



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMANFAATAN ZEOLIT ALAM BAYAH PADA PROSES
PENJERNIHAN ASAP KEBAKARAN DAN PENGURANGAN
TINGKAT RACUN ASAP**

SKRIPSI

**Sukma Pamungkas
0706270094**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**

**DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMANFAATAN ZEOLIT ALAM BAYAH PADA PROSES
PENJERNIHAN ASAP KEBAKARAN DAN PENGURANGAN
TINGKAT RACUN ASAP**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**Sukma Pamungkas
0706270094**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**

**DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Sukma Pamungkas

NPM : 0706270094

Tanda Tangan : 

Tanggal : 28 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

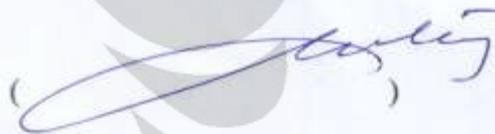
Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Sukma Pamungkas
NPM : 0706270094
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pemanfaatan Zeolit Alam Bayah pada Proses
Penjernihan Asap Kebakaran dan Pengurangan Tingkat Racun Asap.

Telah berhasil dipertahankan dihadapan dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Yuliusman, M.Eng.



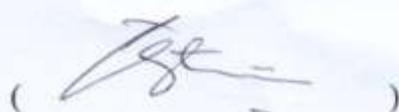
Penguji I : Ir. Eva Fathul Karamah, MT



Penguji II : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT



Penguji III : Tania Surya Utami, ST., MT



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya, makalah skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Zeolit Alam Bayah pada Proses Penjernihan Asap Kebakaran dan Penjernihan Tingkat Racun Asap” dapat diselesaikan. Penulisan makalah skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga penyusunan makalah ini, makalah skripsi ini sangat sulit untuk diselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Sukiman dan Pudjiati, atas ketulusan cinta, kasih sayang, perhatian, bantuan, doa, dan dukungan yang selalu diberikan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu 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 dalam penyusunan makalah skripsi ini.
4. Bapak Ir. Dijan Supramono M.Sc. yang telah memberikan izin untuk menggunakan *CO Analyzer*-nya. Dan juga seluruh dosen Departemen Teknik Kimia UI yang telah mengajar dan memberi ilmu pengetahuan dan wawasan di bidang ilmu teknik kimia.
5. Bapak Prof. Ir. Yulianto Sulistyono Nugroho M.Sc., Ph.D, Professor *Fire Safety Engineering* dari Departemen Teknik Mesin yang telah berkenan memberikan pinjaman opasitimeter untuk digunakan dalam penelitian ini.
6. Rekan yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan makalah skripsi ini: Gondang (ekstensi 08) yang selalu membantu dan serba bisa dalam menggunakan alat apapun dan Reza (ekstensi 08) sebagai teman seperjuangan penelitian penjernihan asap.
7. Teman-teman Teknik Kimia 2007 atas persahabatan dan dukungan selama kuliah dan penelitian.

8. Mang Ijal (baru tau namanya Wanizal waktu minta tanda tangan bebas lab) yang udah mengajarkan ilmu ngebengkel (ngebor, ngelem, motong, dll) dan bahan-bahan gratisannya yang ada di bengkel.
9. Kang Jajat atas bantuan teknis dan humor-humornya selama melakukan penelitian.
10. Mas Taufik, atas bantuannya dalam mencari literatur di perpustakaan serta Mas Sriyono yang membantu dalam administrasi.
11. Cahyo (Mesin 07) yang telah memperkenalkan alat opasitimeter kepada penulis dan fakhrurrozi (Mesin 07) yang rela direpotkan pagi dan malam untuk membawa, memasang, merapikan serta membawa lagi *unit control* opasitimeter saat penulis menggunakan alat tersebut.
12. Dhinda yang sudah direpotkan ketika pinjam alat *CO Analyzer*-nya yang sampai di sms sama Pak Dijan. Thanx dhin.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan kedepannya.

Depok, 28 Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Sukma Pamungkas

NPM : 0706270094

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

Pemanfaatan Zeolit Alam Bayah pada Proses Penjernihan Asap Kebakaran dan Pengurangan Tingkat Racun Asap.

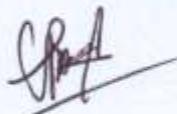
berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagaipenulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 28 Juni 2011

Yang menyatakan



(Sukma Pamungkas)

ABSTRAK

Nama : Sukma Pamungkas
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pemanfaatan Zeolit Alam Bayah pada Proses Penjernihan Asap Kebakaran dan Pengurangan Tingkat Racun Asap

Banyak korban sulit menyelamatkan diri ketika terjadi kebakaran karena terhalang asap dan tewas akibat menghirup gas berbahaya dan beracun seperti CO. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah Zeolit Alam Bayah murni dan aktivasi dapat menjernihkan asap dan mengurangi kadar CO. Zeolit Bayah diaktivasi dengan dengan cara direndam dan diaduk dalam larutan HF 2%, HCl 6M, dan NH₄Cl 0,1M. Setelah itu dikalsinasi dengan suhu 500°C. Hasil uji XRF menunjukkan rasio Si/Al meningkat dari 5,25 menjadi 10,11 setelah aktivasi, sedangkan hasil uji BET menunjukkan luas permukaan meningkat dari 20,32 m²/gr menjadi 83,15 m²/gr. Daya adsorpsi Zeolit Bayah aktivasi dengan ukuran 37 µm sebanyak 3 gr memiliki nilai t*₁₀ terkecil, yaitu 0,44 dan menurunkan rasio CO selama 20 menit sebanyak 4,47%.

Kata kunci:
Kebakaran, Zeolit Alam Bayah, asap, kadar CO

ABSTRACT

Name : Sukma Pamungkas
Study Program : Chemical Engineering
Title : Utilization of Bayah Natural Zeolit in the process of Smoke Fire Purification and Smoke Toxicity Level Reduction.

Many victims are difficult to escape when the fire occurred due to blocked by smoke and died in consequence of inhaling toxic gases such as CO. This research was conducted to determine whether pure and activated Zeolite Bayah can clear up the smoke and reduce CO levels. Zeolite is activated by soaked and stirred in a solution of 2% HF, 6M HCl and 0.1 M NH₄Cl. After that, calcined with temperature of 500°C. The result of XRF test showed ratio of Si/Al increases from 5.25 to 10.11 after activation, whereas result of BET test showed surface area increased from 20.32 to 3.15 m²/gr. Adsorption capacity of activated zeolite with amount 3 gr and size 37 µm has the smallest value, that is 0.44, and reduced CO 4,47% for 20 minutes.

Keyword:
Fires, Bayah Natural Zeolite, smoke, CO levels

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.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pembakaran	6
2.2 Asap.....	7
2.2.1 Komposisi Asap.....	7
2.2.3 Toksisitas Senyawa Kimia Dalam Asap.....	11
2.2.4 Penjernihan Asap	12
2.3 Opasitas	13
2.4 Adsorpsi.....	15
2.4.1 Adsorpsi Fisika	15
2.4.2 Adsorpsi Kimia.....	16
2.4.3 Adsorpsi Isotermis	16
2.4.4 Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	20
2.5 Adsorben.....	21

2.6 Zeolit.....	22
2.6.1 Struktur Zeolit.....	23
2.6.2 Aktivasi Zeolit	25
2.6.3 Zeolit Alam Bayah.....	26
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Ruang Uji.....	27
3.2 Preparasi Adsorben.....	28
3.2.1 Alat dan Bahan.....	29
3.2.2 Prosedur	30
3.3 Uji Adsorpsi Asap	32
3.3.1 Alat dan Bahan.....	32
3.3.2 Variabel.....	32
3.3.3 Prosedur	32
3.3.4 Data yang diambil.....	35
3.4 Pengolahan Data.....	35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Preparasi zeolit alam.....	37
4.2 Karakterisasi Zeolit Alam Bayah	39
4.2.1 Komposisi Zeolit Alam Bayah	39
4.2.2 Luas Permukaan Zeolit Alam	41
4.3 Pembuatan Ruang Uji.....	42
4.4 Hasil Uji Adsorpsi	44
4.4.1 Pengaruh Massa	47
4.4.2 Pengaruh Ukuran Partikel.....	52
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN A
LAMPIRAN B

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Asap Ringelmann.....	14
Gambar 2.2 Kurva Adsorpsi Isotermis Langmuir dan BET	17
Gambar 2. 3 Tetrahedra Alumina dan Silika pada Struktur Zeolit	23
Gambar 2. 4 Proses pelepasan Al dalam rangka menjadi Al diluar rangka.....	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2 Skema Ruang Uji	28
Gambar 3.3 Diagram Alir Proses Preparasi Zeolit Alam.....	29
Gambar 3.4 Wadah Pembakaran.....	34
Gambar 3.5 <i>Light Source</i> dan <i>Light-Measuring Device</i>	34
Gambar 3.6 <i>Control Unit</i> dan <i>Stopwatch</i>	34
Gambar 3.7 Cara Pengambilan Data.....	35
Gambar 4.1 Perendaman dan Pengadukan dengan HF 2%	38
Gambar 4.2 Hasil Perendaman dengan HCL 6M.....	38
Gambar 4.3 Zeolit Alam Bayah (a) murni (b) aktivasi	39
Gambar 4. 4 Perbandingan Luas Permukaan Zeolit Bayah	42
Gambar 4. 5 Ruang Uji	43
Gambar 4. 6 Grafik Kandungan CO Selama Uji Kebocoran.....	43
Gambar 4. 7 Kenaikan Persen Tingkat kejernihan pada zeolit berukuran 63 μm di (a) titik 1, (b) titik 2, dan (c) titik 3.....	48
Gambar 4. 8 Kenaikan Persen Tingkat kejernihan pada zeolit berukuran 37 μm di (a) titik 1, (b) titik 2, dan (c) titik 3.....	49
Gambar 4. 9 Perbandingan Persentase ΔCO pada ukuran partikel 63 μm	50
Gambar 4. 10 Perbandingan Persentase ΔCO pada ukuran partikel 37 μm	51
Gambar 4. 11 Kenaikan Persen Tingkat kejernihan pada zeolit dengan massa 1 gram di (a) titik 1, (b) titik 2, dan (c) titik 3	53
Gambar 4. 12 Kenaikan Persen Tingkat kejernihan pada zeolit dengan massa 3 gram di (a) titik 1, (b) titik 2, dan (c) titik 3	54
Gambar 4. 13 Perbandingan Persentase ΔCO dengan massa 1 gram	55
Gambar 4. 14 Perbandingan Persentase ΔCO dengan massa 3 gram	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Gas Beracun yang Terbawa Bersama Asap Pembakaran	8
Tabel 2. 2 Toksisitas Beberapa Senyawa Kimia (Neviaser dan Gann, 2004).....	11
Tabel 2. 3 Keefektifan Beberapa Adsorben dalam Penjernihan Asap	13
Tabel 2. 4 Perbandingan Bilangan Ringelmann, Opasitas, dan Fraksi Cahaya yang Dapat Ditransmisikan	14
Tabel 2. 5 Urutan Selektifitas Pertukaran Ion Beberapa Jenis Zeolit	22
Tabel 2. 6 Selektivitas Adsorbat Beberapa Jenis Zeolit.....	23
Tabel 4. 1 Persen Berat Si dan Al Tiap Tahapan Aktivasi.....	40
Tabel 4. 2 Komposisi Tiga Oksida Logam Pengotor Terbesar dalam Zeolit.....	41
Tabel 4. 3 Nilai t^*_{10} pada Berbagai Variasi Zeolit.....	46
Tabel 4. 4 Persentase Penurunan CO pada Menit ke-20.....	46

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

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

Korban yang tewas pada kebakaran bukan hanya disebabkan oleh luka bakar, tetapi juga dapat disebabkan oleh gas beracun yang keluar bersama asap kebakaran. Korban yang tewas karena keracunan asap pun jauh lebih besar jika dibandingkan dengan karena cedera luka bakar. Di dunia, 85% kematian pada kasus kebakaran disebabkan oleh asap yang berat dan gas beracun (Wei W et al., 2007).

Asap yang dihasilkan pada kasus kebakaran mengandung 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. Gas CO merupakan komponen yang paling bersifat racun yang dapat menghambat aliran O_2 dengan membentuk karboksi hemoglobin (COHb) dalam darah. Kadar COHb di atas 50% dipercaya sebagai penyebab utama kematian dan sebagai bukti bahwa korban tewas akibat menghirup asap kebakaran (Anderson et al., 1981a; Anderson et al., 1981b).

Keadaan yang lebih buruk saat terjadi kebakaran terdapat di kota besar. Kota besar seperti Jakarta memiliki banyak gedung bertingkat dan berkapasitas besar yang diperuntukkan sebagai tempat kerja, tempat tinggal, tempat perbelanjaan, dan tempat hiburan. Ketika salah satu gedung tersebut terbakar,

korban akan sulit mencari jalan keluar karena terhalang dan terperangkap asap. Akibatnya korban akan lebih lama terpapar asap beserta senyawa beracun yang terkandung di dalamnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha untuk mengurangi korban jiwa karena keracunan asap kebakaran. Salah satunya adalah dengan segera melakukan evakuasi, yaitu memindahkan para korban yang terjebak dalam ruang yang penuh asap ke lokasi yang lebih aman. Proses evakuasi ini tidak akan bisa dilakukan jika kondisi lokasi kebakaran masih penuh oleh asap. Agar evakuasi berjalan lancar, asap yang memenuhi lokasi perlu dijernihkan (diserap atau diadsorpsi) terlebih dahulu dan dikurangi tingkat racunnya.

