



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF BATUBARA  
TERMODIFIKASI  $\text{TiO}_2$  PADA PROSES REDUKSI GAS  
KARBON MONOKSIDA (CO) DAN PENJERNIHAN ASAP  
KEBAKARAN**

**SKRIPSI**

**RAINUDY DESWANTO ATMOKO**

**0906604376**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA**

**DEPOK**

**JANUARI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF BATUBARA  
TERMODIFIKASI  $\text{TiO}_2$  PADA PROSES REDUKSI GAS  
KARBON MONOKSIDA (CO) DAN PENJERNIHAN ASAP  
KEBAKARAN**

**SKRIPSI**

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

**RAINUDY DESWANTO ATMOKO**

**0906604376**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA**

**DEPOK**

**JANUARI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya sendiri, dan semua sumber yang dirujuk telah  
saya nyatakan benar.**

**Nama : Rainudy Deswanto Atmoko**  
**NPM : 0906604376**  
**Tanda Tangan : **  
**Tanggal : Juni 2012**

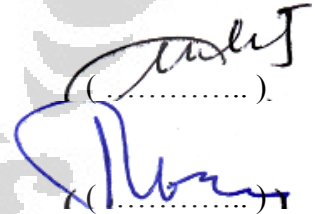
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan Oleh :  
Nama : Rainudy Deswanto Atmoko  
NPM : 0906604376  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Pemanfaatan Karbon Aktif Batubara  
Termodifikasi  $\text{TiO}_2$  Pada Proses Reduksi Gas  
Karbon Monoksida (CO) dan Penjernihan Asap  
Kebakaran

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.

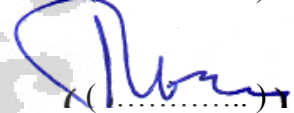
### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Yuliusman., M.Eng



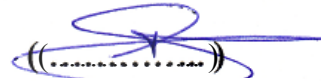
(.....)

Penguji 1 : Prof. Ir. Sutrasno Kartohardjono, Msc, PhD.



(.....)

Penguji 2 : Dr. Ir. Nelson Saksono M.T.



(.....)

Penguji 3 : Bambang Heru Susanto S.T., M.T



(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2012

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dan penyusunan skripsi yang diberi judul “Pemanfaatan Karbon Aktif Batubara Termodifikasi  $TiO_2$  Pada Proses Reduksi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Penjernihan Asap Kebakaran” disusun sebagai salah satu prasyarat dalam menyelesaikan studi program sarjana pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

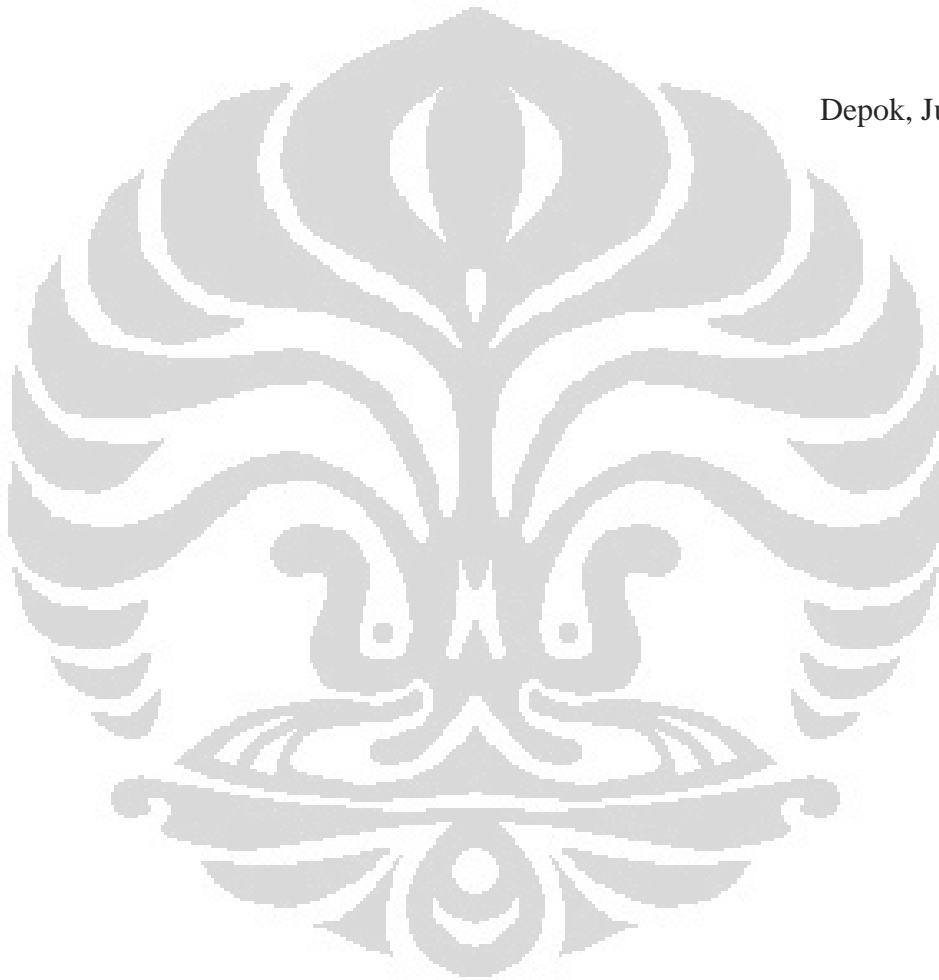
Dalam penyusunan laporan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

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 Wahyu Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
3. Bapak Ir. Dijan Supramono, M.Sc yang telah memberikan izin untuk menggunakan alat *CO analyzer*.
4. Para dosen Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang sangat berguna bagi penulis.
5. Bapak Prof. Ir. Yulianto Sulisty Nugroho, M.Sc, Ph.D dari Departemen Teknik Mesin UI yang telah berkenan memberikan pinjaman opasitimeter untuk digunakan dalam penelitian ini
6. Ayah dan Ibu tercinta atas ketulusan cinta, kasih sayang, perhatian, bantuan, doa, dan dukungan yang selalu diberikan.
7. Teman-teman Ekstensi Teknik Kimia 2009 atas bantuan, kebersamaan, canda tawa, dan dukungan.
8. Mang Ijal, Kang Jajat, dan teknisi laboran lainnya yang telah banyak membantu proses penelitian di laboratorium Teknik Kimia.

9. Ramly, tya, dan Diana yang telah menjalani penelitian ini bersama – sama sebagai rekan satu bimbingan.
10. Pihak-pihak lain yang mendukung dan membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan tugas seminar ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan ktirik untk memperbaiki penulisan di masa yang akan datang.

Depok, Juni 2012



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

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

**Nama** : Rainudy Deswanto Atmoko  
**NPM** : 0906604376  
**Program Studi** : Teknik Kimia  
**Departemen** : Teknik Kimia  
**Fakultas** : Teknik  
**Jenis Karya** : Skripsi

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

**Pemanfaatan Karbon Aktif Batubara Termodifikasi  $TiO_2$  Pada Proses Reduksi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Penjernihan Asap Kebakaran.**

berserta 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 : Juni 2012

Yang menyatakan



( Rainudy Deswanto Atmoko )

## ABSTRAK

Nama : Rainudy Deswanto Atmoko  
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia  
Judul : Pemanfaatan Karbon Aktif Batubara Termodifikasi  $\text{TiO}_2$  Pada Proses Reduksi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Penjernihan Asap Kebakaran

Kebakaran menghasilkan asap dan gas beracun, diantaranya gas CO,  $\text{CO}_2$ , dan senyawa organik lainnya. Gas CO yang dihasilkan dari kasus kebakaran yang cukup tinggi masih menjadi salah satu permasalahan yang harus diselesaikan, mengingat seringnya terjadi peristiwa kebakaran. Potensi kematian akibat keracunan gas, termasuk CO, semakin meningkat. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu penelitian agar tingkat racun asap kebakaran dapat diminimalisasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengurangi kadar CO dan menjernihkan asap kebakaran menggunakan karbon aktif batubara termodifikasi  $\text{TiO}_2$ . Hasil uji BET menunjukkan peningkatan luas permukaan dari  $932.04 \text{ m}^2/\text{gram}$  untuk karbon aktif menjadi  $960.296 \text{ m}^2/\text{gram}$  setelah termodifikasi  $\text{TiO}_2$ . Karbon aktif –  $\text{TiO}_2$  dengan ukuran 200 mesh dan massa 3 gram memiliki penurunan konsentrasi CO sebesar 207 ppm, % adsorpsi CO yang paling tinggi ( 6.18 %) dan nilai  $t_{10}$  yang paling baik.

Kata Kunci :

Asap Kebakaran, Adsorpsi, Aktivasi, Gas CO, Karbon Aktif,  $\text{TiO}_2$



## ABSTRACT

Name : Rainudy Deswanto Atmoko  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : Utilization of Coal Activated Carbon Modified by TiO<sub>2</sub> in  
Process of Carbon Monoxide (CO) Gas Reduction and  
smoke Fire purification

Fire produces smoke and toxic gases, including CO, CO<sub>2</sub>, and other organic compounds. CO gas that produced from the case of fire still become the one of the problems that should be completed, given the frequent occurrence of fire events. Death potential from gas poisoning, including CO, are increasing. Therefore it is necessary for a study that the toxicity of fire smoke can be minimized. The study was undertaken to reduce the levels of CO and smoke fire purification using coal activated carbon modified TiO<sub>2</sub>. The test results showed an increase in BET Surface area of activated carbon 932.04 m<sup>2</sup>/gram to be 960 296 m<sup>2</sup>/gram After modified TiO<sub>2</sub>. Activated carbon - TiO<sub>2</sub> with 200 mesh size and mass of 3 grams have decreased concentrations of CO is 207 ppm, the highest % CO adsorption (6.18%) and the best value of t<sub>10</sub>.

Key Words :

Smoke Fire, Adsorption, BET surface area, %CO adsorption, active carbon, TiO<sub>2</sub>

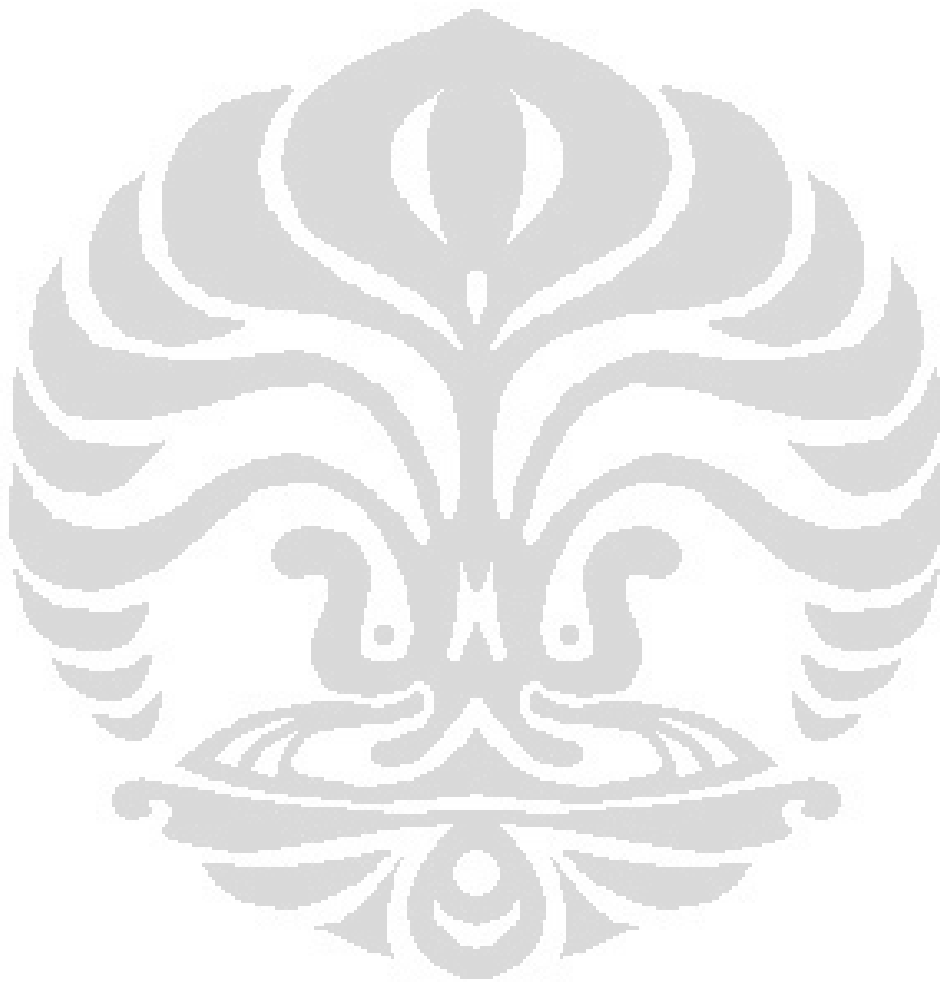
## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Pembakaran .....	6
2.2 Asap .....	7
2.2.1 Toksisitas Asap .....	7
2.2.2 Komposisi Asap .....	9
2.2.2.1 Sulfur Dioksida .....	10
2.2.2.2 Karbon Monoksida .....	11
2.2.2.3 Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> ) .....	14
2.2.2.4 Hidrokarbon .....	14

2.2.2.5 Khlorin (Cl <sub>2</sub> ) .....	15
2.2.2.6 Partikel Debu .....	16
2.2.3 Penjernihan Asap .....	16
2.3 Adsorpsi .....	18
2.3.1 Jenis-jenis Adsorpsi .....	19
2.3.1.1 Adsorpsi Fisika .....	19
2.3.1.2 Adsorpsi Kimia .....	20
2.3.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi .....	22
2.3.3 Kesetimbangan Adsorpsi .....	23
2.3.3.1 Isoterm Adsorpsi Langmuir .....	24
2.3.3.2 Isoterm Adsorpsi BET .....	25
2.3.4 Adsorpsi .....	26
2.4 Karbon Aktif .....	27
2.4.1 Kegunaan Karbon Aktif .....	29
2.4.2 Jenis-jenis Karbon Aktif .....	30
2.4.3 Pembuatan Karbon Aktif .....	32
2.4.3.1 Dehidrasi .....	32
2.4.3.2 Karbonisasi .....	33
2.4.3.3 Aktivasi .....	34
2.4.4 Sifat Fisis dan Struktur Kimia Karbon Aktif .....	36
2.5 Sumber – sumber Karbon Aktif .....	37
2.6 Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> ) .....	43
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>45</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	45
3.1.1 Diagram Alir Pembuatan dan Aktivasi Karbon Aktif .....	46
3.2 Peralatan Penelitian .....	47
3.2.1 Pembuatan dan Aktivasi Karbon Aktif .....	47
3.2.2 Alat Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif .....	47

3.2.3	Alat Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran	47
3.3	Bahan – bahan penelitian	48
3.3.1	Bahan – bahan Preparasi dan Aktivasi Karbon Aktif	49
3.3.2	Bahan – bahan Preparasi Sol – Gel TiO <sub>2</sub>	49
3.3.3	Bahan – bahan Uji Adsorpsi CO dan Penjernihan Asap	49
3.4	Variabel Penelitian	49
3.5	Prosedur Penelitian	50
3.5.1	Uji Adsorpsi Gas CO dan penjernihan Asap Kebakaran	50
3.5.2	Pelapisan TiO <sub>2</sub> ke support karbon aktif	51
3.5.3	Karakterisasi karbon aktif termodifikasi TiO <sub>2</sub>	51
3.6	Data Penelitian	52
3.7	Pengolahan Data	52
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>53</b>
4.1	Preparasi Pembuatan Karbon Aktif	53
4.1.1	Preparasi Pencampuran Activating agent dengan Bahan Baku Pembuatan Karbon Aktif	55
4.1.2	Aktivasi	56
4.1.3	Proses Pencucian dan Hasil Karbon Aktif	60
4.2	Modifikasi Karbon Aktif dengan TiO <sub>2</sub>	62
4.3	Karakterisasi	63
4.3.1	Pengujian Luas Permukaan	63
4.3.2	Pengujian Komposisi Karbon Aktif	64
4.4	Preparasi Ruang Uji Adsorpsi	65
4.5	Kalibrasi Opasitimeter	65
4.6	Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran	66
4.6.1	Uji Adsorpsi Gas CO Tanpa Adsorben	66
4.6.2	Uji Adsorpsi Gas CO dengan Adsorben Karbon Aktif	68
4.6.3	Uji Adsorpsi Gas dengan Adsorben Karbon aktif	

Termodifikasi TiO <sub>2</sub> .....	70
4.6.4 Uji Opasitas Asap Pembakaran Dengan Adsorben	
Karbon Aktif dan Karbon Aktif – TiO <sub>2</sub> .....	71
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>77</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>79</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>81</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sumber Emisi Gas CO .....	12
Gambar 2.2 Gaya Tarik Antara Molekul – molekul Polar .....	20
Gambar 2.3 Pendekatan Isoterm Adsorpsi Langmuir .....	24
Gambar 2.4 Pendekatan Isoterm Adsorpsi BET .....	25
Gambar 2.5 Tahapan Proses Adsorpsi .....	29
Gambar 2.6 Sturktur Fisik Karbon Aktif .....	36
Gambar 2.7 Struktur Kimia Karbon Aktif .....	37
Gambar 2.8 Mekanisme Pembuatan Karbon Aktif .....	41
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Secara Umum .....	45
Gambar 3.2 Diagram alir Pembuatan dan Aktivasi Arang Aktif .....	46
Gambar 3.3 Skema Ruang Uji .....	48
Gambar 4.1 Arang Batu Bara ukuran 200 mesh sebelum Aktivasi .....	54
Gambar 4.2 Arang Batu Bara sesudah Proses Impregnasi dengan KOH .	55
Gambar 4.3 Alat Proses Aktivasi pada Pembuatan Karbon Aktif .....	57
Gambar 4.4 Hasil Karbon Aktif dari Hasil Aktivasi .....	60
Gambar 4.5 Proses Pencucian karbon aktif dengan HCL 5N .....	61
Gambar 4.6 Proses Pencucian karbon aktif dengan akuades .....	61
Gambar 4.7 Hasil Karbon Aktif dari Hasil Aktivasi KOH/Batubara ....	62
Gambar 4.8 Hasil modifikasi karbon aktif dengan TiO <sub>2</sub> .....	63
Gambar 4.9. Perbandingan luas permukaan Karbon Aktif .....	63
Gambar 4.10 Ruang uji yang digunakan .....	65
Gambar 4.11. Wadah simulasi kebakaran .....	67
Gambar 4.12 ruang uji yang penuh dengan asap dan pengukuran oleh alat <i>smoke detector</i> .....	67
Gambar 4.13.Konsentrasi Gas CO dengan waktu uji .....	67
Gambar 4.14.Rasio Konsentrasi Gas CO dengan waktu uji .....	67

Gambar 4.15. penurunan konsentrasi gas CO pada ukuran 200 mesh (a) dan 250 mikron (b) .....	69
Gambar 4.16. nilai %adsorpsi dari adsorben karbon aktif 200 mesh dan 250 mikron .....	70
Gambar 4.17. penurunan konsentrasi CO dengan karbon aktif – TiO <sub>2</sub> ...	71
Gambar 4.18. % adsorpsi dari karbon aktif – TiO <sub>2</sub> .....	71
Gambar 4.19. Kapasitas Adsorpsi dari karbon aktif dan karbon aktif – TiO <sub>2</sub> .....	71
Gambar 4.20 nilai t <sub>10</sub> dari Karbon aktif dan karbon aktif – TiO <sub>2</sub> massa 1 gram untuk titik 1, 2, dan 3.....	73
Gambar 4.21 nilai t <sub>10</sub> dari Karbon aktif dan karbon aktif – TiO <sub>2</sub> massa 3 gram untuk titik 1, 2, dan 3 .....	74
Gambar 4.22 nilai t <sub>10</sub> dari Karbon aktif ukuran 250 mikron variasi massa pada titik 1, 2, dan 3 .....	75
Gambar 4.23 nilai t <sub>10</sub> dari Karbon aktif dan karbon aktif – TiO <sub>2</sub> ukuran 200 mesh variasi massa pada titik 1, 2, dan 3 .....	76

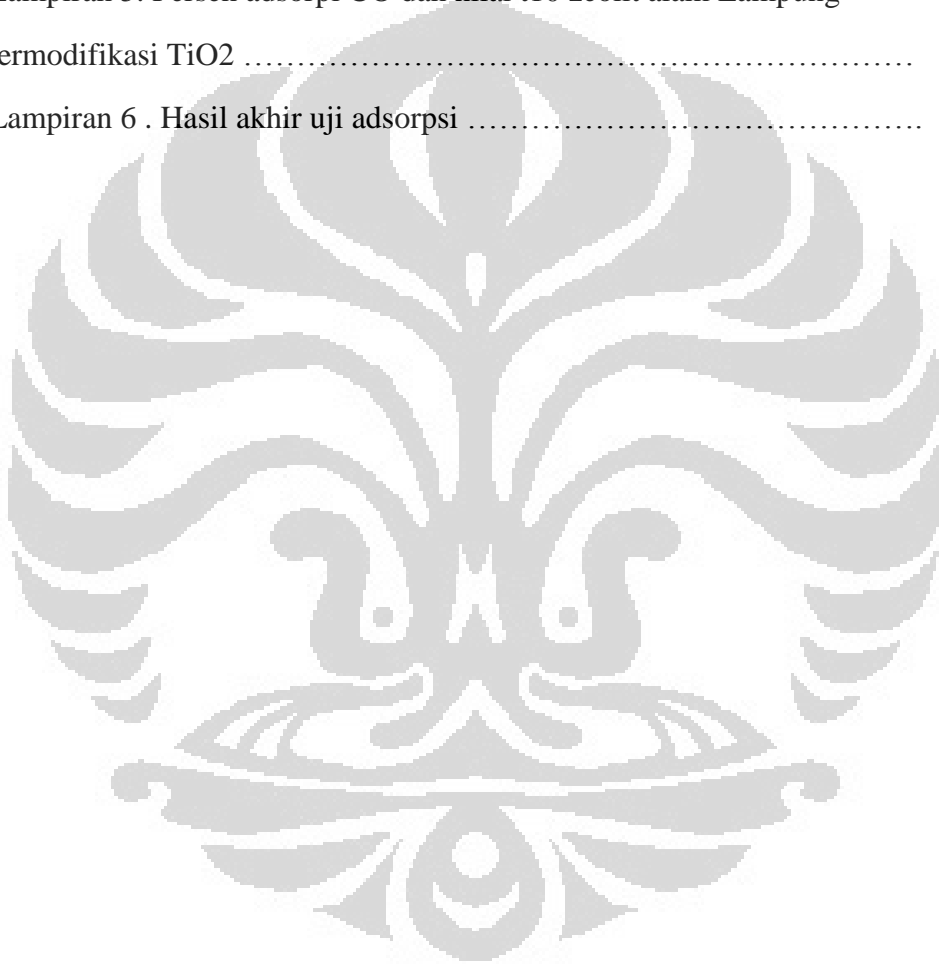
## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Toksisitas Beberapa Senyawa Kimia .....	8
Tabel 2.2 Gas Beracun yang Terbawa Bersama Asap Kebakaran .....	10
Tabel 2.3 Kadar SO <sub>2</sub> yang Berpengaruh Terhadap Gangguan Kesehatan	11
Tabel 2.4 Sifat – sifat Gas Karbon Monoksida .....	14
Tabel 2.5 Pengaruh Hidrokarbon Aromatik Pada Kesehatan Manusia ...	15
Tabel 2.6 Efektifitas Beberapa Adsorben Dalam Penjernihan Asap .....	18
Tabel 2.7 Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia .....	21
Tabel 2.8 Kegunaan Karbon Aktif Dalam Skala Industri .....	30
Tabel 2.9 Hasil Uji Aktivasi Arang Aktif .....	38
Tabel 2.10 Hasil Pengujian Luas Permukaan dan % Yield .....	39
Tabel 2.11 Perkembangan Penelitian Pembuatan Karbon Aktif .....	39
Tabel 2.12 Komposisi Batubara <i>Bituminous</i> di Indonesia .....	42
Tabel 2.13 Komposisi Batubara <i>Bituminous</i> Australia .....	43
Tabel 3.1 Komposisi TiO <sub>2</sub> dan Karbon aktif dalam karbon aktif termodifikasi TiO <sub>2</sub> .....	52
Tabel 4.1 Persentase Air Menguap pada Hasil Pencampuran Larutan <i>Activating agent</i> dengan Arang Tempurung Kelapa dan Batu Bara .....	56
Tabel 4.2 Kondisi dan Hasil Pengamatan Proses Aktivasi Sampel .....	57
Tabel 4.3 Persentase sampel <i>Activating agent</i> /Bahan Baku pada Pemanasan atau Aktivasi .....	59
Tabel 4.4 Proses Pencucian Karbon Aktif dari Hasil Aktivasi .....	61
Tabel 4.5. komposisi karbon batubara murni, karbon aktif, dan karbon aktif termodifikasi TiO <sub>2</sub> .....	64



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Pengujian Luas Permukaan .....	81
Lampiran 2. Data Hasil Pengujian Komposisi dengan XRF .....	82
Lampiran 3. Uji Adsorpsi CO dan penjernihan asap tanpa adsorben .....	83
Lampiran 4. Uji adsorpsi CO dan penjernihan asap dengan adsorben .....	85
Lampiran 5. Persen adsorpsi CO dan nilai t10 zeolit alam Lampung termodifikasi TiO <sub>2</sub> .....	90
Lampiran 6 . Hasil akhir uji adsorpsi .....	92



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebakaran adalah peristiwa terbakarnya sesuatu. Peristiwa ini menimbulkan kerugian materi yang cukup besar. Selain itu, kebakaran juga menghasilkan asap dan senyawa beracun yang pada level tertentu dapat menyebabkan kematian. Untuk di daerah DKI Jakarta, setiap tahun terdapat ratusan kasus kebakaran dengan kerugian mencapai ratusan miliar rupiah. Tidak hanya itu, peristiwa ini juga menelan puluhan sampai ratusan korban jiwa, statistic kebakaran di daerah ibukota selama sepuluh tahun dari 1998 sampai 2007 memperlihatkan bahwa rata-rata 30 % dari nyawa korban kebakaran tidak dapat terselamatkan (Suryawan, 2010).

