



UNIVERSITAS INDONESIA

**UJI ADSORPSI GAS CO PADA ASAP KEBAKARAN DENGAN
MENGUNAKAN KARBON AKTIF DARI ARANG
TEMPURUNG KELAPA YANG TERIMPREGNASI TiO_2**

SKRIPSI

DIANA AGUSTA

0806 456 480

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**UJI ADSORPSI GAS CO PADA ASAP KEBAKARAN DENGAN
MENGUNAKAN KARBON AKTIF DARI ARANG
TEMPURUNG KELAPA YANG TERIMPREGNASI TiO_2**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

DIANA AGUSTA

0806 456 480

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Diana Agusta
NPM : 0806456480
Tanda Tangan : 
Tanggal : 27 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Diana Agusta

NPM : 0806456480

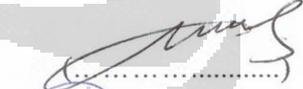
Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Uji Adsorpsi Gas CO pada Asap Kebakaran dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa yang Terimpregnasi TiO₂

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

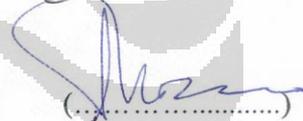
DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Yuliusman, M.Eng



(.....)

Penguji I : Prof. Sutrasno K., MSc.



(.....)

Penguji II : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT



(.....)

Penguji III : M. Ibadurrohman, ST, MT., MSc. Ing.



(.....)

Ditetapkan di : Depok, Jawa Barat, Indonesia

Tanggal : 27 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala, karena berkat rahmat dan petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Uji adsorpsi gas CO pada asap kebakaran dengan menggunakan karbon aktif dari arang tempurung kelapa yang terimpregnasi TiO₂”**.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ungkapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Basuki Wibowo dan Susi Diani, atas ketulusan cinta, kasih sayang, perhatian, perjuangan, dukungan, dan doa yang selalu diberikan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
3. Bapak Ir. Yuliusman, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini, serta selaku kordinator mata kuliah skripsi Teknik Kimia FTUI.
4. Bapak Ir. Dijan Supramono M.Sc. yang telah memberikan ijin untuk menggunakan *Gas Analyzer*-nya.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Kimia UI yang telah mengajar dan memberi ilmu pengetahuan dan wawasan di bidang ilmu teknik kimia.
6. Saudara-saudara penulis, Mba Deasy, Dini, Dinda dan Diva yang selalu mengisi keceriaan dan semangat saat di rumah.
7. Keluarga yang selalu mendukung; Nenek, Mbah Uti, Pakde Yanto, Bude Yanti, Tante Ida, Om Rasyid, Om Rama, Om Achmad, Tante Lia, Om Komar, Om Dian, Tante Ronti, dan keluarga besar penulis lainnya yang tak dapat disebutkan satu persatu.

8. Teman sepermainan di kampus; Ani, Elvina, Mondy, Dirga, Agastya, Rendi, dan khususnya Arief Frianda R.
9. Teman-teman seperjuangan sepenelitian; Tia, Rendi, Ray, Ramli, dan Zulfikar
10. Teman-teman DTK'08; Ade, Shofa, Illyin, Ivan, Hendra, Danny, Tyas, Maria, Afreza dan teman-teman DTK'08 lain yang tak bisa disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam berbagi informasi, diskusi, dan pencarian sumber-sumber referensi.
11. Teman-teman Bioproses'08; Desi, Cia, Syifa, Indri, Diemas, Raditya
12. Kang Jajat dan Mang Ijal dengan keramahannya telah banyak membantu penulis dalam penelitian. Mas Taufik yang membantu dalam mencari literatur di perpustakaan serta Mas Sriyono yang membantu dalam administrasi.
13. Para sahabat penulis, Mita, Nadya, Sarah dan Mba Dita yang telah banyak memberikan hiburan, dukungan dan semangat selama masa penelitian dan penyusunan skripsi ini.
14. Tito (Mesin'08) yang telah berkenan meminjamkan dan membantu menggunakan alat opasitimeter untuk digunakan dalam penelitian ini.
15. Semua pihak lain yang mendukung dan membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, saya berharap Allah Subhana wa Ta'ala berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca dan memberikan manfaat bagi dunia pendidikan dan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Diana Agusta

NPM : 0806456480

Program Studi : Teknik Kima

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

“Uji Adsorpsi Gas CO pada Asap Kebakaran dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa yang Terimpregnasi TiO₂”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/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, Jawa Barat, Indonesia

Pada tanggal : 27 Juni 2012

Yang menyatakan



(Diana Agusta)

ABSTRAK

Nama : Diana Agusta
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Uji Adsorpsi Gas CO pada Asap Kebakaran dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa yang Terimpregnasi TiO₂

Statistik di DKI Jakarta mencatat bahwa pada kasus kebakaran yang terjadi, 85% kematian disebabkan oleh keracunan asap gas beracun (situs Masyarakat Profesi Proteksi Kebakaran Indonesia, 2011). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja adsorben karbon aktif dan pengaruh penyisipan TiO₂ pada karbon aktif dalam mengadsorpsi gas CO dan menjernihkan asap pembakaran. Pengujian dilakukan dalam ruang uji berukuran 40cm x 40cm x 120cm selama 30 menit. Adsorben divariasikan dalam massa dan ukuran partikel. Didapatkan hasil bahwa penurunan kadar CO semakin meningkat dengan makin besarnya massa adsorben dan makin kecilnya ukuran partikel adsorben juga pengaruh penyisipan TiO₂. Penyisipan TiO₂ dapat memperbesar luas permukaan pada karbon aktif dari 524,612 m²/g menjadi 567,02 m²/g. Kapasitas adsorpsi paling tinggi dicapai oleh adsorben KA-TiO₂ sebanyak 1 gram yaitu sebesar 29,68 mg/mg adsorben.

Kata kunci :

Asap kebakaran, karbon monoksida, CO, adsorpsi, karbon aktif, TiO₂

ABSTRACT

Name : Diana Agusta
Study Program : Chemical Engineering
Title : Adsorption of CO on the Fire Smoke by Using Activated Carbon from Coconut shell charcoal is impregnated TiO₂

Statistics showed wildfires that happened in Jakarta, 85% of deaths caused by poisonous gas fumes poisoning (Society of Fire Protection website Indonesia, 2011). The study was conducted to determine the performance of activated carbon adsorbent and influence of TiO₂ on the insertion of activated carbon in gas adsorbing combustion CO and smoke cleared. Testing in a test chamber measuring 40cm x 40cm x 120cm for 30 minutes. Adsorbent varied in mass and particle size. Showed that decreased levels of CO increases with the growing mass of adsorbent and the growing size of the adsorbent particle size also influence the insertion of TiO₂. TiO₂ insertion can increase the surface area of activated carbon from 524.612 m²/g to 567.02 m²/g. Highest adsorption capacity is achieved by KA-TiO₂ adsorbent as much as 1 gram is equal to 29.68 mg/mg adsorbent.

Key words:

Fire smoke, carbon monoxide, CO, adsorption, activated carbon, TiO₂

DAFTAR ISI

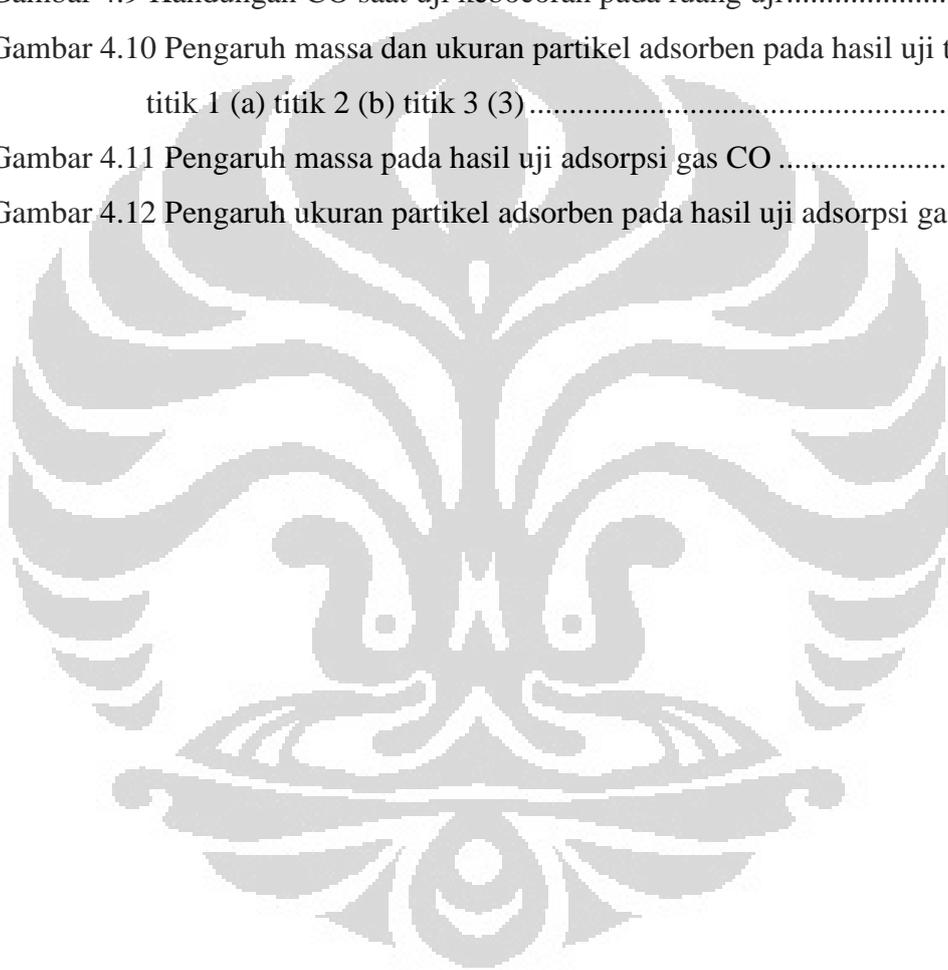
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kebakaran dan Pembakaran.....	6
2.1.1 Karbon Monoksida	7
2.2 Penjernihan Asap.....	9
2.2.1 Opasitas.....	10
2.3 Adsorpsi.....	11
2.3.1 Jenis Adsorpsi.....	11
2.3.2 Faktor-Fakor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi	13
2.3.3 Tempat Terjadinya Adsorpsi	14
2.4 Adsorben	15
2.5 Karbon Aktif.....	16
2.5.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif.....	18
2.5.2 Arang Tempurung Kelapa	21

2.6 TiO ₂	22
2.7 Penyisipan TiO ₂	24
2.8 Karakterisasi Adsorben	27
2.8.1 Karakterisasi Luas Permukaan (Metode BET)	27
2.8.2 Karakterisasi FE-SEM	29
2.8.3 Pengujian EDX (Energy-dispersive X-ray)	30
BAB 3. METODE PENELITIAN	32
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	32
3.2 Preparasi Adsorben Karbon Aktif - TiO ₂	32
3.2.1 Preparasi Karbon aktif dari Tempurung Kelapa.....	33
3.2.2 Preparasi Modifikasi Adsorben Karbon Aktif- TiO ₂	36
3.2.3 Karakterisasi Adsorben.....	37
3.3 Ruang Uji	38
3.4 Uji Adsorpsi Asap	39
3.5 Pengolahan Data.....	41
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Preparasi Adsorben.....	42
4.1.1 Preparasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa.....	42
4.1.2 Penyisipan TiO ₂ pada Karbon Aktif	45
4.2 Karakterisasi Adsorben	46
4.2.1 Gambar Struktur Permukaan (Uji FE-SEM)	46
4.2.2. Komposisi (Uji EDX)	48
4.2.3 Luas Permukaan (Uji BET)	50
4.3. Uji Adsorpsi	50
4.3.1 Uji Penjernihan Asap.....	52
4.3.2 Uji Adsorpsi Gas CO	55
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi tempat terjadinya adsorpsi (Hendra, 2008)	14
Gambar 2.2 Adsorpsi pada karbon aktif (Khairunisa, 2008)	16
Gambar 2.3 Struktur Fisik Karbon Aktif (Sontheimer, 1985)	17
Gambar 2.4 Struktur Kimia Karbon Aktif (Sudibandriyo, 2003)	18
Gambar 2.5 Pori-pori karbon aktif (Khairunisa, 2008)	19
Gambar 2.6 Hasil SEM dari karbon aktif yang telah diaktivasi dengan ZnCl ₂ (Viswanathan et al, 2008)	21
Gambar 2.7 Struktur kristal anatase TiO ₂ (Slamet et al,2007)	23
Gambar 2.8 Struktur kristal rutile TiO ₂ (Slamet et al,2007)	24
Gambar 2.9 Skema Proses Penyisipan TiO ₂ dan Pembentukan Pilar Ti ⁴⁺ pada Adsorben (Basuki, 2008)	25
Gambar 2.10 Perbandingan efisiensi penurunan konsentrasi gas CO menggunakan (a) karbon aktif tanpa penyisipan TiO ₂ dan (b) dengan karbon aktif yang telah disisipi TiO ₂ (Basuki, 2008)	26
Gambar 2.11 Permukaan adsorbent yang telah diperbesar dan telah mengalami proses degassing. (1) Pori-pori karbon aktif (2) Pori-pori karbon aktif dengan <i>monolayer</i> (3) Pori-pori karbon aktif dengan <i>multilayer</i> (4) Pori-pori karbon aktif dengan <i>multilayer</i> terisi penuh. (Baroto, 2008)	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.2 Diagram Alir Preparasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa	33
Gambar 3.3 Diagram Alir Preparasi Adsorben Karbon Aktif -TiO ₂	36
Gambar 3.4 Skema Ruang Uji	38
Gambar 3.5 Wadah Pembakaran	40
Gambar 4.1 Padatan hasil pencampuran karbon dengan ZnCl ₂	43
Gambar 4.2 Reaktor aktivasi	44
Gambar 4.3 Hasil pencucian dengan HCl	44
Gambar 4.4 Karbon Aktif (a) Karbon Aktif yang telah disisipi TiO ₂	46

Gambar 4.5 Hasil FE-SEM karbon yang telah diaktivasi dengan perbesaran 5000 kali	47
Gambar 4.6 Hasil FE-SEM pada KA-TiO ₂ dengan perbesaran 300000 kali	48
Gambar 4.7 Hasil EDX berupa grafik komposisi unsur pada karbon sebelum diaktivasi (1) karbon setelah diaktivasi (2) Karbon aktif yang disisipi TiO ₂ (3).....	49
Gambar 4.8 Ruang uji	51
Gambar 4.9 Kandungan CO saat uji kebocoran pada ruang uji.....	51
Gambar 4.10 Pengaruh massa dan ukuran partikel adsorben pada hasil uji t ₁₀ di titik 1 (a) titik 2 (b) titik 3 (3).....	53
Gambar 4.11 Pengaruh massa pada hasil uji adsorpsi gas CO	56
Gambar 4.12 Pengaruh ukuran partikel adsorben pada hasil uji adsorpsi gas CO	57



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik dan Mekanik TiO ₂ yang khas (Basuki, 2008)	23
Tabel 4.1 Hasil Proses Karbonisasi Tempurung Kelapa.....	43
Tabel 4.2 Hasil uji adsorpsi gas CO untuk setiap adsorben.....	55
Tabel 4.3 Kapasitas adsorpsi oleh setiap adsorben	58



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebakaran merupakan peristiwa yang tak bisa dihindari. Statistik di DKI Jakarta mencatat bahwa terjadi ratusan kasus kebakaran tiap tahunnya. Selain menimbulkan kerugian ratusan miliar rupiah, kebakaran juga dapat menimbulkan korban jiwa. Menurut data dari tahun 1998 sampai 2007, rata-rata 30% dari nyawa korban kebakaran tidak dapat terselamatkan (situs Masyarakat Profesi Proteksi Kebakaran Indonesia, 2011). Pada kasus kebakaran, tingkat kematian karena keracunan asap jauh lebih besar dibandingkan dengan kematian karena cedera luka bakar. Di dunia, 85% kematian pada kasus kebakaran disebabkan oleh asap yang berat dan gas beracun (Wang, Zhang et al. 2007)

Asap dari kasus kebakaran banyak mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya bagi kesehatan. Beberapa kandungan asap yang dihasilkan antara lain, karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), uap air, partikulat, dan beberapa senyawa beracun seperti NO_x dan SO_x . Menurut penelitian sebelumnya, walaupun tidak dijelaskan secara kuantitatif oleh Butler, 2004, CO termasuk gas yang banyak dihasilkan pada waktu terjadi kebakaran.

Karbon monoksida tidak mengiritasi tetapi sangat berbahaya (beracun) maka gas CO dijuluki sebagai “silent killer” (pembunuh diam-diam). Keberadaan gas CO akan sangat berbahaya jika terhirup oleh manusia karena gas itu akan menggantikan posisi oksigen yang berkaitan dengan haemoglobin dalam darah. Gas CO akan mengalir ke dalam jantung, otak, serta organ vital. Ikatan antara CO dan hemoglobin membentuk karboksi hemoglobin yang jauh lebih kuat 200 kali dibandingkan dengan ikatan antara oksigen dan hemoglobin. Akibatnya sangat fatal. Pertama, oksigen akan kalah bersaing dengan CO saat berikatan dengan molekul hemoglobin. Ini berarti kadar oksigen dalam darah akan berkurang. Padahal seperti diketahui oksigen sangat diperlukan oleh sel-sel dan jaringan tubuh untuk melakukan fungsi metabolisme. Kedua, gas CO akan menghambat kompleks oksidasi sitokrom. Hal ini menyebabkan respirasi intraseluler menjadi

kurang efektif. Terakhir, CO dapat berikatan secara langsung dengan sel otot jantung dan tulang. Efek paling serius adalah terjadi keracunan secara langsung terhadap sel-sel tersebut, juga menyebabkan gangguan pada sistem saraf. Bahaya utama terhadap kesehatan adalah mengakibatkan gangguan pada darah. Batas pemaparan karbon monoksida yang diperbolehkan oleh OSHA (Occupational Safety and Health Administration) adalah 35 ppm untuk waktu 8 jam/hari kerja, sedangkan yang diperbolehkan oleh ACGIH TLV-TWV adalah 25 ppm untuk waktu 8 jam. Kadar yang dianggap langsung berbahaya terhadap kehidupan atau kesehatan adalah 1500 ppm (0,15%). Paparan dari 1000 ppm (0,1%) selama beberapa menit dapat menyebabkan 50% kejenuhan dari karboksi hemoglobin dan dapat berakibat fatal.

Oleh karena beberapa fakta yang telah dijabarkan mengenai bahayanya gas CO tersebut, asap kebakaran harus dapat dikurangi atau dijernihkan. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian yang berkaitan dengan penjernihan asap terhadap kandungan gas CO. Sebuah penelitian pernah melakukan evaluasi potensi partikel nano dalam penjernihan asap di ruang tertutup dengan menggunakan beberapa partikel nano dan bubuk biasa (Yadav, Maghirang et al. 2008). Sebelumnya juga pernah dilakukan penelitian penjernihan asap dan pemadaman api menggunakan MgO yang sudah dipatenkan oleh Mulukutla et al, 2007. Namun, hasil penelitian-penelitian tersebut belum dapat dikatakan efektif dengan persentase gas CO teradsorb yang masih rendah.

Salah satu cara untuk mengurangi kadar gas CO adalah dengan proses adsorpsi oleh adsorben, dimana terjadi penyerapan gas CO yang terakumulasi pada permukaan adsorben. Dalam proses adsorpsi, luas permukaan adsorben merupakan parameter utama dalam mempertimbangkan adsorben yang akan digunakan. Kandidat adsorben yang paling baik adalah karbon aktif. Dibandingkan dengan adsorben lainnya, karbon aktif mempunyai daya adsorpsi dan luas permukaan yang lebih baik. Salah satu bahan baku yang paling baik untuk pembuatannya adalah tempurung kelapa. Arang tempurung kelapa mempunyai permukaan yang luas dan berongga dengan struktur yang berlapis. Kelebihan lainnya yaitu tidak bersifat racun, mudah didapat, ekonomis, dan efektif (Teng 1999).

Pada penelitian ini, karbon aktif dari arang tempurung kelapa akan digabungkan dengan TiO_2 untuk digunakan sebagai adsorben dalam mengadsorp gas CO dan menjernihkan asap kebakaran. Penggabungan ini dilakukan untuk memperluas permukaan sehingga akan menaikkan kinerja adsorpsi gas CO dan penjernihan asap. Penggunaan TiO_2 ini dikarenakan kelebihan sifat-sifat kimia fisiknya seperti luas permukaan yang cukup besar, memiliki stabilitas termal yang stabil, dan tidak bersifat acun. Selain itu, keberadaan TiO_2 melimpah di Indonesia terutama di daerah provinsi Bangka Belitung dan selalu stabil jika bekerja pada suhu ruangan.

