbon aktif tempurung kelapa yang telah dimodifikasi TiO_2 . Selain itu, karakterisasi BET ini penting untuk melihat pengaruh TiO_2 terhadap permukaan karbon aktif.

3.5.4.2 Komposisi Karbon Aktif (XRF)

Karakterisasi XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi karbon tempurung kelapa sebelum dan setelah aktivasi, dan kandungan TiO_2 dalam adsorben karbon aktif tempurung kelapa termodifikasi TiO_2 yang telah dibuat. Sampel yang akan dikarakterisasi XRF dihaluskan hingga berbentuk serbuk. Sampel dimasukkan ke dalam oven untuk menghilangkan kandungan airnya.

Selanjutnya sampel ditambahkan 8 gram flux (campuran Lithium Tetraborat dan Lithium Metaborat), dihomogenkan, dan ditambah beberapa tetes ammonium iodida 30 %. Cawan platina yang berisi sampel tersebut dilebur dalam *furnace* pada temperatur 1050 °C selama 20 menit. Kemudian sampel yang telah dilebur dicetak hingga membentuk lingkaran pelet tipis. Sampel yang telah berbentuk pelet tipis ini dimasukkan ke dalam alat XRF. Kemudian alat XRF akan mengirimkan sejumlah data ke dalam komputer yang menunjukkan komposisi sampel.

3.5.5 Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran

Bahan yang akan dibakar (kertas, serbuk kayu, kabel, dan arang) ditimbang masing-masing 20 gram kemudian dibakar dalam wadah pembakaran. Jenis pembakaran yang dilakukan adalah *smoldering* yaitu terbentuk bara sehingga asap terbentuk. Uji adsorpsi gas CO dilakukan tanpa adsorben, dengan karbon tempurung kelapa yang telah diaktivasi, dan karbon aktif tempurung kelapa yang telah dimodifikasi TiO₂.

a. Uji Adsorpsi Tanpa adsorben

1. Bakar bahan dan masukkan asapnya ke dalam ruang uji. Pompa asap sampai opasitas dalam ruang uji 0 atau asap jenuh dalam ruang uji.
2. Catat nilai opasitas dan konsentrasi CO awal.
3. Catat nilai opasitas tiap menit sampai didapat nilai t_{10} dan konsentrasi CO tiap menit selama 20 menit.

b. Uji Adsorpsi dengan Karbon Aktif Tempurung Kelapa

1. Bakar bahan dan masukkan asapnya ke dalam ruang uji. Memompa asap sampai opasitas dalam ruang uji atau asap jenuh dalam ruang uji.
2. Catat nilai opasitas dan konsentrasi CO awal.
3. Semprotkan adsorben karbon teraktivasi pada bagian atas ruang uji.
4. Catat nilai opasitas tiap menit sampai didapat nilai t_{10} dan konsentrasi CO tiap menit selama 20 menit.
5. Keluarkan asap dan bersihkan ruang uji.
6. Lakukan hal yang sama untuk variasi ukuran dan variasi massa adsorben.

c. Uji Adsorpsi dengan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Termodifikasi TiO_2

1. Bakar bahan dan masukkan asapnya ke dalam ruang uji. Memompa asap sampai opasitas dalam ruang uji atau asap jenuh dalam ruang uji.
2. Catat nilai opasitas dan kadar CO awal.
3. Semprotkan adsorben karbon aktif tempurung kelapa termodifikasi TiO_2 pada bagian atas ruang uji.
4. Catat nilai opasitas tiap menit sampai didapat nilai t_{10} dan konsentrasi CO tiap menit selama 20 menit.
5. Keluarkan asap dan bersihkan ruang uji.
6. Lakukan hal yang sama untuk variasi ukuran dan variasi massa adsorben.

d. Prosedur Pembuatan Asap

1. Masukkan bahan yang akan dibakar dengan jumlah masing-masing 20 gram ke dalam wadah pembakaran.
2. Bakar bahan selama 2 menit lalu menutup wadah pembakaran.
3. Masukkan selang ke dalam pipa di bagian samping wadah pembakar.
4. Masukkan pipa bagian atas pada wadah pembakar kedalam lubang dibawah ruang uji.
5. Pompa asap pembakaran selama 5 menit dan sampai opasitas dalam ruang uji 0 atau asap jenuh.
6. Tutup *valve* dan keluarkan selang dari ruang uji.

3.6 Data Penelitian

Data yang diperoleh adalah:

1. Data komposisi karbon tempurung kelapa, karbon aktif tempurung kelapa, dan karbon aktif tempurung kelapa yang telah dimodifikasi TiO_2 dengan XRF.
2. Data luas permukaan karbon tempurung kelapa, karbon aktif tempurung kelapa, dan karbon aktif tempurung kelapa yang telah dimodifikasi TiO_2 dengan BET.
3. Penurunan opasitas dan nilai t_{10} tanpa adsorben, dengan karbon aktif tempurung kelapa, dan karbon aktif tempurung kelapa termodifikasi TiO_2 .

4. Penurunan konsentrasi CO dan % adsorpsi CO tanpa adsorben, dengan karbon aktif tempurung kelapa, dan karbon aktif tempurung kelapa termodifikasi TiO₂.

3.7 Pengolahan Data

Banyaknya gas CO yang teradsorpsi dapat dihitung berdasarkan selisih konsentrasi gas CO awal dengan konsentrasi gas CO pada menit 20. Kapasitas adsorpsi ini merupakan fungsi dari waktu dan ketinggian ruangan.

$$\%Adsorpsi = \frac{CO_0 - C_{20}}{CO_0} \times 100\%$$

CO₀ = konsentrasi gas CO awal (ppm)

C₂₀ = konsentrasi gas CO pada menit 20

Untuk efektivitas adsorben karbon aktif tempurung kelapa termodifikasi TiO₂ dalam menjernihkan asap kebakaran dilihat dari nilai rasio t₁₀, t₁₀ adalah waktu yang dibutuhkan untuk dapat membuat opasitas sepuluh kali lebih jernih dibandingkan kondisi awal (menit nol). Nilai rasio t₁₀ diperoleh dari perbandingan nilai kondisi t₁₀ tanpa adsorben dengan kondisi t₁₀ dengan adsorben.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan Laboratorium Mutu Certification International. Hasil dan pembahasan dari penelitian ini akan diuraikan meliputi tahap pembuatan arang dari tempurung kelapa (Karbonisasi), tahap aktivasi arang tempurung kelapa, tahap modifikasi karbon aktif dengan TiO_2 , tahap pembuatan ruang uji, tahap adsorpsi gas CO, tahap penjernihan asap kebakaran. Pada penelitian adsorben yang dihasilkan dianalisa kandungan TiO_2 menggunakan X-Ray Florescence (XRF) serta analisa luas permukaan menggunakan metode analisa BET.

4.1 Karbonisasi

Pada penelitian ini dilakukan terlebih dahulu proses perlakuan awal terhadap tempurung kelapa. Dimulai dengan penghilangan kadar air yang terkandung dalam tempurung kelapa pada suhu 110°C , dikarenakan kadar air yang tinggi dapat mengganggu pada proses karbonisasi.



Oven 110°C

Penimbangan tempurung kelapa

Gambar 4.1 Tempurung kelapa di oven pada suhu 110°C

Selanjutnya tempurung kelapa sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif terlebih dahulu dibungkus dengan aluminium foil, hal ini bertujuan agar mengurangi kontak oksigen langsung terhadap tempurung kelapa disaat terjadi proses karbonisasi. Dikarenakan proses karbonisasi merupakan proses pembakaran tidak sempurna, Apabila pada proses ini ada kontak dengan oksigen maka tempurung kelapa akan terbakar menjadi abu. Proses karbonisasi ini dilakukan didalam *furnace* pada Temperatur 500 °C selama 2 jam. Pada proses karbonisasi ini didapatkan hasil arang tempurung kelapa yang dapat dilihat pada Gambar 4.2. Sedangkan *yield* arang dari proses karbonisasi tempurung kelapa dapat dilihat pada Tabel 4.1.



Gambar 4.2 Hasil Karbonisasi dari Tempurung Kelapa

Tabel 4.1 *Yield* Proses Karbonisasi Tempurung Kelapa

No.	Berat Awal Tempurung Kelapa (gram)	Berat Akhir atau Berat Arang (gram)	Berat Kehilangan (gram)	Persentase Kehilangan (%)	<i>Yield</i> Arang (%)
1	285,92	57,13	228,79	80,02	19,98
2	311,70	59,69	252,01	80,85	19,15
3	250,64	47,14	203,50	81,19	18,81
4	310,21	57,51	252,70	81,46	18,54

Dari proses karbonisasi tempurung kelapa yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 didapatkan hasil rata-rata arang tempurung kelapa yang terbentuk adalah sebesar 19.12 % dari berat awal tempurung kelapa yang dipanaskan didalam *furnace* . Hasil *yield* tersebut cukup masuk akal mengingat kadar karbon (*fixed carbon*) secara teoritis pada tempurung kelapa adalah 18.80 %, hal ini bisa dikatakan bahwa hampir seluruh air dan material mudah menguap telah diuapkan pada proses ini. Karakteristik secara umum dari tempurung kelapa dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Karakteristik Tempurung Kelapa

Parameter	Presentase (%)
Kadar Air (<i>moisture content</i>)	7,8
Kadar abu (<i>ash content</i>)	0,4
Kadar material mudah menguap (<i>volatile matter</i>)	80,8
Karbon (<i>fixed carbon</i>)	18,8

Sumber : <http://www.pdii.lipi.go.id>

4.2 Tahap Aktivasi Arang Tempurung Kelapa

4.2.1 Aktivasi Kimia

Setelah proses karbonisasi tempurung kelapa telah selesai, kemudian dilanjutkan dengan proses penghalusan arang tempurung kelapa. Pada Gambar 4.3 menunjukkan hasil preparasi awal bahan dasar karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa yang sudah dihaluskan.



Gambar 4.3 Arang Tempurung Kelapa sebelum Aktivasi

Proses aktivasi yang akan dilakukan adalah dengan cara kimia yaitu dengan cara penambahan *activating agent* pada bahan baku pembuatan karbon aktif. Sebelum dilakukan proses aktivasi terlebih dahulu dilakukan pencampuran arang tempurung kelapa dengan *activating agent* yaitu KOH 65 %. Perbandingan *activating agent* dengan bahan dasar karbon aktif adalah 4/1 [Pujiyanto, 2000]. Setelah dilakukan penimbangan *activating agent* dan bahan baku karbon aktif baik dari batu bara maupun arang tempurung kelapa, kemudian dilakukan proses pencampuran dari keduanya. Sambil diaduk dan dipanaskan untuk selanjutnya dilakukan pengeringan dengan *oven* sehingga terbentuk padatan. Gambar 4.4 menunjukkan proses impregnasi tempurung kelapa dengan KOH. Sedangkan persentase penguapan air pada saat terbentuknya padatan campuran antara *activating agent* dengan bahan baku dapat dilihat pada Tabel 4.3.



Gambar 4.4 Proses Impregnasi tempurung kelapa dengan KOH

Tabel 4.3 Persentase Air Menguap pada Hasil Pencampuran Larutan *Activating agent* dengan Arang Tempurung Kelapa

Bahan Baku	Perbandingan KOH/Bahan Baku	Berat KOH (gram)	Berat Bahan Baku (gram)	Berat Larutan KOH (gram)	Berat Bahan Baku + Larutan KOH (gram)	Berat Padatan yang terbentuk (gram)	% Air yang Menguap
Arang Tempurung Kelapa	4 : 1	240,48	60,12	610,45	670,57	131,49	80,39
		100,48	25,12	255,07	280,19	112,13	59,98
		115,32	28,83	292,74	321,57	135,90	57,74

Dari hasil penelitian tersebut terlihat bahwa ada kegagalan pada percobaan pertama. Hal itu terjadi pada saat pengeluaran karbon aktif dari *beaker glass* sebelum ditimbang. Karbon aktif yang dihasilkan sangat sulit dikeluarkan. Hal itu dikarenakan karbon aktif yang dihasilkan cepat sekali mengeras, sehingga saat dipaksa dikeluarkan banyak sisa-sisa karbon aktif yang terbuang. Untuk itu di percobaan kedua dan ketiga *beaker glass* langsung dipecahkan ketika karbon aktif dikeluarkan dari oven dan telah mengeras, agar lebih mudah mendapatkan hasil karbon aktif tanpa harus ada banyak karbon aktif yang terbuang. Jalan keluar ini dilakukan karena sifat dari KOH yang *higroskopis* atau menarik air, sehingga tidak dapat dibiarkan terlalu lama kontak dengan udara. Untuk itu ketika karbon aktif mulai mengeras harus segera dikeluarkan dari beaker glass dan langsung ditimbang dan dimasukkan ke wadah yang tertutup.

4.2.2 Aktivasi Fisika

Setelah didapatkan padatan *activating agent*/arang tempurung kelapa kemudian dilakukan aktivasi. Pada Gambar 4.5 menunjukkan peralatan yang digunakan pada proses aktivasi padatan dari hasil impregnasi KOH.



Reaktor Aktivasi

Pemanasan atau aktivasi fisika

Gambar 4.5 Alat Proses Aktivasi pada Pembuatan Karbon Aktif

Proses aktivasi pada karbon aktif dilakukan dengan pemanasan pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen bebas yaitu dengan dialirkan gas N₂ ke dalam *tube* baja selama proses aktivasi. Dengan tidak adanya oksigen bebas diharapkan tidak terjadi kerusakan struktur pori-pori bahan baku dimana akan mengakibatkan terjadi *losses* (hilangnya bahan baku) pada hasil akhir karbon aktif. Proses aktivasi dilakukan pada temperatur 700 °C dan dialiri gas nitrogen 100 ml/menit.