Tidak sedikit korban yang tewas dalam peristiwa kebakaran, hal ini disebabkan bukan hanya oleh luka bakar, tetapi juga disebabkan oleh gas yang keluar bersama asap hasil pembakaran. Gas yang terkandung dalam asap pembakaran ini bersifat toksik dan korban yang tewas akibat keracunan asap jauh lebih besar dibandingkan dengan korban akibat cedera luka bakar. 85% kematian pada kasus kebakaran di dunia, disebabkan oleh asap yang berat dan gas beracun (Wei W et al., 2007).

Asap yang dihasilkan pada kasus kebakaran mengandung karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), uap air, partikulat, dan beberapa senyawa beracun seperti  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan lain-lain. Menurut Butler (2004)  $\text{CO}$  termasuk gas yang banyak dihasilkan pada waktu terjadi kebakaran. Gas  $\text{CO}$  merupakan komponen yang paling bersifat racun dapat menghambat aliran  $\text{O}_2$  dengan membentuk karboksi hemoglobin ( $\text{COHb}$ ) dalam darah. Kadar  $\text{COHb}$  di atas 50% dipercaya sebagai penyebab utama kematian dan sebagai bukti bahwa korban tewas akibat menghirup asap kebakaran (Anderson et al., 1981a; Anderson et al., 1981b).

Keadaan yang lebih buruk saat terjadi kebakaran di kota besar. Kota besar seperti Jakarta memiliki banyak gedung bertingkat dan berkapasitas besar yang diperuntukan sebagai tempat kerja, tempat tinggal, tempat perbelanjaan, dan

tempat hiburan. Ketika terjadi kebakaran, korban akan sulit mencari jalan keluar karena terhalang dan terperangkap asap. Akibatnya korban akan lebih lama terkena asap yang mengandung senyawa beracun. Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha untuk mengurangi korban jiwa karena keracunan asap kebakaran. Salah satunya dengan segera melakukan evakuasi, yaitu memindahkan para korban yang terjebak dalam ruang yang 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 terlebih dahulu dan dikurangi tingkat racunnya.

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  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na MgO}$  plus,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ . Dari penelitian tersebut  $\text{Na MgO}$  plus menunjukkan efektivitas penjernihan asap glikol yang paling baik. 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  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{MgO}$  merupakan adsorben yang paling efektif untuk menjernihkan asap. Sementara untuk penurunan konsentrasi CO pernah dilakukan sebelumnya oleh Kris Tri Basuki dkk (2008). Kris Tri Basuki dkk melakukan penelitian penurunan konsentrasi gas CO dan  $\text{NO}_2$  pada emisi gas buang menggunakan arang tempurung kelapa yang disisipi  $\text{TiO}_2$ . Dari hasil penelitian diketahui bahwa kondisi optimum pada media karbon aktif yang disisipi  $\text{TiO}_2$  15 % dan dipasang sepanjang 15 cm pada tabung adsorpsi, memberikan hasil penurunan konsentrasi gas CO sebesar 91,50 %.

Yang (2003) mengemukakan, adsorben komersial yang telah banyak digunakan antara lain adalah karbon aktif, silica gel, zeolit, alumina, *selective water sorbent* (SWS). Dari banyak jenis adsorben yang telah disebutkan tadi,

karbon aktif adalah salah satu adsorben yang paling sering banyak digunakan, baik itu dari segi aplikasi maupun volume penggunaannya dan ditambah lagi karbon aktif telah digunakan sejak abad ke-19.

Pada penelitian ini adsorben yang akan digunakan adalah karbon aktif yang berasal dari batubara. Kegunaan batubara yang sudah diolah menjadi karbon aktif sangat banyak dan dibutuhkan di industri-industri besar. Untuk pemurnian gas, misalnya, karbon aktif diperlukan untuk menghilangkan belerang, gas beracun, bau busuk, asap dan pencegahan racun. Kemudian dipakai juga pada industri pengolahan gas alam cair (LNG), katalisator untuk mengangkut vinil klorida dan vinil asetat. Bahan baku karbon aktif dapat berasal dari bahan nabati atau turunannya dan bahan hewani. Di antaranya adalah tempurung kelapa, batubara, serbuk gergaji, ampas tebu, dan bahan-bahan lain yang mengandung karbon. karbon aktif yang dihasilkan dari batubara mempunyai daya serap tinggi, karena karbon aktif ini berpori-pori dengan diameter yang kecil, sehingga mempunyai internal yang luas.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Karbon aktif memiliki potensi untuk digunakan sebagai adsorben penjernih asap dan adsorpsi gas CO. Karbon aktif harus diaktivasi terlebih dahulu untuk membersihkan pengotor dan menaikan luas permukaan. Selain itu karbon aktif dilakukan penyisipan TiO<sub>2</sub> untuk menambah pusat aktif pada karbon aktif dan memperluas permukaan sehingga memiliki kapasitas adsorpsi CO dan penjernihan asap yang besar

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Membuat karbon aktif dengan bahan dasar batubara.
2. Mendapatkan karakterisasi karbon aktif yang terbaik dalam penyerapan karbon monoksida dan penjernihan asap.
3. Mendapatkan nilai % adsorpsi dan kapasitas adsorpsi dari pengujian karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi.

4. Mendapatkan nilai penurunan opasitas dari pengujian karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi.

#### 1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini menggunakan adsorben yang merupakan modifikasi karbon aktif dengan  $\text{TiO}_2$
2. Karbon Aktif yang digunakan berasal dari batubara
3. Proses aktivasi batubara atau tempurung kelapa menggunakan metode penelitian-penelitian terdahulu, (Teng, 1999).
4. Wadah dan ruang uji pembakaran menggunakan alat yang dibuat oleh penelitian terdahulu, ( Reza, 2011).
5. Material  $\text{TiO}_2$  yang digunakan adalah  $\text{TiO}_2$  komersial Degussa P-25.
6. Uji adsorpsi karbon aktif termodifikasi  $\text{TiO}_2$  dilakukan dalam ruang uji berukuran 40 cm x 40 cm x 120 cm.
7. Material yang digunakan sebagai asap pembakaran adalah material yang biasanya terdapat pada gedung atau ruangan yaitu serbuk kayu, kertas, dan kabel.
8. Proses penyisipan  $\text{TiO}_2$  menggunakan metode peneliti terdahulu (Gondang, 2010).

#### 1.5 Sistematika Penulisan

##### **BAB I           Pendahuluan**

Berisi mengenai penjelasan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

##### **BAB II           Tinjauan Pustaka**

##### **BAB III         Metodologi Penelitian**

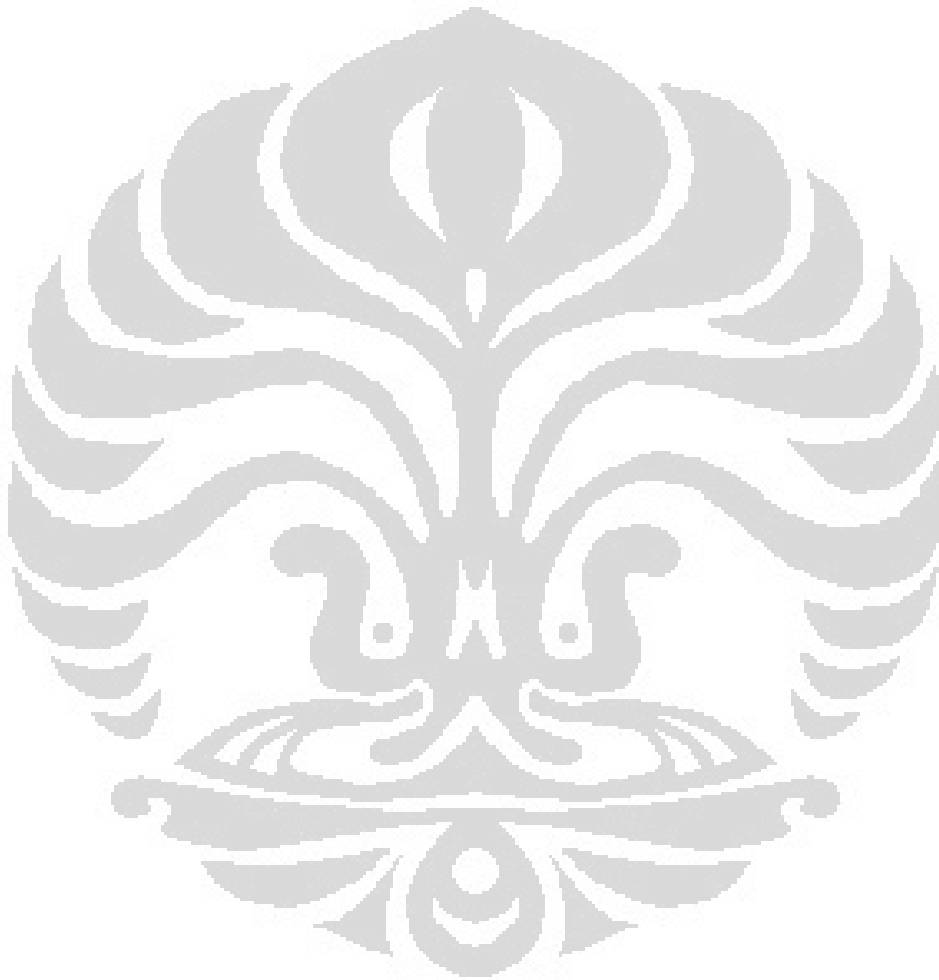
Berisi tentang penjelasan mengenai diagram alir penelitian, alat dan bahan penelitian, preparasi adsorben, uji adsorpsi, data yang diambil dan pengolahan data.

##### **BAB IV         Hasil dan pembahasan**

Berisi mengenai hasil penelitian selama proses penelitian dan pembahasan serta uraian yang diperkuat dengan teori.

## **BAB V**      **Kesimpulan**

Berisi mengenai kesimpulan akhir yang didapatkan selama penelitian dan saran yang mungkin berguna pada penelitian selanjutnya.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pembakaran

Pembakaran adalah suatu reaksi kimia antara suatu bahan bakar dan suatu oksidan, disertai dengan produksi panas yang kadang disertai cahaya dalam bentuk api. Pembakaran dibagi menjadi dua, yaitu pembakaran sempurna dan pembakaran tidak sempurna. Pembakaran sempurna terjadi jika campuran bahan bakar dan oksigen memiliki perbandingan yang tepat, sebaliknya pembakaran tidak sempurna terjadi jika campuran bahan bakar dan oksigen tidak memiliki perbandingan yang tepat. Hasil pembakaran sempurna adalah karbon dioksida dan uap air.

Dalam suatu reaksi pembakaran lengkap, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi, dan produknya adalah senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasi. Seperti persamaan reaksi berikut :



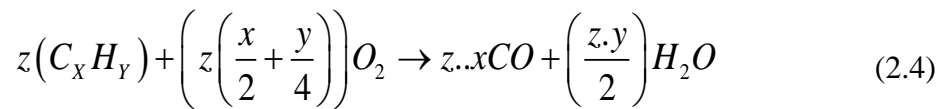
Secara umum, stoikiometri kebakaran sempurna hidrokarbon dengan oksigen dapat dilihat pada Persamaan 2.2.



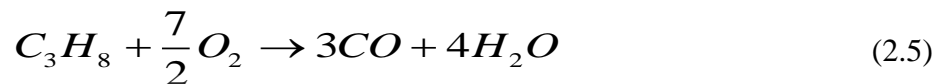
Berikut ini adalah contoh kebakaran sempurna metana



Sedangkan reaksi kebakaran tidak sempurna hidrokarbon dengan oksigen dapat dilihat pada Persamaan 2.4.



Berikut ini adalah contoh reaksi kebakaran tidak sempurna antara propana dengan oksigen.



## 2.2 Asap

Menurut *National Fire Protection Association* (NFPA), asap adalah gas-gas serta partikel padat dan cair yang berterbangan yang timbul pada waktu suatu bahan mengalami proses pembakaran bersama dengan sejumlah udara yang terperangkap atau tercampur di dalamnya. Asap mengandung campuran kompleks gas CO, CO<sub>2</sub>, NO, uap air, material partikulat, hidrokarbon dan bahan organik kimia lainnya serta sejumlah mineral (Michael dan Barbara, 1996). Asap ini diemisikan ketika suatu material terbakar. Gas yang dihasilkan dari proses pembakaran umumnya dibagi 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. Sejumlah udara yang dipanaskan oleh api dan terbawa bersama asap yang terbang

### 2.2.1 Toksisitas Asap

Menurut Vytenis Babrauskas (1997), gas CO merupakan gas yang memiliki toksisitas setengah dari masalah toksisitas api, walaupun masih ada gas lain seperti SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub>. Perbedaan material akan menghasilkan produk kebakaran yang berbeda pula. Sebagai contoh, material polimer tanpa atom klorin tidak akan menghasilkan hidrogen klorida dalam asapnya. Tabel 2.1 menunjukkan toksisitas sebagai variabel fisik LC<sub>50</sub> dan merupakan skala kebalikan, dengan artian angka LC<sub>50</sub> yang lebih kecil menunjukkan toksisitas yang lebih besar.



**Tabel 2.1.** Toksisitas beberapa senyawa kimia (Vytienis Babrauskas, 1997)

Gas	LC <sub>50</sub> untuk pria dewasa (ppmv) 5 min	LC <sub>50</sub> untuk pria dewasa (ppmv) 30 min	Keterangan data (spesies, menit) h=orang dewasa; r=tikus besar; m=tikus kecil; p=primata; EC= konsentrasi untuk efek yang timbul; LC0=konsentrasi yang pertama kali timbul ketika diobservasi.
Karbon dioksida	-	>150000	LC(r,30)=470,000
Asetaldehida	-	20000	LC(m,240)=1500 LCo(r,240)=4000 LC(ham,240)=17,000
Hidrogen klorida	16000	3700	LC(r,30)=20,000 LC(r,240)=16000
Karbon monoksida	-	3000	r,pLC(r,5)=40,989
Nitrogen oksida	10000	2500	LC(r,30)=4600 LC(h,30) 3000 1/5 sebagai racun NO <sub>2</sub>
Karbonil sulfida	-	2000	LC(ch.1)15,000 LCo(var.,3590)=10001400
Hidrogen sulfida	-	2000	LC(m,60)=673 Lco(h,30)=600 Lco(orang dewasa,5)=800
Hidrogen flourida	10000	2000	LC(h,30)2000 [2]LC(gpg,15)=4327 LC(p,60)=1774 LCo(h,30)=50 LC(m,60)=456 LCr(r,60)=1276 LC(r,5)=18,200 LC(gpg,2)=300
Akrlonitril	-	2000	LC(m,5)=6247 LC(r,5)=18,200
Karbonil flourida	-	750	LC(gpg,240)=576 LC(r,240)=500 LC(r,60)=360 LC(m,360)=66
Akrolein	750	300	LCo(p,10)=153
Formaldehida	-	250	LC(p,5) 505 to 1025 LCo(r,240)=250 LC(r,30)=250
Sulfur dioksida	500	-	LC(r,240)=830 LC(cat,480)=700 LC(m,120)=700 LCo(m,300)=6000 LC(var.,5)

LC<sub>50</sub> adalah sejumlah massa dalam volume 1 m<sup>3</sup> yang menyebabkan 50 % kematian populasi. Untuk zat dengan komposisi yang telah diketahui (misalnya zat murni), LC<sub>50</sub> biasanya diekspresikan dalam satuan ppmv, yang berarti 1 bagian gas dalam 1 juta bagian udara (“v” menunjukkan bagian yang dimaksud adalah volume bukan berat).

### 2.2.2 Komposisi Asap

Jenis bahan bakar pencemar yang dikeluarkan oleh mesin dengan bahan bakar bensin maupun bahan bakar solar sebenarnya sama saja, hanya berbeda proporsinya karena perbedaan cara operasi mesin. Secara visual selalu terlihat asap dari knalpot kendaraan bermotor dengan bahan bakar solar, yang umumnya tidak terlihat pada kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin.

Bahan pencemar yang terutama terdapat didalam gas buang buang kendaraan bermotor adalah karbon monoksida (CO), berbagai senyawa hidrokarbon, berbagai oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) dan sulfur (SO<sub>x</sub>), dan partikulat debu termasuk timbel (PB). Bahan bakar tertentu seperti hidrokarbon dan timbel organik, dilepaskan keudara karena adanya penguapan dari sistem bahan bakar. Lalu lintas kendaraan bermotor, juga dapat meningkatkan kadar partikular debu yang berasal dari permukaan jalan, komponen ban dan rem.

Pada Tabel 2.2 menunjukan gas beracun yang terbawa terbang bersama asap kebakaran. Semua gas dalam Tabel 2.2 merupakan gas yang menyebabkan iritasi kecuali HCN, gas ini tergolong apiksia.

**Tabel 2.2.** Gas beracun yang terbawa bersama asap kebakaran (Hilado, 1982)

Toxic Gas	Potential Sources	Sublethal Effects
Acrolein (CH <sub>2</sub> -CHCHO)	Cellulosic materials, e.g., wood, cotton, paper, polystyrenes, ABS	A
Toluene diisocyanate (TDI)	Flexible polyurethane foams	A
Formaldehyde (HCHO)	POM, polypropylenes	B
Hydrogen Cyanide (HCN)	Nitrogen – containing materials, e.g., wool, silk, PAN, ABS, acrylic fibers, nylons, urea/formaldehyde, melamine, polyurethane, polyacrylamide	C
Nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> )	Nitrogen – containing materials,	B
Hydrogen chloride (HCl)	PVC and chlorinated additives	B, D
Hydrogen fluoride (HF)	PTFE, other fluorinated compounds and additives	B
Hydrogen bromide (HBr)	Brominated compounds and additives	B, D
Sulfur dioxide (SO <sub>2</sub> )	Sulfur – containing materials, e.g., wool, vulcanized rubber, poly (phenylene sulfide)	B
Hydrogen sulfide (H <sub>2</sub> S)	Sulfur – containing materials	C
Ammonia (NH <sub>3</sub> )	Nitrogen – containing materials	C
Styrene (C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> )	polystyrenes, ABS	C
Toluene (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	polystyrenes, PVC, polyurethane foams	D
Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	polystyrenes, PVC, polyesters, nylons	C

### 2.2.2.1 Sulfur Dioksida

Pencemaran oleh sulfur dioksida terutama disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan Sulfur trioksida (SO<sub>3</sub>), dan keduanya disebut sulfur oksida (SO<sub>x</sub>). Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak mudah terbakar diudara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif. Tabel 2.3 menunjukkan kadar SO<sub>2</sub> yang berpengaruh terhadap kesehatan.

**Tabel 2.3.** Kadar SO<sub>2</sub> yang berpengaruh terhadap gangguan kesehatan (Robert, 1999)

Konsentrasi (ppm)	Pengaruh
3 – 5	Jumlah terkecil yang dapat dideteksi dari baunya
8 – 12	Jumlah terkecil yang segera mengakibatkan iritasi tenggorokan
20	Jumlah terkecil yang mengakibatkan iritasi mata
50 – 100	Maksimum yang diperbolehkan kontak singkat (30 menit)
400 – 500	Berbahaya meskipun kontak secara singkat

#### 2.2.2.2 CO (Karbon Monoksida)

Karbon monoksida adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Karena itu, CO sangat sulit untuk mendeteksi keberadaannya. Gas CO memiliki densitas yang lebih rendah dari udara dan sulit larut dalam air. Menurut Fardiaz, 1992, dalam bukunya yang berjudul “Polusi Air dan Udara”, 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 dapat dihasilkan dari salah satu proses berikut:

1. Kebakaran tidak sempurna terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon.
2. Reaksi antara karbon dioksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi.
3. Hasil penguraian karbon dioksida pada suhu tinggi.

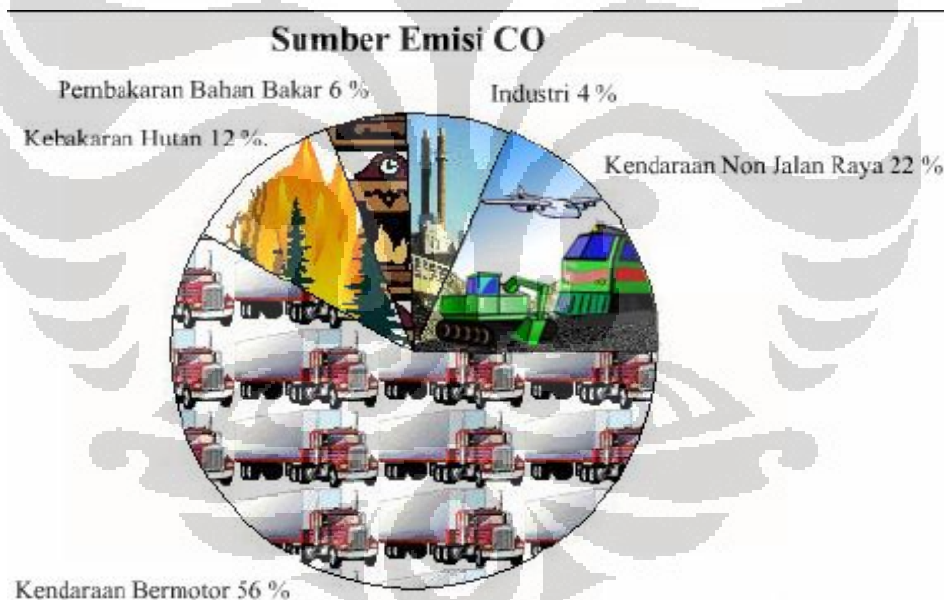
##### a. Sumber Karbon Monoksida

Karbon monoksida di lingkungan dapat terbentuk secara alamiah, tetapi sumber utamanya adalah dari kegiatan manusia, Karbon monoksida yang berasal dari alam termasuk dari lautan, oksidasi metal di atmosfer, pegunungan, kebakaran hutan dan badai listrik alam.

Sumber CO buatan antara lain kendaraan bermotor, terutama yang menggunakan bahan bakar bensin. Berdasarkan estimasi, Jumlah CO dari sumber buatan diperkirakan mendekati 60 juta Ton per tahun. Separuh dari jumlah ini berasal dari kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar bensin dan

sepertiganya berasal dari sumber tidak bergerak seperti pembakaran batubara dan minyak dari industri dan pembakaran sampah domestik. Didalam laporan WHO (1992) dinyatakan paling tidak 90% dari CO diudara perkotaan berasal dari emisi kendaraan bermotor. Selain itu asap rokok juga mengandung CO, sehingga para perokok dapat memajan dirinya sendiri dari asap rokok yang sedang dihisapnya. udara. selain dari emisi kendaraan bermotor, gas CO juga dihasilkan dari kebakaran hutan (Gambar 1).

Karbon monoksida yang bersumber dari dalam ruang terutama berasal dari alat pemanas ruang yang menggunakan bahan bakar fosil dan tungku masak. Kadar nya akan lebih tinggi bila ruangan tempat alat tersebut bekerja, tidak memadai ventilasinya. Namun umumnya pemajanan yang berasal dari dalam ruangan kadarnya lebih kecil dibandingkan dari kadar CO hasil pemajanan asap rokok.