Media arang tempurung kelapa yang disisipi TiO_2 berpengaruh terhadap adsorpsi gas CO dan NO_2 , dan lebih optimal dalam menurunkan konsentrasi gas CO dan NO_2 , dibandingkan media arang tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO_2 (Basuki, 2008).

Penggabungan karbon aktif dengan TiO_2 ini dapat dilakukan melalui metode penyisipan, dimana terjadi proses menyisipnya atom-atom atau molekul-molekul kedalam antar lapis material berlapis dengan tidak merusak struktur lapisan tersebut. Proses penyisipan ini dilakukan dengan metode impregnasi dengan pengadukan secara sonikasi dan dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 400°C - 600°C untuk proses pilarisasi. Penelitian dengan menggabungkan karbon aktif dan TiO_2 juga telah dilakukan untuk aplikasi penjernihan fenol, purifikasi udara, dan penyerapan senyawa organik lainnya.

Dalam kegunaannya sebagai penjernih asap kebakaran dan menyerap gas CO, diharapkan karbon aktif dari arang tempurung kelapa yang digabungkan dengan TiO_2 ini akan menjadi suatu teknik/alat yang lebih efektif dan efisien dibanding adsorben lain yang sudah digunakan sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dipelajari dan dianalisis adalah bagaimana melakukan preparasi karbon aktif, menyisipkan karbon aktif dengan TiO_2 untuk mendapatkan adsorben yang memiliki kapasitas adsorpsi gas CO yang tinggi dan mampu menjernihkan asap kebakaran.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengadsorpsi gas CO yang merupakan gas beracun hasil pembakaran pada kasus kebakaran menggunakan karbon aktif dari arang tempurung kelapa yang disisipi dengan TiO₂.
2. Melihat pengaruh massa dan ukuran partikel pada adsorben dalam mengadsorp gas CO dan menjernihkan asap kebakaran.
3. Melihat pengaruh penyisipan TiO₂ pada karbon aktif sebagai adsorben dalam mengadsorp gas CO dan menjernihkan asap kebakaran.

1.4 Batasan Masalah

1. Adsorben yang digunakan adalah karbon aktif yang disisipi dengan TiO₂.
2. Proses aktivasi karbon aktif dari tempurung kelapa menggunakan metode peneliti terdahulu (Pujiyanto, 2010)
3. Proses penyisipan TiO₂ pada karbon aktif menggunakan metode peneliti terdahulu (Muhammad Arif Alfat, 2009).
4. Uji adsorpsi gas CO dan penjernihan asap dilakukan menggunakan ruang uji ukuran 40 x 40 x 120 cm mengikuti metode peneliti terdahulu (Sukma Pamungkas, 2011)
5. Asap bahan bakar yang akan diuji adalah campuran serbuk kayu, kertas, kabel, dan arang.

1.5 Sistematika Penulisan

Makalah ini terdiri dari lima bab, yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah penelitian dan sistematika penulisan makalah.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan literatur mengenai pembakaran, gas karbon monoksida (CO), adsorpsi, adsorben karbon aktif, penyisipan TiO₂.

BAB 3 METODE PENELITIAN

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

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi perumusan hasil penelitian dan analisis yang berkaitan dengan kapasitas adsorpsi gas CO dan penjernihan asap kebakaran dari adsorben karbon aktif tersisipi TiO₂.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

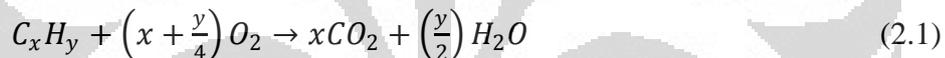
Berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kebakaran dan Pembakaran

Kebakaran adalah peristiwa terbakarnya material baik itu padat, cair atau gas dalam skala besar yang disertai terbentuknya asap [dimana penyebaran nyala api pembakarannya tidak terkendali dan terprediksi. Sedangkan pembakaran adalah reaksi kimia kompleks yang eksotermik antara bahan bakar (biasanya hidrokarbon) dan suatu pengoksidasi yang menghasilkan panas, cahaya, asap, dan gas. Pembakaran dikatakan sempurna bila campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat, hingga tidak diperoleh sisa. Bila oksigen terlalu banyak, dikatakan campuran *lean* (kurus). Sebaliknya, bila bahan bakarnya terlalu banyak (atau tidak cukup oksigen), dikatakan campuran *rich* (kaya). Secara umum, rumus kimia untuk stoikiometri pembakaran sempurna hidrokarbon dengan oksigen dapat dilihat pada persamaan 2.1 berikut:



Sedangkan reaksi pembakaran tidak sempurna hidrokarbon dengan oksigen, secara umum terlihat pada persamaan 2.2 berikut:



Komposisi udara secara umum adalah 79% N₂, 21% O₂ dan berat molekul rata-rata udara adalah 28,97. Pembakaran yang tidak sempurna seperti pada kasus kebakaran akan menghasilkan asap atau gas buang dengan komposisi yang sangat beragam.

Asap merupakan gas panas yang terdapat di atas api dan umumnya mengandung kombinasi gas, uap, dan partikel padat terdispersi dengan baik. Densitas dan toksisitas asap yang diproduksi akan tergantung pada bahan bakar yang dibakar, namun volume total asap yang diproduksi akan tergantung pada ukuran api dan tempat pembakaran terjadi. Asap ini mungkin menjadi sangat pekat dan padat. Pada beberapa kasus, asap akan menjadi panas dan mengandung produk beracun yang membahayakan kehidupan, salah satunya adalah gas CO atau karbon monoksida.

2.1.1 Karbon Monoksida

Karbon monoksida adalah senyawa kimia yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Karbon monoksida memiliki densitas yang lebih rendah dari udara dan sulit larut dalam air. Propertis dari karbon monoksida yang lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Properties Karbon Monoksida

SIFAT	KETERANGAN
Rumus molekul	CO
Penampakan	Gas tidak berwarna
Berat molekul	28,0101 gram/mol
Densitas	1,145 gram/liter pada 25 ⁰ C, 1atm
Titik beku	-205 °C
Titik didih	-192 °C
Kelarutan dalam air	0,0026 gram/100 mL (20 ° C)
Diameter molekul	3,76 Å

Sumber : Alfat, 2009

Karbon monoksida dikenal sebagai polutan yang sangat berbahaya bagi manusia. Sehingga kandungannya di udara sangat perlu untuk dikurangi (Mark Goldstein, 2008). CO yang terdapat di alam terbentuk dari salah satu dari tiga proses. Pertama, pembakaran tidak sempurna terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon. Kedua, reaksi antara karbon dioksida (CO₂) dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Ketiga, pada suhu tinggi, CO₂ terurai menjadi CO dan O.

Adapun konsentrasi sumber CO:

- 0,1 ppm - kadar latar alami atmosfer
- 0,5 to 5 ppm - rata-rata kadar latar di rumah
- 5 to 15 ppm - kadar dekat kompor gas rumah
- 100-200 ppm - daerah pusat kota Meksiko
- 5.000 ppm - cerobong asap rumah dari pembakaran kayu
- 7.000 ppm - gas knalpot mobil yang tidak diencerkan - tanpa pengubah katalitik
- 30,000 ppm - asap rokok yang tidak diencerkan

Baku mutu keberadaan CO adalah 10.000 ug/Nm³ udara dengan rata-rata waktu pengukuran 24 jam. Sumber gas CO yang dapat dijumpai di lingkungan sekitar adalah berasal dari kompor minyak tanah, kompor gas, pemanas air, perapian, pemanas ruangan dan kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor adalah penyebab utama terjadinya keracunan gas karbon monoksida.

Keracunan gas karbon monoksida dapat menyebabkan kematian karena dapat berikatan kuat dengan *hemoglobin* dan menghambat proses pengangkutan oksigen ke dalam jaringan-jaringan tubuh (Mark Goldstein, 2008). Efek yang terjadi berbeda-beda tergantung dari konsentrasi karbonmonoksida yang terhirup seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Konsentrasi karbonmonoksida dan waktu paparan (Mark Goldstein, 2008)

Konsentrasi CO	Tingkat COHb	Dampak
35 ppm	< 10%	Dalam 6 - 8 jam pusing dan kepala sakit
100 ppm	> 10%	Dalam 2 - 3 jam kepala sakit
200 ppm	20%	Dalam 2 - 3 jam kepala sakit dan hilang keseimbangan
400 ppm	25%	Dalam 1 - 2 jam sakit kepala hebat
800 ppm	30%	Dalam 45 menit pusing, mual
1600 ppm	40%	Dalam 20 menit pusing, kepala sakit, mual; 2 jam meninggal
3200 ppm	50%	Dalam 5 - 10 menit pusing, kepala sakit, mual; 30 menit meninggal
6400 ppm	60%	Dalam 1 - 2 menit pusing, kepala sakit; 20 menit sesak napas, meninggal
12800 ppm	> 70%	< 3 menit meninggal

Selain gas CO, masih terdapat beberapa senyawa gas buang pembakaran yang bersifat racun. Tabel 2.3 menunjukkan komponen beracun dalam gas pembakaran.

Tabel 2.3 Komponen beracun utama dalam gas pembakaran (Wei W dkk, 2007).

<i>Yield independent of fire ventilation</i>	<i>Yield increase with ventilation</i>	<i>Yield decrease with ventilation</i>
HF (2900; 500 ppm)	CO ₂ , tidak beracun secara khusus, tetapi mempengaruhi kadar O ₂ dan meningkatkan laju pernapasan	CO (5700 ppm)
HCl (3800; 1000 ppm)	NO ₂ (250; 170 ppm)	HCN (165 ppm)
HBr (3800; 1000 ppm)	SO ₂ (1400; 150 ppm)	<i>Alyphatic ang aromatic hydrocarbon, PAH</i>

2.2 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, seperti aerosol lain, 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):

- Meningkatkan koagulasi dengan memakai partikel penyerap, muatan elektrostatis atau gelombang suara
- Meningkatkan kondensasi dengan memakai inti higroskopis
- Meningkatkan evaporasi melalui pemanasan
- 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 TiO₂, NA MgO, NA MgO plus, NA Al₂O₃, dan NA Al₂O₃ plus) dan bubuk biasa (NaHCO₃, CaCO₃, Ca(OH)₂, dan TiO₂). NA adalah singkatan dari Nano Active™, sebuah merek dagang. Mulamula 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% ($t^*_{10} = 0,1$). Artinya, asap dapat jernih 10 kali lebih cepat dengan memakai adsorben ini

Patent penjernihan asap telah dikeluarkan oleh Mulukutla, dkk, 2007. Seperti yang telah disinggung di bab sebelumnya bahwa NA TiO₂-07 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.

2.2.1 Opasitas

Opasitas merupakan derajat ketidaktebusan permukaan benda terhadap cahaya (kegelapan). Pada banyak kasus, opasitas diartikan sebagai pengukuran seberapa banyak radiasi elektromagnet, yaitu sinar, yang dapat melewati sistem yang tersusun dari molekul gas, atom, ion, dan kumpulan debu (Jonathan, 2002). Opasitas dapat memberi informasi jenis material apa yang ada dan berapa banyak kemungkinan kandungan material itu. Opasitas dinyatakan dalam persen dengan rentang 0 sampai 100. Sebagai contoh, jika suatu keadaan dikatakan memiliki opasitas 25%, hal ini berarti debu, jelaga, atau asap hanya menahan 25% cahaya yang lewat dan meneruskan 75% sisanya (Jennifer et. al., 2007). Untuk keadaan yang benar-benar gelap opasitas diberi persentase 100 dan keadaan jernih diberi persentase 0.

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi biasa diartikan sebagai proses yang terjadi ketika gas atau cairan terlarut terakumulasi pada permukaan suatu padatan atau cairan (adsorben) dan membentuk lapisan molekul atau atom (adsorbat). Istilah adsorpsi biasa digunakan untuk menggambarkan keberadaan suatu bahan tertentu (cairan atau padatan) dengan konsentrasi yang lebih tinggi pada permukaannya daripada di dalam medium fasa ruahnya. Secara singkat, adsorpsi menunjukkan kelebihan konsentrasi pada permukaan. Zat yang terakumulasi pada permukaan disebut adsorbat, sedangkan material permukaan padatan/cairan disebut adsorben (Douglas M, 1984). Proses adsorpsi berbeda dengan proses absorpsi, dimana proses absorpsi merupakan reaksi kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben.

Molekul-molekul pada adsorben mempunyai gaya dalam keadaan tidak setimbang dimana gaya kohesi cenderung lebih besar daripada gaya adhesi. Gaya kohesi adalah gaya tarik-menarik antar molekul yang sama jenisnya, gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan zat yang lainnya tidak dapat terikat karena molekulnya saling tolak-menolak. Gaya adhesi adalah gaya tarik-menarik antar molekul yang berbeda jenisnya, gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan zat yang lainnya dapat terikat dengan baik karena molekulnya saling tarik-menarik. Ketidaksetimbangan gaya-gaya tersebut menyebabkan adsorben cenderung menarik zat-zat lain atau gas yang bersentuhan dengan permukaannya.

Pada dasarnya, proses adsorpsi yang terjadi pada adsorben berlangsung melalui tiga tahap, yaitu (Hendra, 2008):

1. Perpindahan makro, pergerakan molekul adsorbat melalui sistem makropori adsorben.
2. Perpindahan mikro, pergerakan molekul adsorbat melalui sistem mesopori adsorben.
3. *Sorption*, terikatnya molekul adsorbat pada permukaan adsorben pada dinding pori mesopori dan mikropori.

2.3.1 Jenis Adsorpsi

Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibagi menjadi 2 jenis, yaitu (Khairunisa, 2008):

a. Adsorpsi Fisik (*Physisorption*)

Adsorpsi fisik merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya *Van Der Waals*, yaitu gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi ini terjadi apabila suatu adsorbat dialirkan pada permukaan adsorben yang bersih. Pada adsorpsi fisik, adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya, dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya (*multilayer*). Adsorpsi fisik memiliki ciri-ciri berikut ini :

- Proses adsorpsi terjadi pada *ambient* dengan temperatur rendah dibawah temperatur kritis dari adsorbat.
- Gaya tarik-menarik antar molekul yang terjadi adalah gaya *Van Der Waals*.
- Proses adsorpsi terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi.
- Panas adsorpsi yang dikeluarkan rendah, $\Delta H < 20$ kJ/mol.
- Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara pemanasan pada temperatur 150-200 °C selama 2-3 jam
- Proses adsorpsi reversible.

b. Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*)

Adsorpsi kimia merupakan adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Jenis adsorpsi ini diberi istilah adsorpsi. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk adalah lapisan *monolayer*. Adsorpsi kimia memiliki ciri-ciri berikut ini :

- Proses adsorpsi terjadi pada *ambient* dengan temperatur tinggi dibawah temperatur kritis dari adsorbat.
- Interaksi antara adsorbat dan adsorben berupa ikatan kovalen.
- Proses adsorpsi memerlukan energi aktivasi yang besar.
- Panas adsorpsi yang dikeluarkan $50 < \Delta H < 800$ kJ/mol.

- Ikatan yang terbentuk tidak mudah diputuskan (kuat)
- Proses adsorpsi reversibel pada temperatur tinggi.

2.3.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Jumlah fluida yang teradsorpsi atau daya adsorpsi pada permukaan adsorben dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini : (Khairunisa, 2008)

1) Jenis adsorbat

a. Ukuran molekul adsorbat

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

b. Kepolaran zat

Adsorpsi lebih kuat terjadi pada molekul yang lebih polar dibandingkan dengan molekul yang kurang polar pada kondisi diameter yang sama. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang telah lebih dahulu teradsorpsi. Pada kondisi dengan diameter yang sama, maka molekul polar lebih dulu diadsorpsi.

2) Karakteristik adsorben

a. Kemurnian adsorben

Sebagai zat yang digunakan untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben. Dalam proses adsorpsi seringkali adsorben diberikan perlakuan awal untuk meningkatkan luas permukannya karena luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi.

3) Tekanan adsorbat

Pada adsorpsi fisika, kenaikan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi. Sebaliknya pada adsorpsi kimia kenaikan tekanan adsorbat justru akan mengurangi jumlah yang teradsorpsi.

4) Temperatur Absolut

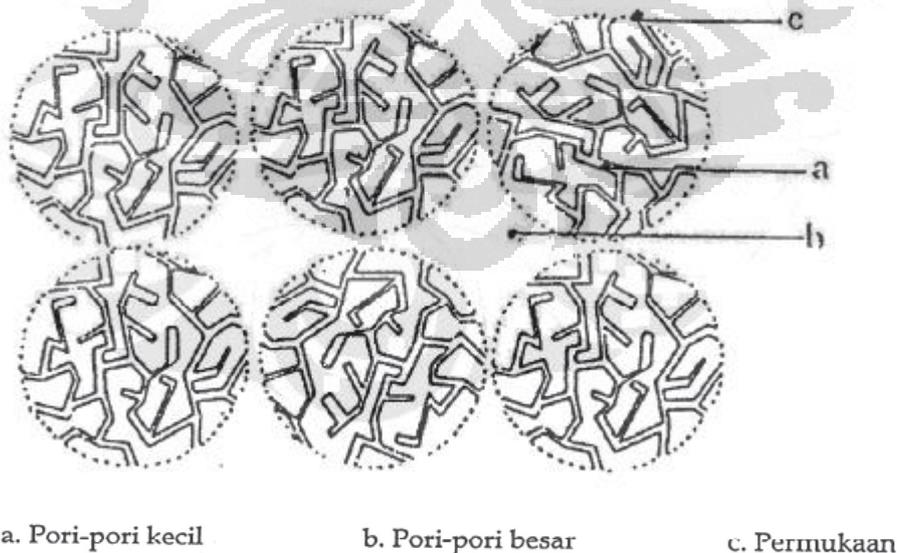
Yang dimaksud dengan temperatur absolut adalah temperatur adsorbat. Pada saat molekul-molekul gas atau adsorbat melekat pada permukaan adsorben, akan terjadi pembebasan sejumlah energi. Selanjutnya peristiwa adsorpsi ini dinamakan peristiwa eksotermis. Pada adsorpsi fisika, berkurangnya temperature akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi dan demikian pula untuk peristiwa sebaliknya.

2.3.3 Tempat Terjadinya Adsorpsi

Proses terjadinya adsorpsi pada suatu adsorben terletak di pori-pori adsorben itu sendiri. Tempat-tempat terjadinya adsorpsi pada adsorben adalah : (Hendra, 2008)

- Pori-pori berdiameter kecil (*Micropores* $d < 2$ nm)
- Pori-pori berdiameter sedang (*Mesopores* $2 < d < 50$ nm)
- Pori-pori berdiameter besar (*Macropores* $d > 50$ nm)
- Permukaan adsorben.

Ilustrasi tempat terjadinya adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Ilustrasi tempat terjadinya adsorpsi (Hendra, 2008)

2.4 Adsorben

Adsorben dapat didefinisikan sebagai zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase gas atau fluida. Adsorben merupakan material berpori, dan proses adsorpsi berlangsung di dinding pori-pori atau pada lokasi tertentu pada pori tersebut.

Adsorben dapat digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu adsorben tidak berpori (*non-porous sorbents*) dan adsorben berpori (*porous sorbents*). (Hendra, 2008)

1. Adsorben tidak berpori (*non-porous sorbents*)

Adsorben tidak berpori dapat diperoleh dengan cara presipitasi deposit kristalin seperti BaSO_4 atau penghalusan padatan kristal. Luas permukaan spesifiknya kecil, tidak lebih dari $10 \text{ m}^2/\text{g}$ dan umumnya antara 0.1 s/d $1 \text{ m}^2/\text{g}$. Adsorben tidak berpori seperti filter karet (*rubber filters*) dan karbon hitam bergrafit (*graphitized carbon blacks*) adalah jenis adsorben tidak berpori yang telah mengalami perlakuan khusus sehingga luas permukaannya dapat mencapai ratusan m^2/g .