Tabel 4.4 Kondisi dan Hasil Pengamatan Proses Aktivasi Fisika

Sampel	Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Kondisi dan Hasil Pengamatan Aktivasi
Karbon Aktif Tempurung Kelapa	0	15	Dialirkan gas N ₂ pada <i>tube</i> baja
	0 - 100	10	Pemanasan dimulai dengan dinaikan secara bertahap untuk mencapai Temperatur 150 °C
	100 - 150	15	
	150 - 200	15	
	200 - 250	30	Uap air mulai perlahan keluar
	250 - 300	30	
	300 - 350	90	Banyak uap air keluar dengan diikuti keluarnya asap putih
	350 - 400	90	
	400 - 450	60	Asap putih keluar banyak dan berkurang uap air
	450 - 500	45	
	550 - 600	45	Asap putih mulai hilang
	600 - 650	10	Sudah tidak ada asap putih
	650 - 700	10	Dilakukan kenaikan secara bertahap untuk mencapai suhu <i>setting</i> yang diinginkan 700 °C
	700	60	Pemanasan stabil dengan tidak adanya uap air dan asap putih
	700- 30	90	Dilakukan penurunan Temperatur dengan tetap dialirkan gas N ₂ sampai 30 °C
	30		Setelah mencapai 30 °C reaktor dimatikan

Dari Tabel 4.4 terindikasikan bahwa pemanasan Temperatur sampai 600 °C sudah tidak menunjukkan asap putih yang keluar dari *tube* baja pada karbon aktif tempurung kelapa. Hal ini dapat menandakan bahwa proses aktivasi pada bahan baku telah mulai berjalan.

Hasil proses pemanasan karbon aktif tempurung kelapa didapatkan persentasi berat kehilangan yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Persentase Kehilangan pada Aktivasi Fisika

Bahan Baku	Temperatur (°C)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Berat Hilang (gram)	% Kehilangan
Karbon Aktif Tempurung Kelapa	700	100,23	43,79	56,44	56,31
		89,64	60,12	29,52	32,93
		90,19	55,77	34,42	38,16
		75,32	50,16	25,16	33,40

Dari hasil pemanasan karbon aktif tempurung kelapa persentase berat kehilangan berkisar antara 32.93 – 56.31 %. Besarnya persentase kehilangan ini merupakan representasi dari kadar air (pengotor) yang terdapat pada padatan campuran karbon aktif dan senyawa-senyawa *volatile* yang masih ada sehingga hilang selama proses pemanasan. Selain itu proses aktivasi ini juga menghilangkan beberapa atom karbon menjadi gas CO₂ yang ikut keluar. Hal ini dikarenakan proses pemanasan atau aktivasi karbon aktif ini merupakan aktivasi yang melibatkan reaksi kimia didalamnya. (Sudibandriyo dan Mulyati, 2008) Reaksi kimia yang terjadi adalah:



Pada proses aktivasi ini karbon bereaksi dengan *activating agent* (KOH) sehingga akan membentuk pori-pori baru (melubangi permukaan karbon) serta menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi pada permukaan karbon. *Amorphous* karbon yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan

sebagai hasilnya *closed pore* akan terbuka dan tercipta pori-pori yang baru (Sudibandriyo, 2003). Pori-pori yang terbentuk inilah yang memperbesar luas permukaan karbon aktif (Sontheimer, 1985).

4.2.3 Proses Pencucian dan Hasil Karbon Aktif

Setelah proses aktivasi selesai maka pada penelitian ini dilakukan pencucian hasil karbon aktif dengan larutan HCL 5 N, penggunaan HCl untuk menghilangkan sisa – sisa ion OH^- yang masih terdapat pada hasil karbon aktif (hasil Aktivasi). Hasil proses Pencucian dapat dilihat pada Gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.6 Hasil Karbon Aktif dari Hasil Aktivasi

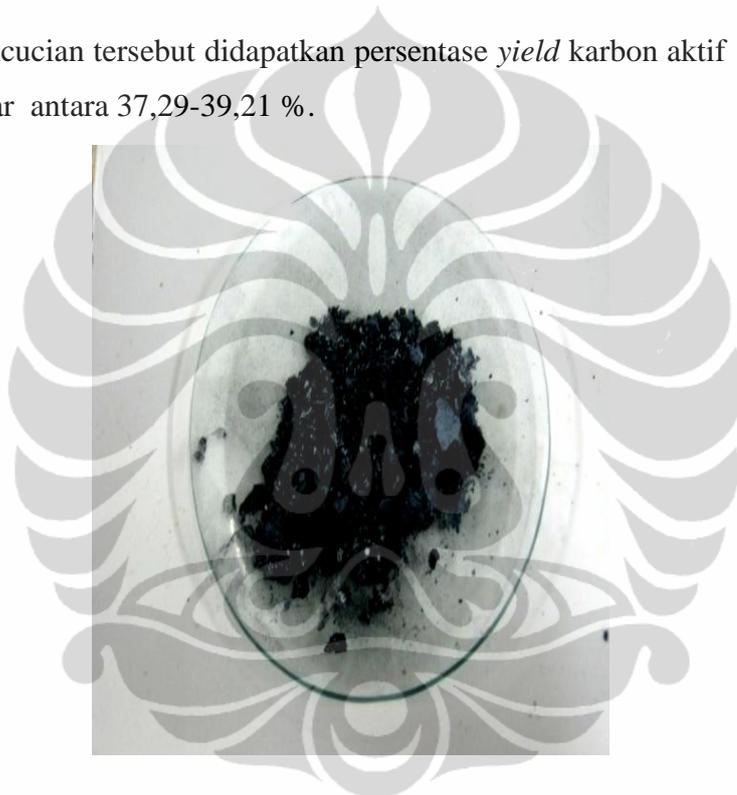
Sampel karbon aktif dari hasil aktivasi atau pemanasan yang terdapat dalam pada *tube* baja ditambahkan larutan 250 mL HCl 5 N secara bertahap kemudian dipindahkan ke dalam beaker gelas 500 mL kemudian dipanaskan dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit dengan temperatur 85 °C. Pada saat penambahan HCL pada sampel timbul adanya gelembung-gelembung gas. Gelembung gas ini diperkirakan gas hasil reaksi (CO_2 dan H_2) pada proses aktivasi yang menempati pori-pori sehingga pada saat proses pencucian dengan pemanasan karbon aktif tersebut, gas akan tergeser dan keluar dari pori-pori karbon aktif. Setelah selesai pencucian dengan HCl kemudian dilakukan pencucian atau pembilasan dengan *aquadest* atau air distilasi yang bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa ion Cl^- . Pembilasan selesai setelah pH mncapai diatas 6 atau netral, kemudian dikeringkan pada oven pada temperatur 110 °C

selama 24 jam untuk menguapkan airnya. Setelah pengeringan di *oven* didapatkan karbon aktif seperti yang terlihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Proses Pencucian Karbon Aktif dari Hasil Aktivasi

Berat sebelum dicuci (gram)	Berat setelah dicuci (gram)	% yield Karbon Aktif
103,50	38,60	37,29
105,61	41,41	39,21

Dari hasil pencucian tersebut didapatkan persentase *yield* karbon aktif tempurung kelapa berkisar antara 37,29-39,21 %.



Gambar 4.7 Hasil Karbon Aktif

4.3 Modifikasi Karbon Aktif dengan TiO₂

Karbon aktif yang telah diaktivasi dimodifikasi dengan TiO₂ Degussa P-25 dengan perbandingan 80:20 (Muhamad Gondang AK, 2011). TiO₂ dilarutkan dalam air demin dan dilakukan sonikasi. Sonikasi bertujuan untuk memecah partikel padatan menjadi lebih kecil dengan bantuan gelombang ultrasonik. Dari hasil analisa *X-Ray Fluorescence* (XRF) didapatkan kandungan TiO₂ untuk karbon aktif termodifikasi TiO₂ adalah 20,54 %wt. Hasil ini menunjukkan bahwa proses modifikasi berlangsung baik karena mendekati nilai kandungan TiO₂ sebenarnya. Sementara untuk luas permukaan karbon aktif dengan karbon aktif

termodifikasi TiO₂ terjadi peningkatan dari 760,29 m²/gram menjadi 782,54 m²/gram.

4.4 Persiapan Ruang Uji

4.4.1 Pembuatan Ruang Uji

Ruang uji adsorpsi gas CO dibuat dari bahan akrilik dengan ukuran 40 cm x 40 cm x 120 cm. Ruang uji ini dilengkapi dengan 3 lubang di bagian samping untuk memasukkan asap kebakaran dan 1 lubang di bagian atas untuk menyemprotkan adsorben. Sisi bagian tengah pada samping kiri ruang uji terdapat pintu yang bisa dibuka untuk tujuan pembersihan dinding akrilik setiap kali pengambilan data. Pada bagian pintu terdapat lubang untuk memasukkan *probe Gas analyzer*. Setiap bagian ruang uji harus kedap udara untuk menghindari terjadinya kebocoran asap kebakaran yang dapat menyebabkan uji adsorpsi dan penjernihan asap kebakaran menjadi tidak akurat.

4.4.2 Pembuatan Asap Kebakaran

Material yang digunakan sebagai bahan bakar asap kebakaran adalah material yang umumnya terdapat di dalam gedung atau ruangan. Pada penelitian ini bahan bakar yang digunakan adalah kertas, kabel, serbuk kayu, dan arang. Awalnya masing-masing material tersebut ditimbang sebanyak 20 gram kemudian ditambahkan 10 ml minyak tanah. Setelah itu campuran material dan bahan bakar dibakar selama 2 menit dan waktu pemompaan dari wadah kebakaran ke ruang uji selama 5 menit. Wadah kebakaran harus tertutup rapat untuk menghindari terjadinya kebocoran. Wadah kebakaran yang berisi material yang telah dibakar ditimbang untuk mengetahui jumlah material yang terbakar. Wadah kebakaran yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Wadah Pembakar

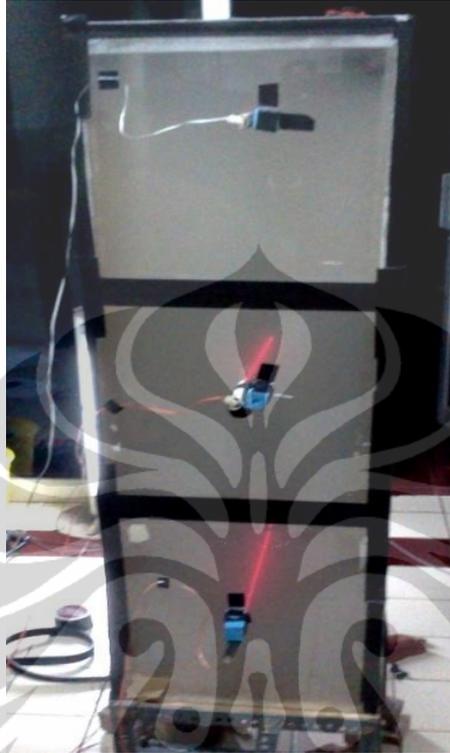
4.5 Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran

Uji Adsorpsi gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran dilakukan tanpa adsorben, dengan karbon aktif, dan karbon aktif termodifikasi TiO₂.

4.5.1 Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran Tanpa Adsorben

Uji ini dilakukan untuk melihat perubahan opasitas asap dan penurunan konsentrasi gas CO tanpa penyemprotan adsorben. Uji ini juga berfungsi sebagai uji kebocoran dari ruang uji yang dibuat. Uji ini dilakukan dengan memasukkan asap hasil kebakaran material ke dalam ruang uji kemudian diamati nilai opasitas dan nilai penurunan konsentrasi gas CO. Nilai opasitas diambil pada 3 titik pada ruang uji setiap menit sampai mencapai nilai t₁₀. Nilai t₁₀ adalah waktu (menit) yang dibutuhkan untuk mencapai nilai opasitas 10. Nilai opasitas yang ditentukan adalah 10 karena aplikasi penelitian ini adalah untuk menjernihkan asap kebakaran, dengan nilai opasitas 10, asap yang memenuhi ruangan lebih jernih sehingga nantinya korban yang terperangkap dalam kebakaran dapat melihat jalan evakuasi untuk menyelamatkan diri. Sementara nilai penurunan konsentrasi gas CO diamati dengan Gas *analyzer* setiap menit selama 20 menit. Dari percobaan

didapatkan data bahwa nilai t_{10} untuk 3 titik sampel pada ruang uji adalah 27 menit untuk titik 1, 37 menit untuk titik 2, dan 37 menit untuk titik 3. Sedangkan untuk gas CO terjadi penurunan konsentrasi sebesar 15 ppm sampai menit 20.