**Gambar 2.1** Sumber Emisi CO (EPA, 2007)

### **b. Dampak Terhadap Kesehatan**

Karakteristik biologik yang paling penting dari CO adalah kemampuannya untuk berikatan dengan haemoglobin, pigmen sel darah merah yang mengangkut oksigen keseluruh tubuh. Sifat ini menghasilkan pembentukan karboksihaemoglobin (HbCO) yang 200 kali lebih stabil dibandingkan

oksihaemoglobin (HbO<sub>2</sub>). Penguraian HbCO yang relatif lambat menyebabkan terhambatnya kerja molekul sel pigmen tersebut dalam fungsinya membawa oksigen keseluruh tubuh. Kondisi seperti ini bisa berakibat serius, bahkan fatal, karena dapat menyebabkan keracunan. Selain itu, metabolisme otot dan fungsi enzim intra-seluler juga dapat terganggu dengan adanya ikatan CO yang stabil tersebut. Dampak keracunan CO sangat berbahaya bagi orang yang telah menderita gangguan pada otot jantung atau sirkulasi darah perifer yang parah.

Seperti oksigen, gas CO juga mudah bereaksi dengan haemoglobin darah. Ikatan CO dengan haemoglobin darah (karboksihaemoglobin-CO<sub>2</sub>Hb) lebih stabil dibandingkan ikatan O<sub>2</sub> dengan haemoglobin darah (oksihaemoglobin-O<sub>2</sub>Hb). Kestabilan CO<sub>2</sub>Hb sekitar 200 kali kestabilan O<sub>2</sub>Hb (Goldstein, 2008), hal ini menyebabkan haemoglobin darah lebih mudah menangkap gas CO dibandingkan O<sub>2</sub> dan menyebabkan fungsi vital darah sebagai pengangkut oksigen terganggu. Reaksi antara CO dan O<sub>2</sub> dengan haemoglobin dapat dilihat pada reaksi berikut:



Apabila hal ini terjadi maka akan berakibat fatal pada tubuh manusia. Pertama, O<sub>2</sub> akan kalah bersaing dengan CO saat berikatan dengan molekul haemoglobin sehingga kadar O<sub>2</sub> 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 (Chadha, 1995).

Batas pemaparan gas CO yang diperbolehkan oleh OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) adalah 35 ppm untuk waktu 8 jam/hari kerja, sedangkan yang diperbolehkan oleh ACGIH TLV-TW (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists Threshold Limit Value*) adalah 25 ppm untuk 8 jam/hari kerja. Dapat dilihat pada Tabel 2.4 Menunjukkan sifat – sifat gas karbon monoksida.,

**Tabel 2.4.** sifat-sifat gas karbon monoksida (Mark Goldstein, 2008)

Sifat	Keterangan
Rumus molekul	CO
Wujud	Gas tidak berwarna dan tidak berbau
Berat molekul	28,0101 g/mol
Titik beku	-205 °C
Titik didih	-192 °C
Densitas	0,789 g/cm <sup>3</sup> , <i>liquid</i> 1,250 g/L pada 0 °C,

### 2.2.2.3 NO<sub>2</sub> (nitrogen dioksida)

Bagian dari oksida nitrogen yang menjadi polutan adalah, nitrogen monoksida (NO), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), dinitrogen trioksida (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), nitrogen tetraoksida (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) dan nitrogen pentaoksida (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Gas NO<sub>x</sub> yang dapat menyebabkan efek kesehatan kurang baik adalah NO<sub>2</sub> yang secara kimiawi bersifat reaktif (Wei Yang dan Stanley T. Omaye, 2008). Gas yang berwarna coklat kemerahan ini memiliki bau yang menyengat dan polutan udara yang terkenal. Paparan jangka panjang terhadap NO<sub>2</sub> dengan kadar 40 – 100 µg/m<sup>3</sup> dapat menyebabkan efek kesehatan yang merugikan.

NO<sub>2</sub> bersifat racun terutama terhadap paru. Kadar NO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dari 100 ppm dapat mematikan sebagian besar binatang percobaan dan 90% dari kematian tersebut disebabkan oleh gejala pembengkakan paru ( edema pulmonari ). Kadar NO<sub>2</sub> sebesar 800 ppm akan mengakibatkan 100% kematian pada binatang-binatang yang diuji dalam waktu 29 menit atau kurang. Pemajanan NO<sub>2</sub> dengan kadar 5 ppm selama 10 menit terhadap manusia mengakibatkan kesulitan dalam bernafas.

### 2.2.2.4 Hidrokarbon

Struktur Hidrokarban (HC) terdiri dari elemen hidrogen dan karbon dan sifat fisik HC dipengaruhi oleh jumlah atom karbon yang menyusun molekul HC. HC adalah bahan pencemar udara yang dapat berbentuk gas, cairan maupun

padatan. Semakin tinggi jumlah atom karbon, unsur ini akan cenderung berbentuk padatan. Hidrokarbon dengan kandungan unsur C antara 1-4 atom karbon akan berbentuk gas pada suhu kamar, sedangkan kandungan karbon diatas 5 akan berbentuk cairan dan padatan, pengaruh terhadap kesehatan dijelaskan pada Tabel 2.5.

Hidrokarbon di udara akan bereaksi dengan bahan-bahan lain dan akan membentuk ikatan baru yang disebut polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) yang banyak dijumpai di daerah industri dan padat lalulintas. Bila PAH ini masuk dalam paru-paru akan menimbulkan luka dan merangsang terbentuknya sel-sel kanker.

**Tabel 2.5.** Pengaruh hidrokarbon aromatic pada kesehatan manusia (Mark Goldstein, 2008)

Jenis Hidrokarbon	Konsentrasi (ppm)	Dampak Kesehatan
Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	100	Iritasi Membran Mukosa
	3.000	Lemas setelah ½ - 1 Jam
	7.500	Pengaruh sangat berbahaya setelah pemaparan 1 jam.
	20.000	Kematian setelah pemaparan 5 –10 menit.
Toluena (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	200	Pusing lemah dan berkunang-kunang setelah pemaparan 8 jam.
	600	Kehilangan koordinasi bola mata terbalik setelah pemaparan 8 jam.

#### 2.2.2.5 Khlorin (Cl<sub>2</sub>)

Senyawa khlorine yang mengandung khlor yang dapat mereduksi atau mengkonversi zat inert atau zat kurang aktif dalam air, yang termasuk senyawa khlorin adalah asam hipokhlorit (HOCL) dan garam hipokhlorit (OCL). Gas Khlorin ( Cl<sub>2</sub>) adalah gas berwarna hijau dengan bau sangat menyengat. Berat jenis gas khlorin 2,47 kali berat udara dan 20 kali berat gas hidrogen khlorida



yang toksik. Gas khlorin sangat terkenal sebagai gas beracun yang digunakan pada perang dunia ke-1.

Selain bau yang menyengat gas khlorin dapat menyebabkan iritasi pada mata saluran pernafasan. Apabila gas khlorin masuk dalam jaringan paru-paru dan bereaksi dengan ion hidrogen akan dapat membentuk asam khlorida yang bersifat sangat korosif dan menyebabkan iritasi dan peradangan. Di udara ambien, gas khlorin dapat mengalami proses oksidasi dan membebaskan oksigen seperti terlihat dalam reaksi dibawah ini :



### 2.2.2.6 Partikel Debu

Partikulat debu melayang (Suspended Particulate Matter / SPM) merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang terbesar di udara dengan diameter yang sangat kecil, mulai dari < 1 mikron sampai dengan maksimal 500 mikron. Partikulat debu tersebut akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang di udara dan masuk kedalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan. Selain dapat berpengaruh negatif terhadap kesehatan, partikel debu juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan juga mengadakan berbagai reaksi kimia di udara.

Partikulat debu yang berasal dari hasil pembakaran disebut sebagai *fly ash*. Partikel ini dapat berasal dari proses alam maupun limbah hasil kegiatan manusia. Sumbernya berasal dari cerobong asap pabrik, kebakaran hutan, dan emisi kendaraan bermotor.

### 2.2.3 Penjernihan Asap

Asap terdiri dari partikel-partikel halus, baik padat maupun cair, yang terbang di udara. Partikel tersebut tersebar dan menyerap gelombang elektromagnetik yang berbeda. Asap, merupakan partikel yang tidak stabil, maksudnya adalah konsentrasi dan komposisinya berubah terhadap waktu. Perubahan tersebut dapat dihasilkan dari gaya luar, baik proses kimia maupun

fisika. Proses tersebut yaitu koagulasi, kondensasi, evaporasi, adsorpsi, absorpsi, dan reaksi kimia. Dengan memakai satu atau kombinasi dari proses tersebut, penjernihan asap dapat ditingkatkan. Berdasarkan proses-proses tersebut, prinsip penjernihan asap dapat dikategorikan menjadi (Yadav et. al., 2006):

1. Meningkatkan koagulasi dengan memakai partikel penyerap, muatan elektrostatis atau gelombang suara
2. Meningkatkan kondensasi dengan memakai inti higroskopis
3. Meningkatkan evaporasi melalui pemanasan
4. Menipiskan asap dengan mencampurnya dengan air

Salah satu cara yang mudah untuk mengukur apakah suatu adsorben efektif menjernihkan asap adalah dengan merasiokan waktu yang diperlukan asap untuk jernih memakai adsorben dan jernih secara alami dengan tingkat kejernihan tertentu. Tingkat kejernihan ini diukur dengan mentransmisikan cahaya. Nilai rasio biasanya di bawah 1. Semakin kecil rasio, semakin efektif adsorben dalam menyerap asap. Jika sama dengan 1, adsorben tidak memberikan dampak sama sekali. Jika lebih besar 1, adsorben malah ikut membuat gelap ruangan.

Yadav et. al., 2007, melakukan evaluasi potensi partikel nano dalam penjernihan asap di ruang tertutup. Penelitian dilakukan memakai ruangan berukuran 2,4 m x 2,4 m x 3,6 m yang berisi generator asap, filter, dan transmissometer. Sebagai simulasi asap digunakan aerosol glikol. Adsorben yang digunakan ada dua jenis: partikel nano (NA TiO<sub>2</sub>, NA MgO, NA MgO plus, NA Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan NA Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> plus) dan bubuk biasa (NaHCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, dan TiO<sub>2</sub>). NA adalah singkatan dari NanoActive™, sebuah merek dagang. Mula-mula ruang dipenuhi asap sampai opasitas 100% (transmisi cahaya 0%). Lalu diukur waktu sampai transmisi cahaya sebesar 10% dan 20% tercapai secara alami akibat gaya gravitasi dan evaporasi. Transmisi 10% dan 20% dipakai karena manusia dapat melihat melewati asap pada transmisi cahaya sebesar itu. Dengan cara yang sama, berikutnya digunakan adsorben dengan cara disemprotkan. Hasilnya menunjukkan bahwa NA MgO plus memiliki rasio terkecil, yaitu 0,1 pada transmisi cahaya 10% ( $t \cdot 10 = 0,1$ ). Artinya, asap dapat jernih 10 kali lebih cepat dengan memakai adsorben ini. Tabel 2.6 menunjukkan

keefektifan beberapa adsorben dalam menjernihkan asap. Dengan prinsip yang hampir sama, paten penjernihan asap telah dikeluarkan oleh Mulukutla, dkk, 2007. Seperti yang telah disinggung di bab sebelumnya bahwa NA TiO<sub>2</sub>-07 dan NA MgO plus merupakan adsorben yang paling efektif untuk menjernihkan asap. Selain itu, diketahui bahwa semakin kecil ukuran partikel semakin baik kinerja oksida logam. Jumlah adsorben yang disemprotkan juga ikut mempengaruhi efektifitas penjernihan.

**Tabel 2.6.** Efektivitas Beberapa Adsorben dalam Penjernihan Asap (Yadav et. al., 2007)

Material	Massa	Efektivitas	
		t* <sub>10</sub>	t* <sub>20</sub>
NaHCO <sub>2</sub>	25	0,42	0,39
	50		
	100		
NA MgO	40	0,38	0,44
	100		
NA TiO <sub>2</sub>	40	0,76	0,94
	100		
Ca(OH) <sub>2</sub>	40	0,24	0,23
	50		
	100		
NA MgO plus	60	0,10	0,11

### 2.3 Adsorpsi

Molekul-molekul pada permukaan zat padat atau zat cair mempunyai gaya dalam keadaan tidak setimbang (*unbalance*) yang cenderung tertarik ke arah dalam (gaya kohesi > gaya adhesi). Ketidakseimbangan gaya-gaya tersebut menyebabkan zat padat atau zat cair tersebut cenderung menarik zat atau gas lainnya yang bersentuhan pada permukaannya. Fenomena konsentrasi zat pada permukaan padatan atau cairan disebut fasa adsorpsi. Zat-zat yang diserap pada permukaan padatan atau cairan disebut fasa teradsorpsi atau adsorbat, sedangkan zat yang menyerap atau menariknya disebut adsorben.

Umumnya, daya serap zat padat terhadap gas tergantung pada jenis adsorben dan gas, luas permukaan adsorben, temperatur dan tekanan gas. Peristiwa adsorpsi terjadi sangat cepat dan reversibel. Apabila dalam keadaan kesetimbangan kondisinya diubah, misalnya tekanannya diturunkan atau temperatur dinaikkan, maka sebagian adsorbat akan terlepas dan membentuk kesetimbang baru.

Menurut Weber (1982) dan Benfield (1982) mekanisme yang terjadi pada proses adsorpsi yaitu :

1. Molekul-molekul adsorben berpindah dari fase bagian terbesar larutan ke permukaan interface, yaitu lapisan film yang melapisi permukaan adsorben atau eksternal.
2. Molekul adsorben dipindahkan dari permukaan ke permukaan luar dari adsorben (*exterior surface*).
3. Molekul-molekul adsorbat dipindahkan dari permukaan luar adsorben menyebar menuju pori-pori adsorben. Fase ini disebut dengan difusi pori.
4. Molekul adsorbat menempel pada permukaan *pori-pori adsorben*.

### 2.3.1 Jenis – Jenis Adsorpsi

Adsorpsi dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu :

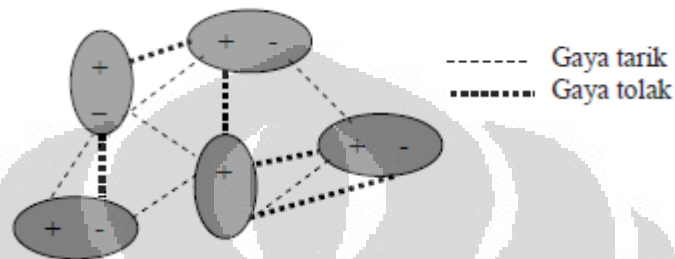
1. Adsorpsi fisika
2. Adsorpsi kimia
3. Adsorpsi pertukaran ion

#### 2.3.1.1 Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisik merupakan suatu proses bolak-balik apabila daya tarik menarik antara zat terlarut dan adsorben lebih besar daya tarik menarik antara zat terlarut dengan pelarutnya maka zat yang terlarut akan diadsorpsi pada permukaan adsorben (Oscik, 1991). Molekul yang terbentuk dari adsorpsi fisika terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif rendah sekitar 20 kJ/mol (Castellan, 1982), karena itu sifat adsorpsinya adalah *reversible* yaitu dapat balik atau dilepaskan kembali dengan adanya penurunan konsentrasi larutan (Larry, *et al.*, 1992). Adsorpsi fisika melibatkan gaya antarmolekuler, yang

melalui gaya Van der Waals atau ikatan hidrogen. Gaya Van der Waals meliputi gaya dipol-dipol, gaya dipol-dipol induksian dan gaya London.

Gaya dipol-dipol adalah gaya tarik antara molekul polar dengan polar. Gaya tarik antara molekul-molekul tersebut lebih kuat dibandingkan dengan gaya tolaknya, yang ditunjukkan dalam gambar di bawah ini (Effendy, 2006):



**Gambar 2.2** Gaya Tarik antara Molekul-Molekul Polar (Sumber: Effendy, 2006)

### 2.3.1.2 Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia dapat terjadi disebabkan oleh adanya reaksi yang membentuk ikatan kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Reaksi tersebut membentuk ikatan kovalen atau ion (ikatan primer). Ikatan tersebut dapat sedemikian kuat, sehingga spesies aslinya tidak dapat ditemukan lagi. Kuatnya ikatan antara adsorben dari adsorbat, menyebabkan adsorbat tidak mudah terdesorpsi.

Adsorpsi kimia melibatkan gaya-gaya yang lebih besar daripada adsorpsi fisika. Gaya ikat adsorpsi ini bervariasi tergantung pada zat yang bereaksi. Menurut Langmuir, molekul-molekul yang teradsorpsi ditarik ke permukaan oleh gaya-gaya valensi, seperti halnya yang sering terjadi seperti atom-atom dalam molekul. Adsorpsi ini membentuk molekul baru dan prosesnya bersifat ireversibel.

Umumnya terjadi pada temperature tinggi (di atas suhu kritis adsorbat). Sehingga panas adsorpsi yang dibebaskan tinggi. Adsorpsi kimiawi membutuhkan gaya yang lebih besar yaitu 10-100 kkal/molekul adsorbat. Energy aktivasi pada adsorpsi kimia berkisar antara 10-60 kkal/molekul.

Adsorpsi terjadi pada bagian aktif (*active site*) di permukaan karbon. Efisiensi dari karbon tergantung pada ada atau tidaknya bagian aktif pada permukaan, dimana adsorpsi kimia terjadi. Untuk dapat terjadinya desorpsi, dibutuhkan energy lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorbat dari adsorben.

Jika adsorpsi kimia terjadi dengan aktivasi, misalnya laju adsorpsi merupakan fungsi dari temperature adsorpsi (sesuai hukum arhaenius), maka adsorpsi ini disebut sebagai adsorpsi kimia teraktifkan (*activated chemisorptions*), sedangkan adsorpsi kimia tak teraktifkan (*nonactivated chemisorptions*) adalah adsorpsi kimia yang terjadi sangat cepat, sehingga energy aktivasinya dianggap nol. Perbedaan antara adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika dapat dilihat pada Tabel 2.7 sebagai berikut.

**Tabel 2.7.** Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia (Othmer, 2003)

<b>Parameter</b>	<b>Adsorpsi Fisika</b>	<b>Adsorpsi Kimia</b>
Adsorben	Semua padatan	Beberapa padatan
Adsorbat	Semua gas pada suhu kritis hampir semua larutan	Beberapa gas (kecuali gas mulia) dan larutan secara kimawi, reaktif
Rentang temperature operasi	Temperature ruang (rendah, di bawah suhu kritis adsorbat), tergantung energy aktivasi	Secara umum temperature tinggi, kecuali untuk kasus-kasus tertentu (di atas suhu kritis adsorbat), tergantung energy aktivasi.
Laju energy aktivasi	Sangat cepat, energy rendah (kurang dari 1 kkal/g mol)	Non aktif, energy rendah, aktif energy tinggi (10-60 kkal/mol)
Panas adsorpsi	Rendah (5-10 kkal/gmol gas)	Tinggi (10-100 kkal/gmol gas), mencapai suhu reaksi

**Tabel 2.7.** Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia ( lanjutan )

Reversibilitas	Reversible	Irreversible
Kecepatan adsorpsi	Besar	Kecil
Jumlah zat teradsorpsi	Sebanding dengan kenaikan tekanan	Sebanding dengan banyaknya inti aktif adsorben yang dapat bereaksi dengan adsorbat
Kegunaan	Penentuan luas permukaan dan ukuran pori	Penentuan daerah pusat aktif dan kinetika reaksi permukaan

### 2.3.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi

Banyaknya molekul-molekul gas yang teradsorpsi pada permukaan adsorben dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut:

#### 1. Sifat adsorben

##### a. Kemurnian adsorben

Adsorben yang lebih murni memiliki daya adsorpsi yang lebih baik.

##### b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Semakin besar luas permukaan adsorben maka semakin besar pula jumlah adsorbat yang dapat diserap. Dengan jumlah pori-pori mikro yang sangat banyak pada karbon aktif, akan menimbulkan gejala kapiler yang menyebabkan adanya daya serap.

#### 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 teradsorpsi lebih dahulu.

##### b. Ukuran molekul adsorbat

Rongga tempat terjadinya adsorpsi dapat dicapai melewati ukuran yang sesuai, sehingga molekul-molekul yang bisa diadsorpsi adalah molekul-molekul yang berdiameter sama atau lebih kecil dari diameter pori.

### 3. Temperatur

Ketika molekul-molekul gas (adsorbat) melekat pada permukaan adsorben terjadi pembebasan sejumlah panas/energi, karena itu peristiwa adsorpsi adalah peristiwa eksotermis. Sesuai dengan azas *Le Chatelier* pada adsorpsi fisika, berkurangnya temperatur akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi dan sebaliknya.

### 4. Tekanan

Tekanan yang dimaksud disini adalah tekanan adsorbat. Pada adsorpsi fisika, kenaikan tekanan adsorbat, dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi. Sebaliknya, pada adsorpsi kimia kenaikan tekanan adsorbat justru mengurangi jumlah yang teradsorpsi.

### 5. Pusat Aktif

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 sebagian permukaan yang aktif, disebut sebagai pusat aktif.

#### 2.3.3 Kesetimbangan Adsorpsi

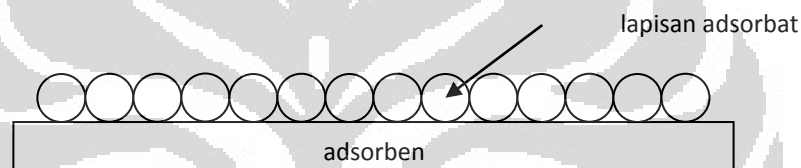
Pada saat fluida yang mengandung adsorbat dikontakkan dengan padatan adsorben, molekul-molekul adsorbat berpindah dari fluida ke padatan sampai konsentrasi adsorbat di aliran fluida berada dalam keadaan setimbang dengan adsorbat yang teradsorpsi dalam padatan adsorben. Data kesetimbangan adsorpsi yang dihasilkan pada temperatur konstan biasanya disebut isoterm adsorpsi (*adsorption isotherm*), dimana terdapat hubungan antara jumlah zat yang teradsorpsi per unit massa padatan dan konsentrasi adsorbat di larutan. Untuk mengukur adsorpsi isoterm, massa padatan dan konsentrasi larutan yang telah diketahui kuantitasnya dikontakkan sampai terjadi kesetimbangan. Adsorpsi isoterm dapat dihitung dengan mengukur konsentrasi adsorbat di larutan pada saat awal dan pada saat kesetimbangan.



### 2.3.3.1 Isoterm Adsorpsi 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 antaraksi lateral antar molekul adsorbat
5. Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi, artinya mereka tidak bergerak pada permukaan



**Gambar 2.3.** Pendekatan isoterm adsorpsi Langmuir (Setiadi, 2007)

Persamaan umum yang digunakan Langmuir (Yang, 1987) adalah.

$$\theta = \frac{\omega}{L} = \frac{BP}{1 + BP} \quad (2.13)$$

dengan:

$\omega$  = jumlah mol gas teradsorpsi per satuan massa adsorben

$\theta$  = fraksi luas permukaan yang tertutup oleh lapisan monolayer

$B$  = konstanta adsorpsi Langmuir yang besarnya bergantung pada temperatur

$P$  = tekanan adsorpsi

$L$  = maksimum kapasitas adsorpsi pada model Langmuir dan Model BET

Pada tekanan rendah, persamaan isoterm dapat disederhanakan menjadi tekanan rendah, persamaan isoterm dapat disederhanakan menjadi bentuk linier mengikuti Hukum Henry sebagai berikut :

$$\theta = BP \quad (2.14)$$

Parameter B dinamakan konstanta afinitas atau konstanta Langmuir. Parameter B mengukur seberapa besar molekul adsorbat yang terserap ke permukaan. Parameter B ini berhubungan dengan kalor adsorpsi (Q), dengan persamaan sebagai berikut:

$$B = \frac{\alpha}{\beta(2\pi mkT)^{1/2}} e^{Q/RT} \quad (2.15)$$

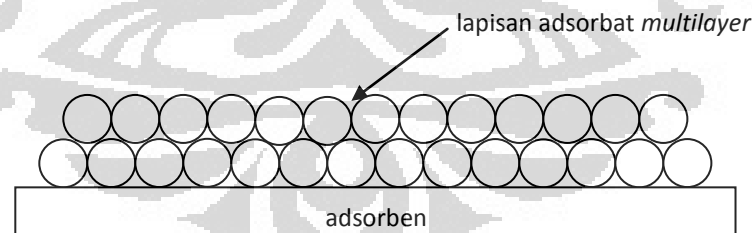
$\alpha$  = koefisien nonperfect sticking

$k_{d\infty}$  = koefisien kecepatan desorpsi pada temperatur tak terhingga

### 2.3.3.2 Isoterm Adsorpsi 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*



**Gambar 2.4.** Pendekatan isoterm adsorpsi BET (Setiadi, 2007)

Isotermal Brunauer-Emmet-Teller atau BET merupakan persamaan teoritik yang banyak diaplikasikan dalam kesetimbangan gas-padatan. Model ini merupakan lanjutan dari model isotermal Langmuir yang dikembangkan untuk menjelaskan adsorpsi multilayer. Pada lapisan pertama, kecepatan kondensasi (adsorpsi) bagian permukaan adsorben yang kosong sama dengan kecepatan evaporasi (desorpsi) bagian yang tertutupi oleh satu molekul adsorbat. Keseimbangan ini

juga terjadi pada semua lapisan berikutnya. Asumsi penting pada model isothermal ini adalah bahwa panas adsorpsi diluar lapisan pertama adalah konstan dan sama dengan panas pencairan. Model persamaan isothermal dari BET dapat ditulis sebagai berikut (Yang, 1987):

$$\frac{\omega}{L} = \frac{CP}{(P_5 - P) \left[ 1 + (C - 1) \left( \frac{P}{P_5} \right) \right]} \quad (2.16)$$

- $\omega$  = jumlah mol gas teradsorpsi per satuan unit massa adsorben  
 $L$  = maksimum kapasitas adsorpsi pada model Langmuir dan Model BET  
 $P$  = tekanan gas saat teradsorpsi  
 $P_s$  = tekanan jenuh adsorbat gas hingga mencapai kapasitas maksimum adsorpsi  
 $C$  = parameter adsorpsi isothermis model BET

#### 2.3.4. Adsorben

Berdasarkan struktur penyusunnya, adsorben dapat digolongkan menjadi dua, yaitu adsorben tak berpori (*non porous adsorbent*) dan adsorben berpori (*porous adsorbent*).