2. Adsorben berpori (*porous sorbents*)

Luas permukaan spesifik adsorben berpori berkisar antara 100 s/d $1000 \text{ m}^2/\text{g}$. Biasanya digunakan sebagai penyangga katalis, dehidrator, dan penyeleksi komponen. Adsorben ini umumnya berbentuk granular. Klasifikasi pori menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) adalah:

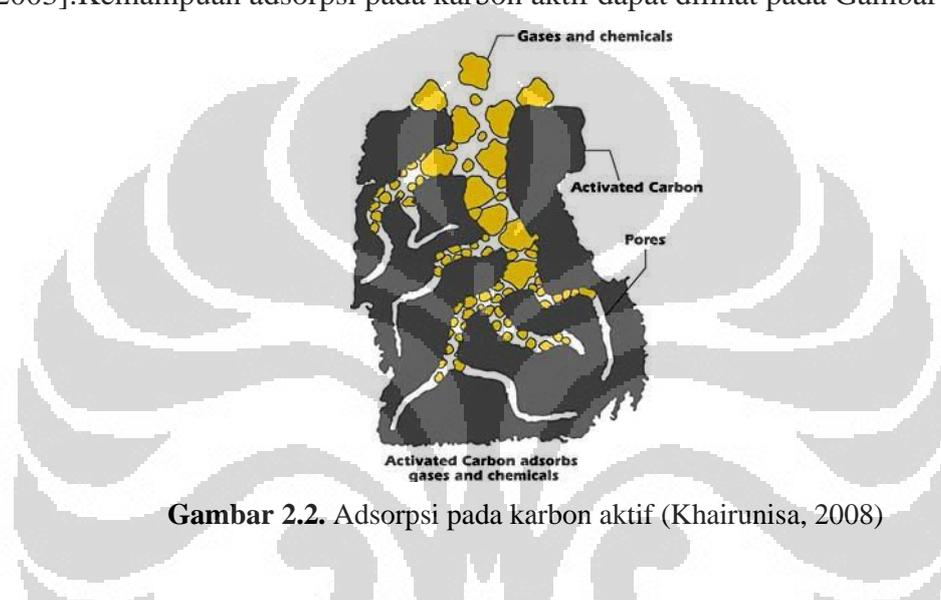
- Mikropori : Diameter $< 2 \text{ nm}$
- Mesopori : Diameter $2 < d < 50 \text{ nm}$
- Makropori : Diameter $d > 50 \text{ nm}$

Kriteria yang harus dipenuhi suatu adsorben untuk dapat menjadi adsorben komersial adalah (Hendra, 2008) :

- Memiliki permukaan yang besar per unit massanya sehingga
- kapasitas adsorpsinya akan semakin besar pula.
- Secara alamiah dapat berinteraksi dengan adsorbat pasangannya.
- Ketahanan struktur fisik yang tinggi.
- Mudah diperoleh, harga tidak mahal, tidak korosif, dan tidak beracun.
- Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi.
- Mudah dan ekonomis untuk diregenerasi.

2.5 Karbon Aktif

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]. Kemampuan adsorpsi pada karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Adsorpsi pada karbon aktif (Khairunisa, 2008)

Karbon aktif merupakan 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.

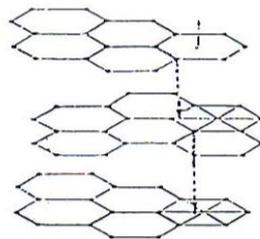
Karbon aktif terdiri dari 87 – 97 % karbon dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen serta senyawa-senyawa lain yang terbentuk dari proses pembuatan. Volume pori-pori karbon aktif biasanya lebih besar dari 0,2 cm³/gram dan bahkan terkadang melebihi 1 cm³/gram. Luas permukaan internal karbon aktif yang telah diteliti umumnya lebih besar dari 500 m²/gram dan bisa mencapai 1908 m²/gram.

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. Perubahan bahan dasar juga mempunyai efek terhadap kapasitas adsorpsi dan kinetik dari karbon aktif. Bahan dasar yang digunakan memberikan pengaruh terhadap struktur permukaan besar dari karbon aktif yang dapat dilihat dari *Scanning Electron Micrographs (SEM)*. Karbon aktif yang berbahan dasar dari kayu mempunyai struktur pori-pori besar yang jauh lebih teratur dibandingkan karbon aktif berbahan dasar batu bara. Ada 3 kriteria bahan dasar yang dapat dibuat sebagai karbon aktif, yaitu:

- bahan dasar harus mengandung karbon
- pengotor pada bahan dasar harus dijaga seminimal mungkin
- bahan dasar harus mempunyai kualitas yang konstan

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

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 2.3).

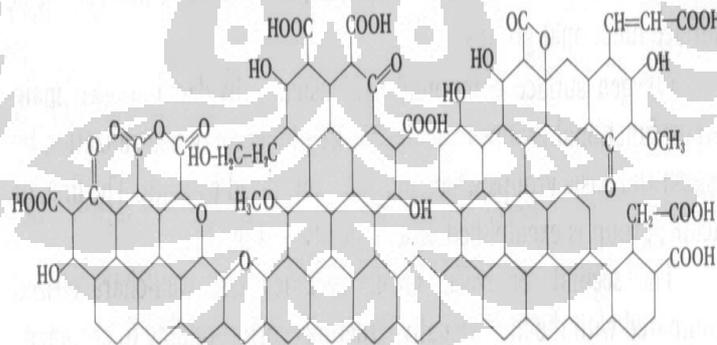


Gambar 2.3 Struktur Fisik Karbon Aktif (Sontheimer, 1985)

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. Oksida-oksida 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 2.4.



Gambar 2.4 Struktur Kimia Karbon Aktif (Sudibandriyo, 2003)

2.5.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Pada prinsipnya pembuatan karbon aktif terdiri atas tiga proses sebagai berikut (Manocha, 2003) :

1. Pemilihan bahan dasar

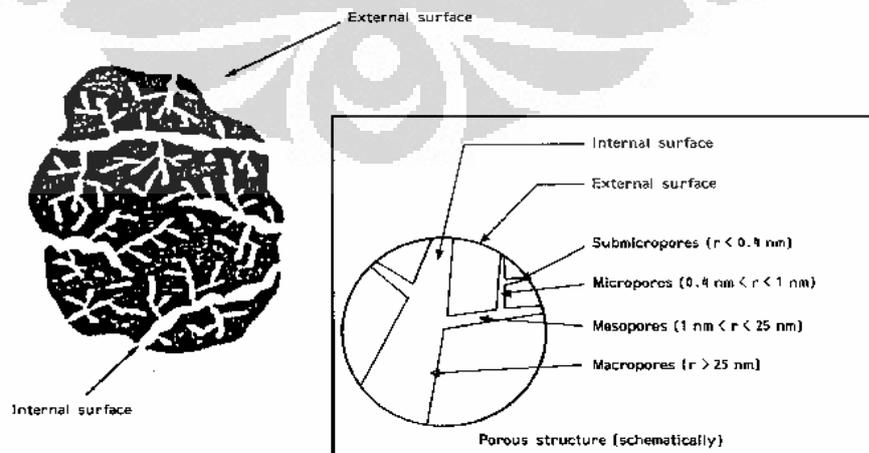
Karbon aktif bisa dibuat dari berbagai macam bahan, selama bahan tersebut mengandung unsur karbon seperti batubara, tempurung kelapa, kayu, sekam padi, tulang binatang, kulit biji kopi, dan lain-lain. Pemilihan bahan dasar untuk dijadikan karbon aktif harus memenuhi beberapa kriteria yaitu unsur inorganik yang rendah, ketersediaan bahan (tidak mahal dan mudah didapat), memiliki *durability* yang baik, dan mudah untuk diaktivasi.

2. Karbonisasi

Karbonisasi adalah suatu proses pirolisis pada suhu 400-900°C. Pirolisis adalah suatu proses untuk merubah komposisi kandungan kimia dari bahan organik dengan cara dipanaskan dalam kondisi tidak ada kandungan udara sekitar. Jadi, bahan dasar ``diselimuti`` gas inert untuk mencegah bahan terbakar karena adanya udara sekitar. Biasanya gas nitrogen (N₂) dan argon (Ar) digunakan pada proses karbonisasi. Tujuan karbonisasi untuk menghilangkan zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*) yang terkandung pada bahan dasar. Bahan dasar yang telah melalui proses karbonisasi sudah memiliki pori-pori.

3. Aktivasi

Aktivasi adalah bagian dalam proses pembuatan karbon aktif yang bertujuan untuk membuka atau menciptakan pori yang dapat dilalui oleh adsorbat, memperbesar distribusi dan ukuran pori serta memperbesar luas permukaan karbon aktif dengan proses *heat treatment*. Pada Gambar 2.5 dapat dilihat pori-pori yang terbentuk pada karbon aktif yang telah diaktivasi.

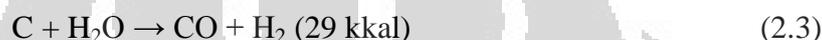


Gambar 2.5 Pori-pori karbon aktif (Khairunisa, 2008)

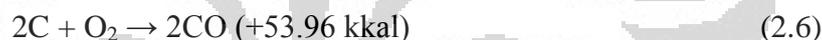
Terdapat 2 metode aktivasi, yaitu:

- Aktivasi Fisika

Pada aktivasi secara fisika, karbon dipanaskan pada suhu sekitar 800 – 1000°C dan dialirkan gas pengoksidasi seperti uap air, oksigen, atau CO₂. Gas pengoksidasi akan bereaksi dengan karbon dan melepaskan karbon monoksida dan hidrogen untuk gas pengoksidasi berupa uap air. Senyawa-senyawa produk samping pun akan terlepas pada proses ini sehingga akan memperluas pori dan meningkatkan daya adsorpsi. Gasifikasi karbon dengan uap air dan CO₂ terjadi melalui reaksi bersifat endotermis berikut ini (Manocha, 2003).



Sedangkan aktivasi fisika dengan oksigen melalui reaksi bersifat eksotermis berikut ini.



Namun, pada aktivasi fisika seringkali terjadi kelebihan oksidasi eksternal sewaktu gas pengoksidasi berdifusi pada karbon sehingga terjadi pengurangan ukuran adsorben. Selain itu, reaksi sulit untuk dikontrol.

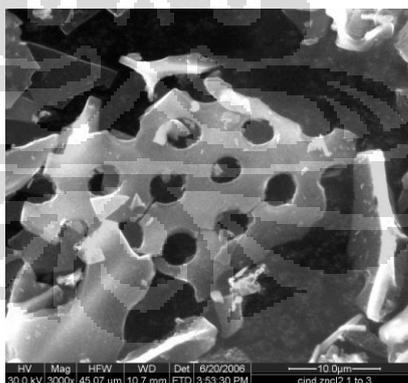
- Aktivasi Kimiawi

Aktivasi kimiawi biasanya digunakan untuk bahan baku mengandung lignoselulosa. Pada aktivasi ini, karbon dicampur dengan larutan kimia yang berperan sebagai *activating agent*. Larutan kimia yang dipakai biasanya adalah garam dari logam alkali dan alkali tanah serta zat asam seperti KOH, NaOH, ZnCl₂, K₂CO₃, H₃PO₄, dan H₂SO₄. *Activating agent* akan mengoksidasi karbon dan merusak permukaan bagian dalam karbon sehingga akan terbentuk pori dan meningkatkan daya adsorpsi. Selain itu, *activating agent* akan menghambat pembentukan tar dan mengurangi pembentukan asam asetat, metanol, dan lain-lain (Manocha, 2003).

Salah satu jenis larutan kimia yang banyak dipakai sebagai *activating agent* adalah ZnCl₂. Reynaldo Nacco dkk telah menemukan ZnCl₂ lebih baik dibandingkan dengan K₂CO₃ atau H₃PO₄ dalam menjadi *activating*

agent untuk memproduksi karbon aktif. Kemampuan $ZnCl_2$ mengaktivasi (membentuk pori) karbon berdasarkan fungsi dehidrasi. Selama proses aktivasi, $ZnCl_2$ mengeliminasi atom hidrogen dan oksigen dari material karbon sebagai air daripada sebagai komponen organik oksigen, sehingga baik untuk generasi porositas serta meningkatkan kandungan karbon.

$ZnCl_2$ adalah *activating agent* yang dapat mengubah perilaku pirolisis prekursor karbon. $ZnCl_2$ akan diselingi ke dalam matriks karbon dengan impregnasi. Ketika pirolisis, impregnasi $ZnCl_2$ menyebabkan dehidrasi dari prekursor karbon lebih mengarah ke pengarang dan aromatisasi bersama dengan penciptaan pori-pori. Selama proses aktivasi, $ZnCl_2$ cair terbentuk di atas titik didih $ZnCl_2$. Peningkatan suhu aktivasi lebih lanjut, interaksi antara atom karbon dan Zn terjadi sehingga mengakibatkan pelebaran signifikan dari interlayers karbon dan menciptakan pori-pori dalam matriks karbon. Selama interaksi dengan karbon, $ZnCl_2$ membantu penghilangan air dari struktur karbon dengan memotong hidrogen dan oksigen dari prekursor karbon. Hasil aktivasi $ZnCl_2$ yaitu terbentuknya mikropori dapat dilihat pada Gambar 2.6. Gambar ini didapat dari hasil *Scanning Electron Micropore* dengan pembesaran 3000 kali.



Gambar 2.6. Hasil SEM dari karbon aktif yang telah diaktivasi dengan $ZnCl_2$
(Viswanathan et al, 2008)

2.5.2 Arang Tempurung Kelapa

Arang tempurung kelapa adalah arang yang menghasilkan karbon dengan pori-pori lebih terbuka. Arang tempurung kelapa mempunyai permukaan yang luas

dan berongga dengan struktur yang berlapis. Hal ini menyebabkan arang tempurung kelapa dapat menyerap gas atau zat lain dalam larutan dan udara (Tjokrokusumo, 1995).

Arang tempurung kelapa digunakan sebagai adsorben karena :

1. Mempunyai daya adsorpsi selektif.
2. Berpori, sehingga luas permukaan persatuan massa besar.
3. Mempunyai daya ikat yang kuat terhadap zat yang hendak dipisahkan secara fisik atau kimiawi.

Pori-pori arang tempurung kelapa mempunyai bentuk dan ukuran yang bervariasi dan tidak teratur, berkisar antara 10-10000 Å.

Pori-pori ini dapat menangkap dan menjerap partikel-partikel sangat halus (molekul). Semakin banyaknya zat-zat yang diadsorpsi maka pori-pori ini pada akhirnya akan jenuh sehingga arang tempurung kelapa tidak akan berfungsi lagi. Arang tempurung kelapa yang telah jenuh dapat direaktifasi kembali, meskipun demikian tidak jarang yang disarankan untuk sekali pakai.

Arang tempurung kelapa yang digunakan untuk menjerap molekul-molekul gas adalah yang berpori-pori mikro. Menurut Cheremisinof (1998), arang tempurung kelapa ini dapat menyebabkan molekul gas yang sangat kecil mampu melewatinya. Arang tempurung kelapa adalah penyerap gas dibuat dari tempurung kelapa yang berukuran pori 20 Å.

Arang tempurung kelapa mengandung ion-ion logam dan molekul-molekul air. Dalam keadaan normal ruang antarlapis pada arang tempurung kelapa terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila arang tempurung kelapa dipanaskan sampai pada suhu 100°C maka molekul-molekul air tersebut akan menguap (keluar) sehingga arang tempurung kelapa dapat berfungsi sebagai penyerap gas.

2.6 TiO₂

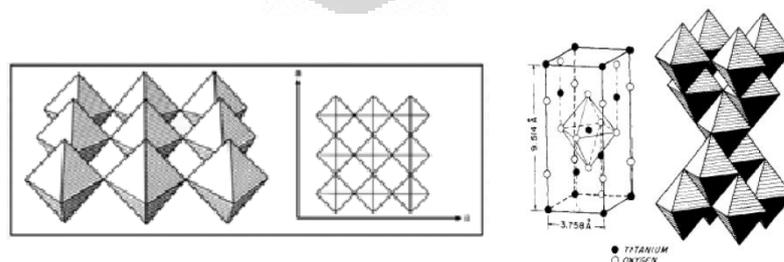
TiO₂ termasuk salah satu jenis oksida logam yang merupakan katalis semikonduktor. Diantara sekian banyak jenis semikonduktor, hingga saat ini TiO₂ memegang peranan utama dalam proses katalisis karena berbagai kelebihan sifat-sifat kimia fisiknya seperti aktivitas katalisisnya yang tinggi, stabil, dan tidak

beracun. Pada Tabel 2.4 dijelaskan sifat fisik dan mekanik TiO₂ yang khas. Secara komersil, TiO₂ juga memiliki kelebihan dibandingkan dengan katalis lainnya karena mudah didapat dan diproduksi dalam jumlah besar.

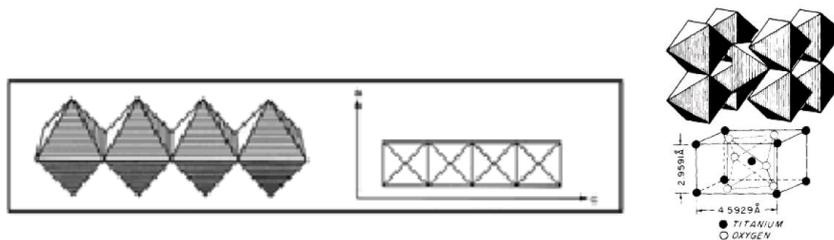
Tabel 2.1 Sifat Fisik dan Mekanik TiO₂ yang khas (Basuki, 2008)

Karakteristik	Nilai
Densitas	4 gcm ⁻³
Porositas	0 %
Modulus rekah	140 MPa
Kekuatan kemampatan	680 Mpa
Ratio poisson's	0,27
Modulus elastisitas	230 Gpa
Resistivitas (25 °C)	10 ¹² ohm.cm
Resistivitas (700 °C)	2,5x10 ⁴ ohm.cm
Konstanta dielektrik (1 MHz)	85
Kekuatan dielektrik	4 kV mm ⁻¹
Ekspansi thermal (RT-1000 °C)	98x10 ⁻⁶
Konduktivitas thermal (25 °C)	11,7 WmK ⁻¹
Titik lebur	1830-1850 °C
Titik didih	2500-3000 °C

Dilihat dari struktur kristalnya, katalis TiO₂ memiliki tiga jenis struktur kristal yaitu *anatase*, *rutile* dan *brookite*. Berbeda dengan struktur *anatase* dan *rutile*, struktur Kristal *brookite* sulit untuk dipreparasi dan hanya ditemukan pada mineral. Pada umumnya, struktur *anatase* merupakan bentuk yang paling sering digunakan. Secara termodinamika struktur anatase kurang stabil daripada rutile, namun pembentukannya yang terjadi pada temperatur 400-600⁰C membuatnya memiliki luas permukaan yang lebih besar dan densitas permukaan aktif yang lebih tinggi untuk adsorpsi dan katalisis (Slamet, 2007). Gambaran struktur *anatase* dan *rutile* dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Struktur kristal anatase TiO₂ (Slamet et al,2007)



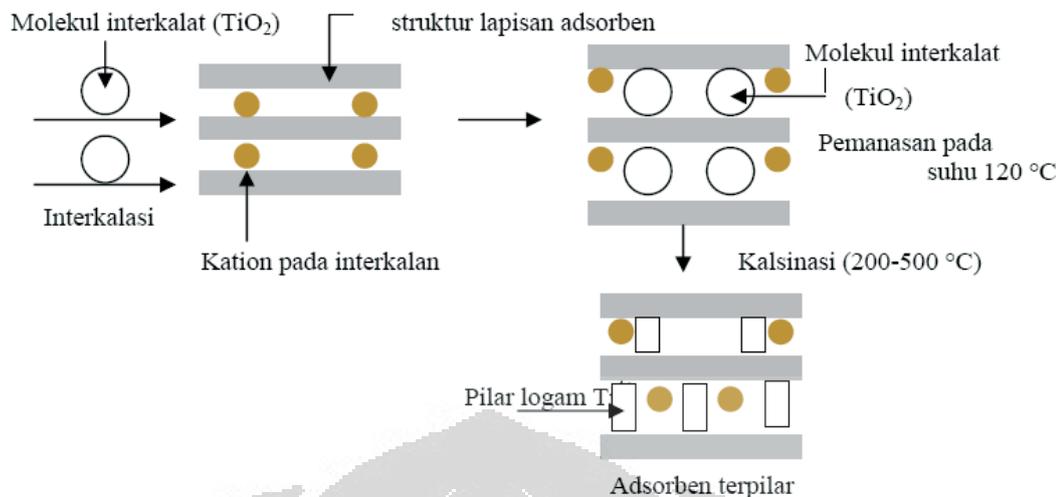
Gambar 2.8 Struktur kristal rutile TiO₂ (Slamet et al, 2007)

2.7 Penyisipan TiO₂

Penyisipan atau yang biasa disebut interkalasi merupakan suatu proses menyisipnya atom-atom atau molekul-molekul kedalam antar lapis material berlapis dengan tidak merusak struktur lapisan tersebut. Atom-atom atau molekul-molekul yang akan disisipkan sering disebut sebagai interkalat. Lapisan yang merupakan tempat interkalat yang akan masuk disebut interkalan. Dengan masuknya interkalat kedalam interkalan maka susunan yang dimiliki interkalan akan mengalami perubahan, karena interkalat memiliki ukuran molekul yang lebih besar dari ukuran kation interkalan aslinya. (Basuki, 2008)

Proses penyisipan terjadi karena interkalat yang masuk berupa molekul akan menggeser kation-kation yang ada pada antarlapis karbon aktif. Kation pada antarlapis karbon aktif umumnya tidak kuat terikat sehingga sangat mudah digeser oleh molekul interkalat melalui pemanasan pada suhu 120°C.