Belum banyak peneliti yang melakukan penelitian untuk menjernihkan asap dan menurunkan tingkat racun asap kebakaran sekaligus. Yadav et al., (2007) melakukan evaluasi potensi partikel nano dan bubuk biasa dalam penjernihan asap di ruang tertutup. Hasilnya menunjukkan bahwa partikel nano memiliki efektifitas yang tinggi terhadap penjernihan asap. Partikel nano ini adalah MgO plus. Mulukutla et al., mengeluarkan paten penjernihan asap pada tahun 2007. Penelitian dilakukan dalam ruang tertutup dan bahan bakar yang digunakan adalah kertas, diesel, jet mill, dan glikol. Sedangkan adsorben yang dipakai adalah logam berukuran nano, yaitu oksida logam dan hidroksida logam. Hasilnya menunjukkan bahwa TiO_2 dan MgO merupakan adsorben yang paling efektif untuk menjernihkan asap. Dari dua penelitian di atas terlihat bahwa material yang digunakan dalam proses penjernihan asap adalah material yang diproduksi secara komersial dengan harga cukup mahal. Zeolit alam mempunyai potensi besar untuk dikembangkan sebagai adsorben. Selain harganya murah, mineral alam zeolit yang merupakan senyawa alumina silikat juga terdapat di Indonesia dalam jumlah besar dengan bentuk hampir murni.

Penggunaan zeolit sebagai adsorben pun telah banyak dilakukan. Zou Yong (2005) menemukan bahwa material berbasis alumina punya kemampuan menyerap CO_2 pada temperatur tinggi sampai temperatur 573 K. Jadhav (2007) melakukan penelitian tentang efek modifikasi zeolit 13X dengan monoetanol amin. Hasilnya dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap gas CO_2 . Kirov et al., (1992) menggunakan Mordenit dan Clinoptilolite untuk mengadsorpsi kandungan SO_x dan NO_x pada asap buang kendaraan. Armenta et

al., (1999) melakukan adsorpsi CO₂ untuk meningkatkan kualitas gas alam dengan menggunakan zeolit jenis Mordenit, Clinoptilolite, dan Erionite. Altav et al., (1995) menggunakan zeolit jenis Clinoptilolite untuk menghilangkan kandungan H₂S dan SO₂ pada pemurnian gas alam. Tezel et al., (1993) melakukan adsorpsi CO pada tahap pemurnian udara menggunakan zeolit Mordenite. Dari uraian di atas terlihat bahwa sebagian gas beracun yang terdapat pada kasus kebakaran dapat diadsorpsi oleh zeolit jenis Mordenite dan Clinoptilolite. Di Indonesia, zeolit alam yang memiliki kandungan utama Mordenite dan Clinoptilolite adalah zeolit alam asal Bayah, Banten. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan Zeolit Alam Bayah. Zeolit ini dapat digunakan sebagai adsorben uap air, metanol, etanol, benzena, isopentana, sulfur, dan sulfur dioksida (Rustiadi, 1999). Beberapa penelitian yang telah disebutkan di atas hanya sebatas mengetahui efektifitas suatu bahan dalam mengadsorpsi gas atau asap. Penelitian kali ini bertujuan untuk mengadsorpsi asap kebakaran yang disimulasikan dengan ruangan tertutup dengan ukuran 40 x 40 x 120 cm. Selain itu dari penelitian ini juga akan diambil data berupa kandungan CO pada asap sebelum dan setelah dijernihkan. Hal ini belum pernah dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Zeolit alam memiliki potensi untuk digunakan sebagai adsorben penjernih asap dan CO. Zeolit alam juga harus diaktivasi untuk membersihkan pengotor dan menaikkan rasio Si/Al. Selain itu juga dilakukan penggerusan untuk mendapatkan beberapa ukuran partikel dan penyemprotan dengan massa yang berbeda karena menurut teori ukuran dan jumlah partikel mempengaruhi kemampuan adsorpsi suatu adsorben.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Membandingkan kemampuan adsorpsi zeolit alam murni dan zeolit alam aktivasi dalam menjernihkan asap dan menyerap CO yang terkandung dalam asap.

2. Mendapatkan massa dan ukuran partikel zeolit terbaik untuk penjernihan asap dan penurunan tingkat CO pada asap.
3. Mendapatkan komposisi CO pada asap dari campuran bahan yang dibakar: serbuk kayus, kertas, kabel, dan arang sebelum dan sesudah penjernihan.

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini:

1. Penelitian dilakukan menggunakan ruang uji ukuran 40 x 40 x 120 cm
2. Asap bahan bakar yang akan diuji adalah campuran serbuk kayu, kertas, kabel, dan arang.
3. Adsorben yang digunakan untuk mengadsorpsi adalah Zeolit Alam Bayah murni dan aktivasi.
4. Ukuran partikel yang digunakan adalah 63 μm dan 37 μm
5. Massa yang digunakan sebanyak 1 gr dan 3 gr.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam laporan seminar ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

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

BAB II Tinjauan Pustaka

Berisi tentang penjelasan mengenai pembakaran, asap, komposisi asap, toksisitas senyawa pada asap, senyawa beracun pada asap (CO, CO₂, NO_x, SO_x, zat partikulat), penjernihan asap, opasitas, adsorpsi, zeolit, aktivasi zeolit, Zeolit Alam Bayah.

BAB III Metodologi Penelitian

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

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bagian ini berisi mengenai hasil penelitian selama proses penelitian dan pembahasan serta uraian yang diperkuat dengan teori.

BAB V Kesimpulan

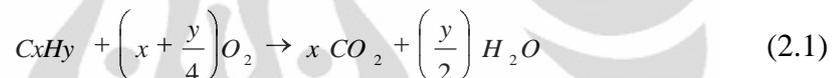
Bagian ini berisi mengenai kesimpulan akhir yang didapatkan selama penelitian dan saran yang mungkin berguna pada penelitian selanjutnya.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembakaran

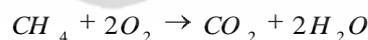
Pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dengan suatu pengoksidasi yang menghasilkan panas, cahaya, gas, dan asap. Pembakaran dibagi menjadi dua, yaitu pembakaran sempurna dan pembakaran tidak sempurna. Pembakaran sempurna terjadi jika campuran bahan bakar dan oksigen mempunyai perbandingan yang tepat, sebaliknya pembakaran tidak sempurna terjadi jika campuran bahan bakar dan oksigen tidak mempunyai perbandingan yang tepat. Hasil pembakaran sempurna adalah karbon dioksida dan uap air. Jika oksigen terlalu banyak campuran dikatakan *lean*. Sebaliknya, jika bahan bakar terlalu banyak (atau tidak cukup oksigen), dikatakan campuran *rich*. Secara umum, rumus kimia untuk stoikiometri pembakaran sempurna hidrokarbon adalah



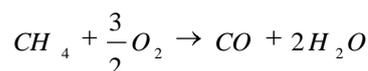
Sedangkan reaksi pembakaran tidak sempurna hidrokarbon adalah



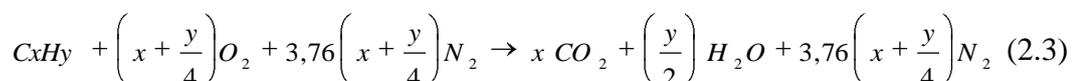
Berikut ini adalah contoh pembakaran sempurna metana



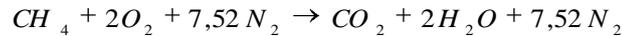
dan pembakaran tidak sempurna metana yang menghasilkan karbon monoksida



Jika digunakan udara kering, reaksi pembakaran sempurna hidrokarbon adalah



Berikut ini adalah contoh pembakaran metana dengan udara



Jumlah mol nitrogen sebelum dan sesudah reaksi sama karena gas ini termasuk senyawa inert (tidak bereaksi). Udara memiliki berat molekul rata-rata 28,97 dan komposisi udara secara umum adalah 79% N₂, 21% O₂. Hal ini lah yang menjadi dasar angka 3,76 (79:21) pada koefisien mol nitrogen di persamaan 2.3. Udara memiliki berat molekul rata-rata 28,97. Sebenarnya banyak produk yang terbentuk dari hasil pembakaran, seperti pada kasus kebakaran yang menghasilkan gas buang (asap) dengan komposisi yang sangat beragam. Hal ini tergantung dari zat yang terbakar.

2.2 Asap

Asap merupakan suatu koloid yang terdiri dari kumpulan zat padat, cair, dan gas yang terbang ke udara (Mulholland,-). Asap ini diemisikan ketika suatu material terbakar. Gas yang terdapat di atas api umumnya dibagi ke dalam tiga kelompok (Apriawan, 2009):

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

Densitas dan toksisitas asap yang diproduksi bergantung pada bahan yang terbakar, tetapi volume total asap yang diproduksi akan tergantung pada ukuran api dan tempat pembakaran terjadi. Asap dapat menjadi sangat pekat dan pada beberapa kasus akan menjadi panas dan mengandung produk beracun yang membahayakan kehidupan.

2.2.1 Komposisi Asap

Asap hasil pembakaran mengandung beberapa senyawa beracun. Tabel 2.2 menunjukkan beberapa senyawa beracun yang terbawa bersama asap pembakaran. Semua gas dalam Tabel 2.2 merupakan gas yang menyebabkan iritasi kecuali HCN, gas ini tergolong asfiksia. Gas karbon monoksida dan karbon dioksida

tidak dimasukkan dalam tabel di bawah karena konsentrasi ke dua gas ini jauh melebihi konsentrasi massa asap (Kathryn M. Butler et al., 2004).

Tabel 2. 1 Gas Beracun yang Terbawa Bersama Asap Pembakaran

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

Sublethal effects: A, dibawah 10⁻⁵ fraksi volum; B, 10⁻⁵ sampai 10⁻⁴ fraksi volum; C, 10⁻⁴ sampai 10⁻³ fraksi volum; D, 10⁻³ to 10⁻² fraksi volum. (C.J. Hilado, 1982)

2.2.2.1 Karbon Monoksida

Karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Karena sifat tersebut, gas yang memiliki diameter 0,113 nm ini sangat sulit terdeteksi kemunculannya. Gas ini dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna yang secara teoritis terjadi akibat kekurangan gas oksigen dalam proses pembakaran.

Karbon monoksida 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 dengan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Ketiga, karbon dioksida terurai menjadi karbon monoksida dan oksigen pada suhu tinggi.

Baku mutu keberadaan karbon monoksida adalah 8 ppm udara dengan rata-rata waktu pengukuran 24 jam. Jika sebanyak 30 ppm terhisap oleh manusia selama 8 jam akan menimbulkan rasa pusing dan mual. Konsentrasi sebanyak 1000 ppm dalam waktu 1 jam akan menyebabkan pusing dan kulit berubah menjadi kemerah-merahan. Selanjutnya dengan waktu yang sama dan konsentrasi sebanyak 1300 ppm dapat menyebabkan rasa pusing yang hebat dan kulit langsung berubah menjadi merah tua. Konsentrasi karbon monoksida yang mencapai 12800 ppm dapat membunuh manusia dalam waktu 3 menit. (Goldstein, 2008).

Gas ini menjadi beracun karena di dalam darah dapat berikatan dengan hemoglobin (Hb) menjadi karboksi hemoglobin (COHb). Hemoglobin berikatan 200 kali lebih kuat dengan karbon monoksida dibandingkan dengan oksigen. Hal inilah yang dapat meningkatkan kadar CO dalam darah meningkat dan menghambat proses pengangkutan oksigen ke seluruh jaringan tubuh. Keberadaan CO dalam darah yang terlalu banyak dapat menstimulasi hiperventilasi, yaitu meningkatnya laju pernafasan karena kekurangan O₂. Kekurangan suplai O₂ dapat menyebabkan hipoksia (hilangnya O₂ dalam tubuh) yang bisa mengakibatkan kematian pada konsentrasi O₂ < 14% (Wei W et al., 2007).

Konsentrasi karboksi hemoglobin di dalam darah dipengaruhi oleh konsentrasi karbon monoksida dari udara yang terhirup. Pada konsentrasi karbon monoksida tertentu di udara, konsentrasi karboksi hemoglobin di dalam darah akan mencapai konsentrasi kesetimbangan setelah beberapa waktu tertentu. Konsentrasi kesetimbangan ini akan tetap dipertahankan selama konsentrasi karbon monoksida pada udara di sekelilingnya tidak berubah. Karboksi hemoglobin secara perlahan akan berubah menyesuaikan konsentrasi karbon monoksida di udara untuk mencapai kesetimbangan yang baru.

2.2.2.2 Karbon Dioksida

Gas CO₂ memiliki diameter 0,116 nm. Paparan yang berkepanjangan terhadap konsentrasi CO₂ dapat menyebabkan asidosis dan efek-efek merugikan pada metabolisme kalsium fosfor yang menyebabkan peningkatan endapan kalsium pada jaringan lunak. Karbon dioksida beracun terhadap jantung dan menyebabkan menurunnya gaya kontraktile. Pada konsentrasi 3% di udara, CO₂

bersifat narkotik ringan, menyebabkan peningkatan tekanan darah dan denyut nadi, dan menyebabkan penurunan daya dengar. Pada konsentrasi 5% menyebabkan stimulasi pusat pernapasan, pusing-pusing, kebingungan, dan kesulitan pernapasan yang diikuti sakit kepala dan sesak napas. Pada konsentrasi 8% menyebabkan sakit kepala, keringatan, penglihatan buram, tremor, dan kehilangan kesadaran setelah paparan selama lima sampai sepuluh menit. (Davidson, 2003)

2.2.2.3 Oksida Nitrogen (NO_x)

Bagian dari keluarga senyawa ini yang menjadi polutan adalah, nitrogen monoksida (NO), nitrogen dioksida (NO₂), dinitrogen trioksida (N₂O₃), nitrogen tetraoksida (N₂O₄) dan nitrogen pentaoksida (N₂O₅). Gas NO_x yang dapat menyebabkan efek kesehatan yang kurang baik adalah NO₂, secara kimiawi bersifat reaktif (Wei Yang dan Stanley T. Omaye, 2008). Gas yang berwarna coklat kemerahan ini memiliki bau yang menyengat dan polutan udara yang terkenal. Paparan jangka panjang terhadap NO₂ dengan kadar 40 – 100 µg/m³ dapat menyebabkan efek kesehatan yang merugikan.