##### 1. Adsorben tak berpori

Adsorben tak berpori dapat diperoleh dengan cara presipitasi deposit kristalin seperti BaSO<sub>4</sub> atau penghalusan padatan kristal. Luas permukaan spesifiknya kecil, tidak lebih dari 10 m<sup>2</sup>/g. Umumnya luas permukaan spesifiknya antara 0,1-1 m<sup>2</sup>/g. Bahan tak berpori seperti filer karet (*rubber filler*) dan karbon hitam bergrafit (*graphitized carbon blacks*) adalah jenis adsorben tak berpori yang telah mengalami perlakuan khusus, sehingga luas permukaannya dapat mencapai ratusan m<sup>2</sup>/g.

##### 2. Adsorben berpori

Luas permukaan spesifik adsorben berpori berkisar antara 10-100 m<sup>2</sup>/g. Biasanya digunakan sebagai penyangga katalis, dehidrator dan penyeleksi komponen, umumnya berbentuk granular. Beberapa jenis adsorben berpori yang

terkenal adalah : silika gel, alumina, karbon aktif, zeolit (*molecular sieves*), dan *porous glasses*.

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

- a. Senyawa yang mengandung oksigen, bersifat hidrofilik dan polar, termasuk material seperti silika gel dan zeolit.
- b. Senyawa berbasis karbon, bersifat hidrofobik dan non polar, termasuk material seperti karbon teraktivasi dan grafit.
- c. Senyawa berbasis polimer, merupakan gugus fungsi polar dan non polar di dalam matriks polimer

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

- a. Selektivitas tinggi
- b. Kapasitas adsorpsi besar
- c. Kinetika adsorpsi cepat
- d. Mudah diregenerasi
- e. Kekuatan mekanik tinggi
- f. Murah

Untuk mencapai kinerja diatas, adsorben harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. Volume pori internal besar
- b. Luas permukaan besar
- c. Distribusi pori
- d. Ikatan adsorbat dan adsorben lemah (adsorpsi fisika)
- e. Stabil secara mekanik
- f. Bahan baku murah

## 2.4 Karbon Aktif

Sejarah karbon aktif dimulai dari tahun 1600 BC, dimana arang kayu pada waktu itu telah digunakan dalam dunia pengobatan di Mesir. Pada abad 13 AD, sebuah sumur di Jepang sudah dilengkapi dengan filter karbon sebagai penyaringan. Kemudian pada tahun 1773, seorang ahli kimia asal Swedia, Karl Wilhem Scheele, menemukan pertama kali suatu fenomena adsorpsi gas oleh

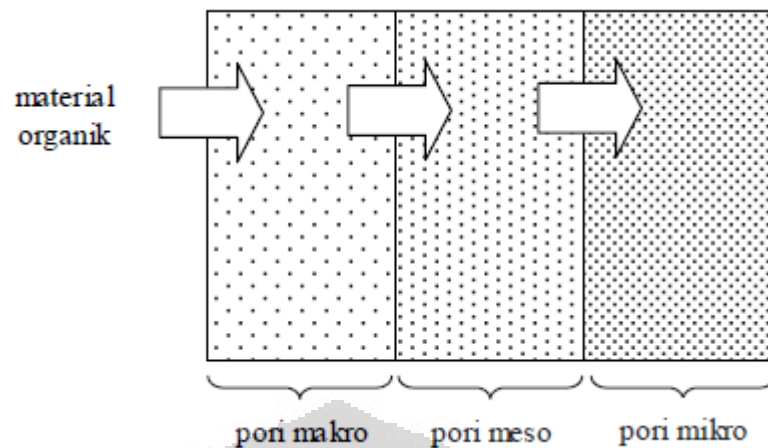
karbon (*charcoal*). Pada tahun 1785, Lovits dari Rusia menemukan bahwa arang bila dicelupkan ke dalam larutan asam tartar (*tartaric acid*), dapat menghilangkan warna. Tahun 1900-1901, R. V. Ostrejko mendapatkan hak paten pertama yang memberikan prospek baru dalam teknologi pembuatan karbon aktif. Hak paten yang diperoleh adalah proses pemanasan bahan material dengan logam klorida serta pembuatan charcoal yang menggunakan CO<sub>2</sub> dan uap air. Tahun 1909 di Raciborz, suatu wilayah di Jerman, didirikan suatu pabrik penghasil karbon aktif pertama kalinya dalam skala komersial yang diberi nama EPONIT.

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan pada proses adsorpsi. Hal ini disebabkan karena karbon aktif mempunyai daya adsorpsi dan luas permukaan yang lebih baik dibandingkan adsorben lainnya (Walas 1990). Karbon aktif yang baik haruslah memiliki luas area permukaan yang besar sehingga daya adsorpsinya juga akan besar (Sudibandriyo *et al*, 2003). Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya

adsorpsinya dengan proses aktivasi. Pada proses aktivasi ini terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Aktivasi ini terjadi karena terbentuknya gugus aktif akibat adanya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Pada proses aktivasi juga terbentuk pori-pori baru karena adanya pengikisan atom karbon melalui oksidasi ataupun pemanasan.

Karbon aktif terdiri dari 87 – 97 % karbon dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen serta senyawa-senyawa lain yang terbentuk dari proses pembuatan. Volume pori-pori karbon aktif biasanya lebih besar dari 0,2 cm<sup>3</sup>/gram dan bahkan terkadang melebihi 1 cm<sup>3</sup>/gram. Luas permukaan internal karbon aktif yang telah diteliti umumnya lebih besar dari 500 m<sup>2</sup>/gram dan bisa mencapai 1908 m<sup>2</sup>/gram.

Pada proses adsorpsi oleh karbon aktif, molekul gas atau cair akan diikat secara fisik pada permukaan karbon aktif. Proses adsorpsinya melalui tiga tahapan seperti terlihat pada Gambar 2.5, yaitu:



**Gambar 2.5.** tahapan proses adsorpsi ( Pujiyanto, 2010)

Aplikasi penggunaan karbon aktif termodifikasi banyak digunakan pada industri-industri saat ini, dikarenakan karbon aktif memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan adsorben berpori lainnya, terutama zeolit, seperti (Walker, 1966) :

- a. Karbon aktif dapat digunakan pada temperature di atas 700 °C, dan ada beberapa yang stabil di atas 1400 °C.
- b. Karbon aktif cukup stabil bila ditambahkan asam, dimana zeolit akan menjadi tidak stabil apabila pH medium menjadi asam.
- c. Karbon aktif memiliki sifat hidrofobik (tidak suka air), sehingga tidak perlu adanya treatment pemanasan. Jadi karbon aktif akan lebih efisien daripada zeolit yang perlu diuapkan kandungannya.

#### 2.4.1 Kegunaan Karbon Aktif

Karbon aktif digunakan dalam pemurnian gas, pemurnian emas, ekstraksi logam, air, obat-obatan, perawatan saluran pembuangan, filter udara di masker gas dan masker penyaring, penyaring di kompresi udara, dan banyak aplikasi lainnya. Salah satu aplikasi utama di industry yang melibatkan penggunaan karbon aktif di bidang metal finishing (Septi, 2008).

Beberapa kegunaan karbon aktif dalam industry, dapat dilihat pada Tabel 2.8 sebagai berikut :

**Tabel 2.8.** Kegunaan karbon aktif dalam skala industry ( Susanti, 2007)

No	Maksud / Tujuan	Kegunaan
<b>I. Adsorbat gas</b>		
1	Pemurnian Gas	Desulfurisasi, menghilangkan gas beracun, bau busuk, asap
2	Katalisator	Reaksi katalisator, pengangkut vinil klorida dan vinil asetat
3	Lain-lain	Menghilangkan bau dalam kamar berpendingin dan mobil
<b>II. Adsorbat Cair</b>		
1	Industri obat dan makanan	Menyaring dan menghilangkan warna, bau, dan rasa
2	Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah dan zat perantara
3	Pengolahan air buangan	Membersihkan air buangan dari pencemaran, warna, bau, dan logam berat
4	Penambakan budidaya udang	Menghilangkan bau ammonia, phenol, H <sub>2</sub> S, mangan, FeCl <sub>3</sub> , nitrit, logam berat dan warna
<b>III. Lain-lain</b>		
1	Pengolahan pupuk	Pemurnian, penghilangan bau, gas beracun, dan kekeruhan
2	Pengolahan emas	Pemurnian
3	Penyaringan minyak makanan dan glukosa	Menghilangkan bau, warna, rasa tidak enak, dan memudahkan proses

#### 2.4.2 Jenis Karbon Aktif

Jenis-jenis karbon aktif dapat dibedakan berdasarkan atas fasa zat yang diadsorpsi oleh karbon aktif, yaitu yaitu arang aktif sebagai pemucat dan arang aktif sebagai penyerap uap.

1. Arang aktif sebagai pemucat.

Biasanya berbentuk serbuk yang sangat halus dengan diameter pori mencapai 1000 Å<sup>0</sup> yang digunakan dalam fase cair. Umumnya berfungsi untuk

memindahkan zat-zat pengganggu yang menyebabkan warna dan bau yang tidak diharapkan dan membebaskan pelarut dari zat – zat pengganggu dan kegunaan yang lainnya pada industri kimia dan industri baru. Arang aktif ini diperoleh dari serbuk – serbuk gergaji, ampas pembuatan kertas atau dari bahan baku yang mempunyai densitas kecil dan mempunyai struktur yang lemah.

## 2. Arang aktif sebagai penyerap uap.

Biasanya berbentuk granula atau pellet yang sangat keras dengan diameter pori berkisar antara 10-200 Å<sup>0</sup>. Tipe porinya lebih halus dan digunakan dalam fase gas yang berfungsi untuk memperoleh kembali pelarut atau katalis pada pemisahan dan pemurnian gas. Umumnya arang ini dapat diperoleh dari tempurung kelapa, tulang, batu bata atau bahan baku yang mempunyai struktur keras.

berdasarkan proses oksidasi karbon aktif yang dihasilkan terdiri dari dua jenis, yaitu :

### 1. L-karbon (L-AC)

Karbon aktif yang dibuat dengan oksidasi pada suhu 300°C – 400°C (570°-750°F) dengan menggunakan udara atau oksidasi kimia. L-AC sangat cocok dalam mengadsorpsi ion terlarut dari logam berat basa seperti Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>. Karakter permukaannya yang bersifat asam akan berinteraksi dengan logam basa. Regenerasi dari L-AC dapat dilakukan menggunakan asam atau garam seperti NaCl yang hampir sama perlakuannya pada pertukaran ion.

### 2. H-karbon (H-AC)

Karbon aktif yang dihasilkan dari proses pemasakan pada suhu 800°-1000°C (1470°-1830°F) kemudian didinginkan pada atmosfer inersial. H-AC memiliki permukaan yang bersifat basa sehingga tidak efektif dalam mengadsorpsi logam berat alkali pada suatu larutan air tetapi sangat lebih efisien dalam mengadsorpsi kimia organik, partikulat hidrofobik, dan senyawa kimia yang mempunyai kelarutan yang rendah dalam air. Akan tetapi H-AC dapat dimodifikasi dengan menaikkan angka asiditas. Permukaan yang netral akan mengakibatkan tidak efektifnya dalam mereduksi dan mengadsorpsi kimia



organik sehingga efektif mengadsorpsi ion logam berat dengan kompleks khelat zat organik alami maupun sintetik dengan menetralkannya.

### **2.4.3 Pembuatan Karbon aktif**

Di negara tropis masih dijumpai arang yang dihasilkan secara tradisional yaitu dengan menggunakan drum atau lubang dalam tanah, dengan tahap pengolahan sebagai berikut: bahan yang akan dibakar dimasukkan dalam lubang atau drum yang terbuat dari plat besi. Kemudian dinyalakan sehingga bahan baku tersebut terbakar, pada saat pembakaran, drum atau lubang ditutup sehingga hanya ventilasi yang dibiarkan terbuka. Ini bertujuan sebagai jalan keluarnya asap. Ketika asap yang keluar berwarna kebiru-biruan, ventilasi ditutup dan dibiarkan selama kurang lebih kurang 8 jam atau satu malam. Dengan hati-hati lubang atau dibuka dan dicek apakah masih ada bara yang menyala. Jika masih ada yang atau drum ditutup kembali. Tidak dibenarkan menggunakan air untuk mematikan bara yang sedang menyala, karena dapat menurunkan kualitas arang. Akan tetapi secara umum proses pembuatan arang aktif dapat dibagi tiga yaitu:

1. Dehidrasi
2. Karbonisasi
3. Aktivasi

Secara umum, proses pembuatan karbon aktif terdiri dari proses karbonisasi pirolitik bahan dasar serta proses aktivasi. Selama proses karbonisasi, komponen yang mudah menguap akan terlepas dan karbon mulai membentuk struktur pori-pori dimana proses pembentukan pori-pori ini akan ditingkatkan pada proses aktivasi. Pada proses aktivasi, terjadi pembukaan pori-pori yang masih tertutup dan peningkatan ukuran dari pori-pori kecil yang telah terbentuk (Sontheimer, 1985).

#### **2.4.3.1 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  $\pm 170^{\circ}\text{C}$  sampai diperoleh bobot konstan. Dalam beberapa

kasus, seng klorida ataupun asam fosfat dapat digunakan sebagai dehydrating agent

#### 2.4.3.2 Karbonisasi

Karbonisasi merupakan proses pirolisis (pembakaran) tak sempurna dari bahan dasar yang digunakan dan suhu karbonisasi tergantung dari bahan dasarnya. Biasanya karbonisasi akan reaktif antara suhu 300-800°C. Jika suhunya lebih rendah dari batas minimal ( $< 300^{\circ}\text{C}$ ) maka pembentukan arang dibatasi atau proses pengarangan tidak maksimal sedangkan bila suhunya lebih tinggi dari batas maksimum ( $> 800^{\circ}\text{C}$ ) maka akan terjadi perubahan bentuk internal dimana struktur porous akhir mungkin akan berlanjut menjadi kristal.

Tujuan utama dari proses karbonisasi adalah:

1. Dekomposisi material dan memaksa hilangnya sebagian bahan pengotor, misal tar dan methanol.
2. Mengembangkan bahan baku granular sehingga terbentuk porositas dan bahan karbon padat.
3. Menghilangkan substansi volatil yang mengisi pori-pori material dan hasilnya disebut arang (*Char*).
4. Untuk menghasilkan butiran yang mempunyai daya serap dan struktur yang rapi.

Hasil proses karbonisasi akan mempunyai sifat-sifat yang ditentukan oleh kondisi dan bahan dasarnya. Beberapa parameter yang umumnya digunakan di dalam penentuan kondisi terbaik pada tahapan karbonisasi yaitu temperatur akhir, waktu/lama karbonisasi, dan laju peningkatan temperatur (Jankowska, 1991 dalam Astagina, 2006).

Adapun rongga pori yang terbentuk selama proses karbonisasi ini relatif masih kecil daya adsopsinya, karena masih terdapatnya residu yang menutupi sebagian besar rongga porinya.

Temperatur akhir yang dicapai pada tahap akhir dari proses karbonisasi ditentukan pula oleh banyaknya bahan baku yang akan dikarbonisasi serta energi yang diperlukan untuk memutuskan ikatan kimia dan dapat memindahkan bahan volatil hasil dekomposisi thermal dari bahan bakunya. Proses karbonisasi dapat

menghasilkan tiga komponen pokok, yaitu berupa karbon/arang, tir/cairan, dan gas yang berupa CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> (Fengel dan Wegener, 1995 dalam Jelita, 2000). Hasil tersebut mempunyai struktur karbon yang padat/tersusun rapat jika dibandingkan dengan struktur karbon pada bahan baku semula. Oleh karena itu terdapat dua perbedaan mengenai waktu tinggal bahan baku, yaitu:

1. Pada temperatur rendah, reaksi dekomposisi thermal pada bahan baku.
2. Pada temperatur tinggi, terjadi transformasi pada bagian internal dimana terbentuknya struktur pori.

Pada kasus pertama proses dekomposisi thermal berlangsung sangat lambat pada material karbon yang berlangsung setiap waktu. Hal ini akan menyebabkan terhambatnya proses dekomposisi.

Sedangkan pada kasus kedua dimana dengan adanya temperatur yang tinggi dapat terjadi adanya suatu struktur internal dalam material karbon. Selama proses karbonisasi berlangsung terjadi penurunan volume pada pori-pori yang kecil. Oleh karena itu kondisi reaktifitas dipertahankan agar tidak terlalu tinggi sehingga akan dicapai temperatur akhir yang paling baik dari proses karbonisasi.

Pada temperatur akhir proses menunjukkan adanya pengaruh yang lebih besar terhadap sifat dari butiran. Sedangkan reaktifitas hasil karbonisasi yang didapatkan setelah pembakaran (*pirolisis*) pada temperatur 300°C lebih rendah bila dibandingkan dengan temperatur 600°C. Penurunan reaktifitas ini sebanding dengan penurunan jumlah karbonnya.

Pembentukan sebagian besar bahan volatil terjadi dalam waktu yang singkat seiring dengan kenaikan temperatur yang cepat. Hasilnya berupa pori yang berukuran lebih besar serta reaktifitas hasil karbonisasinya lebih besar dari pada hasil yang dipanaskan dengan laju yang lebih lambat.

Adapun rongga pori yang terbentuk selama proses karbonisasi ini relatif masih kecil daya adsorpsinya, karena masih terdapat residu yang menutupi sebagian besar rongga porinya.

#### **2.4.3.3 Aktivasi**

Proses aktivasi bertujuan untuk membuka pori-pori yang tertutup serta terbentuknya pori-pori baru sehingga terbentuk karbon aktif dengan daya serap

yang tinggi. Proses ini dilakukan dengan cara pemanasan pada temperatur 750-950°C dengan mencampurkan CO<sub>2</sub> udara dan uap pada tekanan terkontrol atau menambahkan bahan kimia tertentu seperti ZnCl<sub>2</sub> (Seng Klorida), CaCl<sub>2</sub> (Kalsium Klorida), MgCl<sub>2</sub> (Magnesium Klorida), NaOH (Natrium Hidroksida), Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Natrium Karbonat), NaCl (Natrium Klorida), dan K<sub>2</sub>S (Potasium Sulfida), serta H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (Asam Pospat).

### 1. Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia adalah proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia (Sembiring, 2003). Metode ini dilakukan dengan cara merendam bahan baku pada bahan kimia (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>S, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) dan diaduk dalam jangka waktu tertentu, kemudian dicuci dengan akuades selanjutnya dikeringkan. Proses ini bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengganggu dan menata kembali letak atom yang dapat dipertukarkan.

Pengaruh aktivasi pada beberapa adsorben, antara lain: Penelitian Teng (1999) ini, tentang aktivasi batubara jenis bituminus dengan KOH. Pada penelitian ini batu bara diaktivasi dengan KOH, menggunakan rasio KOH banding massa batubara sebesar 4,25 : 1. Suhu aktivasi sebesar 800 °C selama 2 jam. Penelitian ini menghasilkan luas permukaan sebesar 3000 m<sup>2</sup>/g. Hal tersebut menunjukkan bahwa batubara yang telah diaktivasi dengan KOH, menghasilkan luas permukaan yang sangat besar, sehingga nantinya akan mempengaruhi daya serap dari batubara tersebut.

Penelitian Sabaruddin, A (1996), mengemukakan bahwa arang tempurung kelapa yang diaktivasi dengan variasi konsentrasi NaCl (15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, dan 40 %) dan variasi temperatur (350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C dan 600 °C), menghasilkan konsentrasi NaCl terbaik adalah pada konsentrasi NaCl 30 %, dengan karakteristik angka iodin sebesar 302,840 mg/g; berat jenis sebesar 1,1801 g/mL; kadar abu sebesar 0,8816 %, kadar air sebesar 1,1305 % dan kehilangan berat karbon sebesar 14,22%, sedangkan temperatur aktivasi terbaik adalah pada temperatur 500 °C, dengan karakteristik angka iodin sebesar

276,507 mg/g; berat jenis sebesar 1,2224 g/mL; kadar abu sebesar 0,7532 %, kadar air sebesar 1,5990 % dan kehilangan berat karbon sebesar 14,00 %.

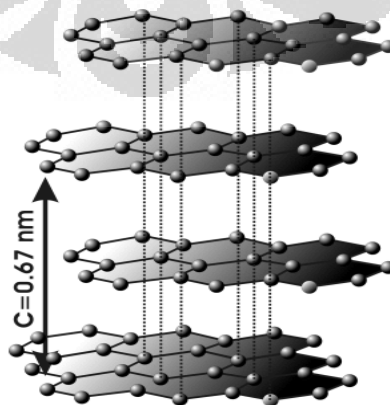
## 2. Aktivasi Fisika

Aktivasi fisika adalah proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO<sub>2</sub>. Pemanasan ini bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori karbon aktif sehingga luas permukaan karbon aktif bertambah besar. Karbon dipanaskan di dalam furnace pada temperatur 800-900°C. Oksidasi dengan udara pada temperatur rendah, merupakan reaksi eksoterm sehingga sulit untuk mengontrolnya. Pemanasan dengan uap atau CO<sub>2</sub> pada temperatur tinggi merupakan reaksi endoterm, sehingga lebih mudah dikontrol dan paling umum digunakan (Sembiring, 2003).

Suhu yang tinggi selama proses karbonisasi dan aktifasi akan mempengaruhi komposisi dan struktur dari material karbon aktif yang terbentuk serta ukuran kristal yang terbentuk.

### 2.4.4 Sifat fisis dan Struktur kimia Karbon Aktif

Karbon aktif mempunyai bentuk yang amorf yang terdiri dari pelat-pelat datar di mana atom-atom karbonnya tersusun dan terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal. Hal tersebut telah dibuktikan dengan penelitian menggunakan sinar-X yang menunjukkan adanya bentuk-bentuk kristalin yang sangat kecil dengan struktur grafit (Gambar 2.6).

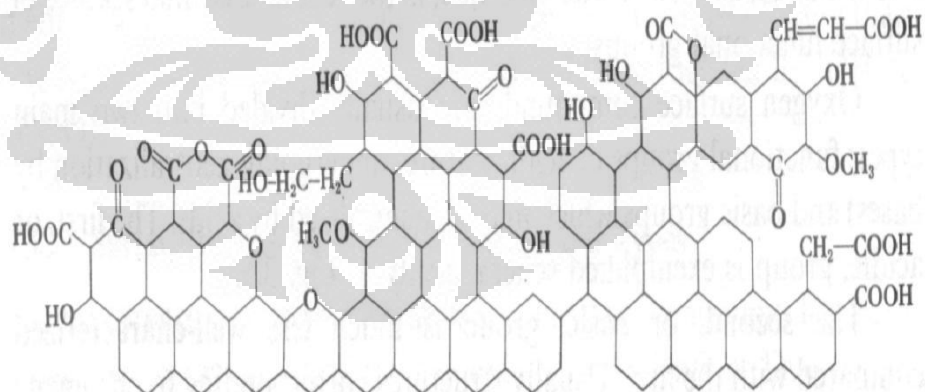


**Gambar 2.6** Struktur Fisik Karbon Aktif (Sontheimer, 1985)

Daerah kristalin memiliki ketebalan 0,7-1,1 nm, jauh lebih kecil dari grafit. Hal ini menunjukkan adanya 3 atau 4 lapisan atom karbon dengan kurang lebih terisi 20-30 heksagon di tiap lapisannya. Rongga antara kristal-kristal karbon diisi oleh karbon-karbon amorf yang berikatan secara tiga dimensi dengan atom-atom lainnya terutama oksigen. Susunan karbon yang tidak teratur ini diselingi oleh retakan-retakan dan celah yang disebut pori dan kebanyakan berbentuk silindris.