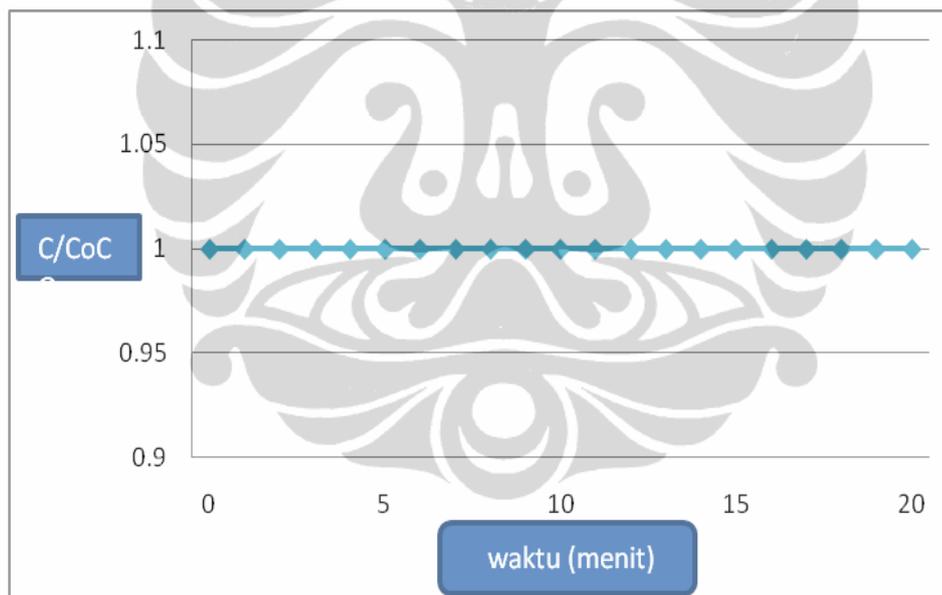
Gambar 4.9 Pengukuran Opasitas



Gambar 4.10 Pengukuran konsentrasi CO dengan Gas Analyzer

Tabel 4.7 Penurunan konsentrasi CO dan pencapaian nilai t_{10} pada asap kebakaran tanpa adsorben

Parameter	Nilai
CO awal (ppm) menit 0	3083
CO akhir (ppm) menit 20	3068
t_{10} titik 1 (menit)	27
t_{10} titik 2 (menit)	37
t_{10} titik 3 (menit)	37

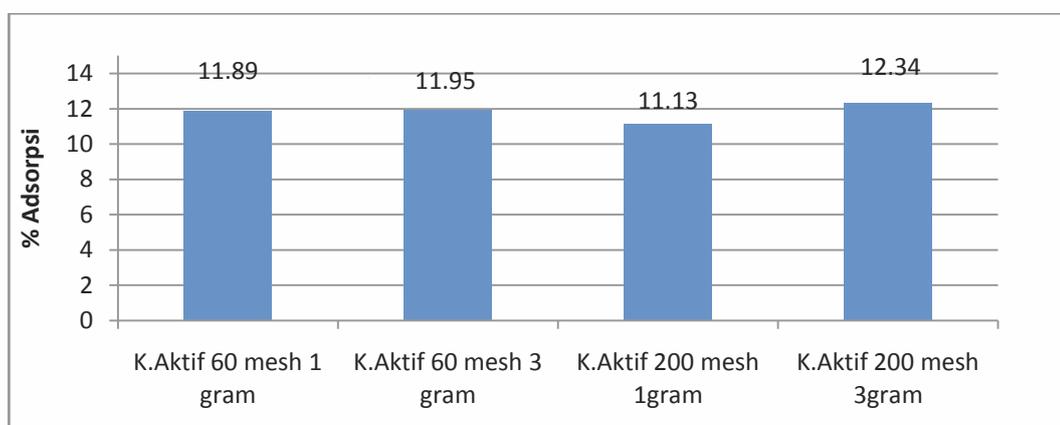


Gambar 4.11 Rasio konsentrasi CO tiap menit dengan konsentrasi CO awal

Gambar 4.11 menunjukkan rasio konsentrasi CO tiap menit dengan konsentrasi CO awal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ruang uji yang digunakan cukup baik, tidak terjadi kebocoran.

4.5.2 Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran dengan Karbon Aktif

Adsorpsi gas CO dan penjernihan asap kebakaran dilakukan dengan karbon aktif ukuran 60 mesh dan 200 mesh. Masing-masing ukuran dilakukan 2 variasi massa yaitu 1 gram dan 3 gram. Ruang uji dibersihkan dan dilakukan pengecekan kebocoran. Material yang dibakar yaitu kertas, kabel, sebuk kayu, dan arang ditimbang masing-masing 20 gram, kemudian ditambahkan 10 ml minyak tanah dalam wadah kebakaran. Campuran diaduk hingga rata dan dibakar, waktu kebakaran adalah 2 menit. Setelah itu, asap hasil kebakaran dipompakan ke dalam ruang uji selama 5 menit atau hingga opasitasnya 0 dan membaca konsentrasi gas CO awal dengan Gas *analyzer*. Menunggu hingga kandungan gas CO stabil (perubahan tidak terlalu besar). Setelah itu menyemprotkan adsorben karbon aktif yang diuji melalui lubang yang terletak di bagian atas ruang uji. Kemudian diamati perubahan nilai opasitas setiap menit pada 3 titik yang terdapat pada ruang uji sampai didapat nilai t₁₀ dan penurunan konsentrasi gas CO setiap menit selama 20 menit. Setelah itu dilakukan uji adsorpsi gas CO dan penjernihan asap kebakaran untuk ukuran dan variasi massa karbon aktif lainnya. Setiap selesai pengujian, adsorben yang menempel dan sisa adsorben yang terdapat pada ruang uji harus dibersihkan karena dapat ikut mengadsorpsi gas CO dan asap sehingga tidak menunjukkan nilai adsorpsi dan opasitas yang sebenarnya. Apabila kaca akrilik ruang uji buram akibat asap kebakaran maka harus dibersihkan dahulu dengan alkohol atau aseton karena dapat mempengaruhi pembacaan opasitas.



Gambar 4.12 Persen Adsorpsi CO untuk tiap ukuran dan variasi massa karbon aktif

Perbandingan persen adsorpsi CO dan nilai t_{10} untuk tiap ukuran dan variasi massa karbon aktif dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Perbandingan nilai t_{10} dan % adsorpsi CO ukuran dan variasi massa pada karbon aktif

Adsorben	t_{10} (menit)			%Adsorpsi CO	[CO] Awal	[CO] Akhir
	1	2	3			
K.Aktif 60 mesh 1gram	25	32	33	11,89	3523	3104
K.Aktif 60 mesh 3gram	24	31	30	11,95	2712	2388
K.Aktif 200 mesh 1gram	22	30	29	11,13	3378	3002
K.Aktif 200 mesh 3gram	21	29	31	12,34	3298	2891

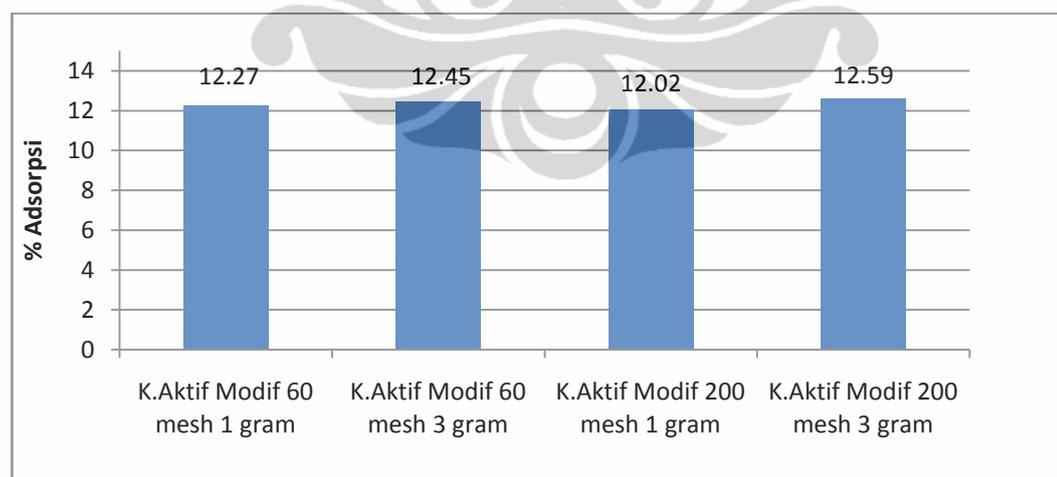
Berdasarkan Gambar 4.12 diketahui bahwa adsorben yang memiliki % adsorpsi CO paling besar adalah karbon aktif 200 mesh 3 gram (12,34), Karbon aktif 200 mesh 3 gram memiliki daya serap paling besar karena variasi massa adsorben mempengaruhi daya serap gas CO, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.12 bahwa adsorben dengan massa 3 gram memiliki daya serap gas CO lebih besar dibandingkan adsorben dengan massa 1 gram untuk partikel yang sama. Namun berdasarkan Gambar 4.12 menunjukkan bahwa massa adsorben lebih berpengaruh dalam proses adsorpsi CO dibandingkan ukuran adsorben.

Berdasarkan Tabel 4.8 diketahui bahwa adsorben yang memiliki nilai t_{10} paling baik adalah karbon aktif 200 mesh 3 gram. Berdasarkan Tabel 4.8 juga diketahui bahwa titik 1 untuk tiap adsorben memiliki nilai t_{10} yang lebih kecil dibandingkan titik 2 dan titik 3. Nilai t_{10} yang kecil menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai opasitas 10 lebih singkat. Hal ini disebabkan karena asap dalam ruang uji akan bergerak memenuhi seluruh ruangan kemudian bertabrakan dan akibat adsorben yang disemprotkan akan menyerap asap sehingga turun ke bawah. Namun rasio t_{10} titik 1, titik 2, dan titik 3 antar karbon aktif tidak dapat dibandingkan, hal ini disebabkan karena nilai t_{10} untuk tiap titik pada asap tanpa adsorben berbeda (Tabel 4.7).

Apabila t_{10} antar titik memiliki nilai yang sama, maka rasio t_{10} yang paling baik adalah adsorben yang memiliki rasio t_{10} paling kecil. Rasio t_{10} diperoleh dengan cara membagi nilai t_{10} asap dengan adsorben dengan nilai t_{10} asap tanpa adsorben. Semakin kecil rasio t_{10} berarti proses penjernihan asap semakin baik karena waktu yang dibutuhkan lebih singkat. Apabila rasio t_{10} sama dengan 1 maka adsorben tidak memberikan pengaruh terhadap proses penjernihan asap, sedangkan apabila nilai rasio t_{10} lebih dari 1 maka penambahan adsorben semakin menambah tebal asap.

4.5.3 Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran dengan Karbon Aktif termodifikasi TiO_2

Pada adsorpsi gas CO dan penjernihan asap kebakaran ini, karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif yang telah dimodifikasi TiO_2 . Adsorpsi gas CO dan penjernihan asap kebakaran dilakukan dengan karbon aktif- TiO_2 ukuran 60 mesh dan 200 mesh dengan variasi massa 1 dan 3 gram. Penambahan TiO_2 ke dalam karbon aktif bertujuan untuk menambah luas permukaan dan pusat aktif karbon aktif sehingga memiliki daya serap CO yang lebih besar. Posedur adsorpsi yang dilakukan sama seperti pada *point* 4.5.2. Tabel 4.9 menunjukkan % adsorpsi CO untuk tiap ukuran dan variasi massa karbon aktif- TiO_2 .



Gambar 4.13 Persen Adsorpsi CO untuk tiap ukuran dan variasi massa karbon aktif termodifikasi TiO_2

Tabel 4.9 Perbandingan nilai t_{10} dan % adsorpsi CO ukuran dan variasi massa pada karbon aktif termodifikasi TiO_2

Adsorben	t_{10} (menit)			%Adsorpsi CO	[CO] Awal	[CO] Akhir
K.Aktif modif 60 mesh 1gram	24	30	29	12,27	3366	2953
K.Aktif modif 60 mesh 3gram	21	28	29	12,45	2626	2299
K.Aktif modif 200 mesh 1gram	23	29	30	12,02	3003	2642
K.Aktif modif 200 mesh 3gram	20	27	28	12,59	2366	2068

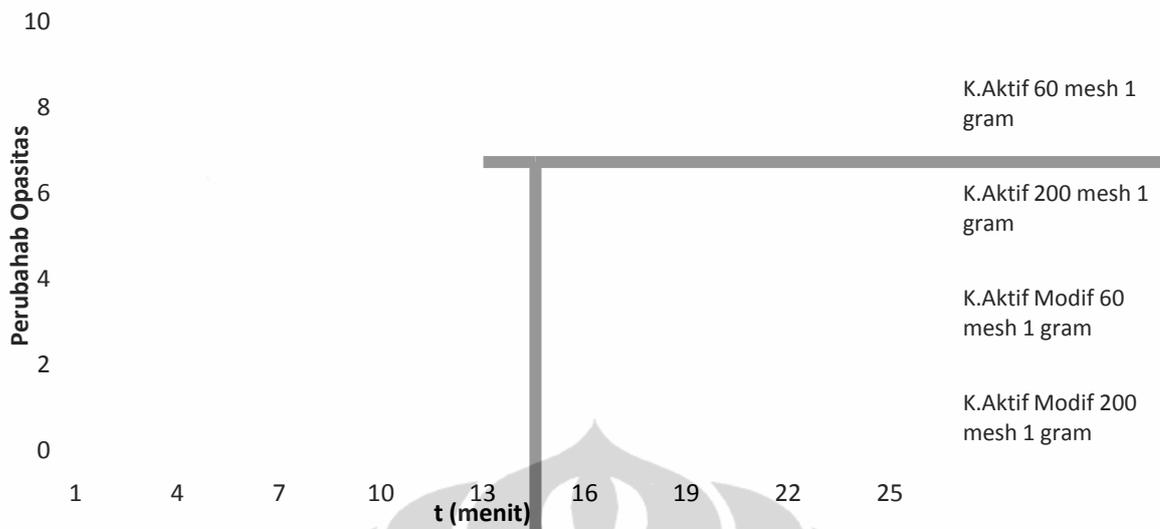
Untuk hasil karbon aktif termodifikasi TiO_2 perbandingan hasil antara variasi ukuran dan massa tidak berbeda dengan karbon aktif tanpa modifikasi TiO_2 .