2.2.2.4 Oksida Sulfur (SO_x)

Bagian dari keluarga senyawa ini yang berbahaya adalah sulfur dioksida (SO₂). Gas ini memiliki karakteristik tidak berwarna, tetapi berbau dan larut dalam air membentuk asam. Efek negatif terhadap kesehatan akibat terpapar gas ini adalah masalah pernafasan, perubahan ketahanan paru-paru, memperburuk penyakit pernafasan dan kardiovaskuler. Seseorang dengan penyakit asma dan penyakit jantung atau paru-paru kronis sangat sensitif terhadap gas ini (<http://www.airqualityontario.com/science/pollutants/sulphur.cfm>, diakses 18 Juni 2010).

2.2.2.5 Zat Partikulat

Zat partikulat adalah zat padat atau cair yang halus, dan tersuspensi di udara, misalnya embun, debu, asap, jelaga, uap, dan kabut. Paparan partikulat di udara dapat mengganggu kesehatan paru-paru dan jantung (Dominici, 2006).

2.2.3 Toksisitas Senyawa Kimia Dalam Asap

Material yang terbakar menghasilkan perbedaan produk pembakaran, sebagai contoh, polimer tanpa atom klorin tidak akan menghasilkan hidrogen klorida dalam asapnya. Tabel 2.3 di bawah menyajikan toksisitas sebagai variabel toksik LC₅₀, dan merupakan skala kebalikan. Angka yang lebih kecil menunjukkan toksisitas yang lebih besar.

Tabel 2. 2 Toksisitas Beberapa Senyawa Kimia (Neviaser dan Gann, 2004)

Formula	Gas	LC50 untuk manusia (ppmv) 5 menit	LC50 untuk manusia (ppmv) 30 menit	Data referensi (spesies,menit) h = manusia; r = tikus besar; m = tikus; p = primata; EC = konsentrasi yang memberikan efek; LC ₀ = konsentrasi efek kematian pertama yang diamati
CO ₂	karbon dioksida	-	>150.000	LC(r,30)=470.000
C ₂ H ₄ O	Asetaldehid a	-	20.000	LC(m,240)=1.500 LC ₀ (r,240)=4.000 LC(h,240)=17.000 LC(r,30)=20.000 LC(r,240)=16.000
HCl	hidrogen klorida	16.000	3.700	LC(r,5)=40.989
CO	karbon monoksida	-	3.000	LC(r,30)=4.600 LC(h,30)=3.000
NO	Nitro oksida	10.000	2.500	1/5 racun NO ₂
H ₂ S	hidrogen sulfida	-	2.000	LC(m,60)=673 LC ₀ (h,30)=600 LC ₀ (h,5)=800 LC(h,30)=2.000
HF	hidrogen sulfida	10.000	2.000	LC(p,60)=1.774 LC ₀ (h,30)=50 LC(m,60)=456 LC(r,5)=18.200 LC(m,5)=6.247 LC(r,5)=18.200
COF ₂	karbonil florida	-	750	LC(r,60)=360
NO ₂	nitrogen dioksida	5.000	500	EC(m,5)=2500 EC(m,30)=700 EC(r,5)=5000 EC(r,30)=300 LC(m,5)=831 LC(r,5)=1.880
C ₃ H ₅ O	Akrolein	750	300	LC(m,360)=66 LC ₀ (p,10)=153 LC(p,5)=505 to 1.025
CH ₂ O	Formaldehid a	-	250	LC ₀ (r,240)=250 LC(r,30)=250 LC(r,240)=830 LC(cat,480)=700 LC(m,120)=700
SO ₂	Sulfur dioksida	500	-	LC ₀ (m,300)=6.000
HCN	hidrogen sianida	280	135	LC(r,5)=570 LC ₀ (r,30)=110 LC(r,5)=503 LC(m,5)=323 LC(h,30)=135 LC(h,5)=280

Arti LC₅₀ adalah sejumlah massa dalam volume 1 m³ yang menyebabkan 50% kemungkinan kematian. Untuk substansi dengan komposisi yang diketahui (misalnya gas murni), LC₅₀ biasanya diekspresikan dalam unit ppmv. Definisi 1 ppmv gas berarti 1 bagian volume gas dalam 1 juta bagian volume udara.

2.2.4 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 glycol. 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 NanoActiveTM, sebuah merek dagang. Mula-mula ruang dipenuhi asap sampai opasitas 100% (transmisi cahaya 0%). Lalu diukur waktu sampai transmisi cahaya sebesar 10% dan 20% tercapai secara alami

akibat gaya gravitasi dan evaporasi. Transmisi 10% dan 20% dipakai karena manusia dapat melihat melewati asap pada transmisi cahaya sebesar itu. Dengan cara yang sama, berikutnya digunakan adsorben dengan cara disemprotkan. Hasilnya menunjukkan bahwa NA MgO plus memiliki rasio terkecil, yaitu 0,1 pada transmisi cahaya 10% ($t^*_{10} = 0,1$). Tabel 2.4 menunjukkan keefektifan beberapa adsorben dalam menjernihkan asap. Dengan prinsip yang hampir sama, paten penjernihan asap telah dikeluarkan oleh Mulukutla et al., 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.

Tabel 2. 3 Keefektifan Beberapa Adsorben dalam Penjernihan Asap

Material	Massa	Efektifitas	
		t^*_{10}	t^*_{20}
NaHCO ₂	25	0,42	0,39
	50		
	100		
NA MgO	40	0,38	0,44
	100		
	100		
NA TiO ₂	40	0,76	0,94
	100		
Ca(OH) ₂	40	0,24	0,23
	50		
	100		
NA MgO plus	60	0,10	0,11

(Yadav et al., 2007)

2.3 Opasitas

Opasitas merupakan derajat ketidakterbusan permukaan benda terhadap cahaya (kegelapan). Pada banyak kasus, opasitas diartikan sebagai sebuah 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 memberitahukan jenis material apa yang ada dan seberapa banyak kemungkinan 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 (100%) dan keadaan jernih diberi persentase 0 (0%). Gambar 2.1 merupakan Grafik Asap Ringelmann (*Ringelmann Smoke Chart*) yang diperjualbelikan, yaitu sebuah grafik yang menunjukkan persen opasitas suatu benda dengan rentang 20%. Sedangkan Tabel 2.4 menunjukkan perbandingan antara Bilangan Ringelmann, opasitas, dan fraksi cahaya yang dapat ditransmisikan. Bilangan Ringelmann merupakan suatu bilangan yang sering digunakan pengamat untuk mendeskripsikan asap yang berwarna hitam.



Gambar 2. 1 Grafik Asap Ringelmann

Tabel 2. 4 Perbandingan Bilangan Ringelmann, Opasitas, dan Fraksi Cahaya yang Dapat Ditransmisikan

Fraksi Transmisi Cahaya	Bilangan Ringelmann	Opasitas
1,0	0	0%
0,8	1	20%
0,6	2	40%
0,4	3	60%
0,2	4	80%
0	5	100%

(Ensor et al., 1971)

Pada Tabel 2.4, jika rasio fraksi transmisi cahaya bernilai 1 (satu), ini berarti tidak ada partikel yang menghalangi sinar yang ditransmisikan, dengan kata lain ruangan jernih, tidak ada asap. Dalam bilangan Ringelmann, angka yang ditunjukkan 0 (nol) dan opasitasnya berarti 0%. Jika fraksi transmisi cahaya bernilai 0 (nol), ini berarti sinar yang ditransmisikan seluruhnya terhalang oleh partikel asap, dengan kata lain ruangan gelap penuh asap. Dalam bilangan Ringelmann, angka yang ditunjukkan 5 (lima) dan opasitasnya 100%.

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses dimana komponen-komponen tertentu (adsorbat) dari suatu fasa fluida berpindah ke permukaan zat padat yang digunakan sebagai penyerap (adsorben). Secara umum partikel-partikel kecil zat penyerap ditempatkan di dalam suatu hamparan tetap (*fixed bed*), dan fluida lalu dialirkan melalui hamparan tersebut sampai adsorben itu mendekati jenuh dan penyerapan yang diinginkan tidak dapat lagi berlangsung (Mc. Cabe et al., 1999). Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibagi menjadi dua bagian, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia (Treybal, 1980). Selain itu terdapat juga adsorpsi isotermis. Adsorpsi isotermis adalah hubungan antara jumlah zat yang diadsorpsi dengan kesetimbangan tekanan pada suhu tetap.

2.4.1 Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika adalah adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van Der Waals (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 fisika, 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. Adsorpsi fisika adalah suatu peristiwa yang reversibel, sehingga jika kondisi operasinya diubah akan membentuk kesetimbangan baru. Peristiwa adsorpsi gas terjadi sangat cepat. Proses adsorpsi disertai dengan pengeluaran panas sesuai dengan prinsip *Le Chatelier*. Panas yang terjadi atau dikeluarkan pada peristiwa adsorpsi disebut panas adsorpsi. Panas adsorpsi fisika umumnya rendah (5 – 10 kkal/gr-mol gas) dan terjadi pada temperatur rendah, yaitu di bawah temperatur didih adsorbat. Hal ini yang menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisika reversibel dan berlangsung sangat cepat. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga pada prosesnya akan membentuk lapisan *multilayer* pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara pemanasan pada temperatur 150 – 200 °C selama 2 – 3 jam.

2.4.2 Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk adalah lapisan *monolayer*. Untuk adsorpsi kimia, yang paling penting adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan *monolayer*. Pendekatannya dengan menentukan kondisi reaksi, sehingga hanya adsorpsi kimia yang terjadi dan hanya terbentuk *monolayer*. Adsorpsi kimia bersifat tidak reversible dan umumnya terjadi pada temperatur tinggi di atas temperatur kritis adsorbat, sehingga panas adsorpsi yang dilepaskan juga tinggi (10 – 100 kkal/g.mol). Sedangkan untuk dapat terjadinya peristiwa desorpsi dibutuhkan energi lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dan adsorbat. Energi aktivasi pada adsorpsi kimia berkisar antara 10 – 60 kkal/g.mol.

2.4.3 Adsorpsi Isotermis

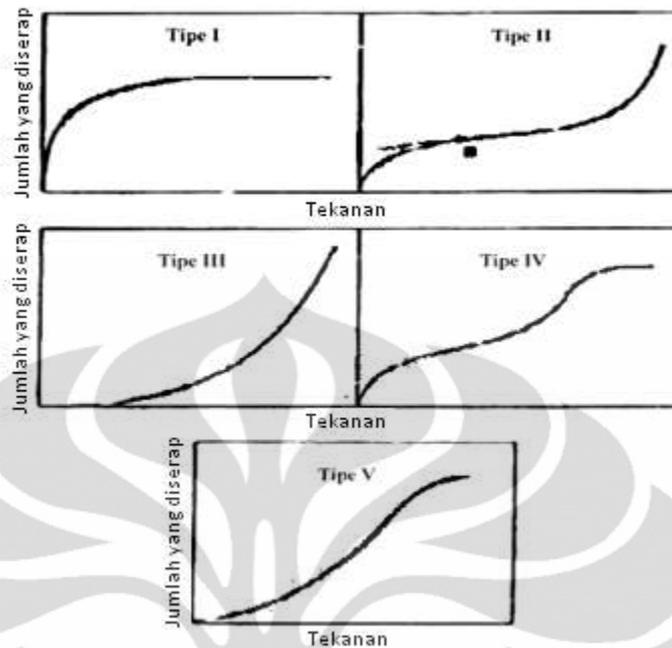
Adsorpsi isotermis adalah hubungan antara jumlah zat yang diadsorpsi dengan kesetimbangan tekanan pada suhu tetap. Brunauer mengklasifikasikan adsorpsi isotermis ke dalam lima jenis kurva seperti gambar berikut (Maron and Lando, 1974).

a. Tipe I

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

b. Tipe II

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



Gambar 2. 2 Kurva Adsorpsi Isotermis Langmuir dan BET (Maron and Lando, 1974).

c. Tipe III

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

d. Tipe IV

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

e. Tipe V

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

2.4.3.1 Adsorpsi Isotermis Freundlich

Persamaan matematika pertama untuk kondisi isotermal diberikan oleh Freundlich dan Küster, 1984, dan ini merupakan formula empiris murni untuk adsorbat fasa gas.

$$\frac{x}{m} = kP^{\frac{1}{n}} \quad (2.4)$$

dengan x = kuantitas adsorben

m = massa adsorben

P = tekanan adsorbat

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

2.4.3.2 Adsorpsi Isotermis Langmuir

Model yang paling sederhana untuk adsorpsi *monolayer* adalah Langmuir. Model Langmuir pertama kali dikembangkan untuk menunjukkan adsorpsi kimia pada kumpulan tempat adsorpsi yang dilokalisasi. Persamaan umum yang digunakan pada Langmuir adalah (Yang, 1987)

$$\theta = \frac{\omega}{L} = \frac{BP}{1 + BP} \quad (2.5)$$

dimana:

ω = jumlah mol gas teradsorpsi per satuan massa adsorbent

θ = fraksi luas permukaan yang tertutup oleh lapisan *monolayer*

B = konstanta adsorpsi Langmuir yang besarnya bergantung pada temperatur

P = tekanan adsorpsi

L = maksimum kapasitas adsorpsi pada model Langmuir dan Model BET

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

$$\theta = BP \quad (2.6)$$

Parameter B dinamakan konstanta afinitas atau konstanta Langmuir. Parameter B mengukur seberapa besar molekul adsorbat yang terserap ke

permukaan. Parameter B ini berhubungan dengan kalor adsorpsi (Q), dengan persamaan sebagai berikut:

$$B = \frac{\alpha}{\beta (2\pi mkT)^{1/2}} e^{Q/RT} \quad (2.7)$$

dengan:

α = koefisien *nonperfect sticking*

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

Persamaan Langmuir diatas didasarkan pada asumsi (Foo and Hameed, 2010):

1. Adsorben dilapisi satu lapisan molekul gas adsorbat (unimolekular atau *monolayer*)
2. Molekul teradsorpsi tidak bebas bergerak pada permukaan
3. Tidak ada interaksi lateral di antara molekul-molekul adsorbat
4. Entalpi adsorpsi sama untuk semua molekul

2.4.3.3 Adsorpsi Isotermis BET

Brunauer, Emmett, dan Teller (BET) mengembangkan model isotermis sederhana untuk menghitung adsorpsi *multilayer* dan model ini digunakan untuk mengetahui kapasitas *monolayer* dan juga luas permukaan spesifik. Konsep teori ini adalah pengembangan dari teori langmuir yang digunakan untuk adsorpsi molekular *monolayer* menjadi teori adsorpsi molekular *multilayer* dengan hipotesis sebagai berikut: molekul gas yang teradsorp secara fisik pada permukaan solid pada banyak lapisan dan tanpa adanya interaksi antar tiap lapisan adsorpsi. Model persamaan isotermal dari BET adalah dapat ditulis sebagai berikut (Yang, 1987):

$$\frac{\omega}{L} = \frac{CP}{P_s - P \left[1 + C - 1 \left(\frac{P}{P_s} \right) \right]} \quad (2.8)$$

dimana:

ω = jumlah mol gas teradsorpsi per satuan unit massa adsorbent

L = maksimum kapasitas adsorpsi pada model Langmuir dan Model BET

P = tekanan gas saat teradsorpsi

P_s = tekanan jenuh adsorbat gas hingga mencapai kapasitas maksimum adsorpsi

C = parameter adsorpsi isoteremis model BET

2.4.4 Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi (Treybal, 1980 dan Bahl et al., 1997):

1. Sifat adsorben

a. Kemurnian adsorben

Adsorben yang lebih murni memiliki daya adsorpsi yang lebih baik.

b. Luas permukaan dan jumlah pori adsorben.