Selain mengandung karbon, karbon aktif juga mengandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang secara kimiawi terikat dalam berbagai gugus fungsi seperti karbonil, karboksil, fenol, lakton, quinon, dan gugus-gugus eter. Oksidaoksida permukaan tersebut seringkali berasal dari bahan bakunya, atau dapat pula terbentuk akibat reaksi dengan udara maupun uap air. Oksida-oksida tersebut biasanya bersifat asam sehingga menurun ke karbon aktifnya.

Gugus fungsional dibentuk selama proses aktivasi oleh interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Gugus fungsional ini membuat permukaan karbon aktif reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorbsinya. Ilustrasi struktur kimia karbon aktif dengan gugus fungsionalnya dapat dilihat pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.7** Struktur Kimia Karbon Aktif (Sudibandriyo, 2003)

## 2.5 Sumber-Sumber Karbon Aktif

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan dasar yang mengandung karbon. Yang biasa dipakai sebagai bahan dasar karbon aktif antara lain batu bara, tempurung kelapa, tempurung kelapa sawit, *petrol coke*, limbah

pinus, dan kayu (Pujiyanto, 2010). Bahan dasar yang digunakan memberikan pengaruh terhadap struktur permukaan besar dari karbon aktif yang dapat dilihat dari *Scanning Electron Micrographs (SEM)*. 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

Penelitian Anthonyus (2008), mengemukakan mengenai pembuatan karbon aktif dengan menggunakan batubara dengan *activating agent* gas CO<sub>2</sub> dengan laju alir 80 ml/min dan pada suhu 950 °C. Proses aktivasi tersebut dilakukan dengan variasi waktu aktivasi sebesar 1, 3, dan 6 jam. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 2.9** hasil uji aktivasi arang aktif

Karbon Aktif	Lama karbonisasi /oksidasi (menit)	Lama aktivasi (menit)	Massa (gram)	Luas permukaan (m <sup>2</sup> /g)
SSC-6	180 (T=300 °C)	60 (T=950 °C)	50	64,23
A5	60 (T=900 °C)	180 (T=950 °C)	150	147
A4	60 (T=900 °C)	150 (T=950 °C)	150	76

Penelitian lainnya yaitu oleh pujiyanto (2010), mengemukakan mengenai pembuatan karbon aktif dari batubara dan tempurung kelapa, diaktivasi dengan *potassium hydroxide (KOH)*. Kedua bahan tersebut dikarbonasi pada suhu 400 °C kemudian diaktivasi dengan rasio KOH/massa bahan sebesar 3/1 dan 4/1 dan dilanjutkan dengan pemanasan dengan interval suhu 700-900 °C dan dialiri gas N<sub>2</sub>. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini, ditunjukkan pada tabel sebagai berikut.

**Tabel 2.10** hasil pengujian luas permukaan dan % yield

Bahan Baku	Perbandingan KOH/Bahan Baku	Temperatur ( °C )	% yield Karbon Aktif	Surface area (m <sup>2</sup> /g)
Arang Tempurung Kelapa	3 : 1	700	33,73	247
		800	34,84	74
		900	29,46	31
	4 : 1	700	27,50	684
		800	53,79	492
		900	50,60	452
Batu Bara	3 : 1	700	24,95	117
		800	32,78	492
		900	28,45	567
	4 : 1	700	32,32	631
		800	42,42	850
		900	12,78	1882

Berdasarkan penelitian-penelitian yang dijelaskan secara singkat di atas, dapat dilihat bahwa pada penelitian yang dilakukan oleh Anthonyus (2008), kondisi optimum diberikan pada kondisi suhu karbonasi sebesar 600 °C selama 60 menit, dan pada kondisi aktivasi temperature menunjukkan suhu 950 °C dan dilakukan selama 3 jam. Semakin besar massa batubara, semakin besar pula luas permukaan arang aktif. sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Pujiyanto (2010), menunjukkan bahwa kondisi optimum diberikan ketika perbandingan KOH / massa batubara atau tempurung kelapa sebesar 4 : 1 pada suhu pemanasan 900 °C. Perkembangan penelitian untuk meningkatkan daya adsorpsi karbon aktif dalam skala laboratorium dapat dilihat pada Tabel 2.11.

**Tabel 2.11** Perkembangan Penelitian Pembuatan Karbon Aktif

No	Nama jurnal	Proses	Hasil
1	<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 <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> pada temperatur <i>maximum heat treatment</i> .	Hasil yang terbaik adalah 658 m <sup>2</sup> /g



**Tabel 2.11** Perkembangan Penelitian Pembuatan Karbon Aktif ( Lanjutan )

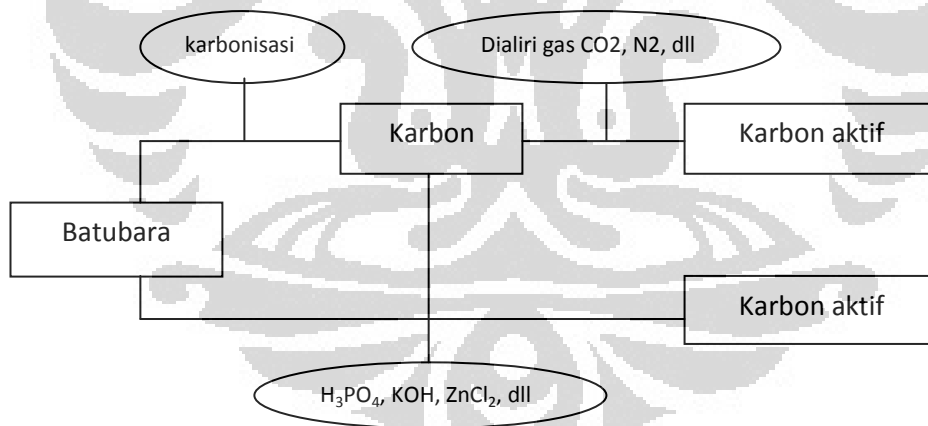
2	<i>Production of Activated Carbon from Palm-oil shell by pyrolysis and steam activation in a fixed bed reactor</i> [Vitidsant, 1999]	Pirolisis bahan baku dengan laju alir udara 0.72 ml/min selama 30 menit dengan menggunakan steam dengan temperatur 750 <sup>0</sup> C selama 3 jam	<i>Surface area</i> = 669.75 m <sup>2</sup> /g
3	<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 <sub>2</sub> (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°C selama 1 jam mendapat surface area = 3000 m <sup>2</sup> /g
4	<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 <sub>2</sub> 4 l/min dengan temperature bervariasi dari 725 sampai 800 <sup>0</sup> C selama 1 jam	Volume mikropori = 0.678 cm <sup>3</sup> /g, <i>Surface area</i> = 1908 m <sup>2</sup> /g
5	<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	<i>Surface area</i> adalah 470 m <sup>2</sup> /g
6	<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 50C/min sampai 7600°C. Dengan dialiri N <sub>2</sub> ,CO <sub>2</sub> dan Steam (laju steam adalah 40,100 dan 500 ml/min)	Hasil paling baik : dialiri N <sub>2</sub> 500 ml/min= 2193 m <sup>2</sup> /g Hasil plg jelek : dialiri CO <sub>2</sub> =36 m <sup>2</sup> /g
7	<i>Activated Carbon from Bamboo - Technology Development towards Commercialisation</i> [Baksi,2006]	Dicampur asam fosfat (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ), Zinc Klorid (ZnCl <sub>2</sub> ) di <i>fluidised bed reactor</i> pada 900- 1100°C dengan adanya steam atau CO <sub>2</sub> .	<i>Surface area</i> rata-rata adalah 1250 m <sup>2</sup> /g

Bahan baku yang dipakai meliputi batubara dan kayu pinus (Teng, 1999; Garcia, 2002; Lillo, 2003). Selanjutnya juga dijelaskan bahwa aktivasi dengan menggunakan KOH dengan tanpa kehadiran gas oksigen akan mengontrol reaksi pembakaran karbon melalui mekanisme sebagai berikut:



Pada proses tersebut, karbon bereaksi dengan *oxidizing agent* dan menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi pada permukaan karbon. *Amorphous carbon* yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan sebagai hasilnya *closed pore* akan terbuka. Selanjutnya reaksi akan berlanjut dengan mengikis dinding karbon untuk membentuk pori-pori baru.

Gambar 2.8 menunjukkan mekanisme proses pembentukan batubara menjadi karbon aktif. Terdapat dua metode yang digunakan, metode aktivasi dan karbonisasi.



**Gambar 2.8** mekanisme proses pembentukan batubara menjadi karbon aktif (Hendra, 2008)

Tempurung kelapa memiliki beberapa alasan untuk digunakan sebagai bahan dasar karbon aktif antara lain karena kandungan karbonnya yang sangat banyak serta kemudahan bahan tersebut untuk didapatkan secara komersial sehingga sering disebutkan bahwa tempurung kelapa merupakan bahan dasar yang

paling cocok untuk karbon aktif. Tempurung kelapa mengandung material lignoselulosis. Tempurung kelapa terdiri dari 62 % selulosa dan hemiselulosa yang merupakan polimer linear dari glukosa serta mengandung 35 % lignin yang merupakan polimer 3 dimensi dari alkohol aromatik. Sementara itu sisa kandungan tempurung kelapa sebesar 3 % merupakan zat intraselular (McKay dan Roberts, 1982).

Sedangkan Batu bara yang akan digunakan adalah batu bara Ombilin. Dimana batu bara tersebut merupakan batu bara jenis *bituminous* yang mempunyai kadar karbonnya cukup tinggi, dapat dilihat pada Tabel 2.12 (Megasari *et al*, 2008). Selain itu batu bara ini merupakan batu bara sejenis yang digunakan oleh Teng yaitu batu bara *bituminous* Australia yang menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan 3000 m<sup>2</sup>/g. Untuk komposisi yaitu batu bara *bituminous* dapat dilihat pada Tabel 2.13. Dengan melihat data tersebut maka batu bara *bituminous* ombilin dapat dijadikan kandidat untuk menghasilkan sebagai karbon aktif super.

**Tabel 2.12** Komposisi Batu Bara *Bituminous* di Indonesia (Megasari *et al*,2008)

<b>Komposisi</b>	<b>Persen (%) berat (Batu Bara Kering)</b>
Karbon	78
Oksigen	5
Hidrogen	4,3
Nitrogen	1
Sulfur	0,8
Kandungan air	5,2
Lain-lain : Abu (Ash)	5,7

**Tabel 2.13** Komposisi Batu Bara *Bituminous* Australia (Teng, 1999)

<b>Komposisi</b>	<b>Persen (%) berat (Batu Bara Kering)</b>
Karbon	83,2
Oksigen	7,4
Hidrogen	5,1
Nitrogen	3,7
Sulfur	0,6
Kandungan air	2,7
Lain-lain : Abu (Ash)	8,9

## 2.6 TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub> termasuk salah satu jenis oksida logam yang merupakan semikonduktor. Diantara sekian banyak jenis semikonduktor, TiO<sub>2</sub> memegang peranan utama karena berbagai kelebihan sifat-sifat kimia fisiknya seperti struktur kristalnya berpori, memiliki luas permukaan yang cukup besar, memiliki stabilitas termal yang tinggi, dan tidak beracun. Secara komersil, TiO<sub>2</sub> juga memiliki kelebihan dibandingkan dengan semikonduktor 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 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang daya oksidasinya lemah.

Ada tiga jenis struktur kristal TiO<sub>2</sub> yaitu *anatase*, *rutile*, dan *brookite*. Kristal-kristal ini terkadang memiliki pengotor seperti besi, kromium, ataupun vanadium dalam jumlah yang kecil (Othmer, 1997). *Anatase* merupakan bentuk alotrofik 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 menyebabkan luas permukaan yang tinggi untuk adsorpsi dan katalisis.

## BAB 3

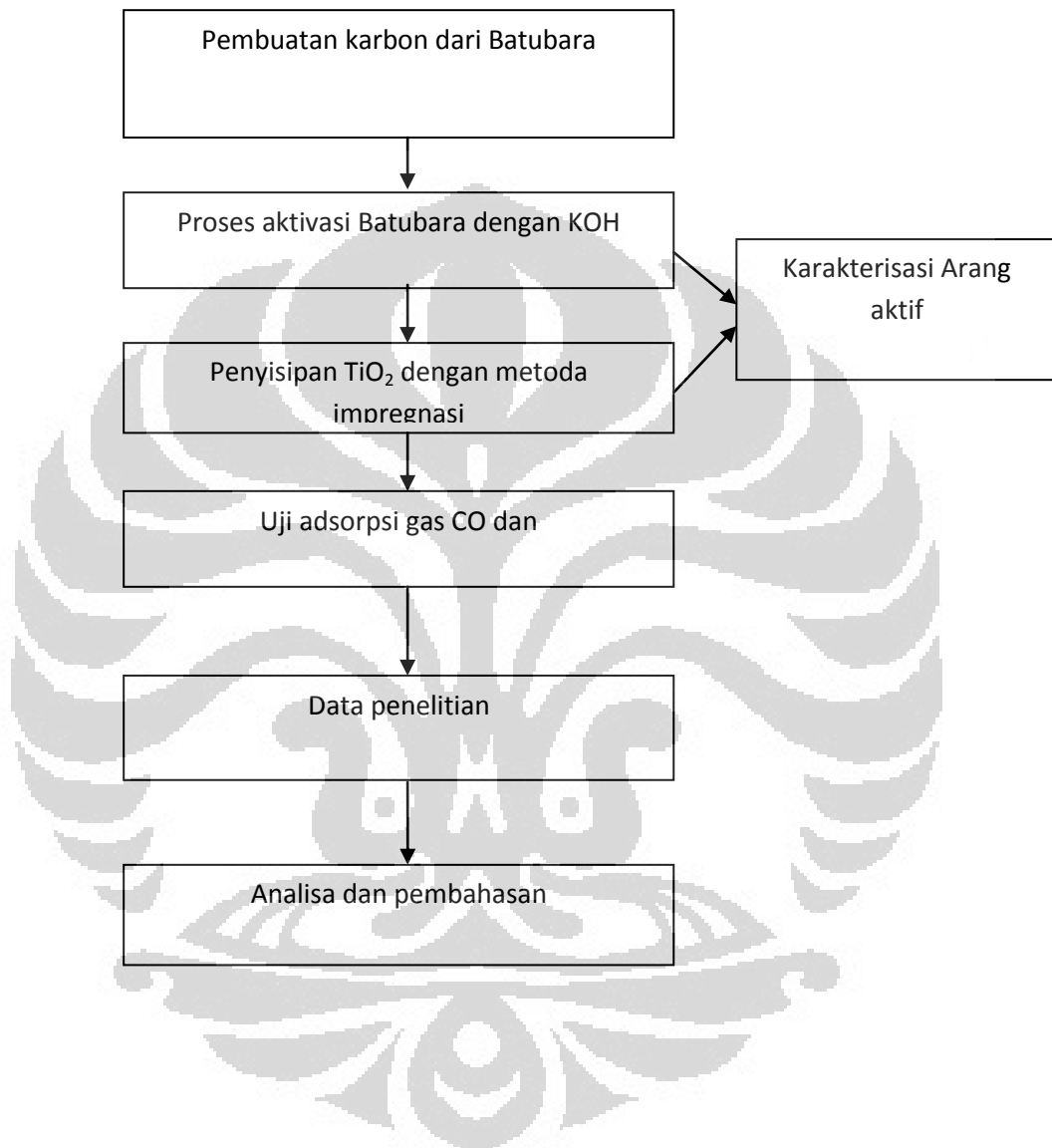
### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Alam (RPKA) dan kimia Dasar. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, yang terdiri dari 2 tahap yaitu:

1. Preparasi adsorben
2. Uji adsorpsi adsorben

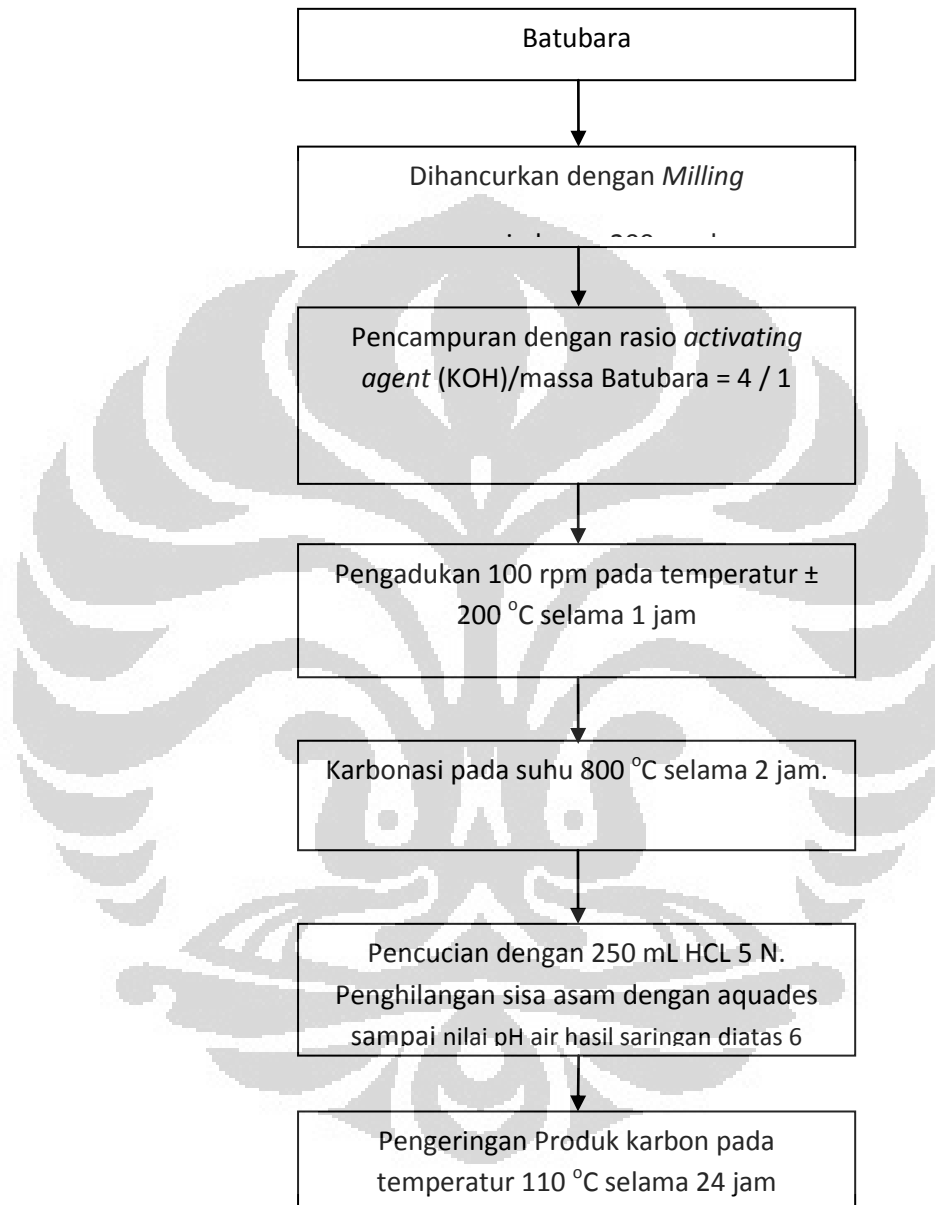
Hal yang dilakukan pertama kali adalah pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa. Selama proses pembuatan karbon aktif terjadi proses karbonisasi. Menurut Astuti (1990) dijelaskan bahwa secara umum proses karbonisasi sempurna adalah pemanasan bahan baku tanpa adanya udara sampai temperatur yang cukup tinggi untuk mengeringkan dan menguapkan senyawa dalam karbon. Arang yang berasal dari tempurung kelapa selanjutnya diaktivasi dengan menggunakan *Potassium Hydroxide* (KOH). Arang aktif yang telah diaktivasi selanjutnya dipanaskan pada 800 °C selama 2 jam. Arang yang sudah diaktivasi oleh KOH, siap untuk memasuki tahap penyisipan TiO<sub>2</sub> dengan metoda impregnasi.

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian secara umum

### 3.1.1. Diagram Alir Pembuatan dan Aktivasi Karbon Aktif dengan KOH



**Gambar 3.2** Diagram alir Pembuatan dan Aktivasi Arang Aktif (Pujiyanto, 2010)

### 3.2. Peralatan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi alat untuk pembuatan arang aktif termodifikasi KOH, alat untuk uji kinerja Karbon Aktif termodifikasi KOH, alat untuk karakterisasi Karbon Aktif termodifikasi KOH dan alat untuk analisa sampel.

#### 3.2.1. Pembuatan dan Aktivasi Karbon Aktif

1. Mortar
2. Ayakan
3. Labu erlenmeyer 250 ml
4. *Hot plate*
5. Kertas saring
6. Corong Buncher
7. Pompa Vakum
8. Labu ukur 1000mL, 100mL, 25mL
9. Botol via 10 mL
10. Spektrofotometer Serapan Atom
11. Drum minyak tanah
12. Minyak tanah

#### 3.2.2. Alat Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif

1. BET : Gemini V2.00 pada PT. INDOLISAT
2. XRF pada Universitas Sebelas Maret, Fakultas Matematika dan ilmu pengetahuan alam.

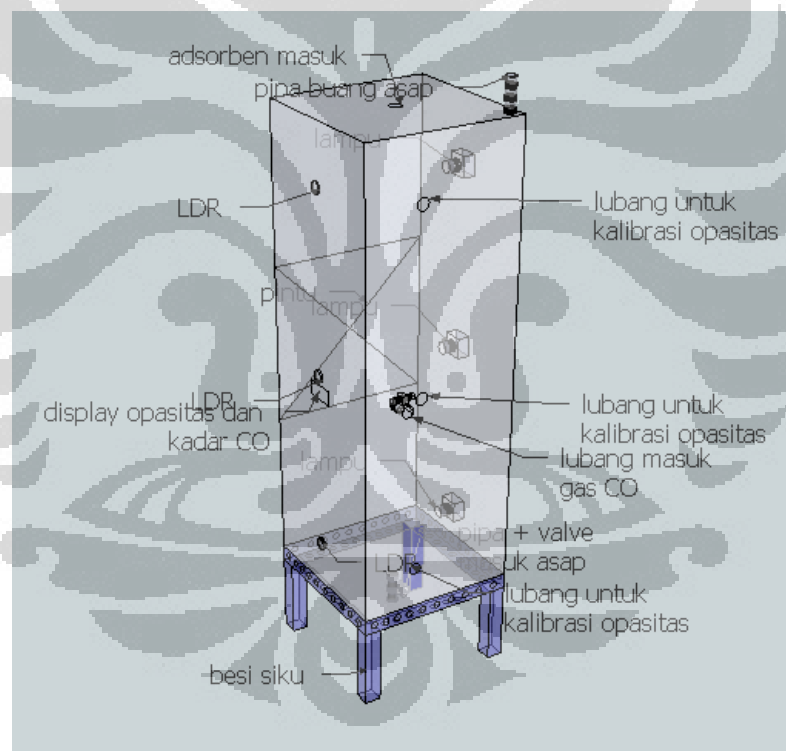
#### 3.2.3. Alat Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran

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



### 6. Opasitimeter tipe *Light Measurement System for Testing Smoke Development*

Ruang uji kinerja adsorben Arang Aktif termodifikasi KOH 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 3.3.** Skema Ruang Uji (Reza, 2011)

### 3.3. Bahan-Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi bahan untuk preparasi awal karbon aktif, bahan preparasi  $\text{TiO}_2$ , bahan uji kinerja karbon aktif termodifikasi  $\text{TiO}_2$  dan bahan analisa sampel.