4.5.4 Pengaruh Ukuran Partikel dan Massa

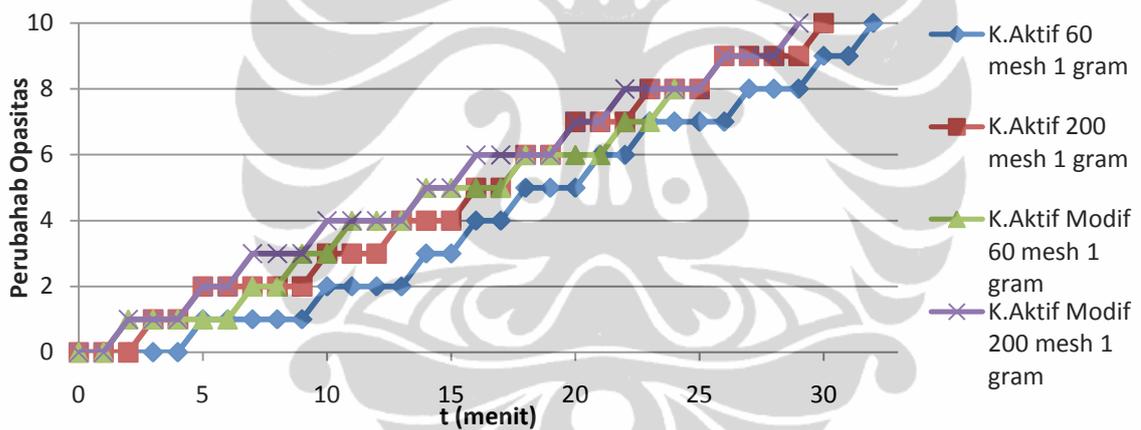
Pada bagian penelitian ini akan dibandingkan daya serap karbon aktif dengan dan tanpa TiO_2 dalam menjernihkan asap berdasarkan ukuran partikel jika massa dibuat sama. Massa zeolit yang digunakan sebesar 1 dan 3 gram. Setiap massa divariasikan dengan ukuran partikel 60 mesh dan 200 mesh.

4.5.4.1 Pengaruh Ukuran Partikel

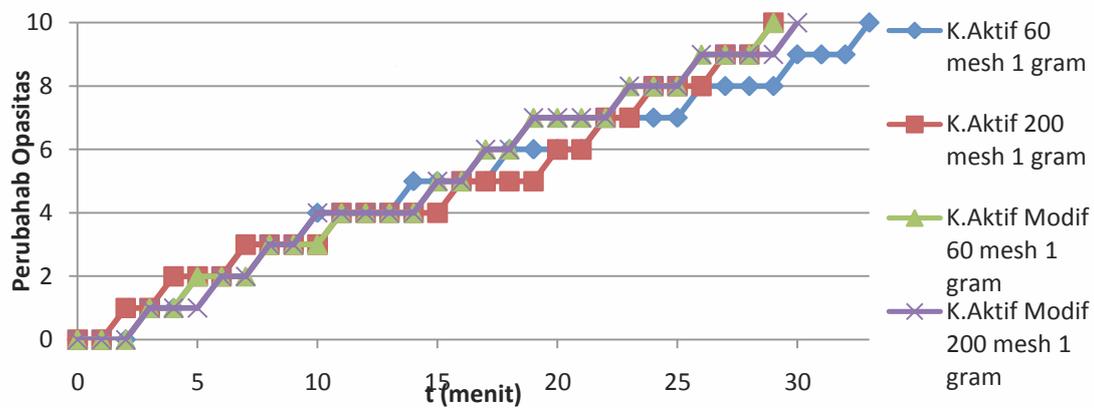
Pada bagian penelitian ini dibandingkan daya serap karbon aktif dalam menjernihkan asap berdasarkan ukuran partikel jika massa dibuat sama. Massa karbon aktif yang digunakan sebesar 1 dan 3 gram. Setiap massa divariasikan dengan ukuran partikel 60 mesh dan 200 mesh. Berikut adalah hasil kejernihan asap pada massa 1 gr dan 3 gr. Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif- TiO_2 massa 1 gram untuk titik 1, 2, dan 3.



Gambar 4.14 Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 1 gram pada titik 1

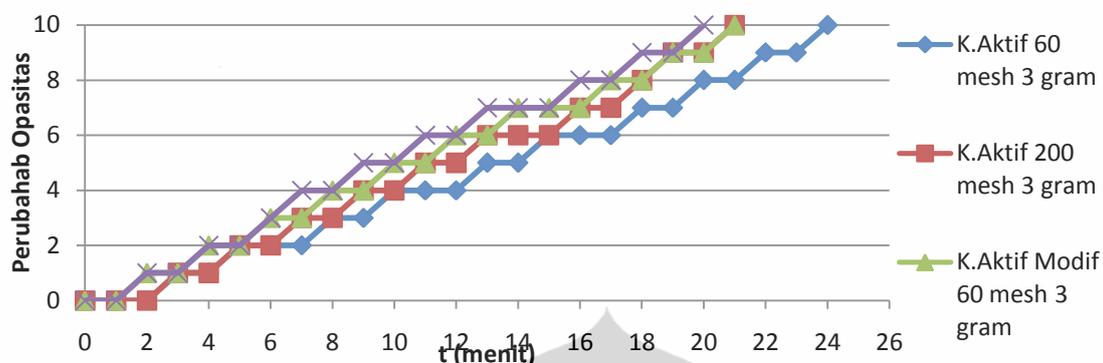


Gambar 4.14 Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 1 gram pada titik 2 (lanjutan)

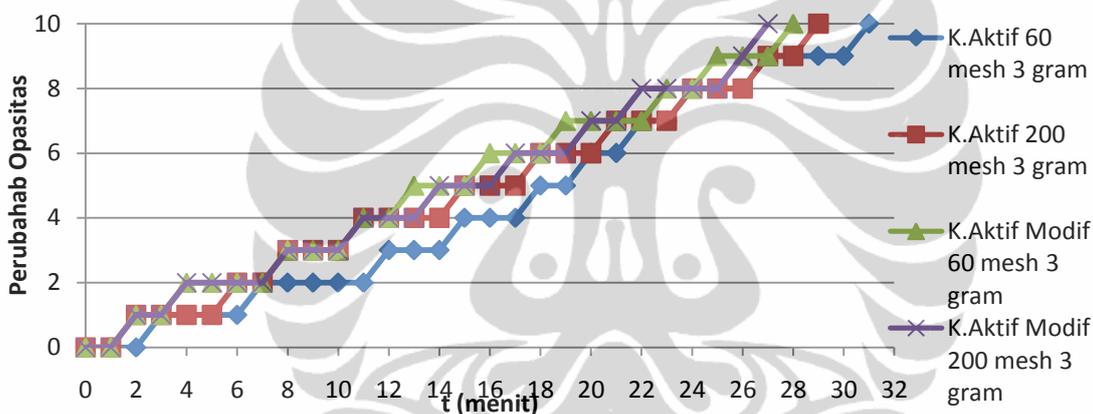


Gambar 4.14 Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 1 gram pada titik 3 (lanjutan)

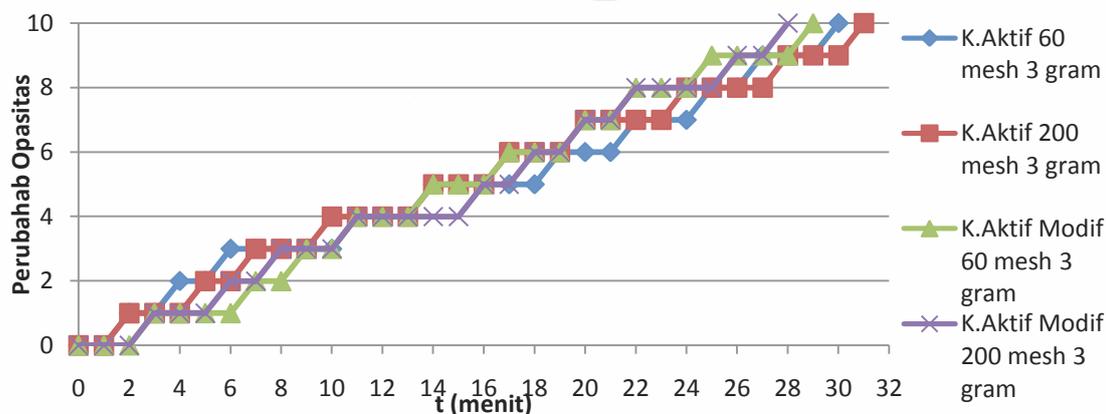
Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 3 gram untuk titik 1, 2, dan 3



Gambar 4.15 Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 3 gram pada titik 1



Gambar 4.15 Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 3 gram pada titik 2 (lanjutan)



(c)

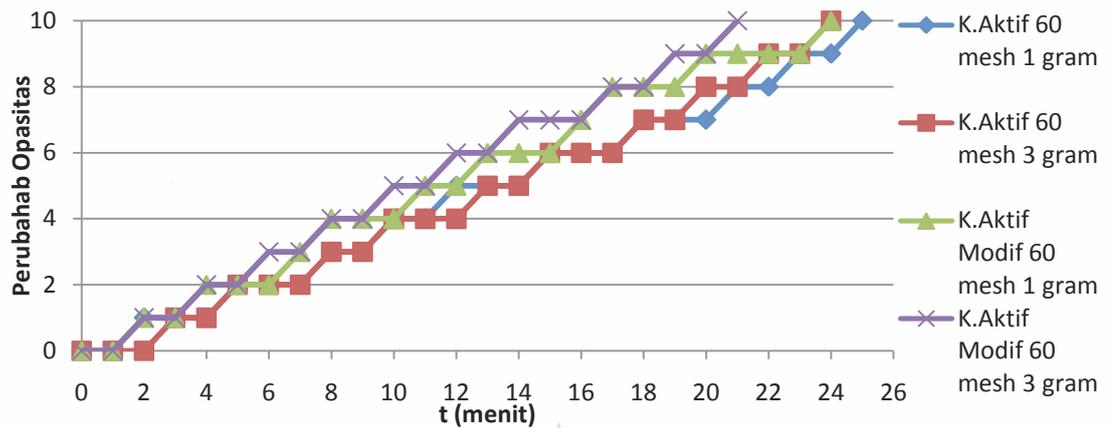
Gambar 4.15 Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 3 gram pada titik 3 (c) (lanjutan)

Berdasarkan Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa ukuran karbon aktif mempengaruhi waktu untuk mencapai tingkat kejernihan tertentu (t_{10}). Semakin kecil ukuran partikel karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi TiO_2 , semakin baik dalam menjernihkan asap (lihat garis ungu dan merah pada grafik). Dengan massa yang sama, karbon aktif termodifikasi TiO_2 200 mesh lebih baik dalam menjernihkan asap. Hal ini disebabkan dengan ukuran yang lebih kecil maka luas permukaan karbon aktif akan menjadi lebih besar. Kontak dengan partikel asap juga menjadi lebih banyak, sehingga semakin banyak partikel asap yang diserap, akibatnya asap menjadi lebih cepat jernih. Namun dapat dilihat ukuran partikel yang tiga kali lebih kecil (60 mesh dan 200 mesh) tidak membuat kejernihan menjadi meningkat dua kali lebih cepat. Hal ini disebabkan karena dua ukuran partikel tersebut memiliki nilai luas permukaan yang tidak jauh berbeda atau dapat juga terjadi karena proses penyemprotan adsorben yang kurang homogen sehingga penjernihan asap tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

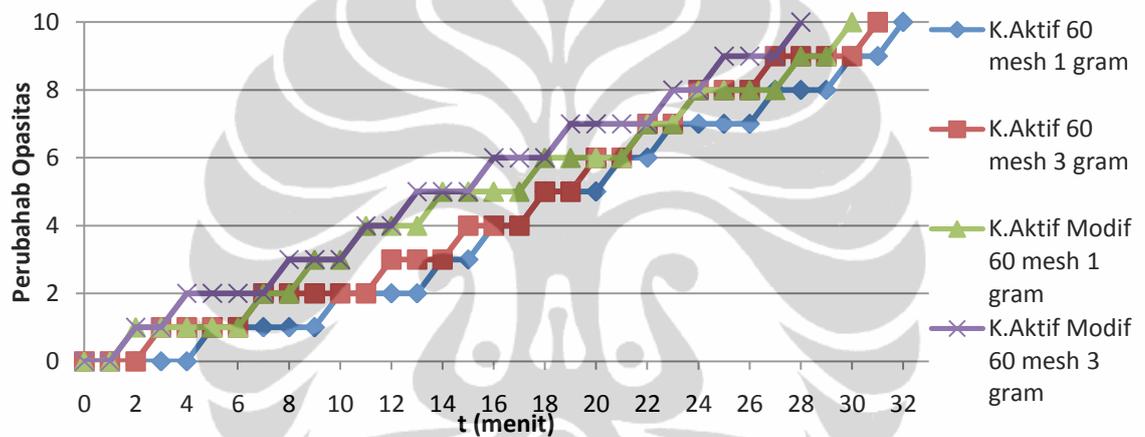
4.5.4.2 Pengaruh Massa

Pada bagian penelitian ini akan dibandingkan daya serap karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 dalam menjernihkan asap berdasarkan massa jika ukuran partikel dibuat sama. karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 yang digunakan berukuran 60 mesh dan 200 mesh. Setiap ukuran divariasikan dengan massa 1 gr dan 3 gr. Berikut adalah hasil kejernihan asap pada ukuran partikel 60 mesh dan 200 mesh.