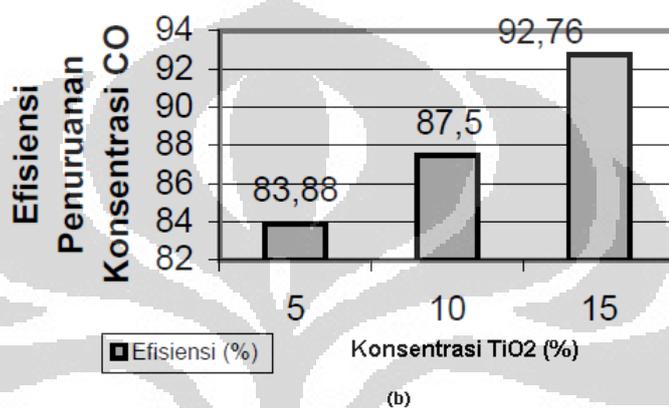
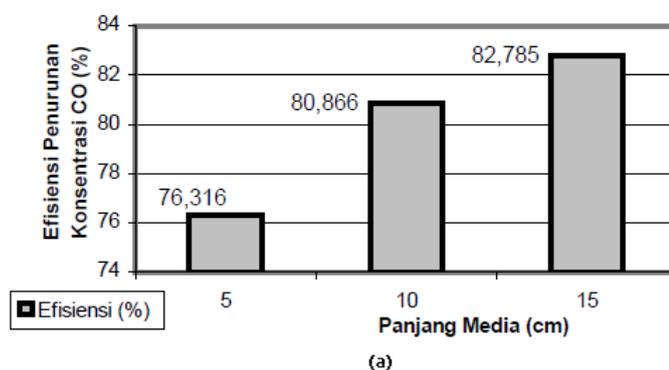
Pada pemanasan lebih lanjut (di atas 200°C), molekul interkalat akan membentuk pilar-pilar logam. Proses ini disebut dengan pilarisasi. Menurut Sumerta (2002) pilarisasi adsorben pada dasarnya merupakan interkalasi molekul TiO₂ kedalam antarlapis adsorben yang kemudian membentuk pilar logam Ti⁴⁺ melalui proses kalsinasi. Skema proses penyisipan TiO₂ dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Skema Proses Penyisipan TiO₂ dan Pembentukan Pilar Ti⁴⁺ pada Adsorben (Basuki, 2008)

Titanium dioksida yang disisipkan pada karbon aktif hanya berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat terjadinya proses penyerapan gas CO oleh karbon aktif. Kemampuan katalis bergantung pada permukaan zat padat berpori yang biasanya dikenal sebagai penopang katalis. Beberapa contoh katalis yang biasa digunakan antara lain silika gel, dan alumina. Menurut IBosuki (1996), katalis TiO₂ dapat mengoksidasi NO₂ dan mampu memecah berbagai senyawa organik, antara lain molekul merkaptan, asetaldehid, dan hidrogen sulfida. TiO₂ dapat diregenerasi dengan mudah pada suhu ruangan. Menurut para ahli kimia, TiO₂ merupakan katalis yang cocok untuk digunakan karena mempunyai keuntungan diantaranya tidak bersifat beracun, selalu stabil dan bekerja pada suhu ruangan.

Penelitian menggunakan karbon aktif yang disisipi TiO₂ untuk menurunkan konsentrasi CO pada emisi gas buang telah dilakukan oleh Basuki (2008). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa media karbon aktif yang disisipi TiO₂ berpengaruh terhadap adsorpsi gas CO dan lebih optimal dalam menurunkan konsentrasi gas CO, dibandingkan media karbon aktif tanpa penyisipan TiO₂. Hasil ini dapat dilihat pada grafik perbandingan pada Gambar 2.10. Grafik (a) menunjukkan efisiensi penurunan konsentrasi CO oleh media karbon aktif tanpa penyisipan TiO₂ dengan variasi panjang media karbon aktif 5 cm, 10 cm, dan 15 cm.



Gambar 2.10 Perbandingan efisiensi penurunan konsentrasi gas CO menggunakan (a) karbon aktif tanpa penyisipan TiO₂ dan (b) dengan karbon aktif yang telah disisipi TiO₂ (Basuki, 2008)

Ada beberapa teknik yang dapat digunakan untuk meng-imobilisasi TiO₂ pada suatu material, antara lain impregnasi, *coating*, *sputtering*, *thermal spraying*, dan sol gel. Masing-masing metode ini akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Impregnasi

Impregnasi adalah salah satu metode untuk mendispersikan komponen aktif ke permukaan pengemban. Impregnasi ini dapat meningkatkan keasaman pengemban dan luas permukaan spesifiknya. Namun, imobilisasi menggunakan metode ini dapat menyebabkan komponen aktif tidak terdispersi secara merata ke permukaan pengemban.

2. *Coating*

Metode *coating* dapat digunakan untuk membuat lapisan tipis pada pengemban berbentuk bongkahan padat, seperti kaca. *Coating* dapat dilakukan dengan baik dengan cara pencelupan substrat ke suatu larutan (*dip coating*)

maupun pemutaran (*spin coating*). Namun, hasil lapisan tipis yang didapatkan memiliki hasil yang tidak merata sehingga substrat tidak terlapisi semua oleh komponen aktif.

3. *Sputtering*

Sputtering adalah suatu teknologi untuk membuat lapisan tipis dan modifikasi permukaan (*surface treatment*) dengan cara memanfaatkan tumbukan antara ion-ion berenergi tinggi dengan permukaan target yang akan dideposisikan. Metode ini merupakan pengembangan dari teknik *coating* yang sudah lazim digunakan. Keunggulan metode *sputtering* adalah bahan yang akan dilapiskan/dideposisikan tidak harus dipanaskan hingga meleleh, sehingga sangat menguntungkan untuk mendeposisikan bahan-bahan yang mempunyai titik leleh tinggi. Selain itu, lapisan yang diperoleh lebih kuat melekat karena atom-atomnya dapat masuk lebih dalam pada permukaan substrat. Namun, immobilisasi dengan menggunakan metode *sputtering* dapat menyebabkan terjadinya kerusakan struktur atom substrat.

4. *Thermal Spraying*

Thermal spraying adalah teknik immobilisasi yang dilakukan dengan cara memanaskan atau melelehkan material yang akan disemprotkan ke suatu permukaan penyangga dengan menggunakan sumber panas berupa energi listrik atau energi kimia. Metode sulit digunakan untuk bahan-bahan yang mempunyai titik leleh tinggi.

5. Sol Gel

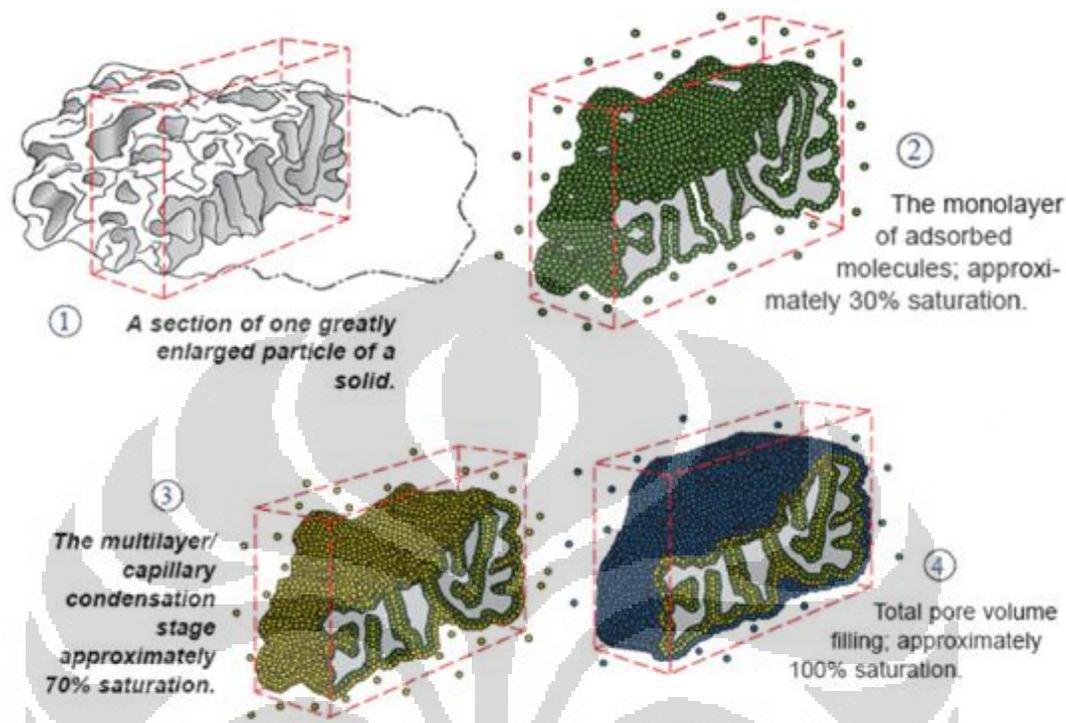
Sol-gel adalah salah satu teknik immobilisasi yang sering digunakan. Metode sol-gel merupakan salah satu metode preparasi yang paling luas penggunaannya karena kapabilitasnya dalam mengontrol tekstural dan sifat permukaan *mixed-oxide*. Metode ini dapat menghasilkan fotokatalis yang transparan dengan dispersi fotokatalis berstruktur tetrahedral tinggi.

2.8 Karakterisasi Adsorben

2.8.1 Karakterisasi Luas Permukaan (Metode BET)

Luas permukaan dari material berpori atau adsorben adalah suatu cara yang tepat untuk menyatakan kapasitas adsorpsi dari material berpori itu sendiri.

Karakterisasi luas permukaan dapat dilakukan dengan metode BET untuk mengukur luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan dari tempurung kelapa.



Gambar 2.11 Permukaan adsorbent yang telah diperbesar dan telah mengalami proses degassing.(1) Pori-pori karbon aktif (2) Pori-pori karbon aktif dengan *monolayer* (3) Pori-pori karbon aktif dengan *multilayer* (4) Pori-pori karbon aktif dengan *multilayer* terisi penuh.(Baroto, 2008)

Pada Gambar 2.11 adalah tahapan seberapa besar kapasitas penyerapan suatu *adsorbent* yaitu meliputi persiapan *adsorbent*, pembentukan *monolayer*, pembentukan *multilayer*, dan pengisian pori-pori secara penuh oleh *adsorbate*.

Metode BET dikembangkan oleh Brunauer–Emmet–Teller pada tahun 1938 dengan dua jenis pengukuran yaitu *single point* dan *multi point*. Pengukuran *single point* dilakukan bila profil *isotherm* telah diketahui dan dilaksanakan pada suatu nilai tekanan parsial adsorbat di mana profil isothermnya linier. Sedangkan pengukuran *multi point* dilakukan jika profil isothermnya belum diketahui dilakukan dengan memvariasikan nilai tekanan parsial adsorbat pada rentang $0.05 < (P/P_0) < 0.35$. Bila adsorbat yang digunakan adalah gas nitrogen, maka nitrogen cair digunakan sebagai media pendinginnya. Selain itu, melalui karakterisasi BET

kita juga dapat mengetahui volume pori-pori total dan diameter pori rata-rata. Panas adsorpsi untuk semua lapisan kecuali lapisan pertama dianggap sama dengan panas kondensasi gas yang diadsorp (Slamet *et al*, 2007). Jumlah lapisan yang diadsorp ditunjukkan dengan persamaan (Maron dan Lando, 1974) :

$$\frac{P}{V(P_0-P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)P}{V_m C P_0} \quad (2.7)$$

dengan :

P = tekanan gas saat teradsorpsi

Po = tekanan saturasi gas yang diadsorp pada temperatur percobaan

V = volume gas yang diadsorp pada tekanan P

Vm = volume gas yang diadsorp dalam lapisan tunggal

C = konstanta yang dihubungkan secara eksponensial dengan panas adsorpsi dan pencairan gas. Konstanta ini dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$c = e^{(E_1-E_L)/RT} \quad (2.8)$$

E₁ = Panas adsorpsi layer 1

E_L = Panas Pencairan gas pada layer lain

Persamaan di atas dapat dibuat satu grafik yang linear dengan mem-plot antara $P/V(P_o-P)$ vs P/P_o sehingga didapat *slope* = $(C-1)/V_m C$ dan *intercept* = $1/V_m C$. Dari hubungan di atas kita dapat menghitung harga V_m dan dengan diketahuinya V_m maka luas permukaan karbon aktif dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$A = V_m \cdot N_{av} \cdot \frac{\pi}{4} \sigma^2 \quad (2.9)$$

dengan :

A = luas permukaan

N_{av} = Bilangan Avogadro

σ = diameter adsorbat

2.8.2 Karakterisasi FE-SEM

FE-SEM yang merupakan singkatan dari Field Emission Scanning Electron Microscope adalah sebuah mikroskop yang bekerja dengan elektron atau partikel bermuatan negatif. Elektron ini dibebaskan oleh sumber emisi lapangan. Objek diamati dengan elektron menurut pola zig-zag. Elektron ini dibebaskan dari

sumber emisi lapangan dan dipercepat pada listrik tinggi bidang gradien. Dalam kolom vakum tinggi, elektron utama difokuskan dan dibelokkan oleh lensa elektronik untuk menghasilkan berkas pengamatan yang seksama yang menyerang objek. Akibatnya elektron sekunder dipancarkan dari setiap spot pada objek. Sudut dan kecepatan dari elektron sekunder berkaitan dengan permukaan struktur objek. Sebuah detektor menangkap elektron sekunder dan menghasilkan sinyal elektronik. Sinyal ini diperkuat dan diubah ke video scan-gambar yang dapat dilihat pada monitor atau untuk gambar digital yang dapat disimpan dan diproses lebih lanjut.

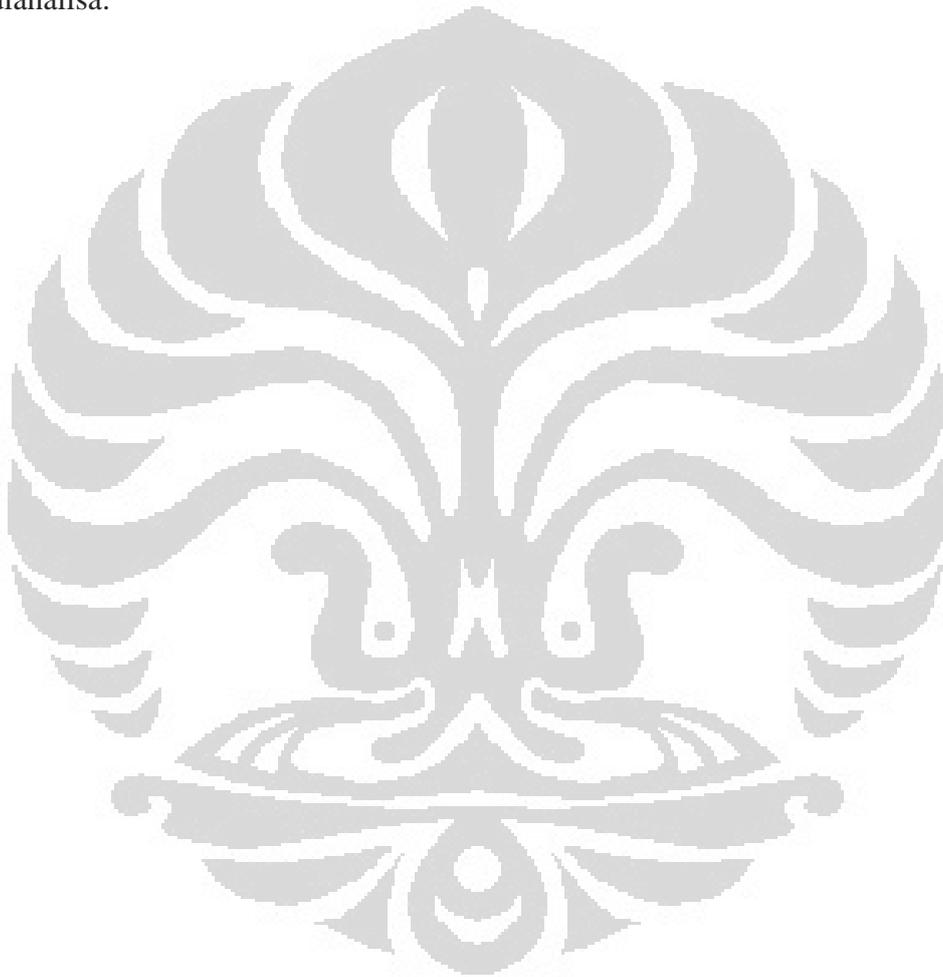
FESEM digunakan untuk memvisualisasikan detail topografi sangat kecil pada permukaan atau seluruh atau difraksinasi objek. Para peneliti di biologi, kimia dan fisika menerapkan teknik ini untuk mengamati struktur yang mungkin sekecil 1 nanometer (= miliar dari milimeter). FE-SEM dapat digunakan misalnya untuk mempelajari organel dan DNA bahan dalam sel, polymeres kimis, dan lapisan pada microchip.

2.8.3 Pengujian EDX (Energy-dispersive X-ray)

Energi dispersif analisis X-ray (EDX) atau yang biasa disebut sebagai EDS atau analisis EDAX merupakan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi komposisi unsur dari spesimen (sampel yang akan diuji). Sistem EDX bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dari SEM/ FE-SEM dan tidak dapat beroperasi sendiri. EDX merupakan salah satu jenis X-ray fluorescence spectroscopy yang mengandalkan interaksi antara radiasi elektromagnetik dan materi (sampel) yang digunakan. Proses ini memanfaatkan sinar-X yang diemisikan oleh sampel sebagai respon terhadap partikel yang terkena muatan saat pengujian. Kemampuan karakterisasi dari EDX ini berdasarkan prinsip dasar bahwa masing-masing unsur memiliki struktur atom yang khas sehingga memungkinkan sinar-X untuk mengidentifikasinya secara spesifik.

Pada pengujian EDX, laser energi tinggi (high energy beam) yang mengandung partikel bermuatan seperti elektron dan proton, difokuskan ke sampel yang akan diuji. Dalam keadaan normal, elektron dari suatu atom berada pada ground state (unexcited) pada level energi tertentu yang terikat dengan inti.

Adanya incident beam mengakibatkan tereksitasinya elektron pada kulit dalam ke kulit yang lebih luar. Adanya perbedaan energi yang tercipta antara energi yang lebih besar pada kulit terluar dan energi yang rendah pada kulit dalam dapat dilepas dalam bentuk sinar-X. Jumlah energi yang diemisikan dalam bentuk sinar-X dari sampel dapat diukur menggunakan energy-dispersive spectrometer. Karena energi dari sinar-X ini merupakan karakteristik dari suatu unsur, maka ini memungkinkan kita untuk mengetahui komposisi kimia dari spesimen yang akan dianalisa.