### 3.3.1. Bahan Preparasi dan Aktivasi Karbon Aktif

Bahan-bahan yang digunakan untuk treatment awal Karbon Aktif adalah:

1. Batubara
2. KOH 65% (*Potassium Hydroxide*)
3. Gas Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) *High Purity (99,995%)*
4. HCl (*hydrochloric Acid*)
5. Demineralized water

### 3.3.2. Bahan-bahan Preparasi TiO<sub>2</sub>

Pada penelitian ini dilakukan preparasi TiO<sub>2</sub> dengan prosedurnya yaitu :

1. Serbuk TiO<sub>2</sub> komersial Degussa P-25 (79,23% anatase, 20,77% rutile)
2. Demineralized water
3. Karbon aktif

### 3.3.3. 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 Arang Aktif termodifikasi TiO<sub>2</sub>.
2. Serbuk kayu, kertas, dan potongan kabel
3. Minyak tanah
4. Lap
5. *Stopwatch*

### 3.4. Variabel Penelitian

Variasi ini dilakukan untuk mendapatkan ukuran dan massa adsorben karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi TiO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> yang disemprotkan pada asap kebakaran yaitu 1 g dan 3 g, dengan ukuran partikel 250 mikron dan 200 mesh.

### 3.5. Prosedur Penelitian

#### 3.5.1. 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 dengan adsorben karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi  $\text{TiO}_2$ .

##### a. Uji Adsorpsi dengan karbon aktif

1. Membakar bahan dan memasukkan asapnya ke dalam ruang uji. Memompa asap sampai opasitas dalam ruang uji 0 atau asap jenuh dalam ruang uji.
2. Mencatat nilai opasitas dan konsentrasi CO awal.
3. Menyemprotkan adsorben karbon aktif pada bagian atas ruang uji.
4. Mencatat nilai opasitas tiap menit sampai didapat nilai  $t_{10}$  dan konsentrasi CO tiap menit selama 20 menit

##### b. Uji Adsorpsi dengan karbon aktif termodifikasi $\text{TiO}_2$ .

1. Membakar bahan dan memasukkan asapnya ke dalam ruang uji. Memompa asap sampai opasitas dalam ruang uji atau asap jenuh dalam ruang uji.
2. Mencatat nilai opasitas dan konsentrasi CO awal.
3. Menyemprotkan adsorben karbon aktif termodifikasi  $\text{TiO}_2$  pada bagian atas ruang uji.
4. Mencatat nilai opasitas tiap menit sampai didapat nilai  $t_{10}$  dan konsentrasi CO tiap menit selama 20 menit.
5. Mengeluarkan asap dan membersihkan ruang uji.
6. Melakukan hal yang sama untuk variasi massa adsorben.

### c. Prosedur Pembuatan Asap

1. Memasukkan bahan yang akan dibakar dengan jumlah sesuai *point* 3.3.3 ke dalam wadah pembakaran.
2. Membakar bahan selama 2 menit lalu menutup wadah pembakaran.
3. Memasukkan selang yang berada pada bagian atas wadah pembakaran ke dalam bagian samping ruang uji.
4. Memompa asap pembakaran selama 5 menit dan sampai opasitas dalam ruang uji 0 atau asap jenuh.
5. Menutup *valve* dan mengeluarkan selang dari ruang uji.

### 3.5.2 Pelapisan TiO<sub>2</sub> ke support Karbon Aktif

1. Sejumlah TiO<sub>2</sub> Degussa P-25 dilarutkan dalam 100 ml air demin dan diaduk secara sonikasi selama 10 menit.
2. Larutan TiO<sub>2</sub> karbon yang telah diaktivasi (perbandingan karbon aktif dengan TiO<sub>2</sub> Degussa P-25 adalah 80 : 20) dan dilanjutkan dengan sonikasi selama 20 menit.
3. Mengevaporasikan campuran karbon aktif-TiO<sub>2</sub> sampai tidak mengandung air.
4. Adsorben yang terbentuk kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* untuk dikalsinasi pada temperatur 100 °C selama 2 jam. Kalsinasi pada temperatur 100 °C dilakukan untuk mendispersikan TiO<sub>2</sub> secara merata pada seluruh permukaan karbon aktif. Adsorben yang telah terbentuk dibiarkan sampai temperaturnya kembali normal, diayak kemudian ditimbang

### 3.5.3 Karakterisasi karbon aktif termodifikasi TiO<sub>2</sub>.

#### 3.5.3.1 Karakterisasi BET

Karakterisasi ini dilakukan untuk perhitungan luas permukaan karbon aktif yang telah diaktivasi dan luas permukaan karbon aktif termodifikasi TiO<sub>2</sub>. Selain itu, karakterisasi BET ini penting untuk melihat pengaruh loading TiO<sub>2</sub> pada karbon aktif terhadap permukaannya. Melalui karakterisasi BET kita juga dapat

mengetahui volume dan diameter pori-pori rata-rata. Karakterisasi ini dilakukan dengan alat *Gemini V2.00* pada PT.INDOLISAT.

### 3.5.3.2 Karakterisasi XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Karakterisasi XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi  $\text{TiO}_2$  sebenarnya pada karbon aktif termodifikasi  $\text{TiO}_2$  yang dibuat. Sampel yang akan dikarakterisasi dilarutkan dalam pelarut hingga konsentrasi tertentu. Kemudian larutan tersebut dianalisa dengan menggunakan alat XRF. Kemudian alat XRF akan mengirimkan sejumlah data kedalam komputer yang berisi grafik peak-peak yang dihasilkan oleh sampel. Setelah itu komputer akan menunjukkan komposisi sampel tersebut

## 3.6. Data Penelitian

Data yang diperoleh adalah:

1. Data luas permukaan karbon yang telah diaktivasi oleh KOH dan karbon aktif termodifikasi  $\text{TiO}_2$  dengan BET.
2. Data komposisi karbon batubara, karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi  $\text{TiO}_2$ .
3. Penurunan opasitas dan nilai  $t_{10}$  tanpa adsorben, dengan adsorben arang aktif, dan dengan adsorben karbon aktif termodifikasi  $\text{TiO}_2$ .
4. Penurunan konsentrasi CO dan % adsorpsi CO dengan Karbon aktif tanpa  $\text{TiO}_2$  dan dengan  $\text{TiO}_2$ .

## 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.

$$\% \text{ Adsorpsi} = \frac{CO_0 - CO_{20}}{CO_0} \cdot 100\%$$

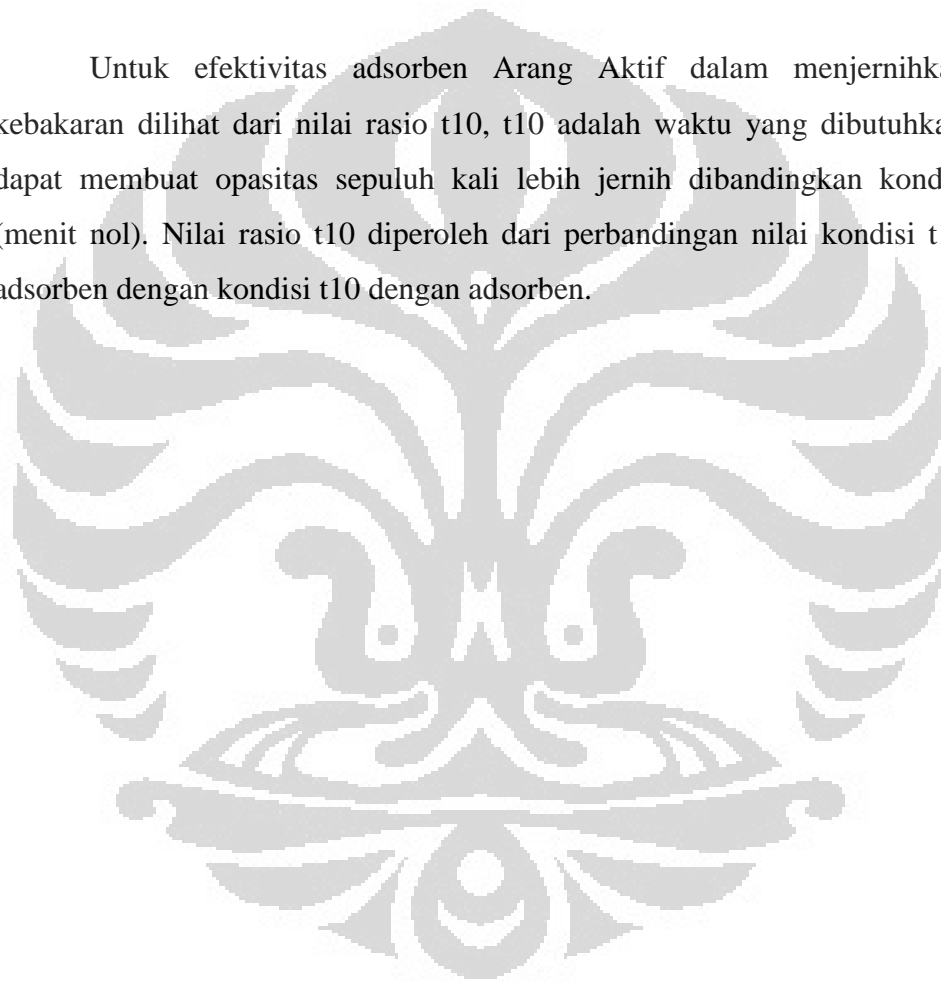
$$\text{Kapasitas Adsorpsi} = \frac{\text{massaCO}}{\text{massa Adsorben}}$$

(3.1)

$CO_0$  = konsentrasi gas CO awal (ppm)

$CO_{20}$  = konsentrasi gas CO pada menit 20

Untuk efektivitas adsorben Arang Aktif 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 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas dan Laboratorium PT Corelab Indonesia. Proses penelitian ini meliputi tahap preparasi karbon aktif dari bahan dasar batubara, tahap aktivasi karbon aktif, tahap pembuatan ruang uji, tahap adsorpsi gas CO, dan tahap penjernihan asap kebakaran. Analisa kandungan karbon aktif menggunakan *X-Ray Florescence* (XRF) serta analisa luas permukaan menggunakan metode analisa BET.

#### 4.1 Preparasi Pembuatan Karbon Aktif

Preparasi pada penelitian ini dimulai dengan preparasi bahan dasar karbon aktif, yaitu dengan penghalusan bahan baku batu bara. Setelah didapatkan bahan dasar yang telah halus kemudian dilakukan pencampuran dengan *activating agent*. Pencampuran ini bertujuan untuk mengimpregnasi sampel dengan KOH sebagai *activating agent*-nya. Setelah didapatkan padatan hasil impregnasi KOH kemudian dilakukan aktivasi pada Reaktor Aktivasi.

Pada proses preparasi awal, batubara dihancurkan hingga 200 mesh. Setelah itu dilanjutkan ke proses aktivasi. Pada Gambar 4.1 menunjukkan preparasi awal bahan dasar karbon aktif dari batu bara yang sudah dihaluskan.



**Gambar 4.1** Arang Batu Bara ukuran 200 mesh sebelum Aktivasi

#### 4.1.1 Preparasi Pencampuran *Activating agent* dengan Bahan Baku Pembuatan Karbon Aktif

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 batu bara dengan *activating agent* yaitu KOH 65 %. Perbandingan *activating agent* dengan bahan dasar karbon aktif adalah 4/1 [Teng, 1999]. Bahan baku hasil preparasi awal dan *activating agent* ditimbang, kemudian dilakukan pencampuran keduanya. Campuran tersebut diaduk dengan stirrer sambil dipanaskan pada suhu 200 °C, setelah 2 jam, campuran tersebut dimasukan ke oven selama 24 jam pada suhu 110 °C. Tujuan dimasukan ke dalam oven adalah untuk menghilangkan kadar air dalam campuran tersebut. Gambar 4.2 menunjukkan contoh hasil akhir padatan arang batu bara yang telah terimpregnasi dengan KOH. Sedangkan persentase penguapan air pada saat terbentuknya padatan campuran antara *activating agent* dengan bahan baku dapat dilihat pada Tabel 4.1.



**Gambar 4.2** Arang Batu Bara sesudah Proses Impregnasi dengan KOH



**Tabel 4.1** Persentase Air Menguap pada Hasil Pencampuran Larutan *Activating agent* dengan Bahan baku Batu Bara

Bahan baku	Berat KOH (gram)	Berat batubara (gram)	Berat larutan KOH (gram)	Berat Bahan Baku + Larutan KOH (gram)	Berat padatan yang terbentuk (gram)	% air yang menguap
Batubara	241,22	61,08	612,34	673,42	210,02	68,80
	241,20	61,06	612,32	673,38	212,0	68,52

Dapat dilihat bahwa pada aktivasi pertama menghasilkan nilai % air menguap sebesar 68,80% sedangkan untuk aktivasi kedua sebesar 68,52 %, terdapat perbedaan persentase air yang menguap setelah proses pemanasan, Perbedaan ini dapat dimungkinkan terjadi karena proses pembentukan padatan yang kurang sempurna pada saat proses pengeringan di dalam *oven*, hal ini diakibatkan sifat KOH yang *higroskopis* atau menarik air sehingga menyebabkan padatan yang terbentuk dalam wadah kurang sempurna atau masih berbentuk *slurry* yang tertinggal dalam wadah.

#### 4.1.2 Aktivasi

Setelah melalui tahap aktivasi kimia dengan menggunakan KOH (*Potassium Hydroxide*), dilanjutkan pada tahap aktivasi fisika dengan menggunakan Reaktor Aktivasi. Proses aktivasi pada karbon aktif dilakukan dengan pemanasan pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen bebas yaitu dengan dialirkan gas  $N_2$  ke dalam *tube* kuarsa 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 800 °C. Nilai temperatur ini mengacu pada hasil Penelitian Teng, dimana hasil optimum pada *activating*

*agent*/bahan baku pada perbandingan 4/1 dengan Temperatur 800 °C yang menggunakan bahan dasar karbon aktif batu bara *bitumenous* Australia.



**Gambar 4.3** Alat Proses Aktivasi pada Pembuatan Karbon Aktif

Tabel 4.2 menggambarkan hasil pengamatan kondisi proses aktivasi sampel pada padatan KOH/arang tempurung kelapa dan padatan KOH/batu bara pada temperatur aktivasi 800 °C dengan rasio *activating agent*/bahan baku sebesar 4/1.

**Tabel 4.2** Kondisi dan Hasil Pengamatan Proses Aktivasi Sampel

Sampel	Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Kondisi dan Hasil Pengamatan Pemanasan
KOH/Batubara (4/1) pada pemanasan 800 °C	0 – 100	15	
	100 – 200	20	Kenaikan secara bertahap
	200 – 300	40	Uap air keluar diikuti asap putih
	300 – 400	30	Asap kecoklatan mulai terlihat diikuti uap air
	400 – 500	10	Asap kecoklatan semakin tebal
	500 – 600	10	Asap sudah mulai hilang
	600 – 800	15	Dilakukan kenaikan secara bertahap untuk mencapai suhu <i>setting</i> 900 °C

**Tabel 4.2** Kondisi dan Hasil Pengamatan Proses Aktivasi Sampel ( lanjut)

Sampel	Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Kondisi dan Hasil Pengamatan Pemanasan
KOH/Batubara (4/1) pada pemanasan 800 °C	800	60	Pemanasan stabil dengan tidak adanya uap air dan asap putih kecoklatan
	800 – 30	360	Dilakukan penurunan Temperatur dengan tetap dialirkan gas N <sub>2</sub> sampai 30 °C
	30		Reaktor dimatikan

Pada proses aktivasi fisika ini, menimbulkan asap kecoklatan pada suhu 300 °C, hal ini dapat terjadi karena batu bara mempunyai kandungan sulfur sehingga memungkinkan adanya gas/uap kecoklatan (Megasari dkk, 2008). Dari Tabel 4.2 juga terindikasikan bahwa pemanasan Temperatur sampai 600 °C sudah tidak menunjukkan asap putih maupun asap kecoklatan yang keluar dari *tube* Kuarsa pada KOH/batu bara. Hal ini dapat menandakan bahwa proses aktivasi pada bahan baku telah mulai berjalan.

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). Hasil proses aktivasi fisika dari padatan *activating agent*/bahan baku didapatkan persentasi sampel terurai untuk KOH/Batubara yang ditunjukkan pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Persentase sampel *Activating agent*/Bahan Baku pada Pemanasan atau Aktivasi

Bahan baku	Temperatur (°C)	Berat sampel awal (gram)	Berat sampel akhir (gram)	Berat sampel terurai (gram)	% sampel terurai
Batubara	800	145.20	85.13	60.70	41.80
	800	110.87	64.34	46.53	41.97

Dari hasil pemanasan atau aktivasi ini dapat diketahui bahwa persentase sampel terurai pada KOH/Batubara 41.37 – 41.97%. Besarnya persentase sampel terurai ini berasal dari kadar air atau pengotor yang terdapat pada padatan campuran *activating agent*/bahan baku dan senyawa-senyawa *volatile* yang hilang ketika melalui proses aktivasi. Selain itu proses aktivasi ini juga menghilangkan beberapa atom karbon menjadi gas CO<sub>2</sub> yang ikut keluar. Hal ini dikarenakan proses pemanasan atau aktivasi karbon aktif (padatan campuran *activating agent*/bahan baku) ini merupakan aktivasi kimia yang melibatkan reaksi kimia didalamnya. Reaksi kimia yang terjadi ketika aktivasi pada karbon aktif adalah :



Karbon bereaksi dengan *activating agent* (KOH), sehingga akan membuka pori – pori baru yang semula masih tertutup, serta menghasilkan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) 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. Pori-pori yang terbentuk inilah yang memperbesar luas permukaan karbon aktif. Hasil proses aktivasi bisa dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini.



**Gambar 4.4** Hasil Karbon Aktif dari Hasil Aktivasi

#### 4.1.4 Proses Pencucian dan Hasil Karbon Aktif

Setelah proses aktivasi selesai, maka dilanjutkan dengan proses pencucian karbon aktif dengan asam, asam disini digunakan bertujuan untuk menghilangkan sisa – sisa ion  $\text{OH}^-$  yang masih terkandung pada karbon aktif. Asam yang digunakan pada penelitian ini adalah HCl 5 N. Hasil dari aktivasi atau pemanasan yang terdapat dalam pada *tube* kuarsa 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 pemanasan 85 °C. Pada saat penambahan HCL pada sampel timbul adanya gelembung gelembung gas. Gelembung gas ini diperkirakan gas hasil reaksi ( $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2$ ) 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  $\text{Cl}^-$ . Pencucian dilakukan hingga pH netral, atau lebih dari 6. Kemudian setelah pH karbon netral, dilakukan proses pengeringan dengan menggunakan oven pada suhu 110 °C selama 24 jam. Proses Pencucian dengan HCL 5 N dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan proses pencucian dengan akuades dapat dilihat pada Gambar 4.6 di bawah ini. Dan hasil Proses Pencucian karbon aktif hasil aktivasi dapat dilihat pada Tabel 4.4



**Gambar 4.5** Proses Pencucian karbon aktif dengan HCL 5N



**Gambar 4.6** Proses Pencucian karbon aktif dengan akuades

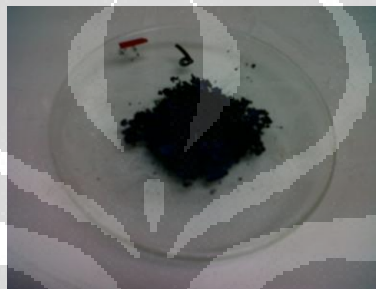
**Tabel 4.4** Proses Pencucian Karbon Aktif dari Hasil Aktivasi

Bahan baku	Temperatur (°C)	Berat sebelum dicuci (gram)	Berat sesudah dicuci (gram)	% yield karbon aktif
Batubara	800	16.53	6.44	38.96
		12.07	4.82	39.93
		20.11	8.47	42.12
		15.87	6.59	41.52
		20.78	8.32	40.04
		14.76	5.84	39.57
		17.29	7.02	40.60

Berdasarkan data yang didapat, % *yield* dari proses pencucian karbon aktif pada KOH / Batubara berkisar dari 38.96 – 42.12 %. Suhu aktivasi dapat mempengaruhi % *yield*, semakin tinggi suhu pemanasan, maka akan mengakibatkan peningkatan % *yield*. Kenaikan persentase *yield* karbon aktif pada

KOH/batu bara dari Temperatur 700 °C ke 800 °C, tetapi terjadi penurunan pada temperatur 900 °C (Pujiyanto, 2010). Hal ini dapat disebabkan pemanasan yang semakin meningkat, dapat menyebabkan kerusakan karbon batu bara sehingga persentase *yield* karbon aktif yang didapatkan akan menurun.

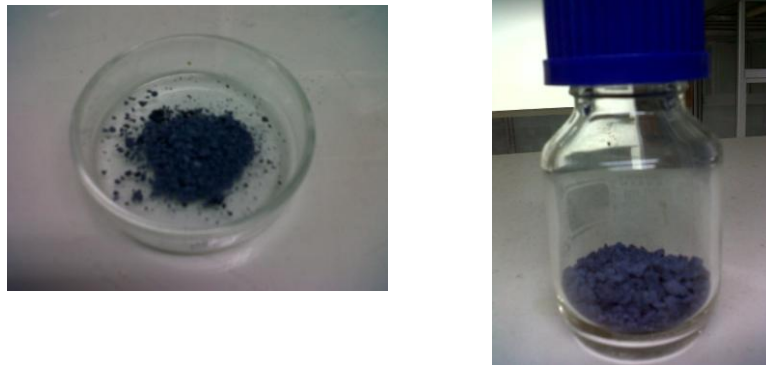
Hasil pembuatan karbon aktif pada penelitian ini memiliki bentuk granular dengan warna biru tua kehitaman. Berikut ini adalah gambar hasil karbon aktif dari KOH / Batubara (4 : 1).



**Gambar 4.7** Hasil Karbon Aktif dari Hasil Aktivasi KOH/Batubara (4/1)

#### **4.2 Modifikasi Karbon Aktif dengan TiO<sub>2</sub>**

Karbon aktif yang sudah melewati proses aktivasi dan kemudian proses pencucian, dimodifikasi dengan menggunakan TiO<sub>2</sub> Degussa P-25 dengan perbandingan 80 / 20 ( Karbon aktif / TiO<sub>2</sub>). TiO<sub>2</sub> dilarutkan dengan akuades, kemudian dilakukan sonikasi. Sonikasi bertujuan untuk memecah partikel padatan menjadi lebih kecil dengan bantuan gelombang ultrasonik. Kemudian ditambahkan karbon aktif ke dalam larutan TiO<sub>2</sub> dan dilakukan sonikasi kembali. Setelah itu diuapkan di dalam furnace pada suhu 100 °C selama 2 jam. Proses penguapan ini bertujuan untuk menghilangkan kadar air dan pengotor yang masih terkandung dalam karbon aktif modifikasi. Hasil dari modifikasi karbon aktif dengan TiO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Gambar 4.8. Hasil modifikasi karbon aktif dengan TiO<sub>2</sub> pada penelitian ini menghasilkan bentuk fisik berwarna biru tua gelap.

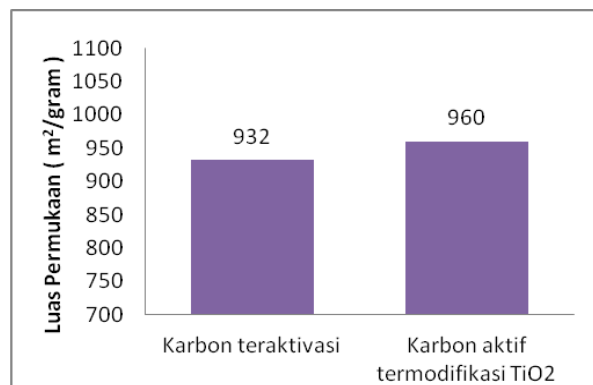


**Gambar 4.8** Hasil modifikasi karbon aktif dengan  $\text{TiO}_2$

### 4.3 Karakterisasi

#### 4.3.1 Pengujian Luas Permukaan

Luas permukaan karbon aktif mempengaruhi besarnya kemampuan daya adsorp atau daya serap dari karbon aktif. Untuk mengetahui luas permukaan karbon aktif dilakukan pengujian luas permukaan metode BET yang meliputi karbon batubara, karbon teraktivasi, dan karbon aktif termodifikasi  $\text{TiO}_2$ .