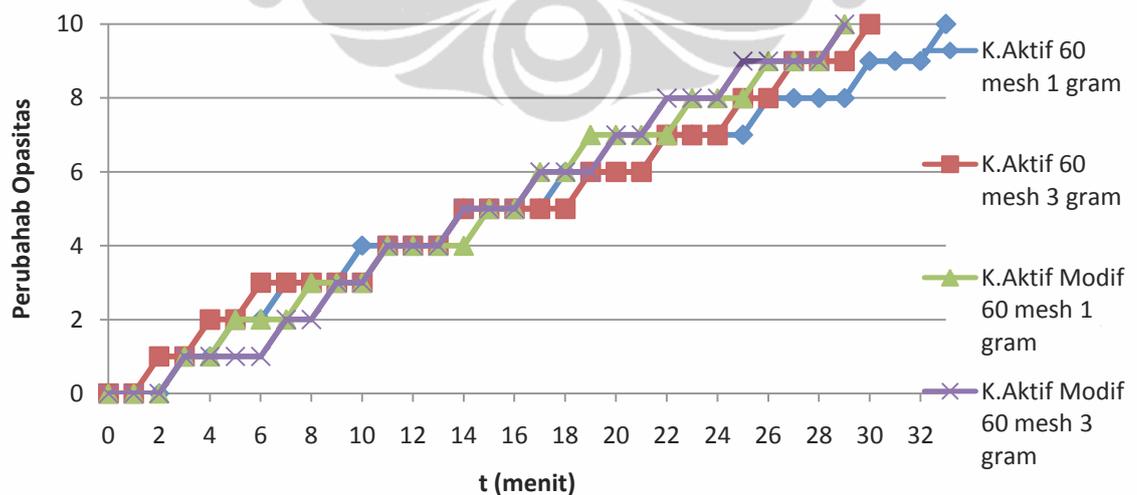
Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 ukuran 60 mesh untuk titik 1, 2, dan 3.



Gambar 4.16 Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 ukuran 60 mesh pada titik 1

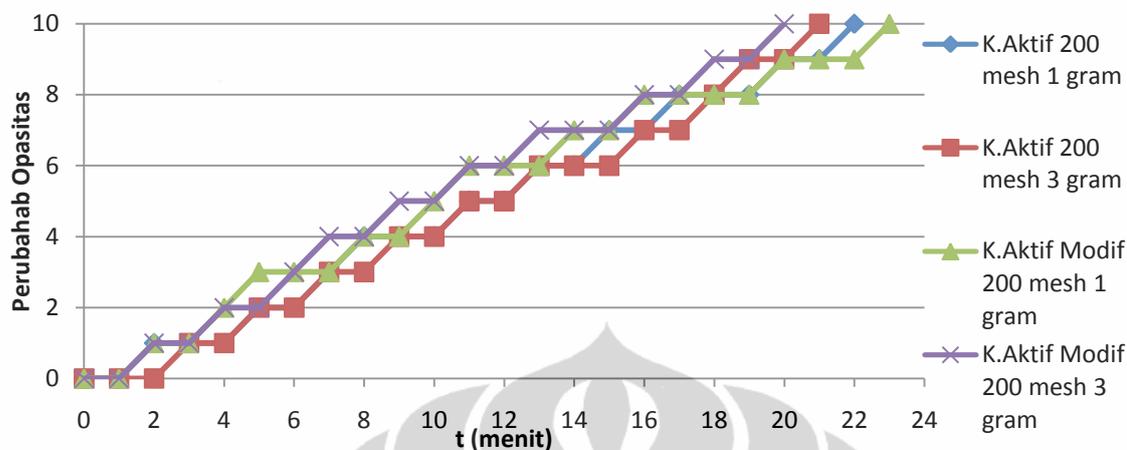


Gambar 4.16 Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 ukuran 60 mesh pada titik 2 (lanjutan)

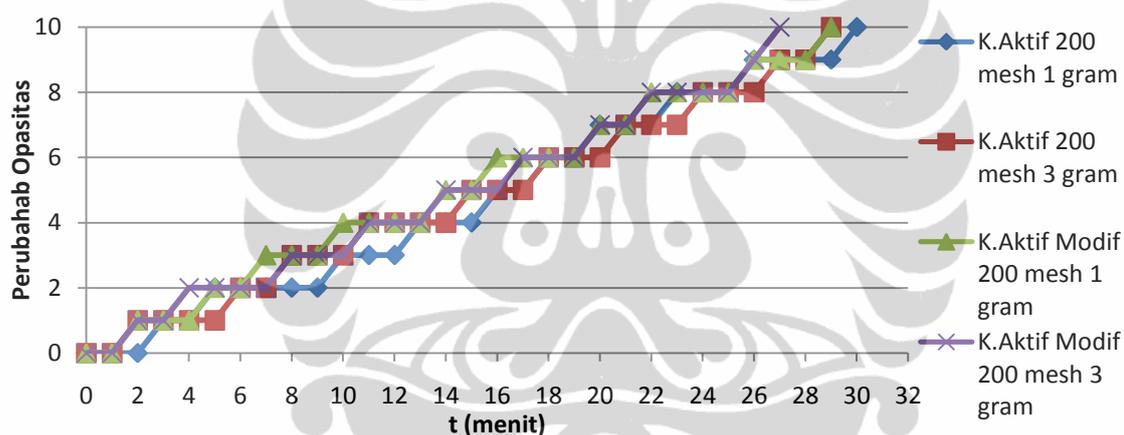


Gambar 4.16 Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 ukuran 60 mesh pada titik 3 (lanjutan)

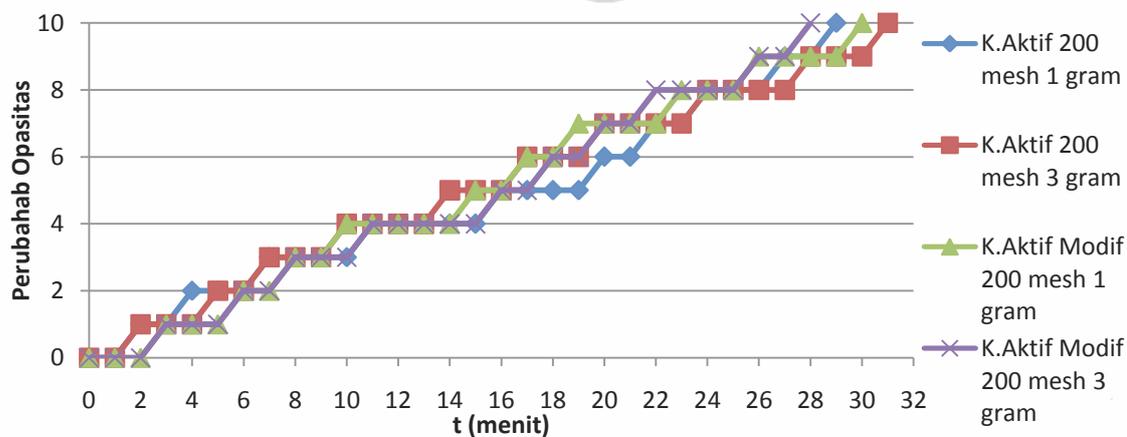
Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 ukuran 200 mesh untuk titik 1, 2, dan 3.



Gambar 4.17 Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 ukuran 200 mesh pada titik 1

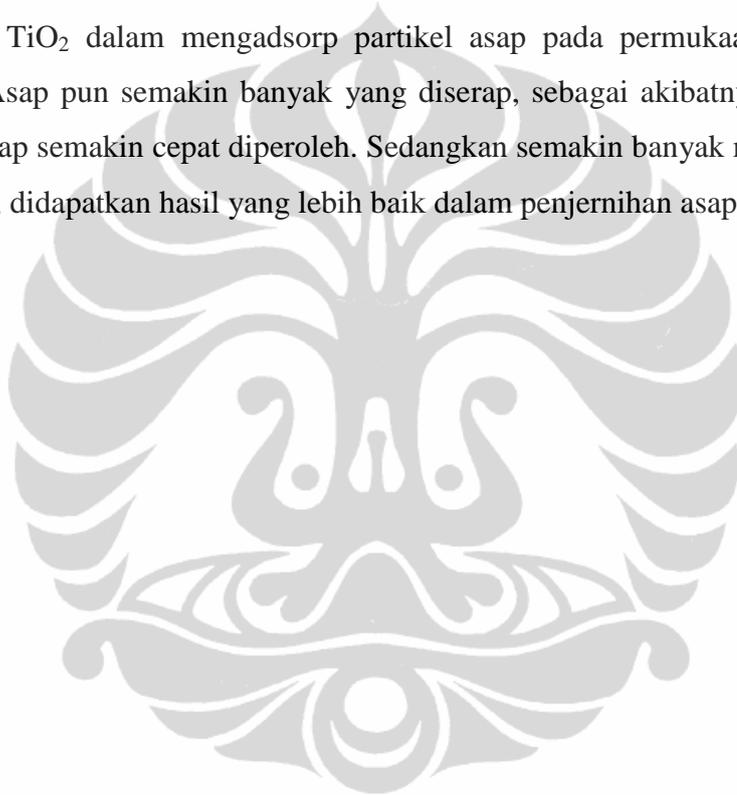


Gambar 4.17 Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 ukuran 200 mesh pada titik 2 (lanjutan)



Gambar 4.17 Nilai t_{10} karbon aktif dan karbon aktif modifikasi TiO_2 ukuran 200 mesh pada titik 3 (lanjutan)

Berdasarkan Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa karbon aktif termodifikasi TiO_2 lebih baik dalam menjernihkan asap, ditandai dengan paling cepat mencapai nilai t_{10} (tingkat kejernihan 10%) ditunjukkan dengan garis warna ungu pada gambar. Hal ini dikarenakan pusat aktif pada karbon aktif termodifikasi TiO_2 lebih besar, sehingga luas permukaannya menjadi lebih besar jika dibandingkan karbon aktif tanpa modifikasi TiO_2 . Karena luas permukaan yang lebih besar ini, daerah kontak antara karbon aktif termodifikasi TiO_2 dengan partikel asap semakin banyak yang membuat kemampuan karbon aktif termodifikasi TiO_2 dalam mengadsorpsi partikel asap pada permukaan menjadi lebih besar. Asap pun semakin banyak yang diserap, sebagai akibatnya keadaan jernih pada asap semakin cepat diperoleh. Sedangkan semakin banyak massa yang disemprotkan, didapatkan hasil yang lebih baik dalam penjernihan asap.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan serta pembahasannya, maka disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil uji analisa metode BET, terjadi peningkatan luas permukaan pada karbon aktif yang telah dilakukan aktivasi. Karbon sebelum aktivasi memiliki luas permukaan $0 \text{ m}^2/\text{g}$ dan karbon setelah aktivasi $760,30 \text{ m}^2/\text{gram}$ dan meningkat lagi setelah karbon aktif dimodifikasi TiO_2 menjadi $782,54 \text{ m}^2/\text{gram}$.
2. Kandungan TiO_2 hasil modifikasi diukur dengan *X-Ray Fluouressence* dan diperoleh nilai $20,54 \text{ \% wt TiO}_2$.
3. Hasil uji adsorpsi Karbon aktif dan Karbon aktif termodifikasi TiO_2
 - a) Untuk karbon aktif, adsorben yang memiliki % adsorpsi CO paling besar adalah karbon aktif 200 mesh 3 gram (% adsorpsi 12,34) dan adsorben yang mencapai nilai t_{10} paling cepat adalah karbon aktif 200 mesh 3 gram dengan waktu 21 menit, 29 menit, 31 menit pada titik 1, titik 2, dan titik 3.
 - b) Untuk karbon aktif termodifikasi TiO_2 , adsorben yang memiliki % adsorpsi CO paling besar adalah karbon aktif termodifikasi TiO_2 200 mesh 3 gram (12,59 %) dan adsorben yang mencapai nilai t_{10} paling cepat adalah karbon aktif 200 mesh 3 gram dengan waktu 20 menit, 27 menit, 28 menit pada titik 1, titik 2, dan titik 3.

5.2 Saran

Bedasarkan pengalaman yang didapatkan dari lapangan, yang dapat dijadikan acuan untuk perbaikan pada penelitian selanjutnya adalah:

1. Menggunakan gas CO sintesis untuk pengujian adsorpsi gas CO dengan ruang uji, agar dapat mengurangi nilai ketidakpastian.
2. Melakukan pemisahan pengujian antara adsorpsi gas CO dan penjernihan asap kebakaran.

3. Memperkecil ruang uji, agar proses pengujian berjalan lebih cepat dan mengurangi perubahan hasil yang tidak signifikan.
4. Memvariasikan titik sampling untuk adsorpsi gas CO dengan gas analyzer.