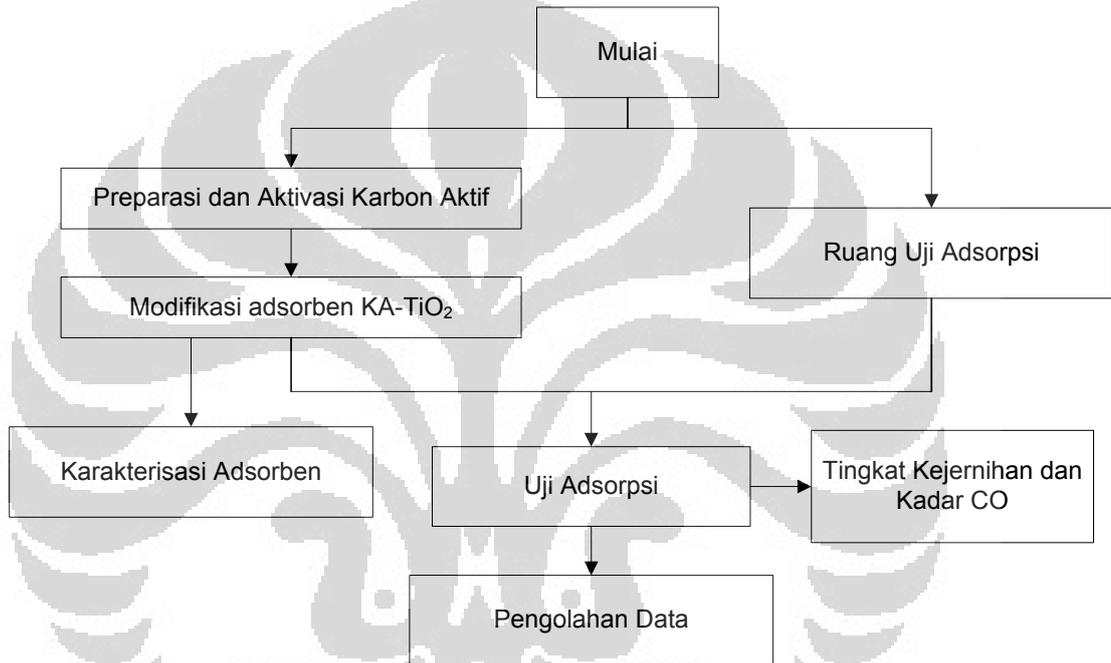


BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Terdapat beberapa tahap dalam penelitian ini: preparasi adsorben, uji adsorpsi gas CO dari asap kebakaran, dan pengolahan data

Berikut diagram alir penelitian ini:

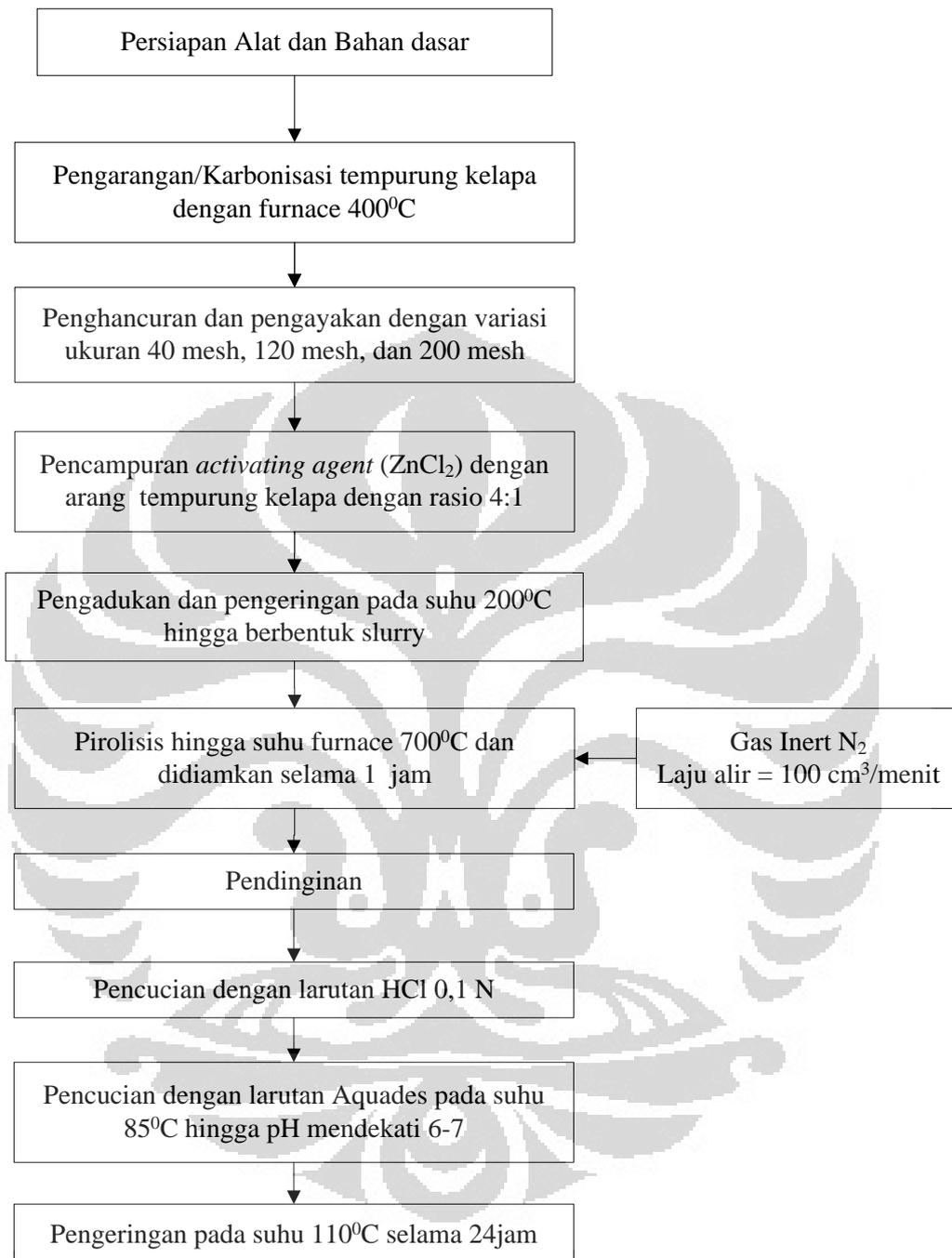


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Preparasi Adsorben Karbon Aktif - TiO₂

Preparasi adsorben Karbon aktif – TiO₂ dilakukan dengan dua aktivitas utama, yaitu tahap pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa kemudian tahap menyisipkan TiO₂ pada karbon aktif melalui metode impregnasi.

3.2.1 Preparasi Karbon aktif dari Tempurung Kelapa



Gambar 3.2. Diagram Alir Preparasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa

3.2.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif berbahan dasar tempurung kelapa adalah sebagai berikut :

1. Peralatan Penggiling

2. Penyaring *Mesh* No.40, No.120 dan No.200
3. Kertas saring
4. Spatula atau sendok
5. Wadah Plastik dan Botol Gelas
6. Cawan Porselen
7. Pengaduk Kaca
8. Kaca Arloji
9. Beaker *Glass* 250 mL, 500 mL, 1000 mL
10. Gelas ukur 25 mL
11. Pipet volumetrik
12. Timbangan analitik
13. Reaktor Quartz
14. Tabung gas N₂
15. Pengontrol temperatur dan laju alir pada reaktor
16. *Furnace*
17. *Vacuum pump*
18. *Oven* Mermert
19. *Hot Plate - Stirrer*
20. *Magnetic stirrer*

3.2.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan dan aktivasi karbon aktif berbahan dasar tempurung kelapa adalah sebagai berikut :

1. Tempurung kelapa
2. ZnCl₂ teknis
3. Larutan HCl
4. Air distilasi
5. Gas Nitrogen

3.2.1.3 Prosedur

Pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa dilakukan dengan 5 aktivitas utama, yaitu :

1. Karbonisasi

Untuk bahan baku tempurung kelapa perlu dilakukan karbonisasi terlebih dahulu. Karbonisasi dilakukan pada temperatur 400°C . Setelah itu, karbon dihancurkan dan diayak dengan variasi ukuran 40 mesh, 120 mesh, dan 200 mesh.

2. Aktivasi

Aktivasi yang dilakukan yaitu dengan mencampurkan *activating agent* dengan arang yang telah dikarbonisasi. *Activating agent* yang digunakan adalah ZnCl_2 untuk proses aktivasi secara kimia. Arang yang didapatkan dari proses karbonisasi dicampur dengan larutan ZnCl_2 dengan perbandingan *Activating agent*/ arang sebesar 4:1. Campuran ini kemudian diaduk (stirrer) diatas hot plate dengan suhu 200°C hingga membentuk *slurry* dan mengeras. Selanjutnya karbon dipirolisis pada suhu aktivasi 700°C selama 1 jam (setelah suhu aktivasi tercapai). Untuk mencegah bahan terbakar karena adanya udara sekitar, maka dialirkan gas N_2 dengan laju alir $100 \text{ cm}^3/\text{menit}$. Karbon yang telah teraktivasi tersebut memerlukan beberapa *treatment* lagi supaya didapat karbon aktif yang benar-benar murni.

3. Pendinginan

Setelah proses aktivasi dilakukan, sampel karbon aktif yang diperoleh didinginkan untuk menurunkan suhu sampel.

4. Pencucian

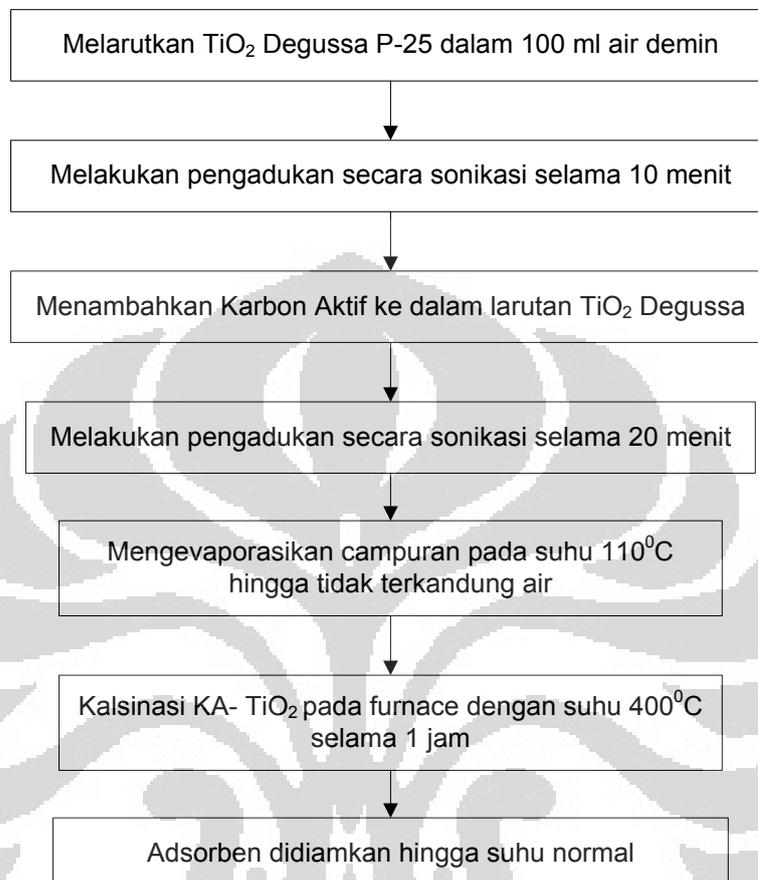
Setelah pendinginan sampel dilakukan, sampel dicuci dengan larutan HCl 0,1 N untuk menghilangkan senyawa alkali pada karbon. Pencucian dilakukan pada suhu 85°C selama 30 menit. Kemudian dicuci lagi dengan aquades untuk menghilangkan sisa-sisa kloridanya hingga pH netral.

5. Pengeringan Sampel

Setelah dicuci, sampel dikeringkan pada suhu 110°C selama 24 jam. Sampel karbon aktif yang didapatkan kemudian disimpan di dalam desikator untuk menjaga agar karbon aktif tetap kering.

3.2.2 Preparasi Modifikasi Adsorben Karbon Aktif- TiO_2

Diagram alir preparasi modifikasi adsorben karbon aktif yang disisipi TiO_2 ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut ini :



Gambar 3.3 Diagram Alir Preparasi Adsorben Karbon Aktif - TiO_2

3.2.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam preparasi adsorben karbon aktif yang disisipi TiO_2 adalah sebagai berikut :

1. *Beaker glass* 250 ml
2. Gelas ukur 100 ml
3. Kertas saring
4. Labu bulat dan *electromantel*
5. Kondensor
6. Labu erlenmeyer
7. *Ultrasonic processor*
8. *Atmospheric furnace*

9. Cawan evaporasi
10. Kaca arloji
11. *Magnetic stirrer* dan *Hot plate*
12. Neraca digital
13. Spatula

3.2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam preparasi adsorben karbon aktif yang disisipi TiO₂ adalah sebagai berikut :

1. Karbon aktif yang telah dipreparasi
2. TiO₂ Degussa P-25
3. Air demin

3.2.2.3 Prosedur

Preparasi adsorben karbon aktif terintegrasi TiO₂ dilakukan sebagai berikut:

1. Sejumlah TiO₂ Degussa P-25 dilarutkan dalam 100 ml air demin dan diaduk secara sonikasi selama 10 menit
2. Mencampurkan karbon yang telah diaktivasi ke dalam larutan TiO₂ (perbandingan Karbon Aktif dengan TiO₂ Degussa P-25 adalah 75:25) dan dilanjutkan dengan sonikasi selama 20 menit.
3. Mengevaporasikan campuran Karbon Aktif-TiO₂ pada suhu 110⁰C hingga tidak terkandung air. Adsorben yang terbentuk kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* untuk dikalsinasi pada suhu 400⁰C selama 1 jam.

3.2.3 Karakterisasi Adsorben

1. Pengujian Luas Permukaan dengan BET

Peralatan pengukur Luas Permukaan merk Autosorb 6B Quantochrome di Laboratorium Rekayasa Reaksi Kimia dan Konveksi Gas Alam Departemen Teknik Kimia FT UI Depok. Dengan alat tersebut, maka luas area permukaan karbon aktif bisa langsung diketahui. Sebelum dimasukkan ke dalam Peralatan pengukur Luas Permukaan, sampel karbon aktif harus ditimbang terlebih dahulu untuk

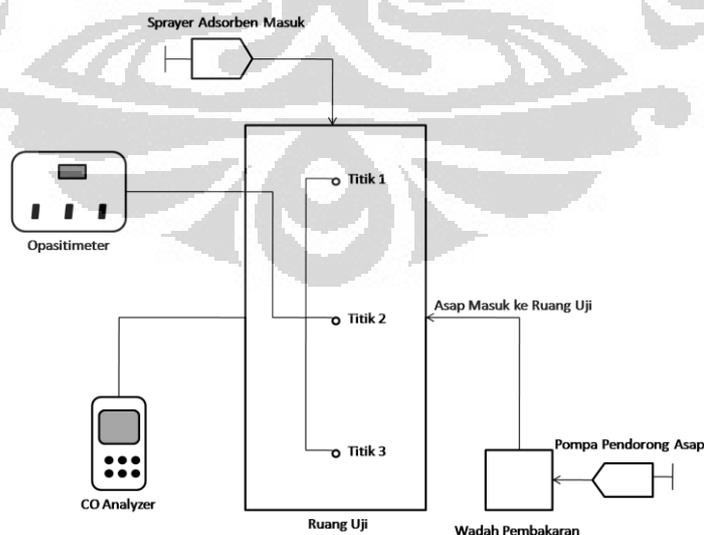
mengetahui massanya sehingga kita bisa mengetahui luas area permukaannya setiap 1 gram karbon aktif.

2. Uji FESEM-EDX

Uji FESEM-EDX dilakukan di Laboratorium SEM Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Sistem alat uji EDX bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dari FESEM dan tidak dapat beroperasi sendiri. Uji FE-SEM dilakukan untuk melihat pola permukaan dan melihat pori pada adsorben. Sedangkan EDX dilakukan untuk analisa komposisi kimia elemen permukaan pada adsorben.

3. 3 Ruang Uji

Skema rancang bangun alat terlihat pada Gambar 3.4. Bahan yang digunakan untuk membuat ruang uji adalah akrilik. Sisi bagian tengah pada samping kiri ruang uji terdapat pintu yang bisa dibuka untuk tujuan pembersihan dinding akrilik setiap kali pengambilan data selesai dilakukan. Sisi bagian atas terdapat lubang untuk keluar asap dan lubang untuk menyemprotkan adsorben masuk ke dalam ruang uji. Pada bagian bawah terdapat lubang untuk membuang adsorben yang telah disemprotkan.



Gambar 3.4 Skema Ruang Uji

Pada bagian tengah pintu dipasang satu alat CO analyzer. Tiga titik pengambilan nilai kejernihan asap diambil menggunakan opasitimeter. Asap masuk dari bagian bawah tengah ruang uji dari wadah pembakaran melalui selang yang dipompa. Ruang uji dibuat kedap udara agar tidak ada asap dan senyawa pada asap yang keluar.

3.4 Uji Adsorpsi Asap

3.4.1 Alat

1. Ruang uji
2. Wadah pembakaran
3. Pompa asap
4. Penyemprot adsorben
5. *Stopwatch*
6. Opasitimeter
7. *Gas Analyzer*
8. Timbangan

3.4.2 Bahan

1. Adsorben
2. Kayu
3. Kertas
4. Kabel
5. Minyak tanah

3.4.3 Variabel

3.4.3.1 Variabel Bebas

1. Massa Adsorben (1 gr, 3 gr, dan 5 gr)
2. Ukuran partikel adsorben (40 mesh, 120 mesh, dan 200 mesh)

3.4.3.2 Variabel Tetap

1. Waktu pengambilan data kadar CO selama 30 menit

3.4.4 Prosedur Pembuatan Asap

1. Masukkan bahan yang akan dibakar ke dalam wadah pembakaran seperti pada Gambar 3.5
2. Bakar selama 2 menit lalu tutup wadah pembakaran.

3. Masukkan asap ke ruang uji dengan memakai selang. Selang dari sisi atas wadah pembakaran dimasukkan ke dalam ruang uji melalui sokdrat bagian samping.
4. Selang pompa masukkan ke lubang bagian tengah wadah, pompa selama 5 menit sampai tingkat kejernihan menunjukkan angka nol.
5. Tutup valve dan cabut selang dari ruang uji.



Gambar 3.5 Wadah Pembakaran

3.4.5 Prosedur Uji Adsorpsi

3.4.5.1 Uji Tanpa Adsorben dan Uji Kebocoran

1. Membakar bahan dan memasukkan asapnya ke dalam ruang uji. Diamkan \pm 5 menit.
2. Mencatat nilai tingkat kejernihan asap sampai menunjukkan angka 10 pada tiap titik uji (titik 1 berjarak 105 cm dan titik 2 berjarak 60 cm dari dasar ruang uji) dan untuk uji kebocoran catat kadar CO setiap 1 menit selama 30 menit.

3.4.5.2 Uji Dengan Adsorben

1. Kalibrasi opasitimeter pada saat ruang uji dalam keadaan tanpa asap.
2. Membakar bahan dan memasukkan asapnya ke dalam ruang uji. Diamkan \pm 5 menit.
3. Mencatat nilai tingkat kejernihan dan kadar CO awal.

4. Menyemprotkan Adsorben pada bagian atas ruang uji.
5. Mencatat nilai opasitas dan kadar CO setiap 1 menit sampai 30 menit.
6. Keluarkan asap dan bersihkan ruang uji.
7. Melakukan hal yang sama dengan variasi massa dan ukuran partikel adsorben. Variasi massa adsorben yaitu sebesar 1 gram, 3 gram, dan 5 gram. Sedangkan ukuran partikel adsorben divariasikan sebesar 40 mesh, 120 mesh, dan 200 mesh.

3.4.6 Data yang diambil

1. Nilai tingkat kejernihan sebelum dan sesudah disemprot dengan adsorben serta waktu yang dibutuhkan hingga tingkat kejernihan asap mencapai 10%.
2. Komposisi CO sebelum dan sesudah disemprot dengan adsorben.

3.5 Pengolahan Data

Data yang diperoleh adalah tingkat kejernihan pada dua titik pengambilan dan kadar CO yang diambil pada bagian tengah ruang uji. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tingkat kejernihan 10% atau opasitimeter menunjukkan angka 0,1 akan disebut t_{10} . Hasil t_{10} akan dibandingkan untuk setiap pengujian, semakin kecil t_{10} maka semakin baik kemampuan adsorben dalam menjernihkan asap. Untuk melihat kemampuan adsorben dalam mengadsorp gas CO dapat dilihat dari penurunan kadar CO setiap menitnya dan akan disajikan dalam bentuk grafik. Dari grafik ini dapat dilihat kemampuan adsorben dalam mengadsorp gas CO. Kapasitas adsorpsi setiap adsorben didapat dengan menghitung kadar CO teradsorp (mg) per satuan massa adsorben (mg).

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pada bab ini akan diuraikan mengenai hasil dan pembahasan dari proses penelitian yang telah dilakukan diantaranya tahap preparasi adsorben, tahap pembuatan ruang uji, dan terakhir tahap uji adsorpsi gas CO dalam ruang uji yang meliputi pengambilan data opasitas dengan opasitimeter dan kandungan CO dengan menggunakan CO Analyzer. Karakterisasi yang dilakukan pada adsorben diantaranya adalah analisa struktur permukaan menggunakan pengujian FE-SEM, analisa komposisi kimia pada sampel adsorben menggunakan pengujian EDX, analisa luas permukaan adsorben menggunakan metode analisa BET.