**Gambar 4.9.** Perbandingan luas permukaan Karbon Aktif dan Karbon Aktif  $\text{TiO}_2$

Gambar 4.9 menunjukkan peningkatan luas permukaan karbon teraktivasi dengan karbon aktif modifikasi  $\text{TiO}_2$  dari  $932.0358 \text{ m}^2/\text{gram}$  menjadi  $960.2958 \text{ m}^2/\text{gram}$ . Pada penelitian ini tidak diuji luas permukaan pada karbon batubara murni, hal ini disebabkan karena pada karbon batubara masih banyak kandungan pengotor dan air yang masih menutupi pori, sehingga apabila dilakukan uji luas permukaan dengan BET, hasilnya sangat kecil atau bisa dikatakan tidak ada. Maka dari itu karbon perlu melalui proses aktivasi kimia dan fisika, yang



bertujuan untuk membuka pori – pori yang awalnya tertutup oleh senyawa – senyawa pengotor. Penambahan *activating agent* pada karbon aktif akan mengakibatkan terjadinya proses pemutusan ikatan rantai karon dari senyawa – senyawa organic ( Sembiring, 2003), ditambah lagi dengan proses aktivasi fisika dengan menggunakan suhu tinggi serta dialiri gas, sehingga akan menghasilkan luas permukaan yang sangat besar, yang nantinya akan mempengaruhi daya serap dari batubara tersebut.

#### 4.3.2 Pengujian Komposisi Karbon Aktif

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk menganalisa komposisi dari karbon batubara, karbon aktif serta karbon aktif termodifikasi TiO<sub>2</sub>. Alat Instrument yang digunakan untuk pengujian ini adalah X – Ray Fluorescence (XRF). Tabel 4.5 menunjukkan komposisi dari karbon batubara murni, karbon aktif, dan karbon aktif termodifikasi TiO<sub>2</sub>.

**Tabel 4.5.** komposisi karbon batubara murni, karbon aktif, dan karbon aktif termodifikasi TiO<sub>2</sub>

Jenis	SO <sub>3</sub> (% wt)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% wt)	K <sub>2</sub> O (% wt)	ZrO <sub>2</sub> (% wt)	MnO (% wt)	NiO (% wt)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (% wt)	TiO <sub>2</sub> (% wt)	ZnO (% wt)	Rb <sub>2</sub> O (% wt)	Cl (% wt)
Karbon Batubara	7,88	12,91	18,28	3,97	3,24	2,14	5,89	2,17	1,92	1,04	4,11
Karbon aktif	3,78	6,19	13,91	1,08	0,95	0,64	3,38	0,83	0,02	0,01	2,32
KA - TiO <sub>2</sub>	2,14	8,77	14,45	0,45	0,37	0,28	1,02	20,78	0,11	0,01	0,55

Dari tabel 4.5 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi oksida – oksida pengotor setelah dilakukan aktivasi, hal ini menunjukkan bahwa proses aktivasi dapat menghilangkan oksida pengotor pada karbon batubara.

Karbon yang telah diaktivasi, dimodifikasi dengan TiO<sub>2</sub> degussa P-25 dengan perbandingan 80 : 20. Prosesnya adalah pelarutan TiO<sub>2</sub> dengan akuades kemudian dilakukan sonikasi. Dari hasil analisa dengan X – Ray Fluorescence

(XRF) didapat kandungan  $\text{TiO}_2$  dalam karbon aktif modifikasi  $\text{TiO}_2$  sebesar 20,78 wt%. Hasil ini menunjukkan bahwa proses modifikasi antara  $\text{TiO}_2$  dengan Karbon aktif berjalan dengan baik, dikarenakan nilai komposisi akhir mendekati nilai kandungan  $\text{TiO}_2$  aktualnya.

#### 4.4 Preparasi Ruang Uji Adsorpsi

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 menyempotkan 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* CO *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. Ruang uji yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.10. Dari gambar tersebut dapat dikatakan bahwa ruang uji tidak bocor karena kandungan CO dalam ruang uji cenderung stabil.



**Gambar 4.10** Ruang uji yang digunakan

#### 4.5 Kalibrasi Opasitimeter

Pada penelitian ini ada dua variabel yang dilakukan yaitu adsorpsi gas CO dan penjernihan asap kebakaran dengan adsorben karbon aktif dan karbon aktif

termodifikasi TiO<sub>2</sub>. Untuk penjernihan asap kebakaran diukur nilai opasitasnya menggunakan alat *Light Measurement System for Testing Smoke Development* yang terdapat di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Alat ini terdiri dari *Light source* dan *Light receiver*. *Light source* terdiri dari lampu halogen dan sistem lensa yang dapat menghasilkan sinar cahaya paralel dengan diameter 25 mm pada *emitter outlet*.

Kalibrasi alat opasitimeter dilakukan dengan cara mengukur opasitas pada keadaan ruang uji tanpa asap dan mengukur opasitas ruang uji dengan asap tebal tidak tembus cahaya atau jenuh. Terdapat 3 alat yang digunakan pada penelitian ini yang perlu dikalibrasi, pada keadaan ruang uji tanpa asap (opasitas 0 %) dan ruang uji dengan asap (opasitas 100%).

#### **4.6 Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap Kebakaran**

Sebelum dilakukan pengujian pada ruang uji, karbon aktif diayak pada ukuran 250 µm dan 200 mesh. Uji adsorpsi gas CO dan penjernihan asap kebakaran yang akan dilakukan pada penelitian ini tanpa menggunakan adsorben, dengan menggunakan adsorben karbon aktif, dan adsorben karbon aktif termodifikasi TiO<sub>2</sub>.

##### **4.6.1 Uji Adsorpsi Gas CO dan penjernihan Asap Kebakaran Tanpa Adsorben**

Uji adsorpsi dan penjernihan tanpa adsorben ini bertujuan untuk melihat perubahan opasitas asap dan berapa penurunan konsentrasi gas karbon monoksida pada asap pembakaran dalam ruang uji. Pengujian tanpa adsorben ini juga bertujuan untuk menguji kebocoran dari ruang uji ketika dimasukan asap pembakaran. Asap pembakaran dimasukan pada bagian bawah ruang uji hingga asap menjadi jenuh di dalam ruang uji atau opasitas bernilai nol. Asap pembakaran dibuat dalam wadah pembakaran. Gambar 4.11 menunjukkan gambar dari wadah simulasi pembakaran yang digunakan.

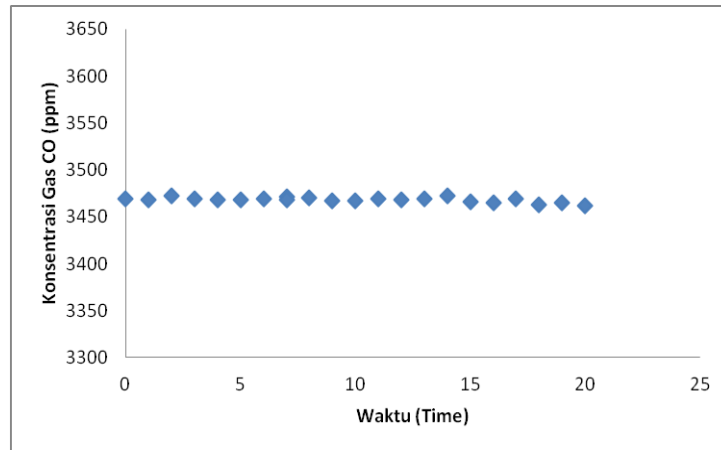


**Gambar 4.11.** Wadah simulasi kebakaran

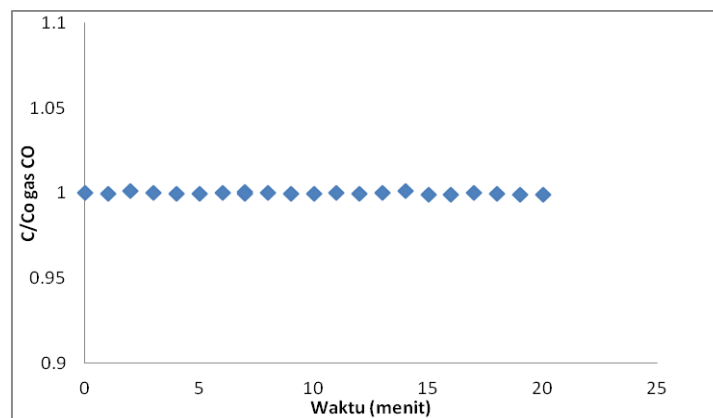
Nilai opasitas diambil pada 3 titik pada ruang uji setiap menit sampai mencapai nilai opasitas 10 kali lebih jernih dari nilai opasitas awal. Untuk nilai konsentrasi gas CO diukur dengan menggunakan gas analyzer setiap menit sampai 20 menit. Untuk hasil uji didapatkan nilai  $t_{10}$  dari titik 1 sebesar 46 menit, titik 2 sebesar 51 menit dan titik 3 sebesar 55 menit. Untuk penurunan kadar gas CO hanya sebesar 7 ppm, hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi kebocoran yang terlalu signifikan dari ruang uji tersebut. Gambar 4.12 menunjukkan ruang uji yang penuh dengan asap dan sedang diukur oleh alat *smoke detector* di tiga titik.



**Gambar 4.12** ruang uji yang penuh dengan asap dan pengukuran oleh alat *smoke detector*



**Gambar 4.13.**Konsentrasi Gas CO dengan waktu uji



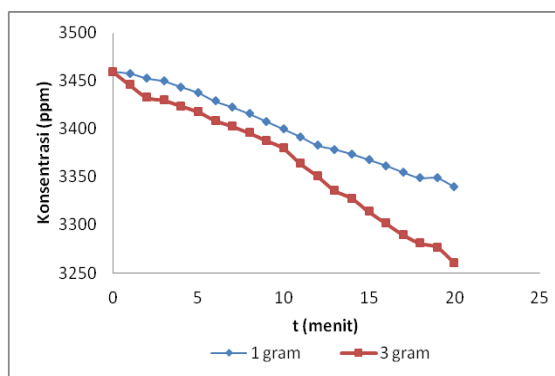
**Gambar 4.14.**Rasio Konsentrasi Gas CO dengan waktu uji

Gambar 4.13 dan gambar 4.14 menunjukkan bahwa kondisi yang stabil dari asap yang berada di dalam ruang uji. sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang uji tidak mengalami kebocoran dan dapat digunakan dalam penelitian ini.

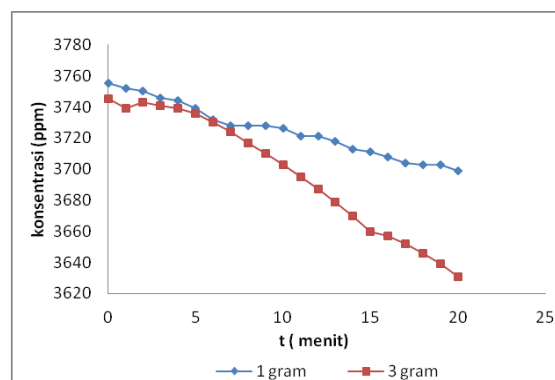
#### **4.6.2 Uji Adsorpsi Gas Karbon Monoksida dengan Adsorben karbon aktif.**

Pada pengujian kali ini menggunakan adsorben karbon aktif dengan variasi ukuran dan massa dari tiap – tiap ukuran tersebut. Ukuran yang digunakan adalah 250  $\mu\text{m}$  dan 200 mesh, sedangkan massa yang digunakan adalah 1 dan 3 gram.. Penurunan nilai konsentrasi gas CO dicatat hingga 20 menit. Nilai persen adsorpsi didapatkan dari perhitungan antara selisih nilai konsentrasi pada menit ke 20 dengan konsentrasi awal gas CO. dibagi dengan konsentrasi awal gas CO.

Gambar 4.15 menunjukkan penurunan konsentrasi gas CO pada ukuran 200 mesh dan 250  $\mu\text{m}$  (60 mesh).



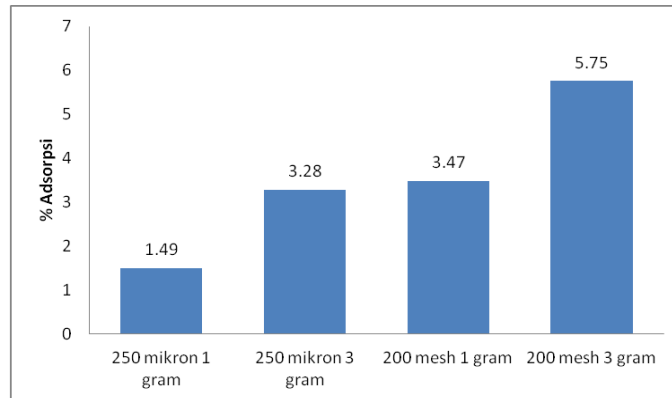
(a)



(b)

**Gambar 4.15.** penurunan konsentrasi gas CO pada ukuran 200 mesh (a) dan 250 mikron (b).

Berdasarkan gambar di atas bahwa nilai penurunan konsentrasi CO paling besar adalah pada adsorben karbon aktif 200 mesh, massa 3 gram, dengan nilai penurunan sebesar 199 ppm. Nilai pada karbon aktif 250  $\mu\text{m}$  3 gram, dan 200 mesh 1 gram, memberikan nilai penurunan konsentrasi yang hampir mendekati yaitu sebesar 123 ppm dan 120 ppm. nilai persen adsorpsi yang paling besar adalah pada adsorben karbon aktif dengan ukuran 200 mesh massa 3 gram adalah sebesar 5.75 %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar persen adsorpsi, maka daya serap terhadap gas CO akan semakin besar pula. Gambar 4.16 menunjukkan nilai % adsorpsi dari adsorben karbon aktif 200 mesh dan 250  $\mu\text{m}$ .

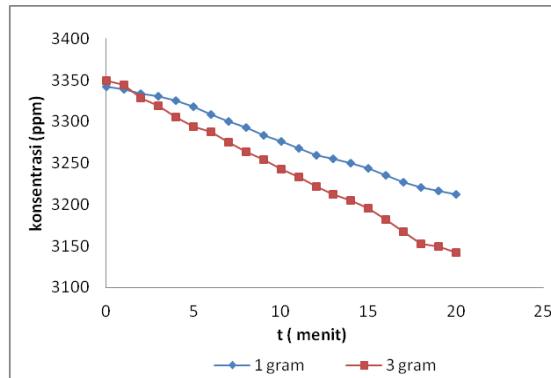


**Gambar 4.16.** nilai %adsorpsi dari adsorben karbon aktif 200 mesh dan 250 mikron.

Nilai opasitas dari setiap adsorben – adsorben yang bervariasi massa dan ukuran. Untuk adsorben yang memiliki nilai  $t_{10}$  yang paling baik adalah pada karbon aktif 200 mesh 3 gram, karena memiliki nilai  $t_{10}$  yang lebih cepat dibandingkan dengan adsorben lainnya Terdapat hampir kesamaan nilai  $t_{10}$  antara adsorben karbon aktif 250 mikron 3 gram dengan karbon aktif 200 mesh 1 gram. Bila dilihat pada gambar di atas, nilai  $t_{10}$  untuk titik 1 selalu lebih kecil dibandingkan dengan titik 2 dan 3, hal ini terjadi karena asap akan cenderung untuk turun atau mengendap ke bagian bawah ruang uji, sehingga titik 2 dan 3 akan lebih cenderung memiliki nilai yang lebih besar dari titik 1. Kecilnya nilai titik 1 dapat terjadi puladikarenakan input penembakan adsorben berada dibagian atas ruang uji, sehingga asap yang terdapat di bagian atas ruang uji otomatis akan berkurang terlebih dahulu dibandingkan dengan titik tengah dan bawah.

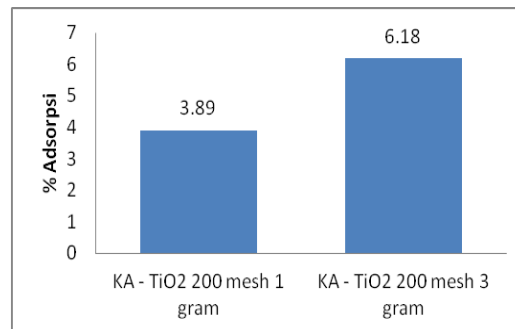
#### 4.6.3 Uji Adsorpsi Gas CO dengan Adsorben karbon aktif termodifikasi $\text{TiO}_2$ .

Pada pengujian adsorpsi gas dengan adsorben yang dimodifikasi dengan  $\text{TiO}_2$  bertujuan adalah melihat nilai persen adsorpsi dan nilai  $t_{10}$  dari adsorben yang telah dimodifikasi dan keefektifitasan penambahan  $\text{TiO}_2$  ke dalam adsorben serta pengaruh penambahan  $\text{TiO}_2$  ke % adsorpsi CO , pengurangan konsentrasi CO dan nilai  $t_{10}$  pada penjernihan asap. Prosedur pengujian hampir sama dengan pengujian dengan adsorben karbon aktif pada subbab sebelumnya, perbedaannya hanya pada adsorben yang dimodifikasi oleh  $\text{TiO}_2$ . Hasil dari penurunan konsentrasi CO dengan karbon aktif –  $\text{TiO}_2$  dapat dilihat pada gambar 4.17.

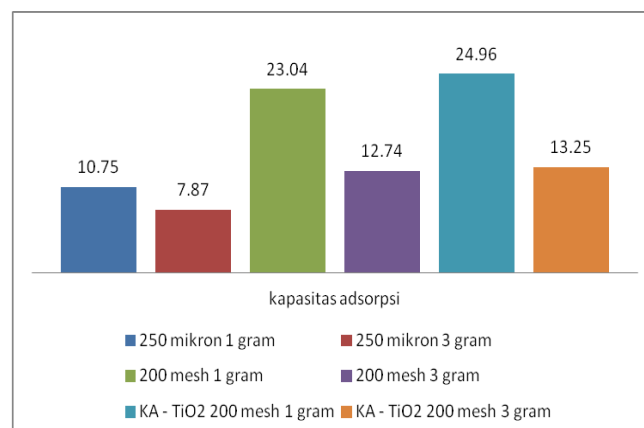


**Gambar 4.17.** penurunan konsentrasi CO dengan karbon aktif – TiO<sub>2</sub>

Pada pengujian dengan menggunakan karbon aktif – TiO<sub>2</sub> ini hanya menggunakan satu variasi massa dan 2 ukuran, yaitu 200 mesh ukuran 1 dan 3 gram. Nilai persen adsorpsi yang didapat sebesar 3.89 % dan 6.18 %. Berdasarkan gambar 4.17, penurunan nilai konsentrasi CO yang paling besar terdapat pada KA – TiO<sub>2</sub> 200 mesh 3 gram, sebesar 207 ppm. Gambar 4.18 menunjukkan % adsorpsi dari karbon aktif – TiO<sub>2</sub>.



**Gambar 4.18.** % adsorpsi dari karbon aktif – TiO<sub>2</sub>.



**Gambar 4.19.** Kapasitas Adsorpsi dari karbon aktif dan karbon aktif – TiO<sub>2</sub>.



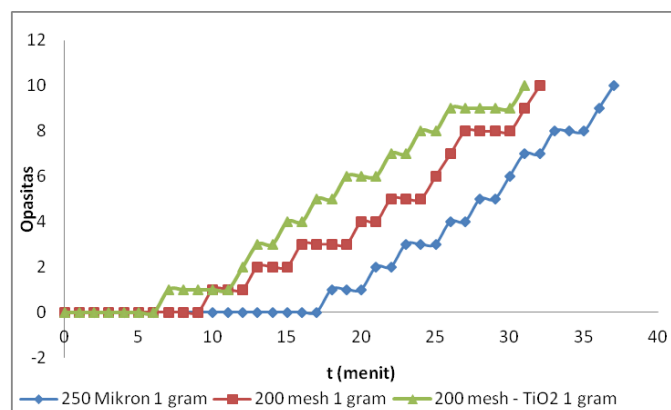
Gambar 4.19 menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel, semakin besar nilai kapasitas adsorpsinya. Secara teoritis, semakin besar massa penyemprotan akan membuat kapasitas adsorpsi menjadi meningkat, tetapi berdasarkan nilai pada gambar di atas menunjukkan sebaliknya. Hal ini mungkin disebabkan karena kurang optimalnya penyemprotan pada massa 3 gram. Hal ini terjadi dapat disebabkan karena *human error* atau kesalahan manusia yang kurang teliti dan terburu – buru dalam penyemprotan adsorben tersebut.

#### 4.6.4. Uji Opasitas Asap Pembakaran Dengan Adsorben Karbon Aktif dan Karbon Aktif – TiO<sub>2</sub>.

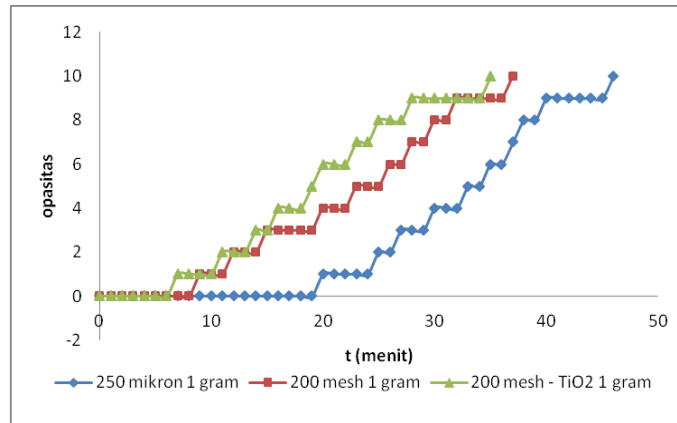
Asap hasil pembakaran dimasukkan ke dalam ruang uji hingga opasitas di dalam ruang uji sebesar 0 %. Lalu adsorben ditembakkan pada bagian atas ruang uji, dilanjutkan dengan mulai pengukuran nilai opasitas. Pengukuran dilakukan hingga nilai opasitas 100 %. Pengujian ini dilakukan dengan variable ukuran partikel adsorben dan massa penembakan adsorben.

##### a. Variasi Ukuran Partikel

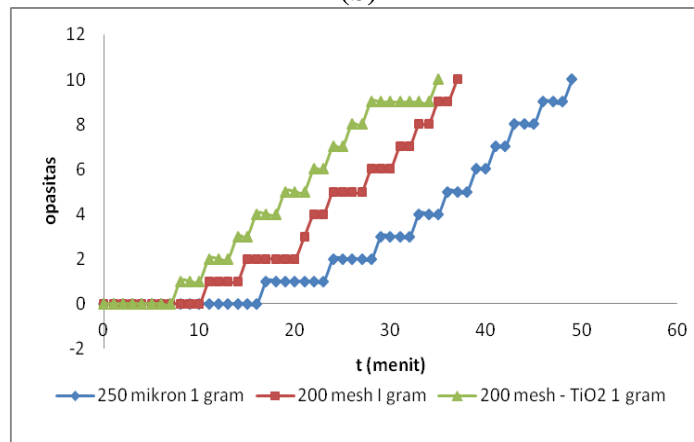
Pada bagian penelitian ini dibandingkan daya serap karbon aktif dalam menjernihkan asap berdasarkan ukuran partikel jika massa dibuat sama. Massa karbon aktif yang digunakan sebesar 1 dan 3 gram. Setiap massa divariasikan dengan ukuran partikel 200 mesh dan 250  $\mu\text{m}$ . Berikut adalah hasil kejernihan asap pada massa 1 gr dan 3 gr



(a)

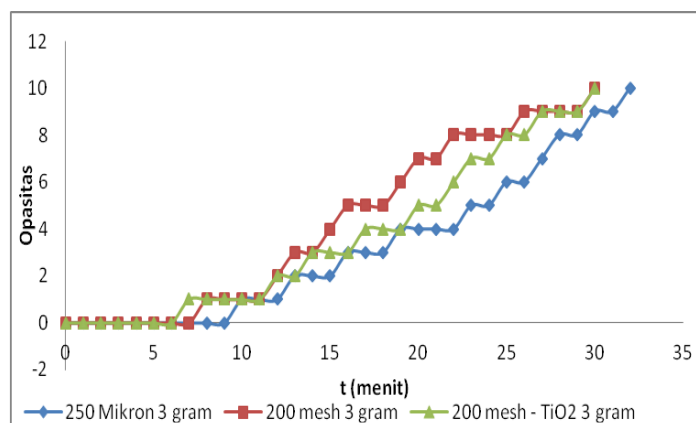


(b)

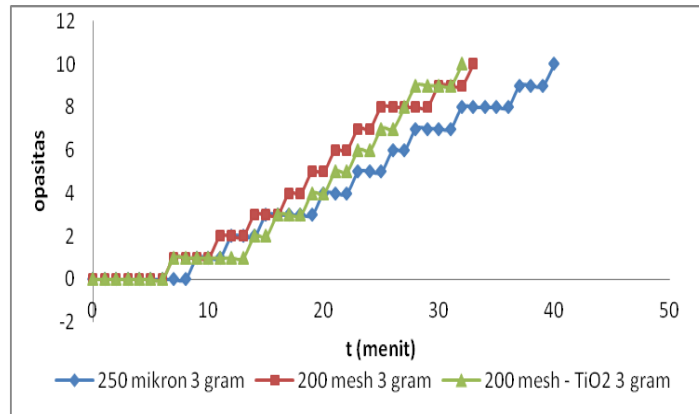


(c)

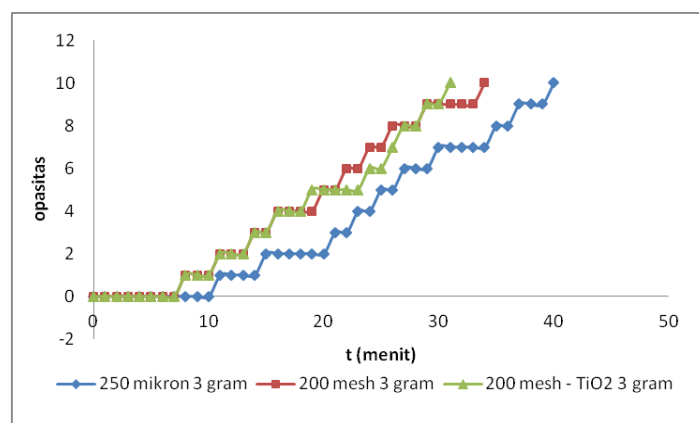
**Gambar 4.20** Nilai  $t_{10}$  dari Karbon aktif dan karbon aktif – TiO<sub>2</sub> massa 1 gram untuk titik 1 (a), 2 (b), dan 3 (c).