DAFTAR PUSTAKA

- Baksi, S.; Biswas, Soumitra.(2006). <http://www.tifac.org.in/index1.htm>.
Activated Carbon from Bamboo - Technology Development towards Commercialisation.
- Banat F.; Al-Asheh S.; Makhadmeh L.(2003). *Preparation and Examination of Activated Carbon from Date Pits Impregnated with KOH for the Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions.* [Adsorption Science and Technology](#), Volume 21, Number 6, pp. 597-606(10).
- Garcia-Garcia, A., Gregorio, A., Boavida, D., Gulyurtlu, I.(2002). *Production And Characterization of Activated Carbon from Pine Wastes Gasified in A Pilot Reactor*, National Institute of Engineering and Industrial Technology, Estrada do Paço do Lumiar, 22, Edif. J, 1649-038, Lisbon, Portugal.
- Goodman, A.L., Busch, A., Duffy, G.J., Fitzgerald, J.E., Gasem, K.A.M., Gensterblum, Y., Krooss, B.M., Levy, J., Ozdemir, E., Pan, Z., Robinson Jr, R.L., Schroeder, K., **Sudibandriyo, M.**, dan White, C.M., (2004). *An Inter-laboratory Comparison of CO₂ Isotherms Measured on Argonne Premium Coal Samples*, Energy and Fuels Journal, vol. 18, no. 4, pp.1175-1182.
- Kennedy, L. John; Vijaya, J. Judith; Sekaran, G. (2004). *Effect of Two-Stage Process on the Preparation and Characterization of Porous Carbon Composite from Rice Husk by Phosphoric Acid Activation.* Ind. Eng. Chem. Res., 43, 1832-1838.
- Lillo-Rodenas, M.A.; Cazorla-Amoros, D.; Linares-Solano, A.(2003). *Understanding Chemical Reaction between carbon and NaOH and KOH.* Carbon, 41, 267–275.
- Maron, S.H., & Lando J. (1974). *Fundamental of physical Chemistry*, New Cork, Macmillan Co.Inc
- McConnachie, G.L; Warhurst, Pollard, A.M. (1996). *Activated Carbon from Moringa Husks and Pods.* India.
- McKay & Roberts. (1982). *Carbon*, vol. 20, no.2, pp.105.
- Megasari Kartini, Deni S, Maria C., Penakaran Daur hidup Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Kapasitas 50 Watt, Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir. Yogyakarta . 25-26 Agustus (2008)

- Slamet, Bismo, S., Arbianti, R.(2007).*Laporan Penelitian Hibah Bersaing Tahun II : Modifikasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif dengan TiO₂ serta Aplikasinya sebagai Bahan Adsorben dan Fotokatalis untuk Degradasi Polutan Organik.* Depok: Universitas Indonesia
- Skoog, Neller, Wiemal. (1992) *Principles of Instrumental Analysis (Fifth Edition)*, New York, Sounder College Publishing.
- Sontheimer, J.E.. (1985), *.Activated Carbon for Water Treatment*, Netherlands, Elsevier, pp. 51-105 .
- Stevens, S.H.,(2006). *Indonesia Coalbed Methane: resources and development potential*,. Hydrocarbon Asia., Jul-Aug, 22-24.
- Sudibandriyo, M., Pan, Z., Fitzgerald, J. E., Robinson, Jr., R. L., Gasem, K. A. M.,(2003). *Adsorption of Methane, Nitrogen, Carbon Dioxide and their Binary Mixtures on Dry Activated Carbon at 318.2 K and Pressures to 13.6 MPa*, Langmuir 19 (13), 5323-5331.
- Sundstrom, D.W., & Herbert, E.K. (1979). *Waste Water Treatment*, Prentice Hall Englewood Cliffs.
- Teng, Hsisheng; Ho, Jui-An; Hsu, Yung-Fu; Hsieh, Chien-To.(1996). *Preparation of Activated Carbons from Bituminous Coals with CO₂ Activation. 1. Effects of Oxygen Content in Raw Coals*. Ind. Eng. Chem. Res., 35, 4043-4049.
- Teng, Hsisheng; Hsu, Li-Yeh.(1999). *High-Porosity Carbons Prepared from Bituminous Coal with Potassium Hydroxide Activation*. Ind. Eng. Chem. Res., 38, 2947-2953.
- Vitidsant, Tharapong; Suravattanasakul, Terachai; Damronglerd, Somsak.(1999). *Production of Activated Carbon from Palm-oil shell by Pyrolysis and Steam Activation in a Fixed Bed Reactor*. ScienceAsia, 25, 211-222.
- Zhou, L.and Zhou Yaping,(1998). *Linearization of adsorption Isotherms for High Pressure Applications*, Chemical Engineering Science, 53(14), 2531-2536.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Komposisi (XRF) Karbon Aktif Tempurung Kelapa



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM MIPA TERPADU

Jl. Ir. Sutami 36A, Ketingan, Surakarta, Jawa Tengah 57126

Nama konsumen : Ramily-UI
Jenis analisis : XRF
Aplikasi/preparasi : EQUA_Powder/Mylar
Jenis sampel : Serbuk
Kode sampel : Karbon murni
Nama operator : Candra P
Hari/Tanggal analisis : Selasa, 22 Mei 2012
Kontak : Dr. Sayekti W., M.Si

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
Na ₂ O	11	51.67%	Fit spectrum	Na KA1/EQ20
MgO	12	20.81%	Fit spectrum	Mg KA1/EQ20
K ₂ O	19	10.43%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
Al ₂ O ₃	13	4.12%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
SiO ₂	14	3.42%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
P ₂ O ₅	15	3.29%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
SO ₃	16	2.11%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
CaO	20	1.26%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
Cl	17	1.19%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
La ₂ O ₃	57	0.62%	Fit spectrum	La KA1/EQ50
V ₂ O ₅	23	0.27%	Fit spectrum	V KA1/EQ20
Fe ₂ O ₃	26	0.23%	Fit spectrum	Fe LA1/EQ20
TiO ₂	22	0.23%	Fit spectrum	Ti KA1/EQ20
CuO	29	0.12%	Fit spectrum	Cu KA1/EQ20
Rb ₂ O	37	0.06%	Fit spectrum	Rb KA1/EQ20
SnO ₂	50	0.05%	Fit spectrum	Sn KA1/EQ40
WO ₃	74	0.03%	Fit spectrum	W KA1/EQ20
MnO	25	0.03%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
Ga ₂ O ₃	31	0.03%	Fit spectrum	Ga KA1/EQ20
SrO	38	0.02%	Fit spectrum	Sr KA1/EQ20
ZnO	30	0.02%	Fit spectrum	Zn KA1/EQ20

Mengetahui,
Kepala Lab.Terpadu MIPA UNS

Dr. Sayekti Wahyuningsih, M.Si
NIP.19711211 199702 2001

Surakarta, 22 Mei 2012
Operator/Analisis

Candra Purnawan
NIP. 19781228 2005011001

Lampiran 2. Komposisi (XRF) Karbon Aktif Tempurung Kelapa Termodifikasi TiO₂



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM MIPA TERPADU

Jl. Ir. Sutami 36A, Ketingan, Surakarta, Jawa Tengah 57126

Nama konsumen : Ramily-UI
Jenis analisis : XRF
Aplikasi/preparasi : EQUA_Powder/Mylar
Jenis sampel : Serbuk
Kode sampel : Karbon Modif
Nama operator : Candra P
Hari/Tanggal analisis : Selasa, 22 Mei 2012
Kontak : Dr. Sayekti W., M.Si

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
TiO ₂	22	20,54%	Fit spectrum	Ti KA1/EQ20
Na ₂ O	11	19,76%	Fit spectrum	Na KA1/EQ20
MgO	12	17,81%	Fit spectrum	Mg KA1/EQ20
SiO ₂	14	15,93%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Al ₂ O ₃	13	3,80%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
CaO	20	3,71%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
P ₂ O ₅	15	3,67%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
K ₂ O	19	3,42%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
SO ₃	16	3,27%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Cl	17	3,13%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
Fe ₂ O ₃	26	2,87%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
Nd ₂ O ₃	60	0,66%	Fit spectrum	Nd LA1/EQ20
MnO	25	0,47%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
CuO	29	0,32%	Fit spectrum	Cu KA1/EQ20
SnO ₂	50	0,28%	Fit spectrum	Sn KA1/EQ40
ZrO ₂	40	0,11%	Fit spectrum	Zr KA1/EQ20
NiO	28	0,07%	Fit spectrum	Ni KA1/EQ20
I	53	0,05%	Fit spectrum	I KA1/EQ40
Sb ₂ O ₃	51	0,05%	Fit spectrum	Sb KA1/EQ40
TeO ₂	52	0,04%	Fit spectrum	Te KA1/EQ40
CdO	48	0,04%	Fit spectrum	Cd KA1/EQ40

Mengetahui,
Kepala Lab. Terpadu MIPA UNS

Dr. Sayekti Wahyuningsih, M.Si
NIP.19711211 199702 2001

Surakarta, 22 Mei 2012
Operator/Analisis

Candra Pumawan
NIP. 19781228 2005011001

Lampiran 3. Luas permukaan (BET) Karbon Aktif Tempurung Kelapa

LAB UJI

Gemini V2.00

Unit 1

Serial #: 5574

Page 1

Sample: SAMPEL 3
Operator: LAB
Submitter: LAB UJI
File: C:\...MAY12-1\160612-D SMP

Started: 6/16/2012 5:01:35PM
Completed: 6/16/2012 7:33:20PM
Report Time: 6/16/2012 10:06:56PM
Free Space Diff.: -0.7450 cm³
Free Space Type: Measured
Gemini Model: 2365

Analysis Adsorptive: N2
Equilibration Time: 10 s
Sat. Pressure: 760.000 mmHg
Sample Mass: 0.4913 g
Sample Density: 1.000 g/cm³

Summary Report**Surface Area**Single point surface area at $p/p^* = 0.300552629$: 768.8483 m²/gBET Surface Area: 760.2958 m²/g



LAB UJI

Gemini V2.00

Unit 1

Serial #: 5574

Page 2

Sample: SAMPEL 3
 Operator: LAB
 Submitter: LAB UJI
 File: C:\...MAY12~1\160612-D SMP

Started: 6/16/2012 5:01:35PM
 Completed: 6/16/2012 7:33:20PM
 Report Time: 6/16/2012 10:06:56PM
 Free Space Diff.: -0.7450 cm³
 Free Space Type: Measured
 Gemini Model: 2365

Analysis Adsorptive: N₂
 Equilibration Time: 10 s
 Sat. Pressure: 760.000 mmHg
 Sample Mass: 0.4913 g
 Sample Density: 1.000 g/cm³

Isotherm Tabular Report

Relative Pressure (p/p ^o)	Absolute Pressure (mmHg)	Quantity Adsorbed (cm ³ /g STP)	Elapsed Time (h:min)	Saturation Pressure (mmHg)
				760.000000
0.050684210	38.799068	224.012700	01:30	
0.101249996	76.949124	234.321508	01:51	
0.151776314	114.349177	240.575916	02:04	
0.200171045	152.249993	244.803725	02:13	
0.251021061	190.340007	248.007431	02:24	
0.300552629	228.405008	252.238441	02:31	



LAB UJI

Gemini V2.00

Unit 1

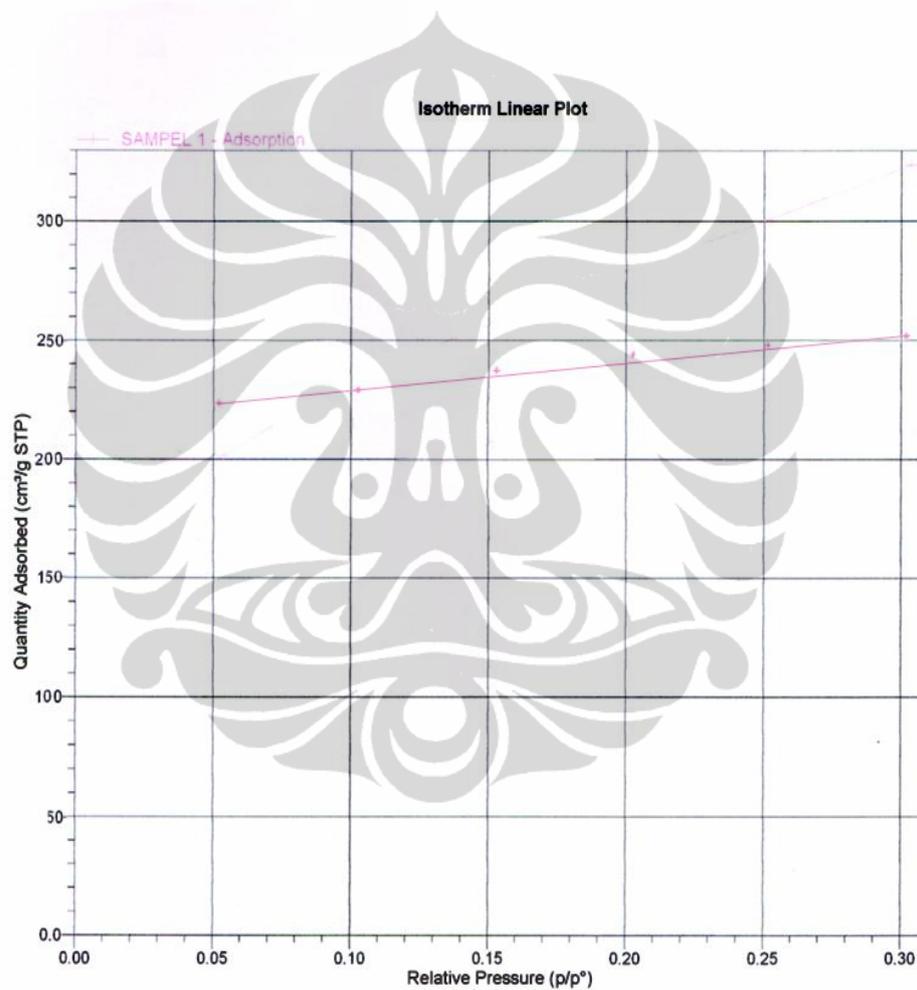
Serial #: 5574

Page 3

Sample: SAMPEL 3
Operator: LAB
Submitter: LAB UJI
File: C:\...MAY12~1\160612-D SMP

Started: 6/16/2012 5:01:35PM
Completed: 6/16/2012 7:33:20PM
Report Time: 6/16/2012 10:06:56PM
Free Space Diff.: -0.7450 cm³
Free Space Type: Measured
Gemini Model: 2365

Analysis Adsorptive: N2
Equilibration Time: 10 s
Sat. Pressure: 760.000 mmHg
Sample Mass: 0.4913 g
Sample Density: 1.000 g/cm³





LAB UJI

Gemini V2.00

Unit 1

Serial #: 5574

Page 4

Sample: SAMPEL 3
 Operator: LAB
 Submitter: LAB UJI
 File: C:\...\MAY12~1\160612-D SMP

Started: 6/16/2012 5:01:35PM
 Completed: 6/16/2012 7:33:20PM
 Report Time: 6/16/2012 10:06:56PM
 Free Space Diff.: -0.7450 cm³
 Free Space Type: Measured
 Gemini Model: 2365

Analysis Adsorptive: N2
 Equilibration Time: 10 s
 Sat. Pressure: 760.000 mmHg
 Sample Mass: 0.4913 g
 Sample Density: 1.000 g/cm³

BET Surface Area Report

BET Surface Area: 760.2958 ± 0.0410 m²/g
 Slope: 0.005847 ± 0.00319 g/cm³ STP
 Y-Intercept: -0.000105 ± 0.000251 g/cm³ STP
 C: -54.6841
 Qm: 174.1605 cm³/g STP
 Correlation Coefficient: 0.9944307
 Molecular Cross-Sectional Area: 0.1620 nm²