Semakin besar luas permukaan adsorben, semakin besar jumlah adsorbat yang dapat diserap.

2. Jenis adsorbat

a. Kepolaran adsorbat

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

b. Ukuran molekul adsorbat

Molekul yang bisa diadsorpsi adalah molekul yang berdiameter sama atau lebih kecil dari diameter pori adsorben.

3. Temperatur

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

4. Tekanan

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

5. Pusat aktif

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

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

- a. Proses difusi pada suatu lapisan tipis cairan di sekeliling partikel adsorben, yang disebut dengan difusi film.
- b. Proses adsorpsi dalam partikel adsorben, yang disebut difusi partikel. Proses difusi ditentukan oleh beberapa faktor yang meliputi besar dari muatan partikel adsorben, besar dari muatan molekul atau ion adsorbat dari konsentrasi larutan adsorbat. Parameter fisis yang berpengaruh pada proses adsorpsi biasanya dinyatakan sebagai jenis adsorben, waktu adsorpsi, konsentrasi awal larutan adsorbat, komposisi adsorbat, ukuran partikel adsorben, dosis partikel, dan temperatur larutan adsorbat.

2.5 Adsorben

Adsorben biasanya digunakan dalam bentuk pelet, batang, molding, atau monolith dengan diameter hidrodinamika antara 0,5 dan 10 mm. Mereka harus memiliki ketahanan abrasi yang tinggi, stabilitas termal dan diameter pori yang kecil, yang menghasilkan luas permukaan paparan yang lebih tinggi dan kapasitas adsorpsi permukaan yang lebih tinggi. Adsorben juga harus memiliki struktur pori yang jelas untuk memungkinkan transpor yang cepat dari uap.

Kebanyakan adsorben industri termasuk dalam satu dari tiga kelas:

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

2.6 Zeolit

Zeolit merupakan silikat aluminium yang mengandung struktur berpori terisi air, bergerak bebas, dan dapat terjadi pertukaran ion. Sifat pertukaran ion membuat zeolit banyak digunakan sebagai adsorben gas, cairan, ion, dan katalis (Rustiadi, 1999). Struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral $[AlO_4]^{-5}$ dan $[SiO_4]^{-4}$ yang saling berhubungan melalui atom O. Didalam struktur tersebut Si^{4+} dapat diganti oleh Al^{3+} , yang mengakibatkan zeolit kekurangan muatan positif. Kekurangan muatan positif digantikan dengan hadirnya atom bermuatan positif satu atau dua seperti natrium Na^+ , kalium K^+ , kalsium Ca^{2+} , dan magnesium Mg^{2+} . Rumus empiris dari zeolit adalah $(M_2/nO)(Al_2O_3 \cdot xSiO_2)(yH_2O)$ (Jansen, 1994; Handoko, 2002). Bagian dalam tanda kurung pertama merupakan ion-ion yang dapat dipertukarkan dengan kation lain tanpa mempengaruhi kerangka aluminosilika. Bagian tanda kurung kedua merupakan struktur rangka aluminosilika yang rigid, di mana ikatan ion Al-Si-O membentuk struktur kristal.

Setiap jenis zeolit memiliki karakteristik pertukaran ion yang berbeda. Perbedaan ini terjadi berdasarkan besar rongga zeolit, pengaruh difusi, mobilitas dan jari-jari kation yang dipertukarkan. Karakteristik pertukaran kation ini berupa urutan selektifitas zeolit terhadap kation. Selektifitas beberapa jenis zeolit alam dapat dilihat dalam Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Urutan Selektifitas Pertukaran Ion Beberapa Jenis Zeolit

Jenis Zeolit	Urutan Selektivitas	Peneliti
Analcime	$K < Li < Na < Ag$	Barrer (1950)
Chabazite	$Li < Na < K < Cs$	Sherry (1969)
Clinoptilolite	$Mg < Ca < Na < NH_4 < K$	Ames (1961)
Heulandite	$Ca < Ba < Sr < Li < Na < Rb < K$	Filizopa (1974)
mordenit	$Li < Na < Rb < K < Cs$	Ames (1961)

(Yuliusman et al., 2009)

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa kation-kation yang berada pada bagian kanan urutan tersebut adalah kation-kation yang lebih disukai oleh zeolit. Jika kita ingin mempertukarkan suatu kation dalam zeolit, maka kation penukarnya harus berada di sebelah kanan kation tadi. Tabel 2.6 menunjukkan beberapa penggunaan zeolit yang pernah dilakukan dalam mengadsorpsi gas.

Tabel 2. 6 Selektivitas Adsorbat Beberapa Jenis Zeolit

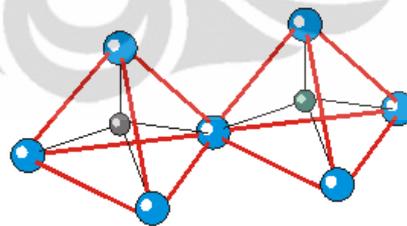
Jenis Zeolit	Aplikasi	Gas Sedikit Diadsorpsi	Gas Banyak Diadsorpsi	Peneliti
Chabazite	Prapurifikasi udara	Udara (N_2 dan O_2)	CO_2	Tomoki (1988)
Clinoptilolite	Prapurifikasi udara	Udara (N_2 dan O_2)	CO_2 , CO , NO	Tezel (1995)
Erionite	Separasi udara	O_2	N_2	Honan (1974)
Ferrierite	Purifikasi gas alam, batubara, biogas	CH_4 , C_2 's, C_3 's	NH_3	Hayhurst (1978)
Mordenite	Purifikasi gas	H_2 , He, Ne, Kr, Xe	H_2O , CO , CO_2 , CH_4	Nishizawa (1984)
Phillipsite	Purifikasi gas alam, batubara, biogas	CH_4 , C_2 's, C_3 's	NH_3	Kirov (1992)

(Ackley et al., 2003)

Dari Tabel 2.6 terlihat bahwa zeolit jenis mordenite dan clinoptilolite merupakan jenis zeolit yang bagus dalam menyerap gas CO.

2.6.1 Struktur Zeolit

Struktur zeolit dapat digambarkan seperti sarang lebah dengan saluran-saluran dan rongga-rongga yang dihasilkan oleh sambungan-sambungan kaku tetrahedral (Dyer, 1994). Struktur kristal dari mineral zeolit termasuk anggota kelas aluminosilikat. Umumnya zeolit tersusun oleh satuan unit pembangun primer yang merupakan satuan unit terkecil tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 .



Gambar 2. 3 Tetrahedra Alumina dan Silika pada Struktur Zeolit (www.batan.go.id)

Pada tahun 1967, Meier mengklasifikasikan dan mengilustrasikan struktur zeolit berdasarkan susunan unit pembangunnya, yaitu unit pembangun primer, sekunder, dan tersier.

- Unit pembangun primer berupa tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 yang merupakan satuan unit terkecil.

- b) Unit pembangun sekunder terbentuk dari rangkaian unit pembangun primer dengan cara setiap satu atom oksigen secara bersama sebagai sudut dua tetrahedral, membentuk cincin tunggal maupun ganda dengan 4, 5, 6, dan 8 tetrahedral.
- c) Unit pembangun tersier atau struktur ruang terbentuk dari ikatan unit pembangun sekunder satu sama lain dengan berbagai kombinasi. Kristal zeolit merupakan rangkaian tiga dimensi unit tersier tersebut (Subagjo, 1993).

Adapun bentuk-bentuk dasar yang terkombinasi akan membentuk kristal berpori dengan pola dan dimensi saluran-saluran sejajar yang saling terhubung oleh saluran lain yang tegak lurus dengan variasi ukuran tertentu. Molekul tamu, yaitu molekul yang teradsorpsi atau bereaksi dengan bantuan permukaan zeolit, berdifusi menyusuri saluran pori untuk mencapai permukaan dalam zeolit. (Subagjo, 1993).

Zeolit alam mempunyai struktur kristal berdimensi tiga dengan pori-pori yang banyak. Struktur zeolit yang berpori dengan cairan di dalamnya mudah lepas karena pemanasan sehingga sifatnya spesifik, yaitu dapat menyerap bahan lain yang ukuran molekulnya lebih kecil dari ukuran porinya (Dorfner, 1991).

Zeolit sebagai padatan anorganik yang berwarna kebiru-biruan memiliki sifat-sifat yang sangat unik, diantaranya adalah sangat berpori, mempunyai kemampuan menukar ion, keasaman, dan mudah dimodifikasi.

Penukar zeolit yang luas (sangat berpori) dikarenakan adanya rangkaian-rangkaian dari unit pembangun primer tetrahedral silika dan alumina. Pori-porinya berukuran molekul yang terbentuk dari tumpukan cincin beranggotakan 6, 8, 10, atau 12 tetrahedral (Barrer, 1982).

Saluran pori pada zeolit berisi molekul air terbentuk akibat proses hidrasi udara disekeliling kation penukar. Melalui pemanasan air akan terurai dan saluran-saluran pori akan mengadsorpsi pada permukaan dalam dari ruang (Prayitno, 1989).

Zeolit mempunyai selektivitas tinggi dan sering digunakan untuk mengisolasi kation-kation yang diikat. Menurut Mumpton dan Fishman (1978), pertukaran zeolit bersifat membuka ikatan kerangka tetrahedralnya sehingga dapat terurai atau bertukar dengan mudah oleh pencucian suatu larutan yang kuat.

Artinya, zeolit dapat memberikan ion-ion logam dengan adanya penambahan larutan garam (Prayitno, 1989).

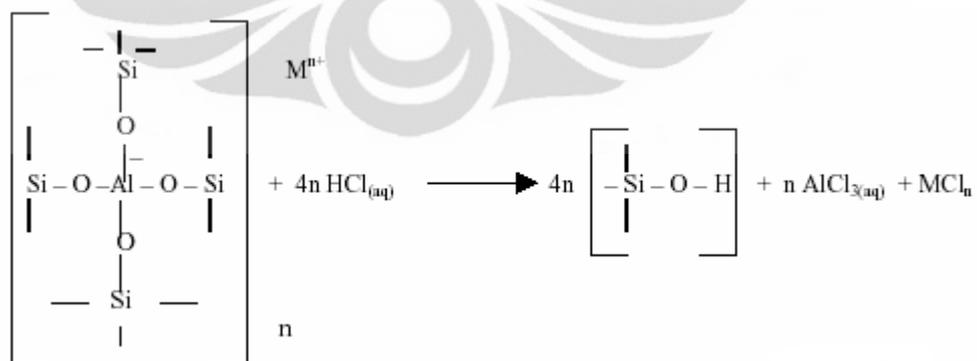
Zeolit bersifat sebagai padatan asam Bronsted melalui pengaturan perbandingan Si/Al dalam kerangka kristal. Tetapi cara ini hanya diterapkan pada zeolit yang kaya silika, karena tahan oleh asam (Subagjo, 1993).

Sifat-sifat tersebut menjadikan zeolit banyak digunakan dalam proses-proses dasar seperti dalam proses adsorpsi, pertukaran kation, katalis selektif dengan memanfaatkan pusat asam, dan sebagai ayakan molekul

2.6.2 Aktivasi Zeolit

Aktivasi zeolit yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah dengan metode dealuminasi. Prinsip dasar aktivasi zeolit dengan metode dealuminasi adalah dengan mengurangi kadar alumina dalam zeolit, sehingga rasio Si/Al dapat meningkat. Dengan meningkatkan rasio Si/Al, diharapkan kemampuan adsorpsi zeolit semakin meningkat. Dealuminasi akan meningkatkan stabilitas termal terutama pada suhu tinggi. Proses dealuminasi akan menyebabkan pergeseran aluminium tertrahedral dari posisi rangka ke posisi non-rangka. Pada penelitian ini, proses dealuminasi akan dilakukan dengan perlakuan asam.