4.1 Preparasi Adsorben

Pada penelitian ini adsorben yang digunakan untuk adsorpsi gas CO adalah karbon aktif yang disisipi TiO₂. Preparasi awal yang dilakukan adalah pembuatan karbon aktif, yakni aktivasi arang tempurung kelapa, dan dilanjutkan dengan modifikasi karbon aktif dengan penyisipan TiO₂

4.1.1 Preparasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa

Pada prinsipnya pembuatan karbon aktif terdiri atas tiga proses utama, yaitu pemilihan bahan dasar, proses karbonisasi, dan proses aktivasi. Terdapat dua metode aktivasi dalam proses produksi karbon aktif, yaitu aktivasi kimia dan fisika (Manocha, 2003)

Tempurung kelapa sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif terlebih dahulu melalui proses karbonisasi yang dilakukan didalam *furnace* pada suhu 400°C selama 2 jam. Perubahan berat tempurung kelapa menjadi arang pada proses karbonisasi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Proses Karbonisasi Tempurung Kelapa

No.	Berat Awal Tempurung Kelapa	Berat Akhir atau Berat Arang	Berat Kehilangan	Persentase Kehilangan	<i>Yield</i> Arang
	(gram)	(gram)	(gram)	(%)	(%)
1	56	9,5	46,5	83,1	16,9
2	78,9	14,4	64,5	81,8	18,2
3	141,6	25,0	116,6	82,33	17,67

Dari proses karbonisasi tempurung kelapa yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 didapatkan hasil rata-rata arang tempurung kelapa yang terbentuk adalah sebesar 17,59% dari berat awal tempurung kelapa yang dipanaskan didalam *furnace*. Hasil *yield* tersebut cukup masuk akal mengingat kadar karbon (*fixed carbon*) secara teoritis pada tempurung kelapa adalah 18,80% (Sumber: <http://www.pdi.lipi.go.id>). Hal ini bisa dikatakan bahwa hampir seluruh air dan material mudah menguap telah diuapkan pada proses ini.

Setelah itu, tempurung kelapa yang telah berubah menjadi arang dihancurkan dan diayak dengan variasi ukuran sebesar 40 mesh, 120 mesh, dan 200 mesh. Selanjutnya masing-masing arang dengan berbagai ukuran memasuki tahap aktivasi. Aktivasi yang dilakukan yaitu aktivasi kimia dengan *activating agent* berupa $ZnCl_2$. Arang yang didapatkan dari proses karbonisasi dicampur dengan larutan $ZnCl_2$ 65% dengan perbandingan *Activating agent*/arang sebesar 4:1. Campuran ini kemudian diaduk (*stirrer*) diatas hot plate dengan suhu $200^{\circ}C$ hingga membentuk *slurry* dan mengeras. Hasil dari pencampuran ini dapat dilihat pada Gambar 4.1.

**Gambar 4.1** Padatan hasil pencampuran karbon dengan $ZnCl_2$

Selanjutnya karbon dipirolisis pada suhu aktivasi $700^{\circ}C$ selama 1 jam (setelah suhu aktivasi tercapai). Proses aktivasi pada karbon aktif ini dilakukan tanpa kehadiran oksigen bebas yaitu dengan dialirkan gas N_2 selama proses

aktivasi dengan laju alir $100 \text{ cm}^3/\text{menit}$. Dengan tidak adanya udara atau 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 ini dilakukan menggunakan reaktor aktivasi seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Reaktor aktivasi

Selanjutnya karbon yang telah teraktivasi tersebut memerlukan beberapa *treatment* lagi supaya didapat karbon aktif yang benar-benar murni. Sampel karbon aktif yang diperoleh didinginkan untuk menurunkan suhu sampel. Selanjutnya sampel dicuci dengan larutan HCl 0,1 N untuk menghilangkan senyawa alkali pada karbon. Pencucian dilakukan pada suhu 85°C selama 30 menit. Hasil pencucian kemudian didiamkan beberapa saat hingga terjadi pemisahan padatan dengan cairan, seperti terlihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil pencucian dengan HCl

Pada saat penambahan HCl pada sampel timbul adanya gelembung-gelembung gas. Gelembung gas ini diperkirakan gas hasil reaksi (CO_2 dan H_2) pada proses aktivasi yang menempati pori-pori sehingga pada saat proses pencucian dengan dan pemanasan karbon aktif tersebut, gas akan tergeser dan keluar dari pori-pori karbon aktif.

Setelah selesai pencucian dengan HCl kemudian dilakukan pencucian atau pembilasan dengan *aquadest* atau air distilasi yang bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa ion Cl^- . Kemudian dicuci lagi dengan aquades untuk menghilangkan sisa-sisa kloridanya hingga pH netral. Setelah dicuci, sampel disaring pada kertas saring untuk diambil padatannya lalu dikeringkan pada suhu 110°C selama 24 jam. Sampel karbon aktif yang didapatkan kemudian disimpan di dalam desikator untuk menjaga agar karbon aktif tetap kering.

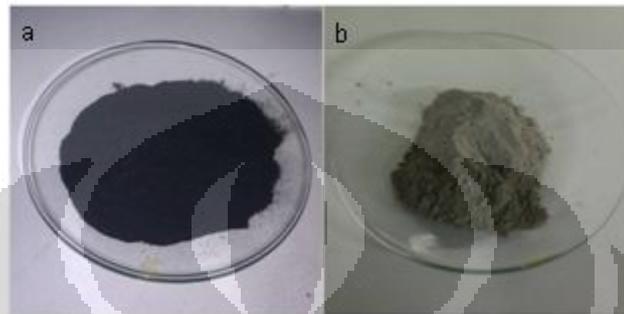
4.1.2 Penyisipan TiO_2 pada Karbon Aktif

Penyisipan TiO_2 pada karbon aktif ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi dan ketahanan dalam air, maka dilakukan modifikasi dengan metode pilarisasi. Pilarisasi sendiri merupakan interkalasi agen pemilar berupa kation polyhidroksi logam ke dalam struktur material berlapis dilanjutkan kalsinasi untuk menghasilkan oksida logam yang stabil.

Preparasi awal yang dilakukan adalah melarutkan sejumlah TiO_2 Degussa P-25 ke dalam 100 ml air demin dan diaduk secara sonikasi selama 10 menit. Pengadukan sonikasi ini bertujuan untuk mempercepat pemisahan partikel dalam sampel, dengan cara memecah interaksi antarmolekul. Selanjutnya karbon aktif dicampurkan ke dalam larutan TiO_2 (perbandingan Karbon Aktif dengan TiO_2 Degussa P-25 adalah 75:25) dan dilanjutkan dengan sonikasi selama 20 menit. Setelah itu, untuk menghilangkan kandungan air, campuran tersebut dipanaskan di atas hot plate dengan suhu 110°C hingga campuran terlihat kering atau tidak terkandung air. Dengan demikian volume ruang antar lapis arang tempurung kelapa setelah proses penyisipan TiO_2 akan bertambah besar sebagai akibat dari menyisipnya molekul TiO_2 dan menghilangnya molekul air.

Struktur lapisan arangtempurung kelapa yang terbentuk setelah menyisipnya molekul TiO_2 masih rapuh, sehingga perlu dilakukan pemanasan

lebih lanjut atau dikalsinasi pada suhu 400°C selama 1 jam untuk menstabilkan struktur lapisan arang tempurung kelapa. Hasil akhir karbon aktif yang telah disisipi TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 4.4. Warna abu-abu pada karbon aktif yang telah disipi TiO_2 ini adalah hasil pencampuran warna hitam dari karbon aktif dengan warna putih dari TiO_2 .



Gambar 4.4 Karbon Aktif (a) Karbon Aktif yang telah disisipi TiO_2

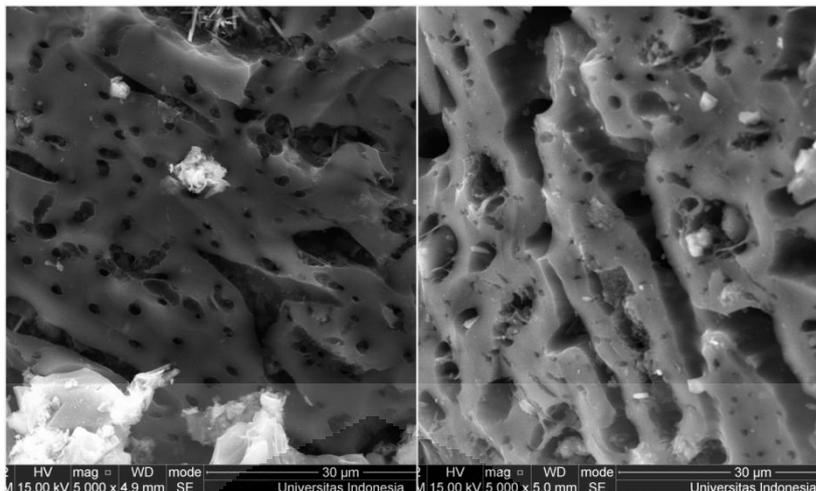
Pada proses kalsinasi, di saat suhu mencapai 200°C , molekul yang akan disisipkan akan membentuk pilar-pilar logam (Basuki, 2008). Proses ini disebut dengan pilarisasi. Pilarisasi adsorben pada dasarnya merupakan interkalasi molekul TiO_2 kedalam antarlapis adsorben yang kemudian membentuk pilar logam Ti^{4+} melalui proses kalsinasi. Selanjutnya adsorben yang telah terbentuk kemudian dibiarkan sampai suhunya kembali normal.

4.2 Karakterisasi Adsorben

Beberapa karakterisasi dilakukan pada adsorben diantaranya adalah analisa struktur permukaan menggunakan pengujian FE-SEM, analisa komposisi kimia pada sampel adsorben menggunakan pengujian EDX, analisa luas permukaan adsorben menggunakan metode analisa BET.

4.2.1 Gambar Struktur Permukaan (Uji FE-SEM)

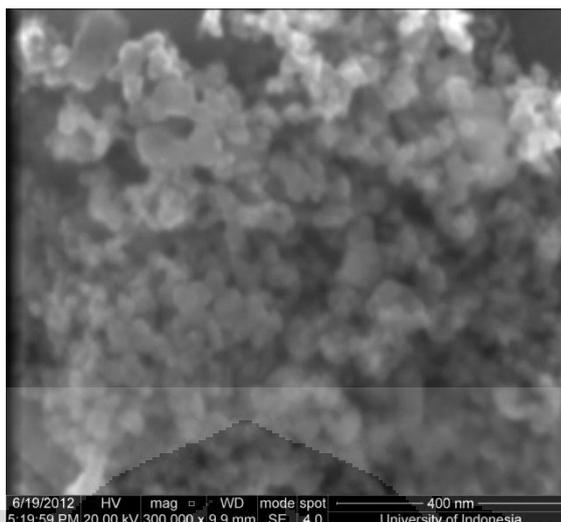
Pengujian FE-SEM dilakukan untuk melihat pola atau struktur permukaan dari adsorben, khususnya pori yang terbentuk. Dari hasil pengujian struktur permukaan dengan FE-SEM dapat dilihat struktur permukaan bahan dasar karbon yang telah diaktivasi seperti pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Hasil FE-SEM karbon yang telah diaktivasi dengan perbesaran 5000 kali

Dari Gambar 4.5 terlihat pada karbon setelah aktivasi terbentuk ruang atau pori, dengan diameter pori yang beragam yaitu mikropori, mesopori dan makropori. Pori-pori ini terbentuk saat proses aktivasi dimana karbon bereaksi dengan *activating agent* (ZnCl_2). Kemampuan ZnCl_2 mengaktivasi (membentuk pori) karbon berdasarkan fungsi dehidrasi. Selama proses aktivasi, ZnCl_2 mengeliminasi atom hidrogen dan oksigen dari material karbon sebagai air daripada sebagai komponen organik oksigen, sehingga baik untuk generasi porositas serta meningkatkan kandungan karbon. Selain itu, ZnCl_2 merupakan *activating agent* yang dapat mengubah perilaku pirolisis prekursor karbon. ZnCl_2 akan diselingi ke dalam matriks karbon dengan impregnasi. Ketika pirolisis, impregnasi ZnCl_2 menyebabkan dehidrasi dari prekursor karbon lebih mengarah ke pengarang dan aromatisasi bersama dengan penciptaan pori-pori. Selama proses aktivasi, ZnCl_2 cair terbentuk di atas titik didih ZnCl_2 . Peningkatan suhu aktivasi lebih lanjut, interaksi antara atom karbon dan Zn terjadi sehingga mengakibatkan pelebaran signifikan dari interlayers karbon dan menciptakan pori-pori dalam matriks karbon. Selama interaksi dengan karbon, ZnCl_2 membantu penghilangan air dari struktur karbon dengan memotong hidrogen dan oksigen dari prekursor karbon. Hasil aktivasi ZnCl_2 yaitu terbentuknya mikropori.

Selanjutnya pengujian FE-SEM kembali dilakukan pada karbon teraktivasi yang telah disisipi TiO_2 . Hasil uji FE-SEM dapat dilihat pada Gambar 4.6.

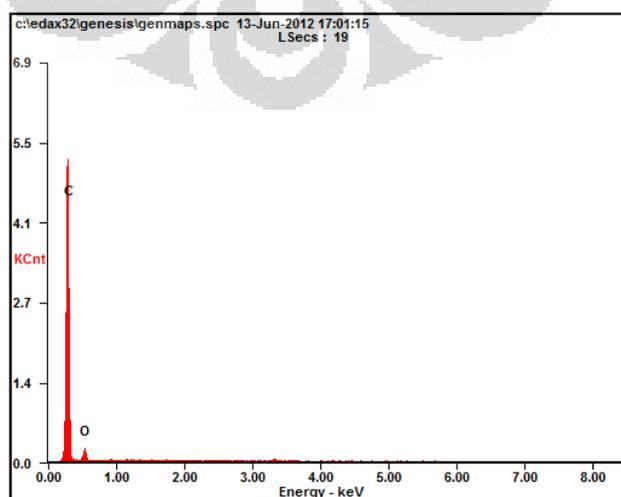


Gambar 4.6 Hasil FE-SEM pada KA-TiO₂ dengan perbesaran 300000 kali

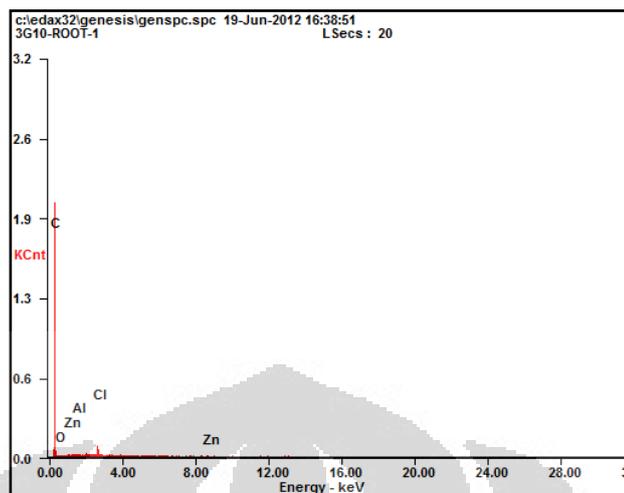
Gambar 4.6 memperlihatkan bahwa terjadi perubahan terhadap material karbon aktif sesudah dilakukan proses penyisipan. Perubahan ini dapat diamati secara jelas dengan membandingkan struktur permukaan yang terbentuk. Gambar dengan perbesaran 300000 kali tersebut lebih terfokus pada TiO₂ yang telah tersisip pada karbon aktif.

4.2.2. Komposisi (Uji EDX)

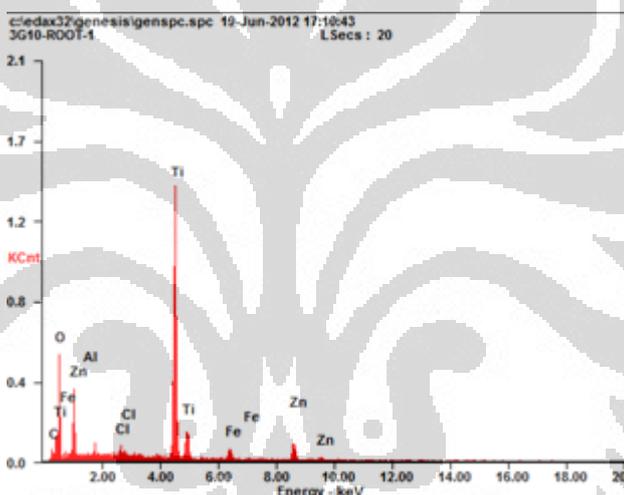
Analisis EDX dilakukan untuk mengidentifikasi komposisi unsur dari spesimen (sampel yang diuji). Dalam hal ini, EDX digunakan untuk melihat perbandingan komposisi unsur pada karbon aktif sebelum teraktivasi, sesudah diaktivasi dan karbon aktif yang telah disisipi TiO₂. Hasil uji EDX pada adsorben ditampilkan pada Gambar 4.7



(1)



(2)



Gambar 4.7 Hasil EDX berupa grafik komposisi unsur pada karbon sebelum diaktivasi (1) karbon setelah diaktivasi (2) Karbon aktif yang disisipi TiO_2 (3)

Pada karbon yang telah diaktivasi terdeteksi kandungan unsur Cl dan sedikit unsur Zn. Unsur Cl yang ada adalah berasal dari sisa activating agent ZnCl_2 yang tak teruapkan pada saat pirolisis dan sisa pencucian dengan HCl. Unsur Zn yang terkandung pada karbon setelah aktivasi kurang dari 1%. Hal ini mengindikasikan bahwa hampir semua Zn teruapkan dan hilang pada saat pencucian. Terlihat unsur Ti dan O yang paling banyak terkandung pada karbon aktif tersisipi TiO_2 . Hal ini mengindikasikan TiO_2 telah berhasil disisipi pada permukaan karbon aktif. Sedangkan unsur Fe dan Al pada karbon aktif yang telah disisipi TiO_2 merupakan pengotor yang dihasilkan pada saat preparasi.

4.2.3 Luas Permukaan (Uji BET)

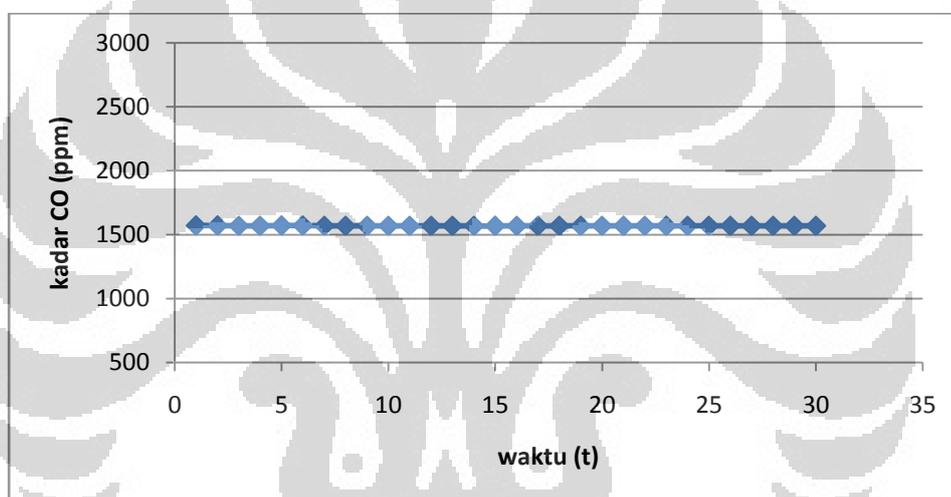
Untuk mengetahui luas permukaan adsorben dilakukan analisa metode BET. Uji BET ini dilakukan untuk melihat perubahan luas permukaan pada karbon aktivasi dan karbon aktif yang disisipi TiO₂. Hasil uji BET seperti yang dilampirkan pada lampiran A menunjukkan luas permukaan untuk karbon aktivasi adalah sebesar 524,612 m²/g. Sedangkan untuk karbon aktif yang disisipi TiO₂ adalah sebesar 567,02 m²/g. Ini mengindikasikan bahwa terjadi peningkatan luas permukaan karbon aktif setelah disisipi TiO₂. Hal ini disebabkan karena menyisipnya molekul TiO₂ akan menambah volume ruang antar lapis arang tempurung kelapa sehingga luas permukaan tempurung kelapa bertambah besar.

4.3.Uji Adsorpsi

Pengujian adsorpsi asap dan gas CO dilakukan dalam ruang uji seperti pada Gambar 4.8. Ruang uji terbuat 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 menyempatkan 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. Dapat dikatakan bahwa ruang uji tidak bocor karena kandungan CO dalam ruang uji cenderung stabil saat uji kebocoran seperti yang terlihat pada grafik pada Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Ruang uji



Gambar 4.9 Kandungan CO saat uji kebocoran pada ruang uji

Adsorpsi gas CO dan penjernihan asap kebakaran dilakukan dengan adsorben karbon aktif dan karbon aktif yang disisipi TiO_2 . Ukuran karbon aktif divariasikan 74 μm , 125 μm , dan 420 μm . Masing-masing ukuran kemudian divariasikan massa sebesar 1 gram, 3 gram dan 5 gram. Sedangkan untuk KA- TiO_2 divariasikan massa sebesar 1 gram dan 3 gram.