Relative Pressure (p/p ⁰)	Quantity Adsorbed (cm ³ /g STP)	1/[Q(p ⁰ /p - 1)]
0.050684210	224.012700	0.000238
0.101249996	234.321508	0.000481
0.151776314	240.575916	0.000744
0.200171045	244.803725	0.001022
0.251021061	248.007431	0.001351
0.300552629	252.238441	0.001704



LAB UJI

Gemini V2.00

Unit 1

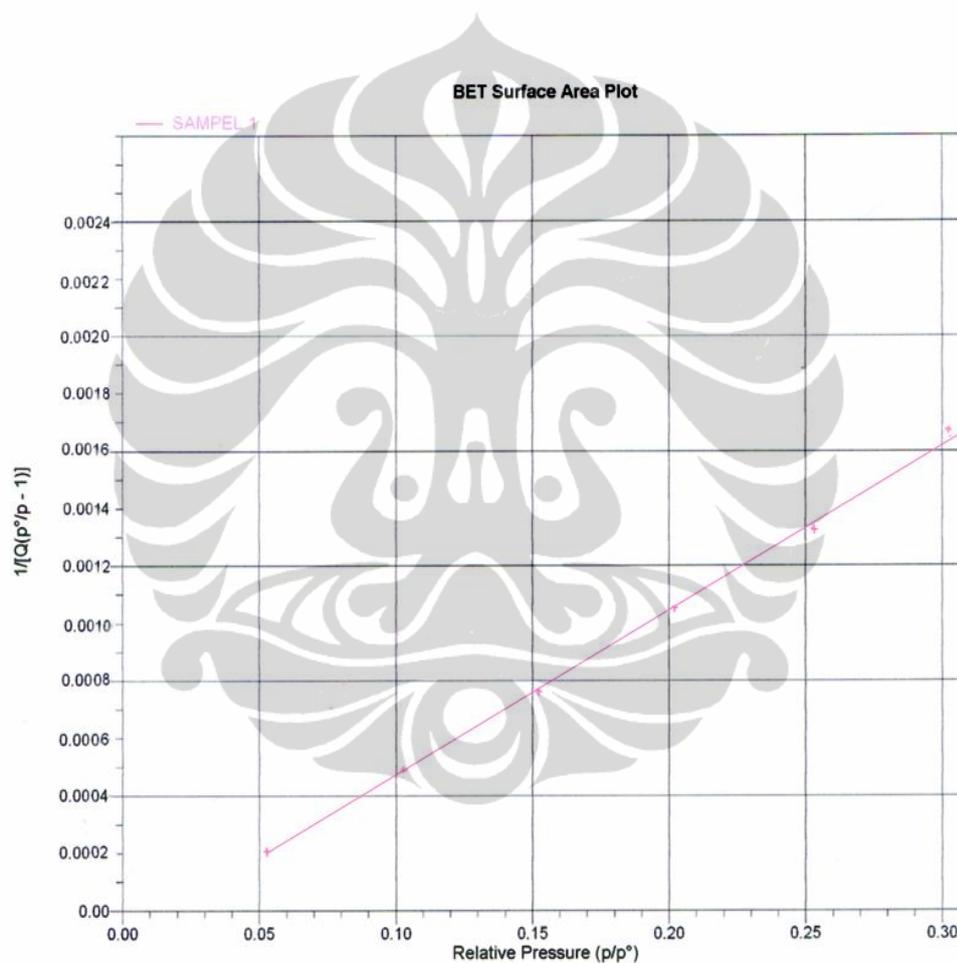
Serial #: 5574

Page 5

Sample: SAMPEL 3
Operator: LAB
Submitter: LAB UJI
File: C:\...MAY12~1\160612-D SMP

Started: 6/16/2012 5:01:35PM
Completed: 6/16/2012 7:33:20PM
Report Time: 6/16/2012 10:06:56PM
Free Space Diff.: -0.7450 cm³
Free Space Type: Measured
Gemini Model: 2365

Analysis Adsorptive: N2
Equilibration Time: 10 s
Sat. Pressure: 760.000 mmHg
Sample Mass: 0.4913 g
Sample Density: 1.000 g/cm³





LAB UJI

Gemini V2.00

Unit 1

Serial #: 5574

Page 6

Sample: SAMPEL 3
Operator: LAB
Submitter: LAB UJI
File: C:\...\MAY12~11160612-D SMP

Started: 6/16/2012 5:01:35PM
Completed: 6/16/2012 7:33:20PM
Report Time: 6/16/2012 10:06:56PM
Free Space Diff.: -0.7450 cm³
Free Space Type: Measured
Gemini Model: 2365

Analysis Adsorptive: N2
Equilibration Time: 10 s
Sat. Pressure: 760.000 mmHg
Sample Mass: 0.4913 g
Sample Density: 1.000 g/cm³

Options Report**Analysis Conditions****Preparation**

Evacuation rate: 100.0 mmHg/min
Evacuation time: 3.00 min

Free Space

Free-space type: Measured

p° and Temperature

p° and T type: Entered p° value. Entered temperature value.
p°: 760.000 mmHg
Temperature: 77.300 K

Analysis Method

Analysis Mode: Equilibration
Equilibration time: 10 s

Adsorptive Properties

Adsorptive: Nitrogen
Maximum manifold pressure: 1050.00 mmHg
Non-ideality factor: 0.0000620
Density conversion factor: 0.0015468
Molecular cross-sectional area: 0.162 nm²

Lampiran 4. Luas permukaan (BET) Karbon Aktif Tempurung Kelapa Termodifikasi TiO₂



LAB UJI

Gemini V2.00

Unit 1

Serial #: 5574

Page 1

Sample: SAMPEL 1
Operator: LAB
Submitter: LAB UJI
File: C:\...MAY12~1\160612-C SMP

Started: 6/16/2012 2:19:23PM
Completed: 6/16/2012 4:01:52PM
Report Time: 6/16/2012 10:03:46PM
Free Space Diff.: -1.5643 cm³
Free Space Type: Measured
Gemini Model: 2365

Analysis Adsorptive: N₂
Equilibration Time: 10 s
Sat. Pressure: 760.000 mmHg
Sample Mass: 0.5224 g
Sample Density: 1.000 g/cm³

Summary Report

Surface Area

Single point surface area at $p/p^* = 0.301043675$: 788.3042 m²/g
BET Surface Area: 782.5401 m²/g



LAB UJI

Gemini V2.00

Unit 1

Serial #: 5574

Page 2

Sample: SAMPEL 1
 Operator: LAB
 Submitter: LAB UJI
 File: C:\...MAY12~1\160612-C.SMP

Started: 6/16/2012 2:19:23PM
 Completed: 6/16/2012 4:01:52PM
 Report Time: 6/16/2012 10:03:46PM
 Free Space Diff.: -1.5643 cm³
 Free Space Type: Measured
 Gemini Model: 2365

Analysis Adsorptive: N2
 Equilibration Time: 10 s
 Sat. Pressure: 760.000 mmHg
 Sample Mass: 0.5224 g
 Sample Density: 1.000 g/cm³

Isotherm Tabular Report

Relative Pressure (p/p ^o)	Absolute Pressure (mmHg)	Quantity Adsorbed (cm ³ /g STP)	Elapsed Time (h:min)	Saturation Pressure (mmHg)
				760.000000
0.050142106	40.799999	228.045199	01:00	
0.100197045	76.949997	232.968147	01:08	
0.150164230	115.349998	238.931508	01:16	
0.200267575	153.649994	243.812794	01:25	
0.250198061	191.460007	249.182197	01:31	
0.301043675	230.845001	254.349311	01:41	



LAB UJI

Gemini V2.00

Unit 1

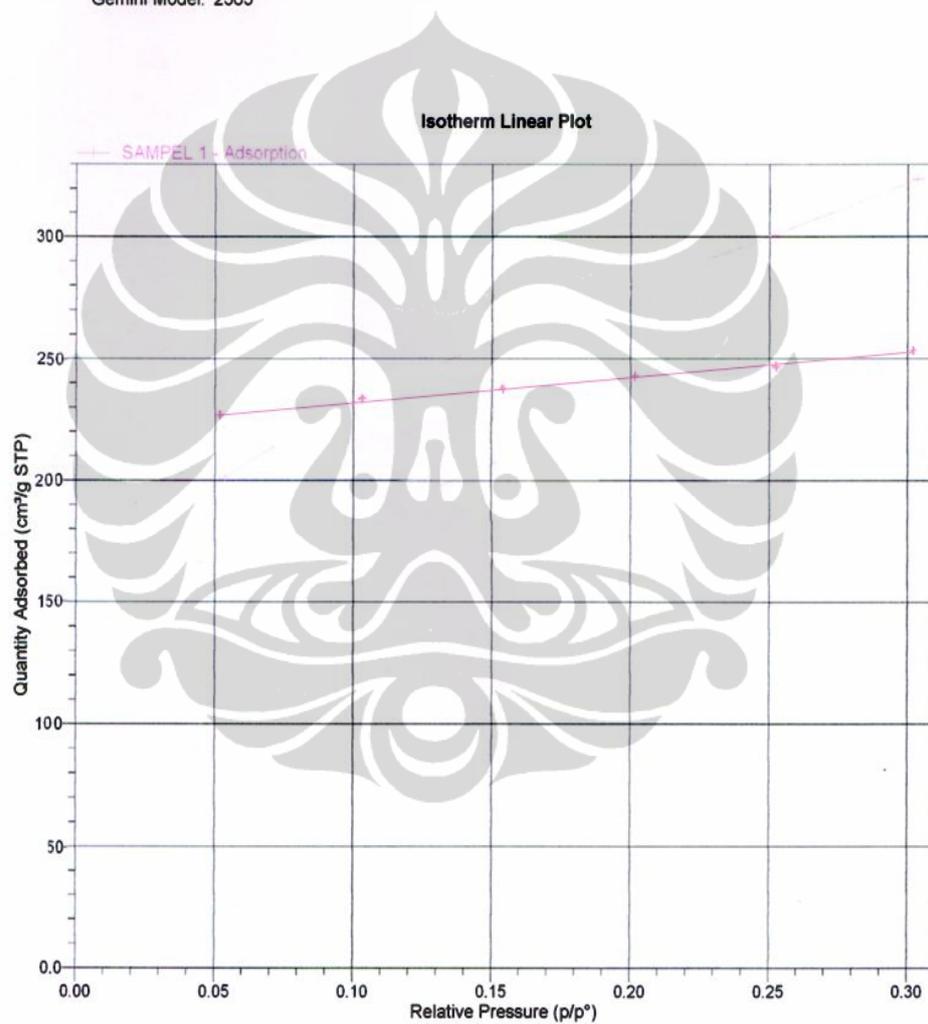
Serial #: 5574

Page 3

Sample: SAMPEL 1
Operator: LAB
Submitter: LAB UJI
File: C:\...MAY12~1\160612-C.SMP

Started: 6/16/2012 2:19:23PM
Completed: 6/16/2012 4:01:52PM
Report Time: 6/16/2012 10:03:46PM
Free Space Diff.: -1.5643 cm³
Free Space Type: Measured
Gemini Model: 2365

Analysis Adsorptive: N2
Equilibration Time: 10 s
Sat. Pressure: 760.000 mmHg
Sample Mass: 0.5224 g
Sample Density: 1.000 g/cm³





LAB UJI

Gemini V2.00

Unit 1

Serial #: 5574

Page 4

Sample: SAMPEL 1
 Operator: LAB
 Submitter: LAB UJI
 File: C:\...\MAY12-1\160612-C.SMP

Started: 6/16/2012 2:19:23PM
 Completed: 6/16/2012 4:01:52PM
 Report Time: 6/16/2012 10:03:46PM
 Free Space Diff.: -1.5643 cm³
 Free Space Type: Measured
 Gemini Model: 2365

Analysis Adsorptive: N₂
 Equilibration Time: 10 s
 Sat. Pressure: 760.000 mmHg
 Sample Mass: 0.5224 g
 Sample Density: 1.000 g/cm³

BET Surface Area Report

BET Surface Area: 782.5401 ± 0.0439 m²/g
 Slope: 0.005803 ± 0.003165 g/cm³ STP
 Y-Intercept: -0.000099 ± 0.000464 g/cm³ STP
 C: -57.408052
 Qm: 175.3312 cm³/g STP
 Correlation Coefficient: 0.9958230
 Molecular Cross-Sectional Area: 0.1620 nm²

Relative Pressure (p/p ⁰)	Quantity Adsorbed (cm ³ /g STP)	1/[Q(p ⁰ /p - 1)]
0.050142106	228.045199	0.00231
0.100197045	232.968147	0.00478
0.150164230	238.931508	0.00740
0.200267575	243.812794	0.01027
0.250198061	249.182197	0.01139
0.301043675	254.349311	0.01693