(a)



(b)



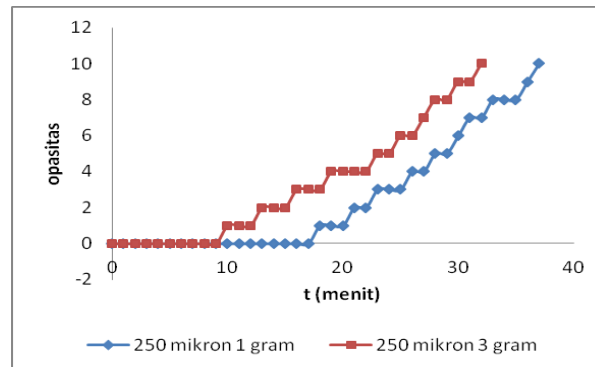
(c)

**Gambar 4.21** nilai  $t_{10}$  dari Karbon aktif dan karbon aktif – TiO<sub>2</sub> massa 3 gram untuk titik 1, 2, dan 3.

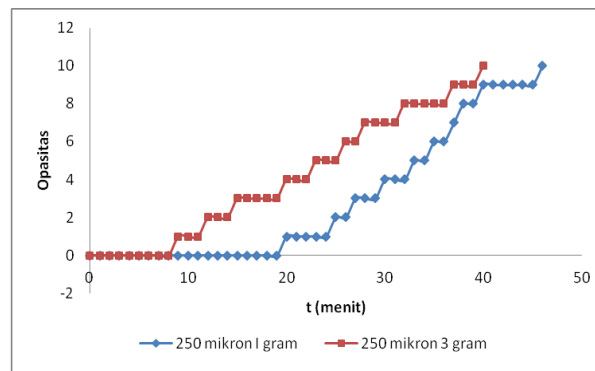
Berdasarkan Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa ukuran karbon aktif mempengaruhi waktu untuk mencapai tingkat kejernihan tertentu ( $t_{10}$ ). Semakin kecil ukuran partikel karbon aktif, semakin baik dalam menjernihkan asap. Dengan massa yang sama, karbon aktif termodifikasi TiO<sub>2</sub> 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. Berbeda pada ukuran 250  $\mu\text{m}$  (60 mesh), dengan massa yang sama, untuk mencapai nilai  $t_{10}$  diperlukan waktu yang lebih lama. Hal ini terjadi karena ukuran yang lebih besar, maka luas permukaannya lebih kecil dibandingkan dengan 200 mesh.

### b. Pengaruh Massa Adsorben

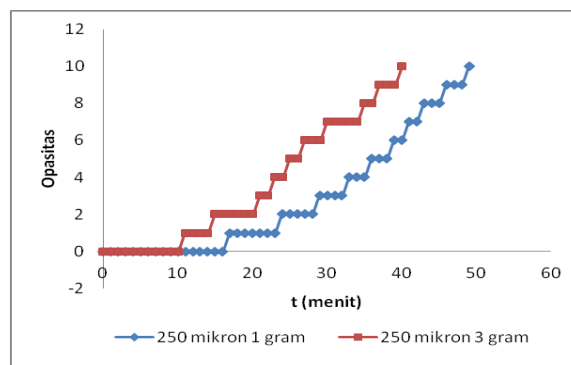
Pada bagian penelitian ini akan dibandingkan daya serap karbon aktif dalam menjernihkan asap berdasarkan massa jika ukuran partikel dibuat sama. Karbon aktif yang digunakan berukuran 200 mesh dan 250  $\mu\text{m}$ . Setiap ukuran divariasikan dengan massa 1 gr dan 3 gr. Berikut adalah hasil kejernihan asap pada ukuran partikel 200 mesh dan 250  $\mu\text{m}$ .



(titik 1)

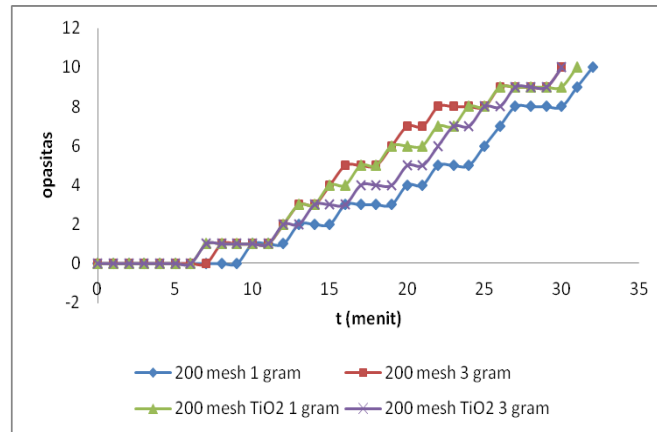


(titik 2)

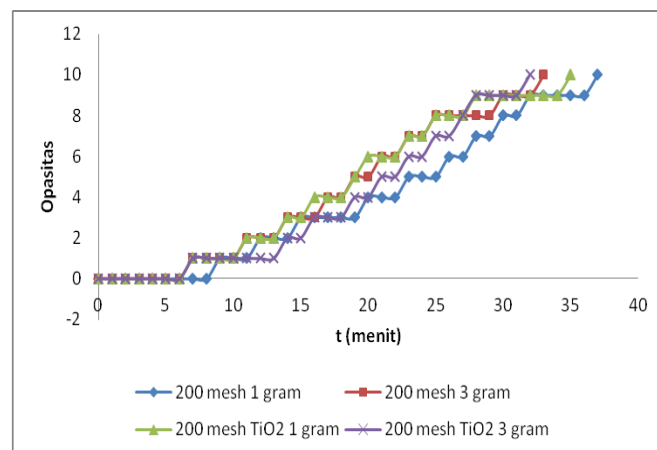


(titik 3)

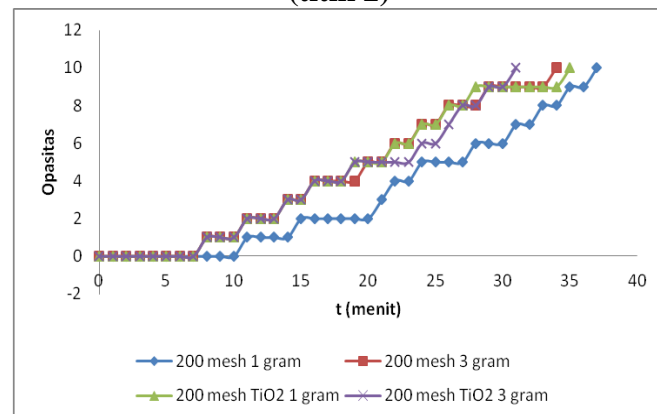
**Gambar 4.22** nilai  $t_{10}$  dari Karbon aktif ukuran 250  $\mu\text{m}$  variasi massa pada titik 1, 2, dan 3.



(titik 1)



(titik 2)



(titik 3)

**Gambar 4.23** nilai  $t_{10}$  dari Karbon aktif dan karbon aktif – TiO<sub>2</sub> ukuran 200 mesh variasi massa pada titik 1, 2, dan 3.

Berdasarkan gambar 4.16 dapat dilihat bahwa pada ukuran yang sama (250  $\mu\text{m}$ ) dengan variasi massa 1 dan 3 gram, terdapat perbedaan yang cukup besar. Hal ini disebabkan karena semakin besar massa penyemprotan, semakin banyak pula adsorben yang kontak dengan partikel asap. Sedangkan pada gambar

4.17, adsorben karbon aktif – TiO<sub>2</sub> 3 gram memiliki nilai t<sub>10</sub> yang paling baik. Dikarenakan karbon aktif – TiO<sub>2</sub> memiliki luas permukaan yang tinggi dibandingkan dengan karbon aktif saja. Karena luas permukaan yang lebih besar ini, daerah kontak antara adsorben dengan partikel asap semakin banyak yang membuat kemampuan adsorben dalam mengadsorp partikel asap pada permukaan menjadi lebih besar. Asap pun semakin banyak yang diserap, sebagai akibatnya keadaan jernih pada asap semakin cepat diperoleh.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan serta pembahasannya, maka penulis dapat memberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil dari pengujian luas permukaan dengan metode BET, untuk karbon aktif didapat  $932.04 \text{ m}^2/\text{gram}$ , dan untuk karbon aktif termodifikasi  $\text{TiO}_2$  didapat  $960.296 \text{ m}^2/\text{gram}$ .
2. Kandungan  $\text{TiO}_2$  hasil pengukuran dengan XRF pada karbon aktif termodifikasi adalah sebesar 20.78 wt%
3. Penurunan konsentrasi gas CO pada uji adsorpsi tanpa adsorben adalah sebesar 7 ppm. Hal ini masih dalam keadaan wajar sehingga ruang uji layak digunakan.
4. Hasil nilai persen adsorpsi dan nilai  $t_{10}$  yang paling baik pada uji dengan adsorben karbon aktif adalah pada adsorben karbon aktif dengan ukuran 200 mesh dan massa penyemprotan 3 gram.
5. Hasil nilai persen adsorpsi dan nilai  $t_{10}$  yang terbaik antara pengujian dengan adsorben karbon aktif dan karbon aktif –  $\text{TiO}_2$  adalah pada adsorben karbon aktif –  $\text{TiO}_2$  dengan ukuran 200 mesh dan massa penyemprotan 3 gram.
6. Semakin kecil ukuran dan semakin besar massa penyemprotan, akan menghasilkan daya adsorpsi gas CO lebih besar dan penjernihan asap kebakaran menjadi semakin singkat.

#### **6.2 Saran**

Dalam uji adsorpsi disarankan menggunakan gas CO sintetis, sehingga dalam pengujian dapat diatur jumlah gas CO yang dimasukkan ke dalam ruang uji, bertujuan agar nilai CO awal pada setiap uji memiliki nilai yang stabil atau sama. perlu mencari metode penyemprotan adsorben agar waktu kontak antara adsorben dengan asap lebih lama sehingga adsorpsi gas CO menjadi lebih besar dan lebih

cepat dalam proses penjernihan asap pembakaran. perlu dibuat pompa penyemprotan adsorben yang dapat mengurangi risiko kurang optimalnya penyemprotan dari adsorben.



## DAFTAR PUSTAKA

- Apriawan. 2009. *Adsorpsi Gas CO Pada Kasus Kebakaran Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi*. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Arnas. 2008. *Kapasitas Penyerapan CO<sub>2</sub> Pada Karbon Aktif yang Berasal Dari Batubara Sumatera Selatan Dengan Tekanan Maksimum 2,3 Bar*. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Mesin FTUI.
- Bansal, Roop Chand, dan Meenakshi Goyal. 2005. *Activated Carbon Adsorption*. Boca Raton : Taylor & Francis Group.
- Basuki, Tri Kris, dkk. 2008. *Penurunan Konsentrasi CO dan NO<sub>2</sub> pada Emisi Gas Buang Menggunakan Arang Tempurung Kelapa yang Disipi TiO<sub>2</sub>*. Yogyakarta: Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir.
- Chrisman, Anthonyus. 2008. *Preparasi Karbon Aktif Sebagai Adsorben Dari Batubara Sumatera Selatan Dengan Aktivasi CO<sub>2</sub>*. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Mesin FTUI.
- George W Mulholland. *Smoke Production and Properties 2<sup>nd</sup> edition, chapter15, section 2*. National Bureau of Standards.
- Goldstein, mark. *The Effect of Hydrocarbon Aromatic*. Current Science, Vol 92
- Hendra, Ryan. 2008. *Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Batubara Indonesia Dengan Metode Aktivasi Fisika dan Karakteristiknya*. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Mesin FTUI.
- McCabe, W., dkk. 2000. *Unit Operation of Chemical Engineering 6<sup>th</sup> edition*: McGraw Hill.
- Muhammad Gondang AK. 2010. *Proses Penjernihan Asap Kebakaran Menggunakan Zeolit Alam Lampung Termodifikasi Dengan TiO<sub>2</sub> Melalui Metoda Sol Gel*. Seminar. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Mulukutla; Ravichandra S. 2007. *Metal oxide nanoparticles for smoke clearing and fire suppression*. Hovey Williams LLP

- Suraputra, Reza. 2011. *Adsorpsi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Penjernihan Asap Kebakaran Menggunakan Zeolit Alam Lampung Termodifikasi TiO<sub>2</sub>*. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Pamungkas, Sukma. 2011. *Pemanfaatan Zeolit Alam Bayah Pada Proses Penjernihan Asap Kebakaran dan Pengurangan Tingkat Racun Asap*. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Prihatama, Yuda. 2009. *Preparasi Zeolit Alam Lampung Dengan Metode Dealuminasi dan Kalsinasi Untuk Adsorpsi Gas CO*. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Pujiyanto. 2010. *Pembuangan Karbon Aktif Super Dari Tempurung Kelapa dan Batubara*. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Teng, H.; Yeh, T.-S. *Preparation of Activated Carbons from Bituminous Coals with Zinc Chloride Activation*; Ind. Eng. Chem. Res. **1998**, 37, 58.
- Walker, P.L., Jr., Austin, L.G., and Nandi, S.P., in *Chemistry and Physics of Carbon*, (P.L. Walker, Jr., Ed.), Vol. 2, p. 257, Marcel Dekker, New York, 1966.
- Yadhav, P.D., S.S Rayalu, S. Devota. 2007. *CO<sub>2</sub> emission and its mitigation by adsorption on zeolites and activated carbon*, Current Science, Vol 92, No. 6.
- Yang, R.T., 2003. *Adsorben : Fundamental and Application*. John Wiley & Sons, NJ.

# **Lampiran 1. Data hasil pengujian Luas Permukaan**

## **Lampiran 2. Data hasil pengujian Komposisi dengan XRF**

**Lampiran 3 Uji adsorpsi CO dan penjernihan asap tanpa adsorben**

t (Menit)	Opasitas			Konsentrasi CO (ppm)	Rasio C/Co
	1	2	3		
0	0	0	0	3469	1.0000
1	0	0	0	3468	0.9997
2	0	0	0	3472	1.0009
3	0	0	0	3469	1.0000
4	0	0	0	3468	0.9997
5	0	0	0	3468	0.9997
6	0	0	0	3469	1.0000
7	0	0	0	3471	1.0006
7	0	0	0	3468	0.9997
8	0	0	0	3470	1.0003
9	0	0	0	3467	0.9994
10	0	0	0	3467	0.9994
11	0	0	0	3469	1.0000
12	0	0	0	3468	0.9997
13	0	0	0	3469	1.0000
14	0	0	0	3472	1.0009
15	0	0	0	3466	0.9991
16	0	0	0	3465	0.9988
17	0	0	0	3469	1.0000
18	0	0	0	3463	0.9997
19	0	0	0	3465	0.9988
20	0	0	0	3462	0.9988
21	1	1	0		
22	1	1	1		
23	1	1	1		
24	1	1	1		
25	1	1	1		
26	2	2	1		
27	2	2	2		
28	2	2	2		
29	3	2	2		
30	3	2	2		
31	4	3	3		
32	4	3	3		
33	4	3	3		
34	5	4	4		
35	5	4	4		
36	6	5	4		
37	6	5	5		
38	6	6	6		
39	7	6	6		
40	7	6	6		
41	8	7	6		
42	8	7	7		

43	9	8	7		
44	9	8	8		
45	9	8	8		
46	10	9	8		
47		9	8		
48		9	9		
49		9	9		
50		9	9		
51		10	9		
52			9		
53			9		
54			9		
55			10		

#### Lampiran 4. Uji adsorpsi CO dan penjernihan asap dengan adsorben

Karbon Aktif 250 mikron 1 gram

t (Waktu)	Opasitas			Konsentrasi CO (ppm)	% Adsorpsi	Kapasitas Adsorpsi
	1	2	3			
0	0	0	0	3755	1.49%	10.75
1	0	0	0	3752		
2	0	0	0	3750		
3	0	0	0	3746		
4	0	0	0	3744		
5	0	0	0	3739		
6	0	0	0	3732		
7	0	0	0	3728		
8	0	0	0	3728		
9	0	0	0	3728		
10	0	0	0	3726		
11	0	0	0	3721		
12	0	0	0	3721		
13	0	0	0	3718		
14	0	0	0	3713		
15	0	0	0	3711		
16	0	0	0	3708		
17	0	0	1	3704		
18	1	0	1	3703		
19	1	0	1	3703		
20	1	1	1	3699		
21	2	1	1			
22	2	1	1			
23	3	1	1			
24	3	1	2			
25	3	2	2			
26	4	2	2			
27	4	3	2			
28	5	3	2			
29	5	3	3			
30	6	4	3			
31	7	4	3			
32	7	4	3			
33	8	5	4			
34	8	5	4			
35	8	6	4			
36	9	6	5			
37	10	7	5			
38		8	5			

39		8	6
40		9	6
41		9	7
42		9	7
43		9	8
44		9	8
45		9	8
46		10	9
47			9
48			9
49			10
50			



## Karbon Aktif 250 mikron 3 gram

t (Waktu)	Opasitas			Konsentrasi CO (ppm)	% Adsorpsi	Kapasitas Adsorpsi
	1	2	3			
0	0	0	0	3745	3.28%	7.87
1	0	0	0	3739		
2	0	0	0	3743		
3	0	0	0	3741		
4	0	0	0	3739		
5	0	0	0	3736		
6	0	0	0	3730		
7	0	0	0	3724		
8	0	0	0	3717		
9	0	1	0	3710		
10	1	1	0	3703		
11	1	1	1	3695		
12	1	2	1	3687		
13	2	2	1	3679		
14	2	2	1	3670		
15	2	3	2	3660		
16	3	3	2	3657		
17	3	3	2	3652		
18	3	3	2	3646		
19	4	3	2	3639		
20	4	4	2	3631		
21	4	4	3			
22	4	4	3			
23	5	5	4			
24	5	5	4			
25	6	5	5			
26	6	6	5			
27	7	6	6			
28	8	7	6			
29	8	7	6			
30	9	7	7			
31	9	7	7			
32	10	8	7			
33		8	7			
34		8	7			
35		8	8			
36		8	8			
37		9	9			
38		9	9			
39		9	9			
40		10	10			

## Karbon Aktif 200 mesh 3 gram

t (Waktu)	Opasitas			Konsentrasi CO (ppm)	% Adsorpsi	Kapasitas Adsorpsi
	1	2	3			
0	0	0	0	3460	5.75%	12.74
1	0	0	0	3446		
2	0	0	0	3433		
3	0	0	0	3430		
4	0	0	0	3424		
5	0	0	0	3418		
6	0	0	0	3409		
7	0	1	0	3403		
8	1	1	1	3396		
9	1	1	1	3388		
10	1	1	1	3380		
11	1	2	2	3364		
12	2	2	2	3351		
13	3	2	2	3336		
14	3	3	3	3328		
15	4	3	3	3314		
16	5	3	4	3302		
17	5	4	4	3290		
18	5	4	4	3281		
19	6	5	4	3277		
20	7	5	5	3261		
21	7	6	5			
22	8	6	6			
23	8	7	6			
24	8	7	7			
25	8	8	7			
26	9	8	8			
27	9	8	8			
28	9	8	8			
29	9	8	9			
30	10	9	9			
31		9	9			
32		9	9			
33		10	9			
34			10			
35						

## Karbon Aktif 200 mesh 1 gram

t (Waktu)	Opasitas			Konsentrasi CO (ppm)	% Adsorpsi	Kapasitas Adsorpsi
	1	2	3			
0	0	0	0	3460	3.47%	23.04
1	0	0	0	3458		
2	0	0	0	3453		
3	0	0	0	3450		
4	0	0	0	3444		
5	0	0	0	3438		
6	0	0	0	3429		
7	0	0	0	3423		
8	0	0	0	3416		
9	0	1	0	3408		
10	1	1	0	3400		
11	1	1	1	3392		
12	1	2	1	3383		
13	2	2	1	3379		
14	2	2	1	3374		
15	2	3	2	3368		
16	3	3	2	3362		
17	3	3	2	3355		
18	3	3	2	3349		
19	3	3	2	3349		
20	4	4	2	3340		
21	4	4	3			
22	5	4	4			
23	5	5	4			
24	5	5	5			
25	6	5	5			
26	7	6	5			
27	8	6	5			
28	8	7	6			
29	8	7	6			
30	8	8	6			
31	9	8	7			
32	10	9	7			
33		9	8			
34		9	8			
35		9	9			
36		9	9			
37		10	10			
38						

**Lampiran 5. Persen adsorpsi CO dan nilai  $t_{10}$  zeolit alam Lampung termodifikasi TiO<sub>2</sub>**

Karbon Aktif termodifikasi TiO<sub>2</sub> 200 mesh 1 gram

t (Waktu)	Opasitas			Konsentrasi CO (ppm)	% Adsorpsi	Kapasitas Adsorpsi
	1	2	3			
0	0	0	0	3342	3.89%	24.96
1	0	0	0	3339		
2	0	0	0	3334		
3	0	0	0	3331		
4	0	0	0	3325		
5	0	0	0	3318		
6	0	0	0	3309		
7	1	1	0	3300		
8	1	1	1	3293		
9	1	1	1	3284		
10	1	1	1	3276		
11	1	2	2	3268		
12	2	2	2	3259		
13	3	2	2	3255		
14	3	3	3	3250		
15	4	3	3	3244		
16	4	4	4	3235		
17	5	4	4	3227		
18	5	4	4	3221		
19	6	5	5	3217		
20	6	6	5	3212		
21	6	6	5			
22	7	6	6			
23	7	7	6			
24	8	7	7			
25	8	8	7			
26	9	8	8			
27	9	8	8			
28	9	9	9			
29	9	9	9			
30	9	9	9			
31	10	9	9			
32		9	9			
33		9	9			
34		9	9			
35		10	10			
36						
37						

Karbon Aktif termodifikasi TiO<sub>2</sub> 200 mesh 3 gram

t (Waktu)	Opasitas			Konsentrasi CO (ppm)	% Adsorpsi	Kapasitas Adsorpsi
	1	2	3			
0	0	0	0	3349	6.18%	13.25
1	0	0	0	3344		
2	0	0	0	3329		
3	0	0	0	3319		
4	0	0	0	3305		
5	0	0	0	3294		
6	0	0	0	3288		
7	1	1	0	3275		
8	1	1	1	3264		
9	1	1	1	3254		
10	1	1	1	3243		
11	1	1	2	3233		
12	2	1	2	3222		
13	2	1	2	3212		
14	3	2	3	3205		
15	3	2	3	3196		
16	3	3	4	3182		
17	4	3	4	3167		
18	4	3	4	3153		
19	4	4	5	3150		
20	5	4	5	3142		
21	5	5	5			
22	6	5	5			
23	7	6	5			
24	7	6	6			
25	8	7	6			
26	8	7	7			
27	9	8	8			
28	9	9	8			
29	9	9	9			
30	10	9	9			
31		9	10			
32		10				
33						

### Lampiran 6 . Hasil akhir uji adsorpsi

Hasil uji	Karbon Aktif 250 mikron, 1 gram	Karbon Aktif 250 mikron, 3 gram	Karbon Aktif 200mesh, 1 gram	Karbon Aktif 200mesh, 3 gram	Karbon Aktif TiO <sub>2</sub> 200mesh, 1 gram	Karbon Aktif TiO <sub>2</sub> 200mesh, 3 gram
% adsorpsi	1.49 %	3.28 %	3.47 %	5.75 %	3.89 %	6.18 %
$\Delta$ CO (ppm)	56 ppm	123 ppm	120 ppm	199 ppm	130 ppm	207 ppm
Kapasitas adsorpsi	10.75	7.87	23.04	12.74	24.96	13.25