Pada awalnya ruang uji dibersihkan dan dilakukan pengecekan kebocoran. Material yang dibakar yaitu kertas, kabel, plastik, sebuk kayu, dan arang. Agar pembakaran berlangsung secara merata, material ditambahkan minyak tanah. Pembakaran dilakukan di dalam di dalam wadah pembakaran yang asapnya dipompakan ke dalam ruang uji hingga persentasi kejenuhan asap mencapai >90% dan kadar gas CO dalam ruang asap stabil. Setelah itu, untuk pengujian

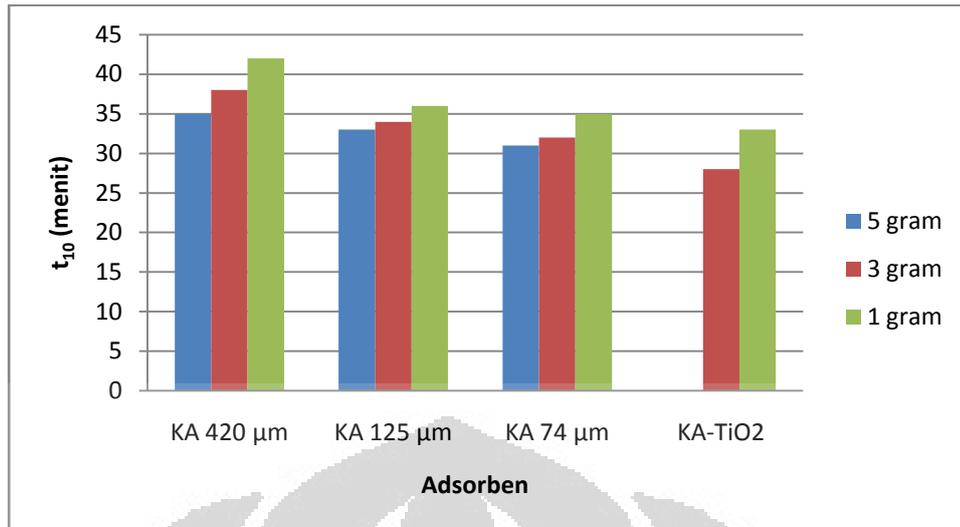
kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi gas CO, adsorben disemprotkan melalui lubang yang terletak di bagian atas ruang uji. Kemudian pengamatan dilakukan untuk melihat perubahan nilai opasitas atau tingkat kejernihan asap dan perubahan kadar gas CO dalam ruang uji. Pengamatan perubahan nilai opasitas dilakukan hingga nilai opasitas mencapai nilai 0,1 atau 10%, dimana kegelapan asap mencapai 10%. Sedangkan pengamatan perubahan kadar gas CO dilakukan setiap menit selama 30 menit.

4.3.1 Uji Penjernihan Asap

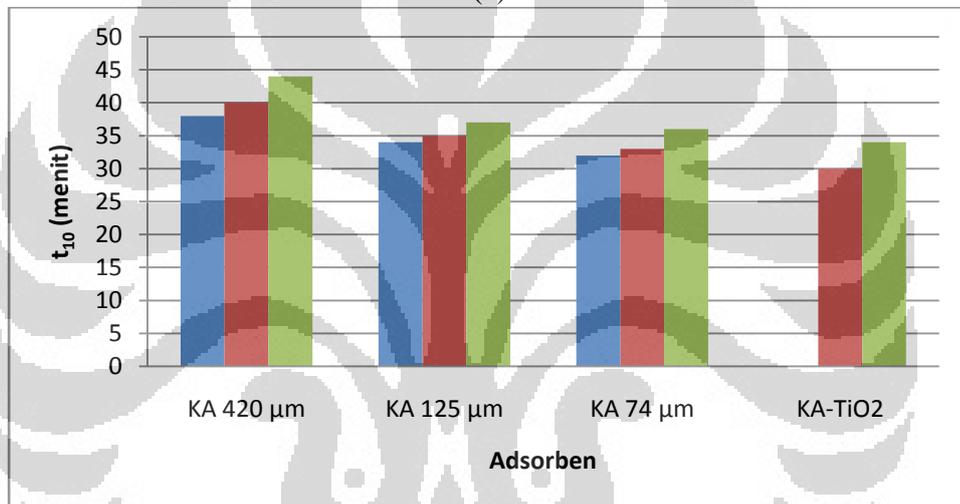
Alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kejernihan asap adalah opasitimeter, yang dibuat mahasiswa Teknik Mesin Universitas Indonesia. Alat ini terdiri dari tiga unit: *Light Source*, *Light-Measuring Device*, dan *Control Unit*. *Light Source* adalah gas yang di dalamnya terdapat filamen tungsten lampu. Kekuatan sinar lampu diatur di dalam *Control Unit*. *Light-Measuring Device* terdiri dari sistem lensa akromatik, sel foto elektrik silikon, dan *high gain low noise amplifier*. Sedangkan *Control Unit* adalah unit yang menerima signal dari *Light-Measuring Device*. *Control Unit* juga adalah tempat untuk mengkalibrasi dan melihat hasil tingkat kejernihan asap.

Uji adsorpsi asap dilakukan pada tiga titik berbeda pada ruang uji. Titik 1 adalah titik pengujian yang berjarak ± 15 cm dari bagian atas ruang uji atau ± 105 cm dari dasar ruang uji. Titik 2 adalah titik tengah pada ruang uji, yaitu pada ketinggian ± 60 cm dari bawah ruang uji. Titik 3 adalah titik pengujian paling bawah, yaitu berjarak ± 105 cm dari atas atau ± 15 cm dari bawah ruang uji. Sedangkan letak sensor CO berada di sekitar titik 2 pengujian opasitas, menempel pada dinding, berjarak ± 60 cm.

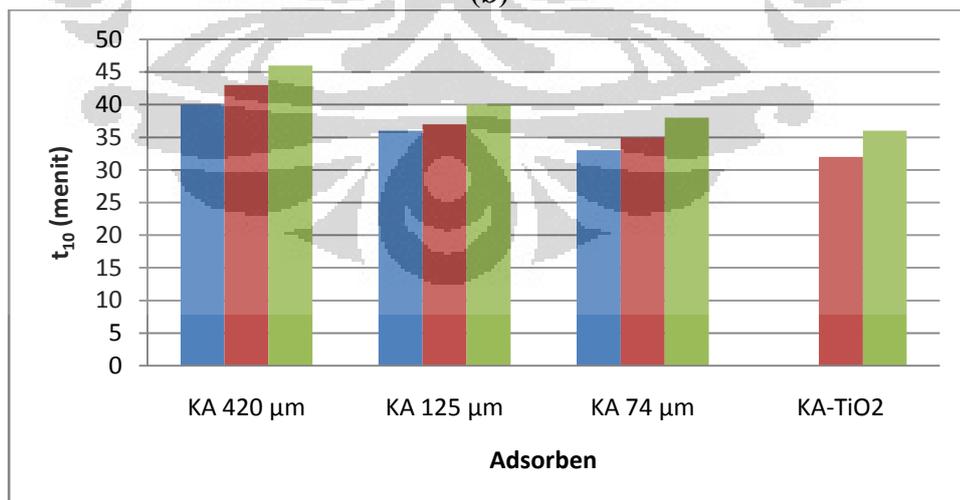
Uji adsorpsi asap dilakukan sampai ke tiga titik menunjukkan persen opasitas sebesar 10. Nilai 10% di ambil karena pada saat opasitas tersebut, seseorang telah dapat melihat menembus kepulan asap (Yadav et. Al. 2007,). Lama waktu yang dicapai hingga nilai opasitas mencapai 0,1 atau 10% tersebut disebut t_{10} . Nilai t_{10} setiap titik untuk setiap adsorben dengan variasi ukuran dan massa terangkum dalam grafik pada Gambar 4.10.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.10 Pengaruh massa dan ukuran partikel adsorben pada hasil uji t_{10} di titik 1 (a) titik 2 (b) titik 3 (c)

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat disimpulkan bahwa titik 1 untuk tiap adsorben memiliki nilai t_{10} yang lebih kecil dibandingkan titik 2 dan titik 3. Nilai t_{10} yang kecil menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai opasitas 10 lebih singkat. Hal ini disebabkan karena asap dalam ruang uji akan bergerak memenuhi seluruh ruangan kemudian bertabrakan dan akibat adsorben yang disemprotkan akan menyerap asap sehingga turun ke bawah.

Dari hasil perbandingan grafik-grafik tersebut pada Gambar 4.10, jika membandingkan karbon aktif dengan variasi massa dan ukuran partikel, adsorben yang paling baik dalam menjernihkan asap adalah karbon aktif dengan massa terbesar yaitu 5 gram dan ukuran partikel terkecil yaitu $74\mu\text{m}$. Ini mengindikasikan bahwa ukuran adsorben mempengaruhi waktu untuk mencapai tingkat kejernihan tertentu (t_{10}). Semakin kecil ukuran partikel adsorben dan semakin besar massa adsorben, maka semakin baik dalam menjernihkan asap. Hal ini disebabkan dengan ukuran yang lebih kecil maka luas permukaan adsorben 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. Sedangkan semakin banyak massa yang disemprotkan, akan membuat jumlah partikel yang kontak dengan asap semakin banyak.

Jika dibandingkan dengan karbon aktif yang telah disisipi TiO_2 , dapat dilihat dari Gambar 4.10, bahwa adsorben KA- TiO_2 lebih baik menjernihkan asap dibanding karbon aktif tanpa TiO_2 . Ini sesuai dengan hasil luas permukaan KA- TiO_2 yang lebih besar dibanding karbon aktif tanpa TiO_2 . Semakin besar luas permukaan pada adsorben maka semakin besar kinerja adsorpsinya. Hasil yang dicapai KA- TiO_2 sebanyak 3 gram untuk mencapai nilai opasitas 10 di titik 1 adalah selama 28 menit sedangkan KA berukuran $74\mu\text{m}$ tanpa TiO_2 mencapai nilai opasitas 10 dalam waktu 32 menit. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan penyisipan TiO_2 dapat menaikkan kinerja kerja karbon aktif dalam menjernihkan asap sebesar 12,50 %. Perbedaan yang tak terlalu signifikan ini sesuai dengan hasil uji luas permukaan pada KA- TiO_2 yang tak jauh berbeda dengan luas permukaan karbon aktif tanpa TiO_2 .

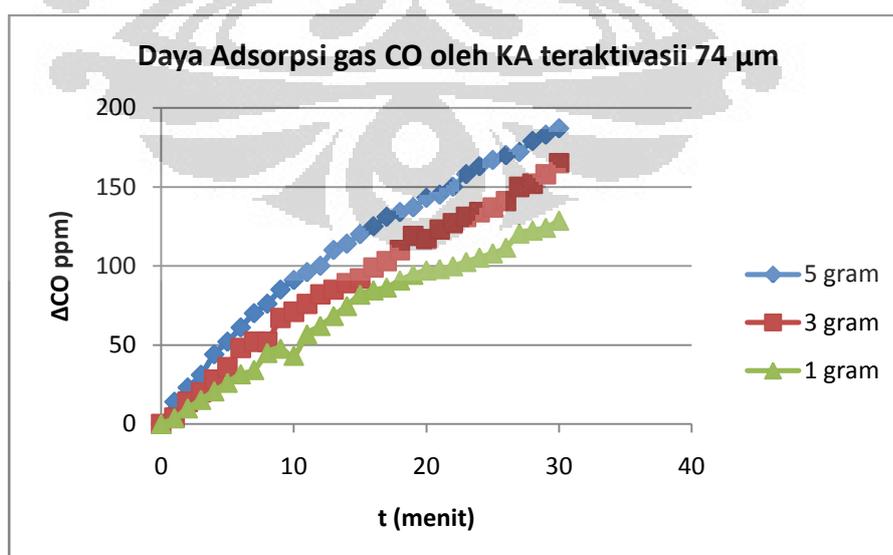
4.3.2 Uji Adsorpsi Gas CO

Pada bagian penelitian ini akan dibandingkan daya adsorben dalam menjernihkan asap dan mengadsorp CO berdasarkan massa jika ukuran partikel dibuat sama. Adsorben yang digunakan berukuran 74 μm , 125 μm , dan 420 μm . Setiap ukuran divariasikan dengan massa 1 gr, 3 gr, dan 5 gr. Data kadar CO diambil setiap menit selama 30 menit. Hasil penurunan gas CO dalam 30 menit dapat dilihat pada Tabel 4.2

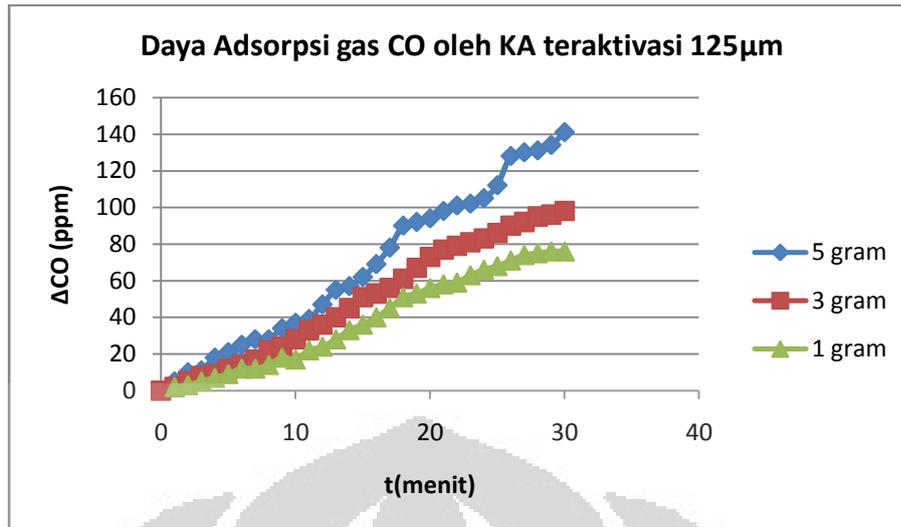
Tabel 4.2 Hasil uji adsorpsi gas CO untuk setiap adsorben

	5 gram Adsorben		3 gram Adsorben		1 gram Adsorben	
	Penurunan kadar CO selama 30 menit					
	%	ppm	%	ppm	%	ppm
KA 420 μm	9,21	88	8,49	74	5,62	50
KA 125 μm	11,73	141	9,31	98	7,22	76
KA 74 μm	11,92	187	11,01	165	8,95	129
KA-TiO₂			14,83	191	10,67	154

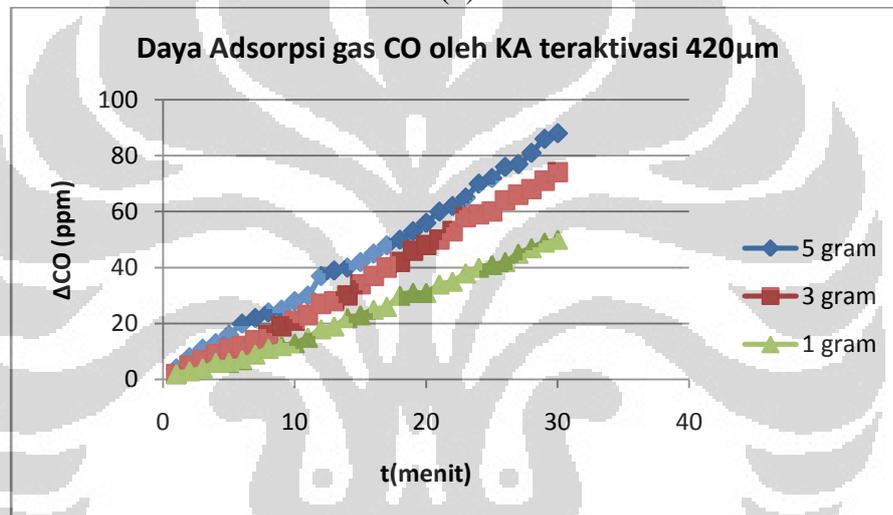
Untuk melihat pengaruh massa dan ukuran partikel pada uji adsorpsi gas CO, data disajikan dalam bentuk grafik berupa penurunan kadar CO terhadap waktu seperti pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



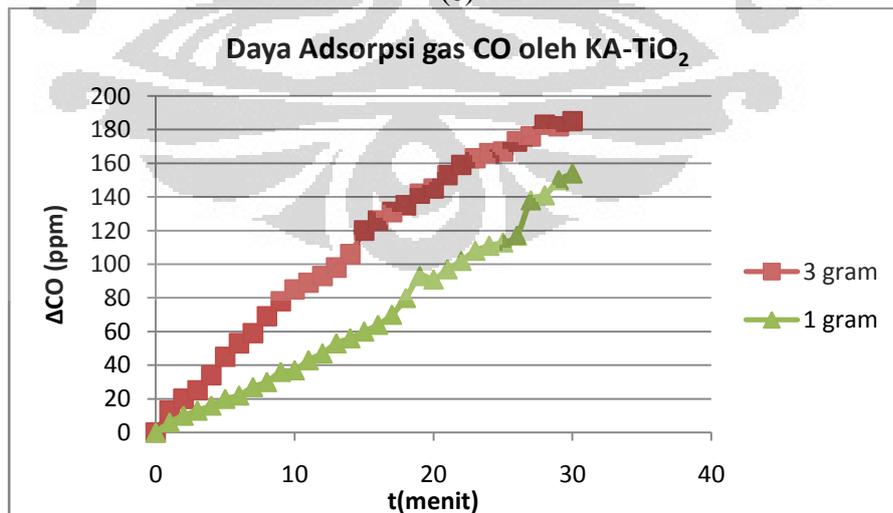
(a)



(b)

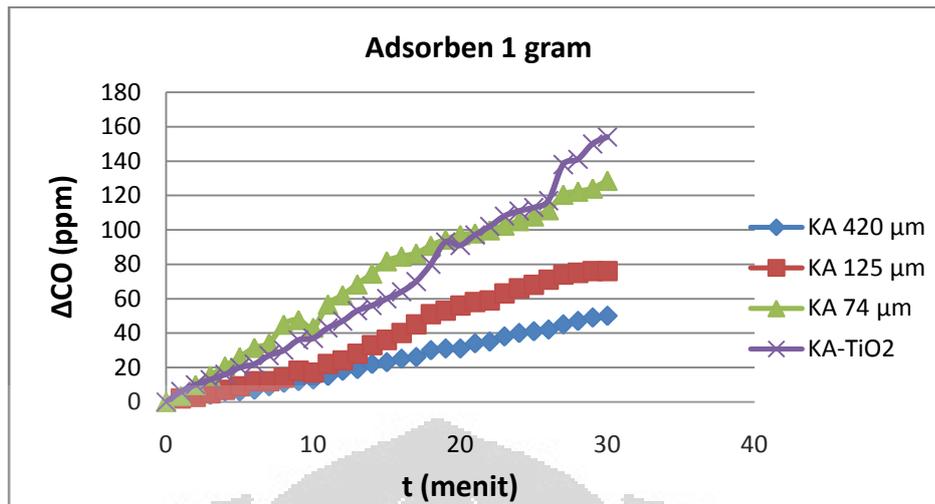


(c)

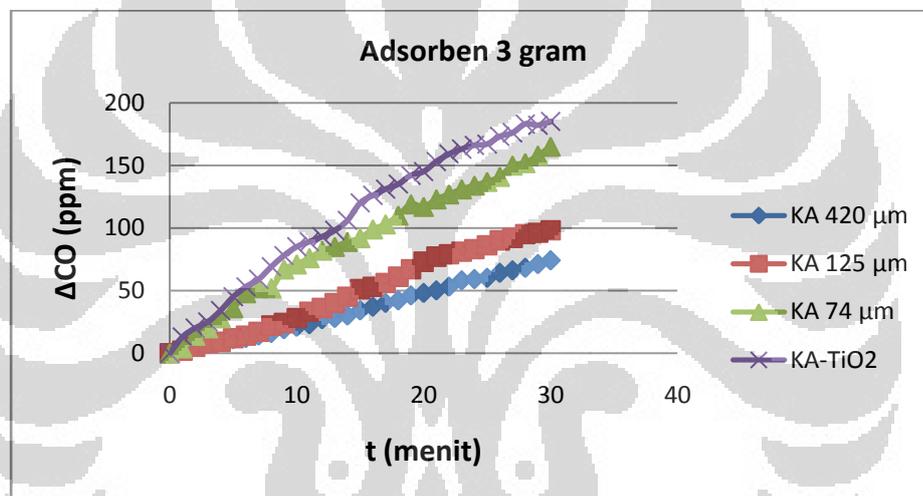


(d)

Gambar 4.11 Pengaruh massa pada hasil uji adsorpsi gas CO



(a)



(b)

Gambar 4.12 Pengaruh ukuran partikel adsorben pada hasil uji adsorpsi gas CO

Gas CO dapat diadsorpsi karena memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dari ukuran pori adsorben. Diameter partikel CO adalah 0,376 nm, sedangkan menurut hasil BET pada Lampiran diketahui bahwa karbon aktif memiliki ukuran diameter pori 117,2 Å dan karbon aktif yang disisipi TiO₂ memiliki ukuran diameter pori 86,17 Å atau sama dengan 8,62 nm. Hal ini sesuai dengan teori dari Bahl et.al., (1997) bahwa molekul yang bisa diadsorpsi adalah molekul yang berdiameter sama atau lebih kecil dari diameter pori adsorben.