Perlakuan asam pada zeolit dilakukan dengan merendam zeolit dalam larutan HCl yang relatif pekat dan cukup lama sehingga jumlah Al dalam kerangka menjadi di luar kerangka. Peristiwa ini dapat dilihat pada Gambar 2.3:



Gambar 2. 4 Proses pelepasan Al dalam rangka menjadi Al diluar rangka (Handoko, 2002)

Proses dealuminasi, selain mengekstraksi Al dalam kerangka, juga mengakibatkan labilitas kerangka oksigen. Akibatnya atom Si berpindah ke tempat kosong yang ditinggalkan Al. Sebagai konsekuensinya ukuran unit sel-nya

akan menyusut. Penyusutan tersebut mengakibatkan meningkatnya rasio Si/Al dan mengecilnya ukuran pori (Handoko, 2002).

2.6.3 Zeolit Alam Bayah

Zeolit Alam Bayah terdiri dari Modernite, Erionite, Clinoptilolite, Kwarsa, Potasium Feldspar, dan partikel gelas Mordenite berukuran 47 mikron x 28 mikron sampai 78 mikron x 49 mikron. Zeolit ini merupakan Modernite Tuff yang berasal dari proses diagenesa dari gelas. Zeolit Alam Bayah digunakan sebagai absorben uap air, metanol, etanol, benzena, isopentana, sulfur, dan sulfur dioksida (Rustiadi, 1999).

Zeolit Alam Bayah sebagian besar terdiri dari Mordenit dan Clinoptilolite. Kedua jenis zeolit tersebut digunakan Kirov et al., (1992) untuk mengadsorpsi kandungan SO_x dan NO_x pada asap buang kendaraan. Armenta et al., (1999) melakukan adsorpsi CO_2 untuk meningkatkan kualitas gas alam dengan menggunakan zeolit jenis Mordenit, Clinoptilolite, dan Erionite. Altav et al., (1995) menggunakan zeolit jenis Clinoptilolite untuk menghilangkan kandungan H_2S dan SO_2 pada pemurnian gas alam. Tezel et al., (1993) melakukan adsorpsi CO pada tahap pemurnian udara menggunakan zeolit Mordenite.

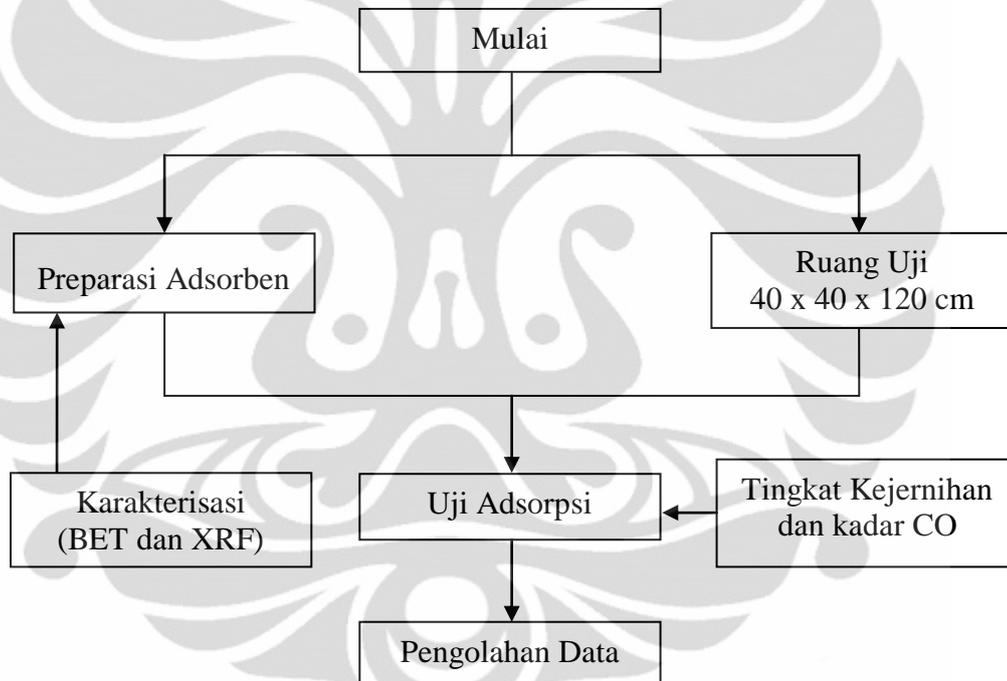
BAB 3

METODE PENELITIAN

Terdapat beberapa tahap dalam penelitian ini:

1. Preparasi adsorben
2. Pembuatan ruang uji
3. Uji adsorpsi asap
4. Pengolahan data.

Berikut diagram alir penelitian ini:

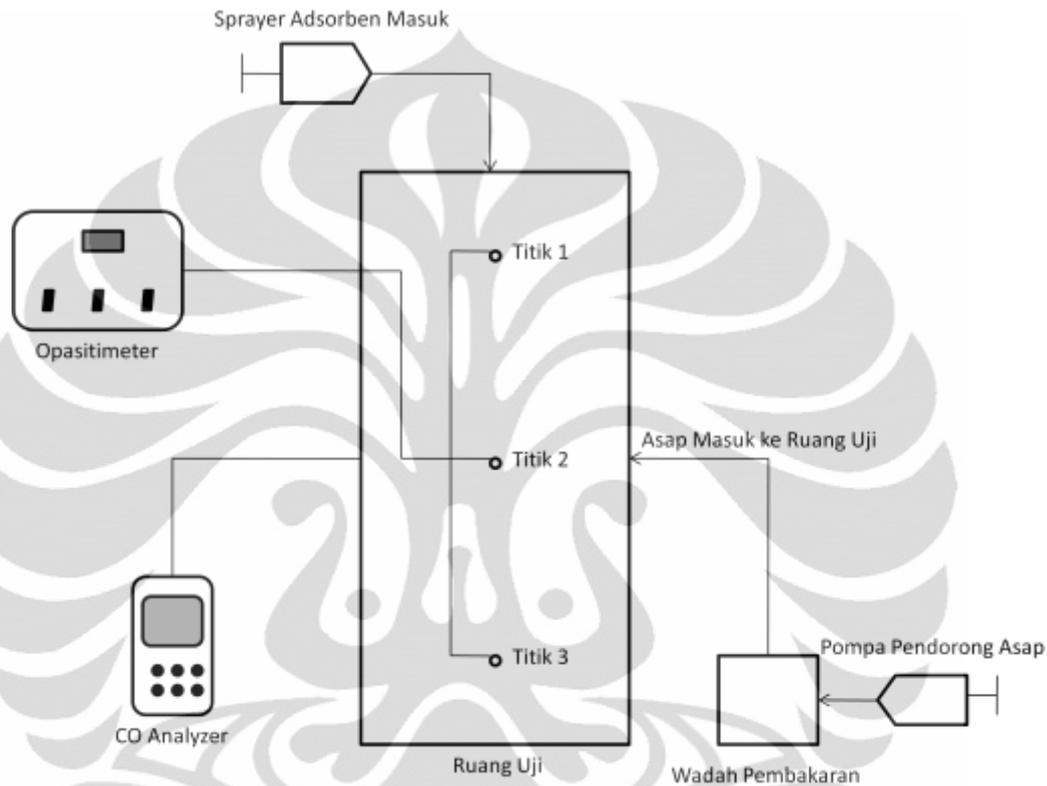


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Ruang Uji

Skema rancang bangun alat terlihat pada Gambar 3.2. 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 zeolit yang telah disemprotkan. Pada bagian tengah pintu dipasang satu alat CO

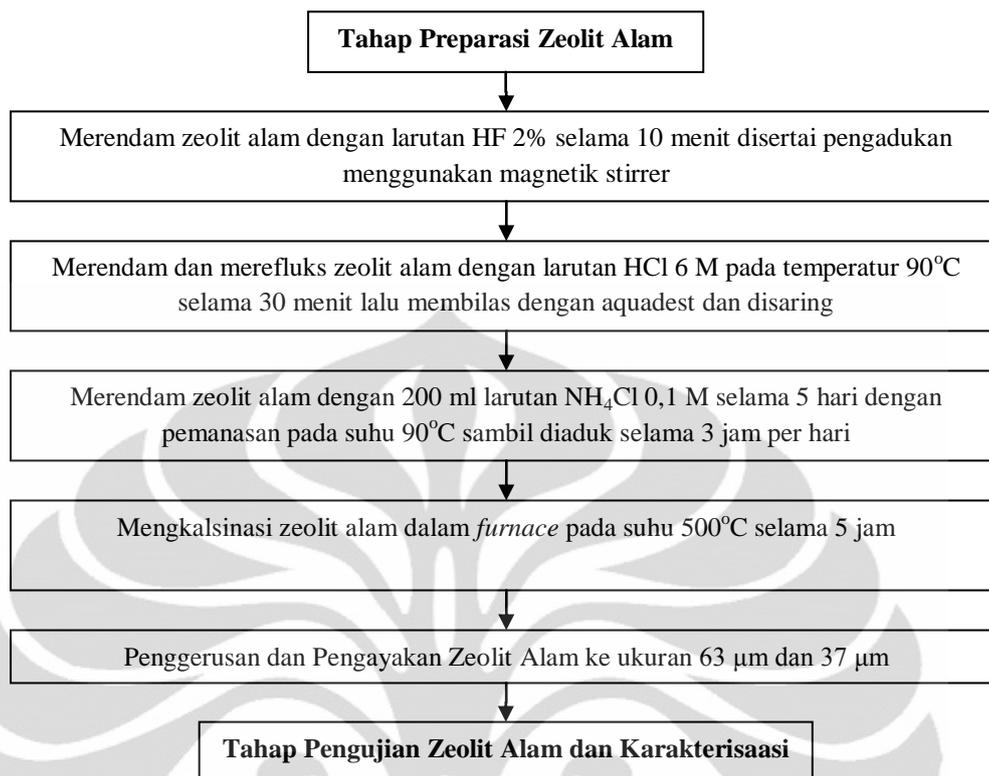
analyzer. Tiga titik pengambilan nilai kejernihan asap diambil menggunakan opasitimeter. Asap masuk dari bagian belakang tengah ruang uji dari wadah pembakaran melalui selang. Ruang uji dibuat kedap udara agar tidak ada asap dan senyawa pada asap yang keluar.



Gambar 3.2 Skema Ruang Uji

3.2 Preparasi Adsorben

Percobaan pada tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan efektifitas adsorben dalam menjernihkan asap yang diindikasikan dengan nilai tingkat kejernihan dan kandungan CO dalam asap. Sebagian zeolit dilakukan preparasi sebelum digunakan sebagai adsorben agar kemampuan dalam menjernihkan asap dan menyerap CO dapat dibandingkan dengan zeolit murni. Gambar 3.3 merupakan diagram alir preparasi zeolit alam:



Gambar 3.3 Diagram Alir Proses Preparasi Zeolit Alam

3.2.1 Alat dan Bahan

A. Alat

1. Alat tumbukan
2. Pengayak dengan ukuran 200 dan 400 mesh
3. Pipet ukur
4. Pipet tetes
5. Erlenmeyer
6. Gelas ukur
7. *Hot Plate Magnetic stirrer*
8. *Furnace*
9. Termometer
10. Botol semprot
11. Cawan penguap
12. Plastik obat
13. Beaker plastik
14. Gelas ukur plastik

15. Kertas Saring

B. Bahan

1. Zeolit Alam Bayah
2. Larutan HF 2%
3. Larutan HCl 6M
4. Larutan NH_4Cl 0,1 M
5. Sabun cuci
6. Aquadest

3.2.2 Prosedur

3.2.2.1 Perendaman dengan Larutan HF 2%

Merendam setiap 100 gram zeolit alam dengan 200 ml larutan HF 2% selama 10 menit disertai pengadukan menggunakan magnetik stirrer. Kemudian zeolit dibilas dengan aquadest lalu disaring. Perendaman zeolit alam ini menggunakan larutan HF 2% dengan tujuan melarutkan oksida-oksida pengotor yang terdapat dalam zeolit. Selain itu, hal ini juga dapat mengurangi senyawa organik pengotor yang dapat menurunkan daya adsorpsi zeolit.

3.2.2.2 Perendaman Menggunakan Larutan HCl 6 M

Merendam zeolit alam dengan 200 ml larutan HCl 6 M selama 30 menit yang disertai pengadukan. Kemudian zeolit ini dibilas dengan aquadest dan disaring. Perendaman zeolit dalam larutan HCl bertujuan agar aluminium dalam zeolit dapat terekstrak dan aluminium dalam kerangka menjadi aluminium luar kerangka sehingga rasio Si/Al dapat meningkat, sehingga dapat meningkatkan pula daya adsorpsi zeolit alam tersebut.

3.2.2.3 Perendaman Menggunakan Larutan NH_4Cl

Merendam zeolit alam tersebut dalam 200 ml larutan NH_4Cl 0,1 M selama 5 hari dengan diaduk selama 3 jam per hari. Perendaman zeolit alam dengan NH_4Cl bertujuan untuk memperkuat struktur baru yang terbentuk karena proses dealuminasi oleh HCl.

3.2.2.4 Kalsinasi Zeolit Alam

Mengkalsinasi atau memanaskan zeolit alam tersebut dalam *furnace* pada suhu 500°C selama 5 jam. Kalsinasi zeolit bertujuan untuk menguapkan kandungan air dan zat organik yang terperangkap dalam kristal zeolit.

3.2.2.5 Penghalusan dan Penyaringan Zeolit Alam

Penghalusan dilakukan untuk menghasilkan ukuran partikel adsorben pada ukuran 63 μm dan 37 μm .