LAB UJI

Gemini V2.00

Unit 1

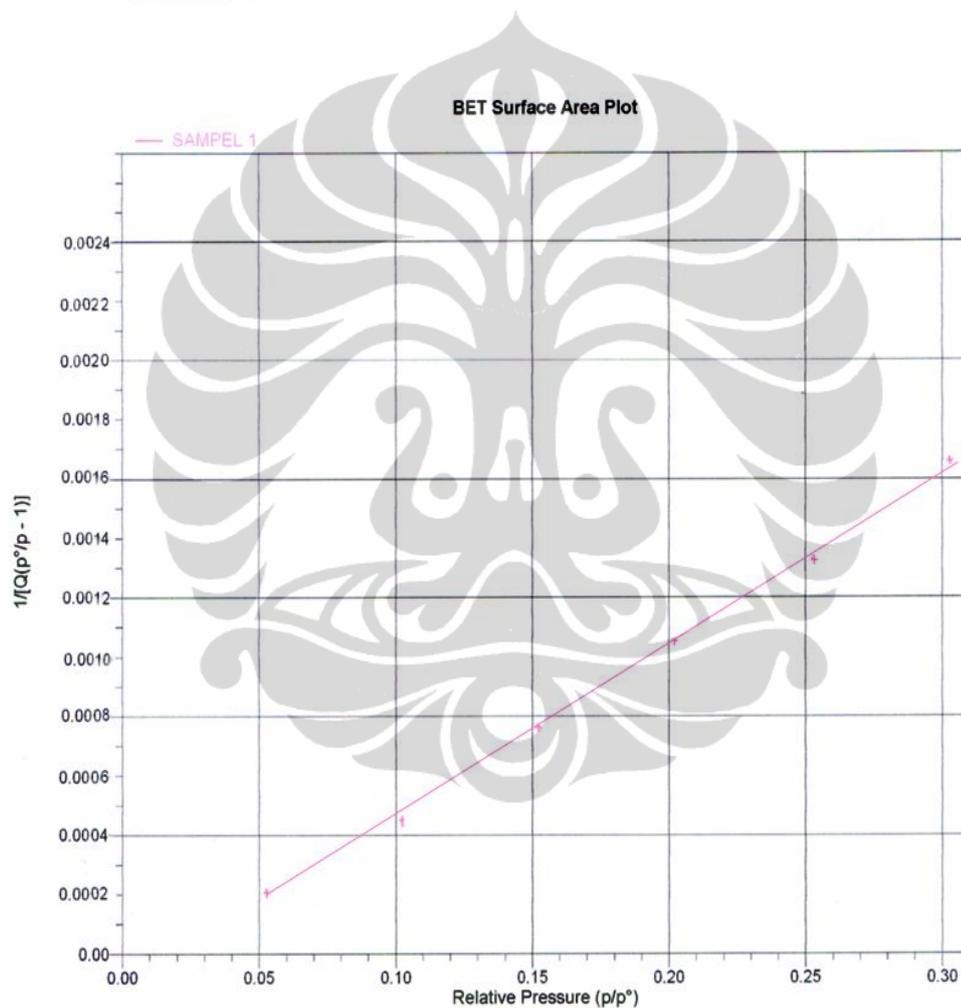
Serial #: 5574

Page 5

Sample: SAMPEL 1
Operator: LAB
Submitter: LAB UJI
File: C:\...\MAY12~1\160612-C.SMP

Started: 6/16/2012 2:19:23PM
Completed: 6/16/2012 4:01:52PM
Report Time: 6/16/2012 10:03:46PM
Free Space Diff.: -1.5643 cm³
Free Space Type: Measured
Gemini Model: 2365

Analysis Adsorptive: N2
Equilibration Time: 10 s
Sat. Pressure: 760.000 mmHg
Sample Mass: 0.5224 g
Sample Density: 1.000 g/cm³





LAB UJI

Gemini V2.00

Unit 1

Serial #: 5574

Page 6

Sample: SAMPEL 1
 Operator: LAB
 Submitter: LAB UJI
 File: C:\...MAY12~1\1160612-C.SMP

Started: 6/16/2012 2:19:23PM
 Completed: 6/16/2012 4:01:52PM
 Report Time: 6/16/2012 10:03:46PM
 Free Space Diff.: -1.5643 cm³
 Free Space Type: Measured
 Gemini Model: 2365

Analysis Adsorptive: N2
 Equilibration Time: 10 s
 Sat. Pressure: 760.000 mmHg
 Sample Mass: 0.5224 g
 Sample Density: 1.000 g/cm³

Options Report

Analysis Conditions

Preparation

Evacuation rate: 100.0 mmHg/min
 Evacuation time: 3.00 min

Free Space

Free-space type: Measured

p° and Temperature

p° and T type: Entered p° value. Entered temperature value.
 p°: 760.000 mmHg
 Temperature: 77.300 K

Analysis Method

Analysis Mode: Equilibration
 Equilibration time: 10 s

Adsorptive Properties

Adsorptive: Nitrogen
 Maximum manifold pressure: 1050.00 mmHg
 Non-ideality factor: 0.0000620
 Density conversion factor: 0.0015468
 Molecular cross-sectional area: 0.162 nm²

Lampiran 5. Uji Adsorpsi CO dan Penjernihan Asap Kebakaran tanpa Adsorben

t (menit)	Opasitas			[CO] (ppm)	Rasio C/C ₀
	1	2	3		
0	0	0	0	3083	1.0000
1	0	0	0	3080	0.9990
2	0	0	0	3077	0.9981
3	1	0	0	3076	0.9977
4	1	0	1	3075	0.9974
5	1	1	1	3077	0.9981
6	2	1	1	3076	0.9977
7	2	1	2	3075	0.9974
8	3	1	2	3074	0.9971
9	3	1	2	3075	0.9974
10	3	2	2	3074	0.9971
11	4	2	2	3073	0.9968
12	4	2	3	3072	0.9964
13	5	2	3	3071	0.9961
14	5	2	3	3072	0.9964
15	5	3	3	3071	0.9961
16	6	3	3	3070	0.9958
17	6	4	4	3070	0.9958
18	6	4	4	3069	0.9955
19	7	4	4	3068	0.9951
20	7	4	4	3068	0.9951
21	7	5	5	15	
22	8	5	5		
23	8	5	6		
24	8	5	6		
25	9	6	6		
26	9	6	7		
27	10	6	7		
28	10	7	7		
29	10	7	7		
30		8	7		
31		8	8		
32		8	8		
33		9	8		
34		9	9		
35		9	9		
36		9	9		
37		10	10		

Lampiran 6. Persen Adsorpsi CO dan nilai t_{10} Karbon Aktif

Karbon Aktif 60 mesh 1 gram

t (menit)	Opasitas			[CO] (ppm)	% Adsorpsi
	1	2	3		
0	0	0	0	3523	
1	0	0	0	3488	
2	1	0	0	3358	
3	1	0	1	3298	
4	1	0	1	3301	
5	2	1	2	3303	
6	2	1	2	3300	
7	2	1	3	3294	
8	3	1	3	3292	
9	3	1	3	3284	
10	4	2	4	3280	11.8933
11	4	2	4	3278	
12	5	2	4	3271	
13	5	2	4	3259	
14	5	3	5	3238	
15	6	3	5	3205	
16	6	4	5	3183	
17	6	4	5	3156	
18	7	5	6	3137	
19	7	5	6	3124	
20	7	5	6	3104	
21	8	6	6	419	Δ CO
22	8	6	7		
23	9	7	7		
24	9	7	7		
25	10	7	7		
26	10	7	8		
27		8	8		
28		8	8		
29		8	8		
30		9	9		
31		9	9		
32		10	9		
33		10	10		

Karbon Aktif 60 mesh 3 gram

t (menit)	Opasitas			[CO] (ppm)	% Adsorpsi
	1	2	3		
0	0	0	0	2712	
1	0	0	0	2697	
2	0	0	1	2664	
3	1	1	1	2622	
4	1	1	2	2614	
5	2	1	2	2597	
6	2	1	3	2573	
7	2	2	3	2562	
8	3	2	3	2534	
9	3	2	3	2511	
10	4	2	3	2503	11.95
11	4	2	4	2487	
12	4	3	4	2476	
13	5	3	4	2463	
14	5	3	5	2452	
15	6	4	5	2440	
16	6	4	5	2433	
17	6	4	5	2429	
18	7	5	5	2412	
19	7	5	6	2396	
20	8	6	6	2388	
21	8	6	6	324	Δ CO
22	9	7	7		
23	9	7	7		
24	10	8	7		
25	10	8	8		
26		8	8		
27		9	9		
28		9	9		
29		9	9		
30		9	10		
31		10	10		

Karbon Aktif 200 mesh 1 gram

t (menit)	Opasitas			[CO] (ppm)	% Adsorpsi
	1	2	3		
0	0	0	0	3378	
1	0	0	0	3343	
2	1	0	1	3312	
3	1	1	1	3256	
4	1	1	2	3258	
5	2	2	2	3250	
6	2	2	2	3213	
7	3	2	3	3178	
8	4	2	3	3161	
9	4	2	3	3135	
10	4	3	3	3114	11.13
11	5	3	4	3105	
12	5	3	4	3112	
13	6	4	4	3094	
14	6	4	4	3085	
15	7	4	4	3067	
16	7	5	5	3043	
17	8	5	5	3028	
18	8	6	5	3032	
19	8	6	5	3012	
20	9	7	6	3002	
21	9	7	6	376	Δ CO
22	10	7	7		
23	10	8	7		
24		8	8		
25		8	8		
26		9	8		
27		9	9		
28		9	9		
29		9	10		
30		10	10		

Karbon Aktif 200 mesh 3 gram

t (menit)	Opasitas			[CO] (ppm)	% Adsorpsi
	1	2	3		
0	0	0	0	3298	
1	0	0	0	3291	
2	0	1	1	3225	
3	1	1	1	3196	
4	1	1	1	3115	
5	2	1	2	3121	
6	2	2	2	3089	
7	3	2	3	3073	
8	3	3	3	3056	
9	4	3	3	3034	
10	4	3	4	3036	12.34
11	5	4	4	3012	
12	5	4	4	2989	
13	6	4	4	2985	
14	6	4	5	2989	
15	6	5	5	2975	
16	7	5	5	2953	
17	7	5	6	2931	
18	8	6	6	2910	
19	9	6	6	2903	
20	9	6	7	2891	
21	10	7	7	407	Δ CO
22	10	7	7		
23	10	7	7		
24		8	8		
25		8	8		
26		8	8		
27		9	8		
28		9	9		
29		10	9		
30		10	9		
31			10		

Lampiran 7. Persen Adsorpsi CO dan nilai t_{10} Karbon Aktif termodifikasi TiO_2

Karbon Aktif Termodifikasi 60 mesh 1 gram

t (menit)	Opasitas			[CO] (ppm)	% Adsorpsi
	1	2	3		
0	0	0	0	3366	
1	0	0	0	3315	
2	1	1	0	3313	
3	1	1	1	3318	
4	2	1	1	3297	
5	2	1	2	3285	
6	2	1	2	3251	
7	3	2	2	3232	
8	4	2	3	3209	
9	4	3	3	2995	
10	4	3	3	2989	12.27
11	5	4	4	2987	
12	5	4	4	2992	
13	6	4	4	2989	
14	6	5	4	2981	
15	6	5	5	2976	
16	7	5	5	2969	
17	8	5	6	2965	
18	8	6	6	2960	
19	8	6	7	2955	
20	9	6	7	2953	
21	9	6	7	413	Δ CO
22	9	7	7		
23	9	7	8		
24	10	8	8		
25		8	8		
26		8	9		
27		8	9		
28		9	9		
29		9	10		
30		10	10		
31		10			

Karbon Aktif Termodifikasi 60 mesh 3 gram

t (menit)	Opasitas			[CO] (ppm)	% Adsorpsi
	1	2	3		
0	0	0	0	2626	
1	0	0	0	2605	
2	1	1	0	2567	
3	1	1	1	2529	
4	2	2	1	2498	
5	2	2	1	2486	
6	3	2	1	2457	
7	3	2	2	2456	
8	4	3	2	2459	
9	4	3	3	2450	
10	5	3	3	2431	12.45
11	5	4	4	2428	
12	6	4	4	2423	
13	6	5	4	2424	
14	7	5	5	2421	
15	7	5	5	2406	
16	7	6	5	2387	
17	8	6	6	2357	
18	8	6	6	2321	
19	9	7	6	2314	
20	9	7	7	2299	
21	10	7	7	327	Δ CO
22	10	7	8		
23	10	8	8		
24	10	8	8		
25		9	9		
26		9	9		
27		9	9		
28		10	9		
29		10	10		
30		10	10		
31					

Karbon Aktif Termodifikasi 200 mesh mesh 1 gram

t (menit)	Opasitas			[CO] (ppm)	% Adsorpsi
	1	2	3		
0	0	0	0	3003	
1	0	0	0	2986	
2	1	1	0	2983	
3	1	1	1	2978	
4	2	1	1	2979	
5	3	2	1	2956	
6	3	2	2	2923	
7	3	3	2	2905	
8	4	3	3	2876	
9	4	3	3	2845	
10	5	4	4	2814	12.02
11	6	4	4	2816	
12	6	4	4	2808	
13	6	4	4	2800	
14	7	5	4	2767	
15	7	5	5	2745	
16	8	6	5	2731	
17	8	6	6	2716	
18	8	6	6	2692	
19	8	6	7	2652	
20	9	7	7	2642	
21	9	7	7	361	Δ CO
22	9	8	7		
23	10	8	8		
24	10	8	8		
25		8	8		
26		9	9		
27		9	9		
28		9	9		
29		10	9		
30		10	10		
31					

Karbon Aktif Termodifikasi 200 mesh mesh 3 gram

t (menit)	Opasitas			[CO] (ppm)	% Adsorpsi
	1	2	3		
0	0	0	0	2366	
1	0	0	0	2345	
2	1	1	0	2312	
3	1	1	1	2293	
4	2	2	1	2285	
5	2	2	1	2277	
6	3	2	2	2279	
7	4	2	2	2278	
8	4	3	3	2251	
9	5	3	3	2215	
10	5	3	3	2196	12.60
11	6	4	4	2191	
12	6	4	4	2183	
13	7	4	4	2178	
14	7	5	4	2171	
15	7	5	4	2132	
16	8	5	5	2112	
17	8	6	5	2102	
18	9	6	6	2096	
19	9	6	6	2078	
20	10	7	7	2068	
21	10	7	7	298	Δ CO
22	10	8	8		
23	10	8	8		
24	10	8	8		
25		8	8		
26		9	9		
27		10	9		
28		10	10		
29		10	10		
30		10	10		
31					