Dari Gambar 4.10 dan 4.11 dapat dilihat bahwa massa adsorben dan ukuran partikel adsorben mempengaruhi hasil adsorpsi gas CO. Karbon aktif yang paling baik dalam menurunkan kadar CO adalah karbon aktif dengan massa

terbesar dan ukuran partikel terkecil, yakni 5 gram dan 74 μm . Semakin kecil ukuran partikel adsorben dan semakin besar massa adsorben, maka semakin baik dalam mengadsorpsi gas CO. Hal ini disebabkan dengan ukuran yang lebih kecil maka luas permukaan adsorben akan menjadi lebih besar. Kontak dengan partikel gas CO juga menjadi lebih banyak, sehingga semakin banyak partikel gas CO yang diserap. Sedangkan semakin banyak massa yang disempatkan, akan membuat jumlah partikel yang kontak dengan gas CO semakin banyak sehingga makin banyak pula partikel CO yang teradsorp.

Dari hasil uji adsorpsi seperti pada Gambar 4.10 (d) dan 4.11 menunjukkan bahwa penyisipan TiO_2 pada karbon aktif mempunyai pengaruh dalam kinerja adsorpsi. KA- TiO_2 sebanyak 3 gram dapat menurunkan kadar CO lebih baik, yaitu sebanyak 185 ppm, dibandingkan dengan KA 74 μm sebanyak 3 gram yang hanya mampu menurunkan kadar CO sebanyak 165 ppm. Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa penyisipan TiO_2 pada karbon aktif dapat menaikkan kinerja adsorpsi gas CO yaitu sebesar 12,12%. Perbedaan yang tak terlalu signifikan ini sesuai dengan hasil uji luas permukaan pada KA- TiO_2 yang tak jauh berbeda dengan luas permukaan karbon aktif tanpa TiO_2 .

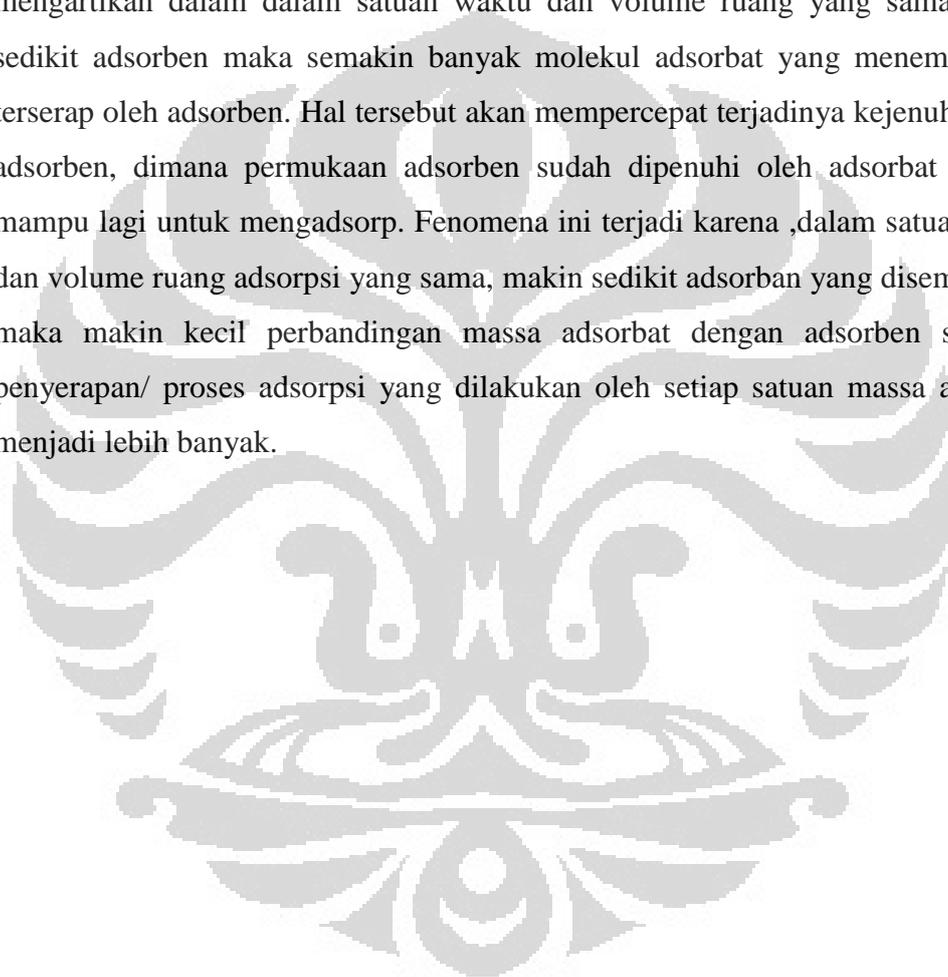
4.3.2.1 Kapasitas Adsorpsi

Untuk melihat kemampuan adsorben dalam mengikat ion/ molekul adsorbat dapat dilihat dari kapasitas adsorpsinya. Kapasitas adsorpsi didapat dengan menghitung massa gas CO teradsorp (mg) per satuan massa adsorben (mg). Kapasitas adsorpsi oleh setiap adsorben dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Kapasitas adsorpsi oleh setiap adsorben

	5 gram Adsorben	3 gram Adsorben	1 gram Adsorben
	Kapasitas adsorpsi (mg adsorbat/mg adsorben)		
KA 420 μm	3,3792	4,736	9,6
KA 125 μm	5,4144	6,272	14,592
KA 74 μm	7,1808	10,56	24,768
KA- TiO_2		12,224	29,568

Dari hasil kapasitas adsorpsi pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi paling baik dicapai oleh adsorben dengan ukuran partikel terkecil namun dengan massa terkecil. Semakin kecil ukuran partikel adsorben maka semakin baik kapasitas adsorpsinya, sesuai dengan hasil pengaruh ukura partikel pada kinerja adsorpsi yang telah dibahas di sub bab sebelumnya. Hasil lainnya adalah semakin kecil massa adsorben maka semakin besar kapasitas adsorpsi pada adsorben dalam volume ruang adsorpsi yang sama. Hal ini mengartikan dalam dalam satuan waktu dan volume ruang yang sama, makin sedikit adsorben maka semakin banyak molekul adsorbat yang menempel atau terserap oleh adsorben. Hal tersebut akan mempercepat terjadinya kejenuhan pada adsorben, dimana permukaan adsorben sudah dipenuhi oleh adsorbat dan tak mampu lagi untuk mengadsorp. Fenomena ini terjadi karena ,dalam satuan waktu dan volume ruang adsorpsi yang sama, makin sedikit adsorban yang disempatkan maka makin kecil perbandingan massa adsorbat dengan adsorben sehingga penyerapan/ proses adsorpsi yang dilakukan oleh setiap satuan massa adsorben menjadi lebih banyak.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

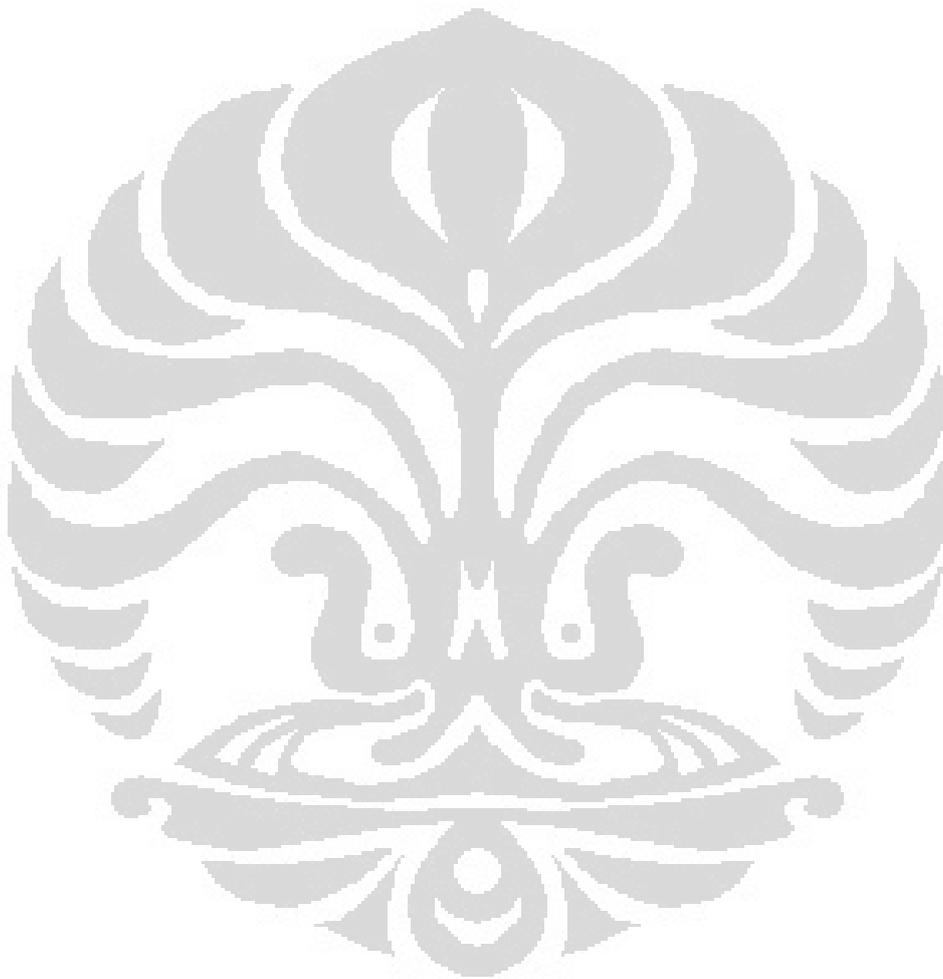
1. Karbon aktif yang diaktifasi dapat digunakan sebagai adsorben untuk gas CO, yang merupakan gas sangat toksik yang dihasilkan dari asap kebakaran.
2. Penurunan kadar CO semakin meningkat dengan makin besarnya massa adsorben dan makin kecilnya ukuran partikel adsorben juga pengaruh penyisipan TiO₂
3. Penyisipan TiO₂ dapat memperbesar luas permukaan pada karbon aktif 524,612 m²/g menjadi 567,02 m²/g.
4. Hasil pengujian adsorpsi gas CO dari asap kebakaran pada ruang uji berukuran 40 cm 40 cm x 120 cm selama 30 menit menunjukkan bahwa karbon aktif yang disisipi TiO₂ dapat menaikkan kinerja adsorpsi gas CO dan penjernihan asap oleh karbon aktif dengan massa yang sama.

5.2 Saran

Berdasarkan pengalaman yang diperoleh pada saat penelitian, saran yang dapat diberikan adalah sbb :

- Uji analisa luas permukaan dengan metode BET sebaiknya dilakukan pada tiap ukuran partikel karbon aktif agar dapat diketahui pengaruh ukuran partikel pada luas permukaan
- Perlu dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* untuk mengetahui komposisi kristal penyusun adsorben
- Untuk metode pengujian, diperlukan mencari metode penyemprotan adsorben yang lebih baik agar waktu kontak antara adsorben dengan asap dapat lebih lama sehingga kapasitas adsorpsi gas CO menjadi lebih besar dan lebih cepat dalam proses penjernihan asap.

- Lama lengujian adsorpsi sebaiknya dilakukan hingga kadar CO dalam ruang uji berkadar normal atau dapat dikatakan aman terhirup manusia. Waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. *Statistik Kebakaran di Jakarta*. <http://kebakaran.jakarta.go.id>. 2011 (diakses 22 Maret 2011)
- Alfat, Muhammad Arif. 2009. *Skripsi: Rekayasa Alat dan Uji Kinerja Katalis Komposit TiO₂-Adsorben Alam Untuk Degradasi Polutan Asap Rokok*. Depok: Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Atmayudha, A. 2007. *Skripsi : Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa dengan Perlakuan Aktivasi Terkontrol serta Uji Kinerjanya*. Depok : Universitas Indonesia.
- Azevado, D. Jaguaribe, E. 2007. *Microporous Activated Carbon Prepared From Coconut Shells Using Chemical Activation With Zinc Chloride*. *Microporous and Mesoporous Materials* 100 (1-3).
- Bahl, B.S., Tuli, G.D., and Bahl, A. (1997). *Essential of Physical Chemistry*. New Delhi: S Chand and Company Ltd.
- Baroto, Ario Ardianto. 2008. *Skripsi : Perancangan Cigarette Smoke Filter Berbasis Thermophoretic Karbon Aktif dan Filter Udara Konvensional*. Depok : Universitas Indonesia.
- Basuki Kris Tri. 2008. *Penurunan Konsentrasi CO Dan NO₂ pada Emisi Gas Buang dengan Menggunakan Media Penyisipan TiO₂ Lokal pada Karbon Aktif*. Yogyakarta: Jurnal Rekayasa Lingkungan.
- Hendra, Ryan. 2008. *Skripsi : Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Batubara Indonesia dengan Metode Aktivasi Fisika dan Karakteristiknya*. Depok : Universitas Indonesia.
- Goldstein, Mark. 2008. *Carbon Monoxide Poisoning*. *Journal of Emergency Nursing*, 34 (6), 538-42.
- Gondang AK, Muhammad. 2010. *Skripsi : Proses Penjernihan Asap Kebakaran Menggunakan Zeolit Alam Lampung Termodifikasi dengan TiO₂ Melalui Metode Sol Gel*. Depok: Departemen Teknik Kimia FTUI.
- I, Bosuki, T. 1996. *Titanium Dioxide Catalyst Break Down Pollutant*. *Chemical and Engineering News, Journal*.

- Ibadurrohman, Muhammad. 2008. *Skripsi: Rekayasa Alat Untuk Purifikasi Udara dari Polutan Asap Rokok Menggunakan Katalis Komposit Tio₂-Karbon Aktif*. Depok: Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Kesnawaty, Debie Ari. 2010. *Uji Kapasitas Adsorpsi Gas Karbon Monoksida (CO) Menggunakan Oksida Logam dan Karbon Aktif*. Skripsi. Depok: Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Khairunisa, Ratna.2008. *Skripsi : Kombinasi Teknik Elektrolisis Dan Teknik Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif Untuk Menurunkan Konsentrasi Senyawa Fenol Dalam Air*. Depok : Universitas Indonesia.
- Li, Youji, et al. 2005. *Photocatalytic Degradation Of Methyl Orange In A Sparged Tube Reactor With Tio₂-Coated Activated Carbon Composites*. Catalysis Communications Journal, 6 (10), 650-55.
- Manocha, S.M. 2003. *Porous Carbons*.Sadhana28 : 335-348.
- Maron, S.H., Lando, J. 1974. *Fundamental of Physical Chemistry*. New York : Macmillan Publishing Co. Inc.
- Maryani, Yeyen. 2010. *Uji Aktivitas Beberapa Katalis pada Proses Degradasi Senyawa Aktif Deterjen Secara Fotokatalisis*.
- Mulukutla, R.S., Malchesky, S.P., Maghirang, R., Klahunde, J.S., Klahunde, K.J. and Koper, O. (2005). *Metal Oxide Nanoparticles for Smoke Clearing and Fire Suppression*. Manhattan: NanoScale Corporation.
- Pamungkas, Sukma. 2011. *Skripsi :Pemanfaatan Zeolit Alam Bayah Pada Proses Penjernihan Asap Kebakaran Dan Pengurangan Tingkat Racun Asap*. Depok: Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Pujiyanto. 2010. *Tesis : Pembuatan Karbon Aktif Super dari Batubara dan Tempurung Kelapa*. Depok : Universitas Indonesia.
- Richardson, JT. 1989. *Principles of Catalyst Development*.New York : Plenum Press.
- Slamet. Bismo, S. dan Rita, A. 2007. *'Modifikasi Zeolit Alam dan KarbonAktif dengan TiO₂ serta Aplikasinya sebagai Bahan Adsorben dan Fotokatalis untuk Degradasi Polutan Organik*. Depok : Laporan Penelitian Hibah BersaingUniversitas Indonesia.

- Sontheimer, J.E. 1985. *Activated Carbon for Water Treatment*. Netherlands: Elsevier, pp. 51-105 .
- Sudibandriyo, M. 2003. *Ph. DDissertation :A Generalized Ono-KondoLattice Model for High Pressure on Carbon Adsorben*. Oklahoma :Oklahoma State University.
- Suraputra, Reza. 2011. *Skripsi : Adsorpsi Gas Karbon Monoksida (Co) Dan Penjernihan Asap Kebakaran Menggunakan Zeolit Alam Lampung Termodifikasi TiO₂*. Depok: Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Viswanathan. 2008. *A Process For The Preparation Of Activated Carbon From Botanical Sources*. Indian Pat.
- Wang, W., H. Zhang. 2007. *Experimental Study On CO₂/CO Of Typical Lining Materials In Full-Scale Fire Test*. Chinese Science Bulletin, 52 (9), 1282-86.
- Wijayanti, R. 2009. *Skripsi : Arang Aktif dari Ampas Tebu sebagai Adsorben pada Pemurnian Minyak Goreng Bekas*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Yadav, R., R. G. Maghirang R. 2008. *Laboratory Evaluation Of The Effectiveness Of Nanostructured And Conventional Particles In Clearing Smoke In Enclosed Spaces*. Fire Safety Journal, 43 (1), 36-41.
- Yang, R.T. 1987. *Gas Separation By Adsorption Processes*. Stoneham: Butterworth Publisher.



LAMPIRAN

HASIL UJI BET

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction
for NOVA instruments
©1994-2010, Quantachrome Instruments
version 11.0

Analysis	Report
Operator: YUS	Date: 2012/06/21 Operator: YUS Date: 6/22/2012
Sample ID: Carbon	Filename: C:\QCdata\Physisorb\SPK 0841 Diana.qps
Sample Desc: SPK 0841 Diana	Comment: SPK 0841 Diana
Sample weight: 0.07142 g	Sample Volume: 0 cc
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 120/120 sec (ads/des)
Analysis Time: 40.2 min	End of run: 2012/06/21 18:42:39 Instrument: Nova Station A
Cell ID: 91	F/W version: 0.00
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ² Liquid Density: 0.808 g/cc

Relative Pressure [P/Po]	1 / [W((Po/P) - 1)]
5.29360e-02	2.8005e-01
7.57890e-02	4.0194e-01
9.53270e-02	5.0988e-01
1.22396e-01	6.6580e-01
1.49788e-01	8.3251e-01
1.75010e-01	9.9517e-01
2.02388e-01	1.1824e+00
2.26622e-01	1.3585e+00
2.50270e-01	1.5411e+00
2.76637e-01	1.7583e+00
3.04315e-01	2.0038e+00

BET summary

Slope	=	6.781
Intercept	=	-1.425e-01
Correlation coefficient, r	=	0.996824
C constant	=	-46.591
Surface Area	=	524.612 m ² /g

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction
for NOVA instruments
©1994-2010, Quantachrome Instruments
version 11.0

Analysis	Report
Operator: YUS	Date: 2012/06/25 Operator: YUS Date: 6/26/2012
Sample ID: Carbon-TiO2	Filename: C:\QCdata\Physisorb\SPK 0842 Diana.qps
Sample Desc: SPK 0842 Diana	Comment: SPK 0842 Diana
Sample weight: 0.08102 g	Sample Volume: 0 cc
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 120/120 sec (ads/des)
Analysis Time: 40.2 min	End of run: 2012/06/25 17:40:05 Instrument: Nova Station A
Cell ID: 91	F/W version: 0.00

Adsorbate Nitrogen Temperature 77.350K
Molec. Wt.: 28.013 g Cross Section: 16.200 Å² Liquid Density: 0.808 g/cc

Relative Pressure [P/Po]	1 / [W((Po/P) - 1)]
5,822960E-02	2,8565E-01
8,336790E-02	4,0998E-01
1,048597E-01	5,2008E-01
1,346356E-01	6,7912E-01
1,647668E-01	8,4916E-01
1,925110E-01	1,0151E+00
2,226268E-01	1,2060E+00
2,492842E-01	1,3857E+00
2,752970E-01	1,5719E+00
3,043007E-01	1,7935E+00
3,347465E-01	2,0439E+00

BET summary
Slope = 6.287
Intercept = -1.450e-01
Correlation coefficient, r = 0.992911
C constant = -42.359

Surface Area = 567.020 m²/g