3.2.2.6 Karakterisasi Zeolit Alam

A. Luas permukaan, ukuran pori, dan distribusi ukuran pori sebelum dan sesudah diaktivasi dengan menggunakan uji analisis BET. Berikut prosedurnya:

1. Memasukkan *sample cell* ke *degasser* dan melakukan *degassing* pada sampel.
2. Melakukan tes pada sampel. Penambahan tekanan yang terjadi mengindikasikan sampel belum bersih, sehingga harus dilakukan *degassing* kembali.
3. Mengeluarkan *sample cell* dari *degasser*, kemudian memasukkannya pada masing-masing *station* di Autosorb.
4. Memasang gas helium dan nitrogen pada 60 kPa.
5. Menyalakan komputer dan program Autosorb 6.
6. Menyalakan *vacuum* dan *electric*.
7. Melakukan analisa sampel dengan metode *single* BET, dengan bantuan program Autosorb 6.

B. Ukuran partikel dan komposisi dengan menggunakan XRF

Karakterisasi XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi zeolit. Karakterisasi XRF ini dilakukan juga untuk mengetahui rasio Si/Al zeolit. Sampel yang akan dikarakterisasi dihaluskan hingga berbentuk serbuk. Kemudian serbuk yang terbentuk dikompres hingga membentuk pelet tipis. Sampel yang telah berbentuk pelet tipis ini dimasukkan kedalam alat XRF. Kemudian alat XRF akan mengirimkan sejumlah data ke dalam komputer yang berisi komposisi yang dihasilkan oleh sampel. Setelah itu komputer akan menunjukkan komposisi sampel tersebut.

3.3 Uji Adsorpsi Asap

3.3.1 Alat dan Bahan

A. Alat

1. Ruang uji
2. Wadah pembakaran
3. Penyemprot adsorben (pompa)
4. *Stopwatch*
5. Opasitimeter
6. CO Analyzer
7. Timbangan

B. Bahan

1. Zeolit Alam Bayah teraktivasi
2. Kayu
3. Kertas
4. Kabel
5. Minyak tanah

3.3.2 Variabel

3.3.2.1 Variabel Bebas

1. Massa adsorben (1 gr dan 3 gr)
2. Ukuran partikel adsorben (63 μm dan 37 μm)

3.3.2.1 Variabel Tetap

1. Massa bahan bakar yang dibakar masing-masing 20 gr
2. Minyak tanah 10 ml

3.3.3 Prosedur

3.3.3.1 Uji Tanpa Zeolit 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, titik 2 berjarak 60 cm, dan titik 3 berada 15 cm dari dasar ruang uji) dan untuk uji kebocoran catat kadar CO setiap 1 menit selama 20 menit.

3.3.3.2 Uji Dengan Zeolit

1. Kalibrasi opasitimeter pada saat ruang uji dalam keadaan tanpa asap. Atur nilai tingkat kejernihan menjadi 100. Tutup atau halangi sumber cahaya (*Light Source*) pada opasitimeter agar tidak mengenai penangkap cahaya (*Light-Measuring Device*) dan set menjadi nol.
 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 zeolit tanpa aktivasi pada bagian atas ruang uji sebesar 1 gram dengan ukuran 63 μm .
 5. Mencatat nilai tingkat kejernihan asap sampai menunjukkan angka 10 pada tiap titik uji dan kadar CO setiap 1 menit sampai 20 menit.
 6. Keluarkan asap dan bersihkan ruang uji.
 7. Melakukan hal yang sama dengan variasi ukuran partikel dan massa adsorben yang berbeda
 8. Melakukan semua point di atas dengan menggunakan zeolit aktivasi
- Prosedur Pembuatan Asap
 1. Masukkan bahan yang jumlahnya sesuai dengan point 3.3.2.1 ke dalam wadah pembakaran seperti pada Gambar 3.4
 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 3.4 Wadah Pembakaran

- Prosedur Pengambilan Nilai Tingkat Kejernihan Asap
Berikut adalah gambar alat opasitimeter dan cara pengambilan data tingkat kejernihan.

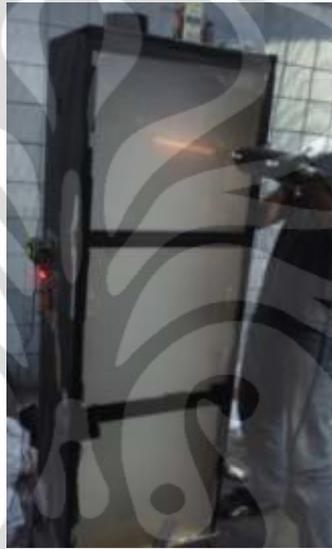


Gambar 3.5 *Light Source* dan *Light-Measuring Device*



Gambar 3.6 *Control Unit* dan *Stopwatch*

Gambar 3.5 bagian A adalah *light source* dan B adalah *light measuring device*. Cara menggunakan opasitimeter ini sangat sederhana, hanya letakkan tangan sensor (alat pada Gambar 3.5) di antara asap seperti yang terlihat pada Gambar 3.7. Pengambilan dilakukan seperti pada gambar karena titik pengujian ada tiga. Nilai kejernihan udara pada asap itu akan ditampilkan pada *control unit* (Gambar 3.6).



Gambar 3. 7 Cara Pengambilan Data

3.3.4 Data yang diambil

1. Nilai tingkat kejernihan sebelum dan sesudah disemprot dengan zeolit.
2. Komposisi CO sebelum dan sesudah disemprot dengan zeolit.

3.4 Pengolahan Data

Data yang diperoleh adalah tingkat kejernihan pada tiga titik pengambilan dan kadar CO yang diambil pada bagian tengah ruang uji. Tingkat kejernihan diambil sampai alat opasitimeter menunjukkan angka 10 (10% jernih), nilai ini akan disebut t_{10} . Nantinya nilai t_{10} yang diperoleh dari tiap-tiap variasi adsorben akan dibandingkan dengan t_{10} yang diperoleh dengan tanpa adsorben, disebut t^*_{10} .

$$t^*_{10} = \frac{t_{10 \text{ adsorben}}}{t_{10 \text{ tanpa asap}}} \quad (3.1)$$

Semakin kecil t^*_{10} , semakin baik adsorben dalam menjernihkan asap. Jika nilainya sama dengan 1, maka adsorben tidak dapat menjernihkan asap. Jika nilainya lebih besar 1, maka adsorben malah ikut menambah gelap asap.

Kadar CO yang diperoleh pada tiap menitnya akan dikurangi dengan keadaan awal, lalu dibagi dengan kadar CO awal. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut

$$Rasio = \frac{\Delta CO}{CO_0} \times 100\% \quad (3.2)$$

Semakin besar nilai $\Delta CO/CO_0$ semakin baik adsorben dalam menyerap CO.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium RPKA dan Laboratorium Kimia Dasar Departemen Teknik Kimia dan Laboratorium Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Proses penelitian ini meliputi preparasi adsorben, pembuatan chamber, kalibrasi sensor, dan pengambilan data opasitas dengan opasitimeter dan kandungan CO dengan menggunakan CO Analyzer. Untuk data analisa kandungan silika dan aluminium digunakan alat *X-Ray Florance (XRF)* serta pengujian analisa luas permukaan menggunakan metode analisa *BET*.

4.1 Preparasi zeolit alam

Zeolit Alam Bayah dipreparasi terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai adsorben, proses preparasi ini biasa disebut dengan proses aktivasi zeolit. Proses aktivasi berfungsi untuk meningkatkan daya serap (proses adsorpsi) zeolit alam. Tahap proses yang dilakukan yaitu proses pelarutan pengotor oksida logam dengan cara merendam zeolit alam di dalam larutan HF 2% selama 10 menit yang disertai pengadukan. Setelah disaring, kemudian masuk ke tahap selanjutnya, yaitu proses dealuminasi atau proses pelarutan aluminium dengan cara merefluks zeolit alam dalam larutan HCl 6 M selama 30 menit pada suhu 90°C yang disertai pengadukan. Setelah disaring kembali, pada zeolit alam kemudian dilakukan proses penguatan struktur baru yang terbentuk karena proses dealuminasi dengan cara merendam zeolit alam dalam larutan NH₄Cl 0,1 M dengan suhu 90°C selama 5 hari yang disertai pengadukan selama 3 jam perhari. Pada akhir tahap aktivasi, zeolit alam dikalsinasi pada suhu 500°C selama 5 jam dengan *furnace* yang bertujuan untuk menguapkan kandungan air yang terperangkap dalam kristal zeolit. Setelah proses aktivasi, dilakukan penggerusan dan pengayakan dengan variasi ukuran partikel 63 µm (200 mesh – 270 mesh) dan 37 µm (lolos saringan ukuran 400 mesh).

Dalam proses aktivasi terdapat beberapa pengamatan visual secara langsung yaitu pada proses pelarutan oksida pengotor menggunakan larutan HF

2% dimana terjadi perubahan warna pada larutan pada saat proses berlangsung yang awalnya bening menjadi larutan putih keabu-abuan (lihat Gambar 4.1)



Gambar 4.1 Perendaman dan Pengadukan dengan HF 2%

Selanjutnya, pada proses dealuminasi dengan menggunakan larutan HCl 6 M terjadi perubahan warna larutan yang menjadi kuning pekat setelah proses berlangsung (lihat Gambar 4.2).



Gambar 4.2 Hasil Perendaman dengan HCL 6M

Pada tahapan proses kalsinasi warna Zeolit Alam Bayah yang semula berwarna putih semu hijau menjadi putih semu kuning (lihat Gambar 4.3)



Gambar 4.3 Zeolit Alam Bayah (a) murni (b) aktivasi

Setiap tahapan perendaman pada proses aktivasi sebaiknya disertai pengadukan. Pengadukan adalah cara yang paling mudah dilakukan untuk mengoptimalkan kontak antara larutan dengan zeolit, sehingga pengotor-pengotor pada zeolit lebih mudah dilarutkan atau dihilangkan. Pengadukan dilakukan dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Hal ini karena dengan menggunakan *magnetic stirrer*, pengadukan lebih stabil, kecepatan konstan, dan zeolit tidak ada yang menempel pada *stirrer*, sehingga pengadukan lebih optimal.

4.2 Karakterisasi Zeolit Alam Bayah

Karakterisasi pada penelitian kali ini menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) yang berguna untuk menentukan komposisi senyawa oksida Zeolit Alam Bayah dan metode BET untuk menentukan luas permukaan.

4.2.1 Komposisi Zeolit Alam Bayah

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui penurunan dan peningkatan komposisi senyawa dalam zeolit alam pada tiap tahapan proses aktivasi. Setiap langkah tahapan proses aktivasi dilakukan analisa komposisi kandungan senyawa menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) dengan hasil data seperti pada lampiran. Data analisa dibagi menjadi 2 bagian: komposisi utama perbandingan Si terhadap Al (Si/Al) dan oksida logam pengotor pada tiap tahapan proses preparasi zeolit alam.

4.2.1.1 Rasio Si terhadap Al

Rasio Si/Al yang terkandung dalam zeolit alam sangat mempengaruhi besarnya daya serap dan juga merupakan komponen utama pembentuk rangka (*framework*). Oleh karena itu, perlunya mengetahui komposisi silika dan

aluminium dalam zeolit alam berdasarkan tiap tahapan proses preparasi dari awal hingga akhir. Tabel 4.1 menunjukkan persen komponen berat Si dan Al, sedangkan Gambar 4.4 menunjukkan rasio Si/Al dari semua tahapan proses aktivasi zeolit.

Tabel 4.1 Persen Berat Si dan Al Tiap Tahapan Aktivasi

No	Tahap Aktivasi	Silika (% wt)	Aluminium (% wt)	Rasio Si/Al
1	Zeolit Bayah Murni	64,880	12,350	5,25
2	Zeolit HF 2%	66,265	12,842	5,16
3	Zeolit HCl 6 M	79,409	7,295	10,89
4	Zeolit NH ₄ Cl 0,1 M	81,790	6,221	13,15
5	Zeolit Kalsinasi	80,657	7,980	10,11

Berdasarkan Tabel 4.1 rasio Si terhadap Al pada tiap tahapan proses aktivasi menunjukkan bahwa pada langkah pertama terjadi penurunan rasio Si/Al pada tahapan proses pelarutan oksida pengotor dengan perendaman larutan HF 2% yaitu 5,25 menjadi 5,16. Hal ini dapat terjadi karena larutan HF 2% merupakan asam kuat yang dapat melarutkan oksida logam (oksida pengotor pada zeolit).

Pada tahapan proses dealuminasi menggunakan larutan HCl 6 M terjadi peningkatan rasio Si/Al dari 5,16 menjadi 10,89 dan terjadi penurunan element aluminium dari 12,842 %(wt) menjadi 7,295 %(wt). Proses perendaman dan pengadukan menggunakan larutan HCl 6 M berfungsi melarutkan oksida aluminium dari kerangka dalam kristal menjadi kerangka luar, sehingga volume pori menjadi terbuka dan berukuran lebih besar. Hal ini ditunjukkan dari hasil BET, semula volume pori sebesar $1,869 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{gr}$, setelah melalui proses aktivasi menjadi $2,501 \times 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{gr}$.

Tahap proses aktivasi menggunakan larutan NH₄Cl 0,1 M terjadi peningkatan rasio Si/Al dari 10,89 menjadi 13,15 dan penurunan element aluminium dari 7,295 %(wt) menjadi 6,221 %(wt). Proses pertukaran ion ini menghasilkan penurunan aluminium karena pada saat proses dealuminasi masih banyak oksida aluminium yang tertinggal diluar rangka kristal yang sulit terdorong keluar dari struktur zeolit. Sehingga proses perlakuan garam ini sangat berperan penting setelah dilakukannya proses dealuminasi.

Tahapan proses kalsinasi pada temperatur 500°C terjadi kembali penurunan rasio Si/Al dari 13,15 menjadi 10,11. Hal ini dapat terjadi karena pada saat proses kalsinasi pada temperatur 500°C oksida-oksida silika (SiO₂) mengendap pada bagian bawah dan melekat pada cawan penguapan sebagai wadah sehingga pada saat analisa komposisi oksida silika menurun. Zeolit Bayah setelah aktivasi ini dapat digunakan sebagai adsorben karena memiliki rasio Si/Al tinggi (10-100) (Sutarti, 1994).

4.2.1.2 Oksida Logam Pengotor

Selain Silika dan Aluminium, analisa juga dilakukan terhadap oksida logam yang terdapat pada zeolit. Komposisi oksida logam lain memang sedikit di dalam zeolit, tetapi unsur-unsur tersebut dapat berlaku sebagai pengotor, sehingga akan mengisi ruang hampa struktur dalam pada zeolit alam tersebut dan mengganggu zeolit untuk mengadsorp melekul-molekul organik. Adapun komposisi element-element pengotor yang terkandung dalam zeolit dilakukan analisa menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluourescence*) seperti pada Lampiran B. Tabel 4.2 menunjukkan komposisi persen berat tiga oksida logam terbesar selain silika dan aluminium.

Tabel 4.2 Komposisi Tiga Oksida Logam Pengotor Terbesar dalam Zeolit

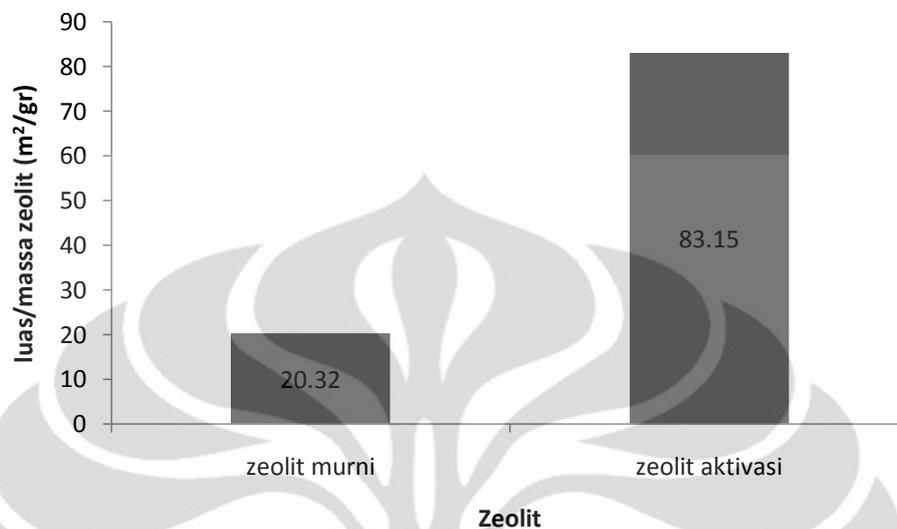
No	Oksida Logam	(% wt) sebelum aktivasi	(% wt) sesudah aktivasi
1	CaO	4,52	1,11
2	K ₂ O	2,80	2,43
3	Fe ₂ O ₃	1,60	0,71

Ketiga oksida logam yang terdapat dalam Tabel 4.2 merupakan pengotor yang dapat menurunkan daya serap zeolit terhadap molekul-molekul organik. Akan tetapi, logam pengotor tersebut berguna untuk menurunkan muatan listrik yang ditimbulkan oleh oksida aluminium sehingga dapat menyebabkan oksida silika sulit bersifat netral dan sulit menyerap melekul organik.

4.2.2 Luas Permukaan Zeolit Alam

Untuk mengetahui luas permukaan zeolit dilakukan analisa metode BET. Uji BET dilakukan pada zeolit murni dan zeolit aktivasi. Hasil uji BET zeolit

bayah sebelum dan sesudah aktivasi dapat dilihat pada Lampiran. Gambar 4.4 menunjukkan luas permukaan zeolit.



Gambar 4. 4 Perbandingan Luas Permukaan Zeolit Bayah

Gambar 4.4 menunjukkan peningkatan luas permukaan internal zeolit yang telah dilakukan preparasi yang pada zeolit tanpa preparasi besarnya luas permukaan 20,32 m²/gr menjadi 83,15 m²/gr. Terjadinya peningkatan ini dipengaruhi oleh tahapan proses preparasi yaitu pada tahapan proses pertukaran ion dan proses kalsinasi karena pada proses pertukaran ion dengan larutan NH₄Cl 0,1 M melarutkan pengotor-pengotor yang masih tertinggal pada proses dealuminasi sehingga dapat menjadikan ruang kosong dalam kristal-kristal. Proses kalsinasi pada temperatur 500°C menguapkan molekul-molekul air dari dalam kristal sehingga terbentuk suatu rongga dengan permukaan yang lebih besar.

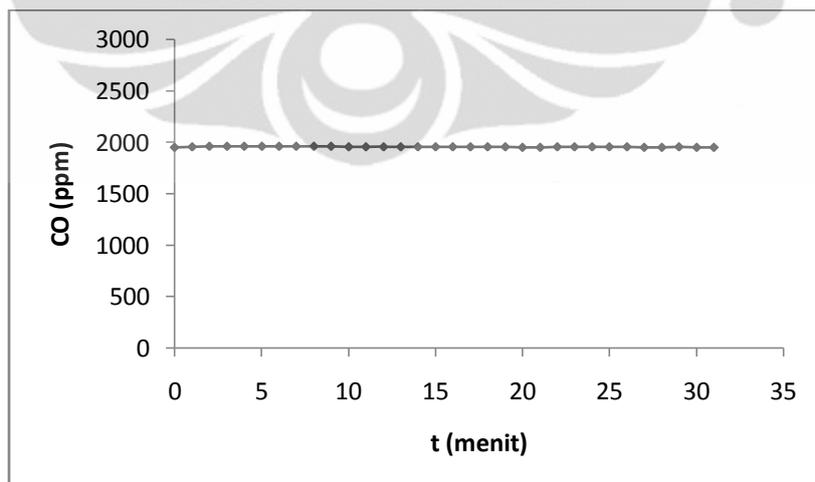
4.3 Pembuatan Ruang Uji

Ruang Uji dibuat dari bahan akrilik dengan ukuran panjang x lebar x tinggi sebesar 40 x 40 x 120 cm. Tebal akrilik adalah 5 mm. Gambar 4.5 adalah gambar ruang uji.



Gambar 4. 5 Ruang Uji

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. Sisi bagian atas terdapat lubang untuk keluar asap dan lubang untuk menyemprotkan adsorben. Pada bagian bawah terdapat lubang untuk memasukkan asap. Ruang uji dibuat kedap udara agar tidak ada asap dan senyawa pada asap yang keluar.



Gambar 4. 6 Grafik Kandungan CO Selama Uji Kebocoran

Gambar 4.6 merupakan data hasil uji kebocoran ruang uji. Dari gambar tersebut dapat dikatakan bahwa ruang uji tidak bocor karena kandungan CO dalam ruang uji cenderung stabil.

4.4 Hasil Uji Adsorpsi

Uji adsorpsi asap dan kandungan CO yang diserap dilakukan di Departemen Teknik Mesin. Hal ini dilakukan karena alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kejernihan asap berada di sana. Alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kejernihan asap adalah opasitimeter. 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.

Rentang nilai tingkat kejernihan asap dari 0 sampai 100, dengan 0 adalah saat cahaya dari *Light Source* tidak ada yang diterima oleh *Light-Measuring Device* atau chamber uji dalam keadaan gelap. Sedangkan 100 adalah saat cahaya dari *Light Source* diterima semua oleh *Light-Measuring Device* atau chamber uji dalam keadaan bersih dari asap.

Sebelum digunakan chamber uji yang bersih dari asap harus diuji dulu tingkat kejernihannya. Hal ini dilakukan karena akrilik dapat menahan cahaya sehingga nilai chamber uji dalam keadaan bersih tidak sama dengan 100. Lalu halangi cahaya dari *Light Source* dengan sesuatu agar tidak ada cahaya yang diterima oleh *Light-Measuring Device*, jika sudah menunjukkan angka 0 opasitimeter sudah dapat digunakan.

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 dilakukan dengan menggunakan zeolit murni dan aktivasi dengan variasi ukuran masing-masing $63 \mu\text{m}$ dan $37 \mu\text{m}$ dan di variasikan lagi dengan berat masing-masing 1 gr dan 3 gr. Hal ini dilakukan untuk menemukan kondisi terbaik adsorben dalam menjernihkan asap.

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,). Sedangkan untuk uji adsorpsi CO dilakukan selama 20 menit dengan rentang pengambilan kandungan CO tiap 1 menit.

Sebelum dilakukan uji adsorpsi, asap didiamkan di dalam ruang uji tanpa perlakuan apapun. Waktu yang dibutuhkan asap untuk mencapai opasitas 10 untuk masing-masing Titik 1, Titik 2, dan Titik 3 seperti yang diperlihatkan dalam di Lampiran A. Dari tabel terlihat bahwa jika dibiarkan asap akan mengalami penjernihan sendiri walaupun berada dalam ruangan tertutup. Hal ini karena asap selalu bergerak dan bertabrakan satu sama lain, sehingga mengalami koagulasi dan membuat ukuran partikelnya semakin membesar (Yadav et.al., 2007) dan jatuh ke bawah akibat gaya gravitasi. Begitu juga dengan titik 3 yang memiliki kenaikan tingkat kejernihan hanya 7% karena adanya pengaruh gaya gravitasi yang membuat partikel asap lebih banyak yang mengumpul di bawah. Waktu yang dibutuhkan asap untuk mencapai tingkat kejernihan sebesar 10% (t_{10}) untuk masing-masing titik adalah 29, 31, dan 31 menit.

Nilai t^*_{10} yang diperoleh untuk berbagai variasi adsorben disajikan dalam Tabel 4.3. Dari tabel tersebut terlihat bahwa t^*_{10} dari Zeolit Alam Bayah (ZAB) baik murni maupun aktivasi bernilai kurang dari satu. Berarti ini mengindikasikan bahwa ZAB dapat digunakan untuk meningkatkan kejernihan pada asap. Menurut Yadav et. al. (2007), mendispersikan partikel-partikel ke dalam ruang uji dapat mengakibatkan tabrakan dan koagulasi antara partikel dan asap. Dampak dari tabrakan dan koagulasi tersebut akan mengurangi konsentrasi asap, akibatnya akan meningkatkan visibilitas dalam ruang uji. Dari Tabel 4.3 juga dapat dilihat bahwa ZAB aktivasi dengan ukuran terkecil dan massa terbesar ($37 \mu\text{m}$ 3 gr)

memiliki nilai t^*_{10} paling kecil dibanding yang lain, yaitu 0,44. Hal ini berarti adsorben tersebut mampu menjernihkan asap 0,44 kali dari waktu yang asap butuhkan untuk jernih dengan sendirinya. Pembahasan dilakukan di subbab berikutnya.

Tabel 4. 3 Nilai t^*_{10} pada Berbagai Variasi Zeolit

Variasi Zeolit	t^*_{10}		
	titik 1	titik 2	titik 3
ZAB murni 63 μm 1 gr	0,82	0,86	0,82
ZAB murni 63 μm 3 gr	0,68	0,68	0,68
ZAB murni 37 μm 1 gr	0,75	0,79	0,79
ZAB murni 37 μm 3 gr	0,65	0,65	0,68
ZAB aktivasi 63 μm 1 gr	0,62	0,65	0,65
ZAB aktivasi 63 μm 3 gr	0,48	0,48	0,51
ZAB aktivasi 37 μm 1 gr	0,55	0,55	0,58
ZAB aktivasi 37 μm 3 gr	0,44	0,51	0,51

Sedangkan kemampuan zeolit dalam mengadsorp CO diberikan dalam Tabel 4.5.

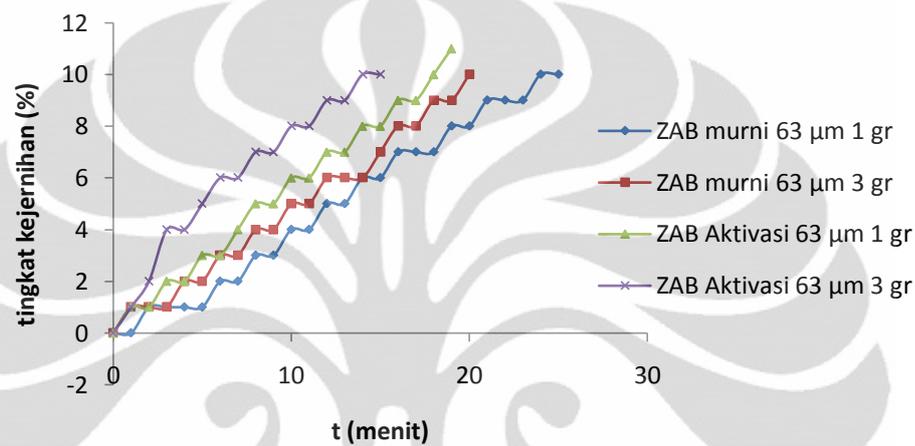
Tabel 4. 4 Persentase Penurunan CO pada Menit ke-20

Variasi Zeolit	% ΔCO
ZAB murni 63 μm 1 gr	1,15 %
ZAB murni 63 μm 3 gr	1,98 %
ZAB murni 37 μm 1 gr	1,38 %
ZAB murni 37 μm 3 gr	2,45 %
ZAB aktivasi 63 μm 1 gr	2,51 %
ZAB aktivasi 63 μm 3 gr	3,71 %
ZAB aktivasi 37 μm 1 gr	2,76 %
ZAB aktivasi 37 μm 3 gr	4,47 %

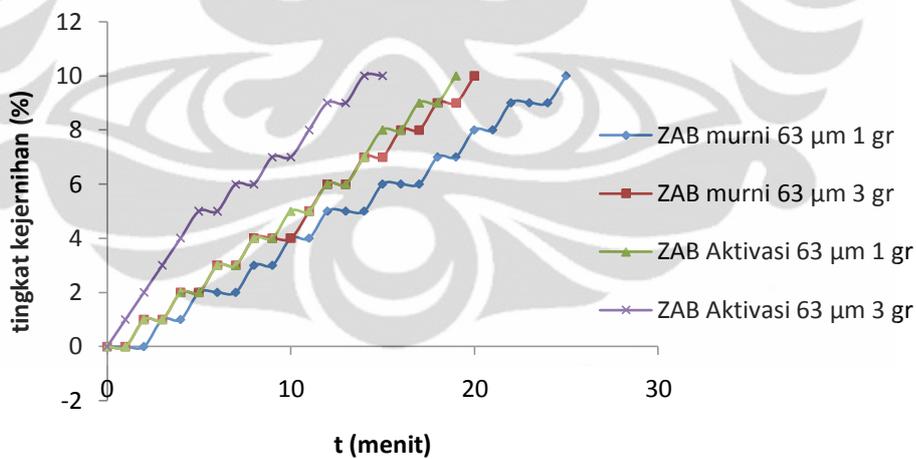
Dari Tabel 4.4 dapat di lihat bahwa ZAB aktivasi berukuran 37 μm dengan massa 3 gr memiliki rasio akhir atau persentasi penurunan kadar CO yang paling besar, yaitu 0,0446 atau 4,46%. Ini berarti zeolit tersebut dapat menurunkan kadar CO sebesar 4,46% sampai di menit ke-20. Pembahasan dilakukan di subbab berikutnya.

4.4.1 Pengaruh Massa

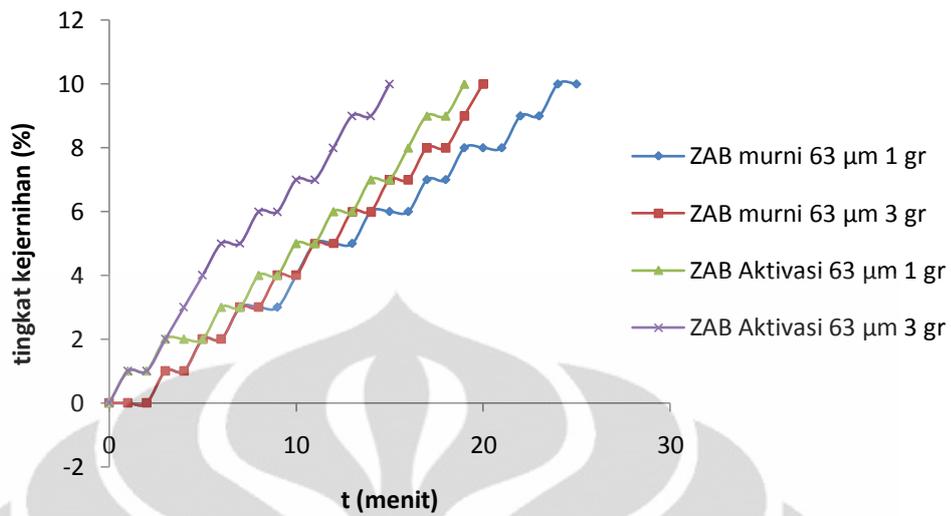
Pada bagian penelitian ini akan dibandingkan daya serap zeolit dalam menjernihkan asap dan mengadsorp CO berdasarkan massa jika ukuran partikel dibuat sama. Zeolit yang digunakan berukuran $63\ \mu\text{m}$ dan $37\ \mu\text{m}$. Setiap ukuran divariasikan dengan massa $1\ \text{gr}$ dan $3\ \text{gr}$. Berikut adalah hasil kejernihan asap pada ukuran partikel $63\ \mu\text{m}$.



(a)



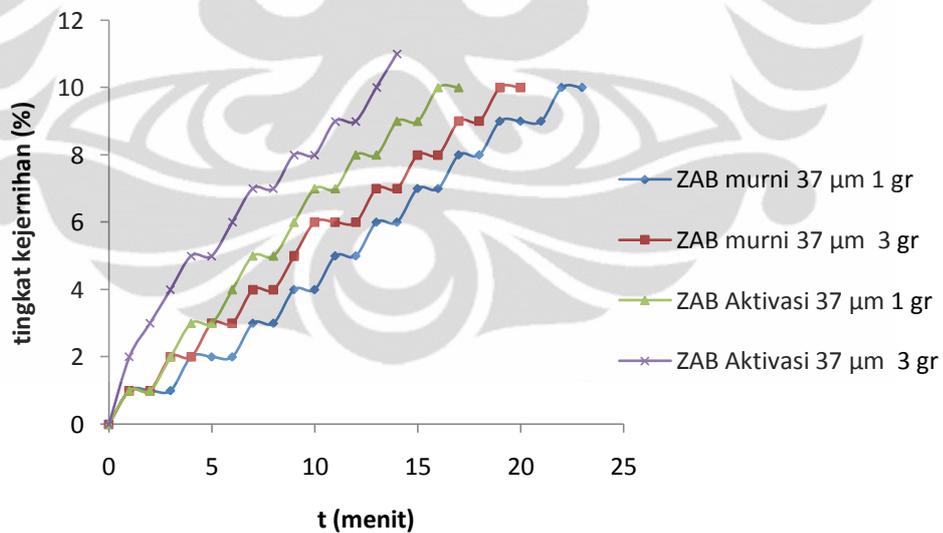
(b)



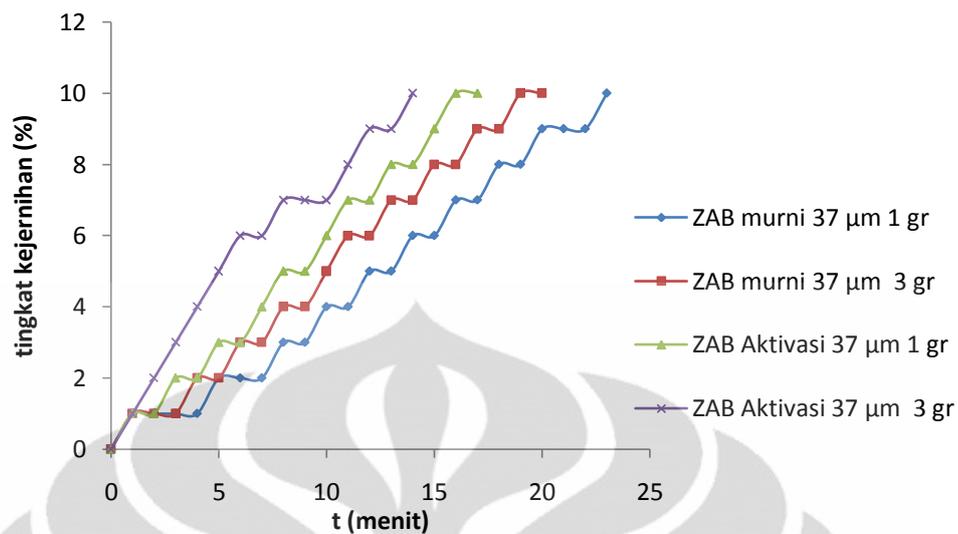
(c)

Gambar 4.7 Kenaikan Persen Tingkat kejernihan pada zeolit berukuran 63 μm di (a) titik 1, (b) titik 2, dan (c) titik 3

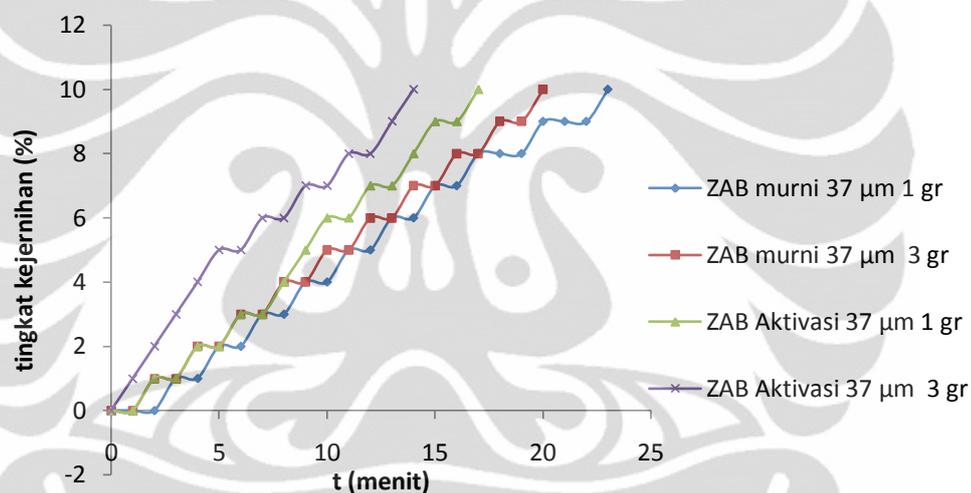
Sedangkan berikut adalah hasil kejernihan asap pada ukuran partikel 37 μm



(a)



(b)



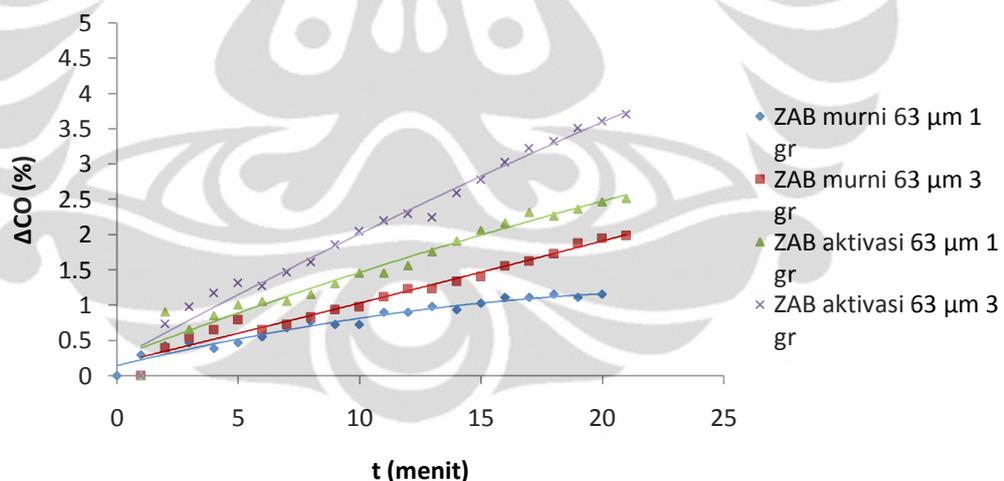
(c)

Gambar 4. 8 Kenaikan Persen Tingkat kejernihan pada zeolit berukuran 37 µm di (a) titik 1, (b) titik 2, dan (c) titik 3

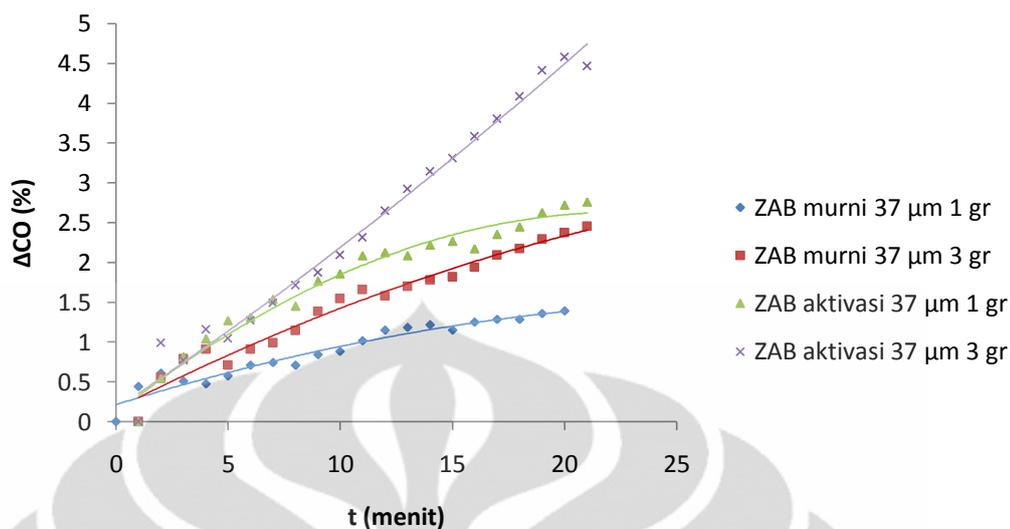
Dari Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 terlihat bahwa zeolit aktivasi lebih baik dalam menjernihkan asap, ditandai dengan paling cepat mencapai tingkat kejernihan 10% (garis warna ungu dan hijau pada gambar). Hal ini dikarenakan pengotor pada zeolit aktivasi telah dibersihkan, sehingga luas permukaannya menjadi lebih besar jika dibandingkan zeolit murni (lihat subbab pembahasan Luas Permukaan Zeolit Alam). Karena luas permukaan yang lebih besar ini, daerah kontak antara zeolit dengan partikel asap semakin banyak yang membuat semakin besar peluang atau kemungkinan partikel zeolit yang bertabrakan dan berkoagulasi dengan partikel asap. Sedangkan semakin banyak massa yang

disemprotkan, semakin cepat asap mencapai keadaan jernih (garis warna ungu pada gambar). Hal ini disebabkan jumlah partikel sebanding dengan banyaknya massa. Semakin banyak massa yang disemprotkan, akan membuat jumlah partikel yang kontak dengan asap semakin banyak. Berarti luas permukaan yang kontak dengan asap semakin banyak.

Untuk ukuran yang sama, kemampuan zeolit dalam mengadsorpsi CO di berikan dalam Gambar 4.10 dan Gambar 4.11. Gas CO dapat diadsorpsi karena memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dari ukuran pori ZBA. Ukuran partikel CO = 0,113 nm, sedangkan menurut hasil BET pada Lampiran diketahui bahwa ZAB murni memiliki ukuran diameter pori 100,2 Å atau sama dengan 10,02 nm dan ZAB aktivasi memiliki ukuran diameter pori 70,65 Å atau sama dengan 7,06 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.



Gambar 4. 9Perbandingan Persentase Δ CO pada ukuran partikel 63 μ m



Gambar 4. 10 Perbandingan Persentase Δ CO pada ukuran partikel 37 μ m

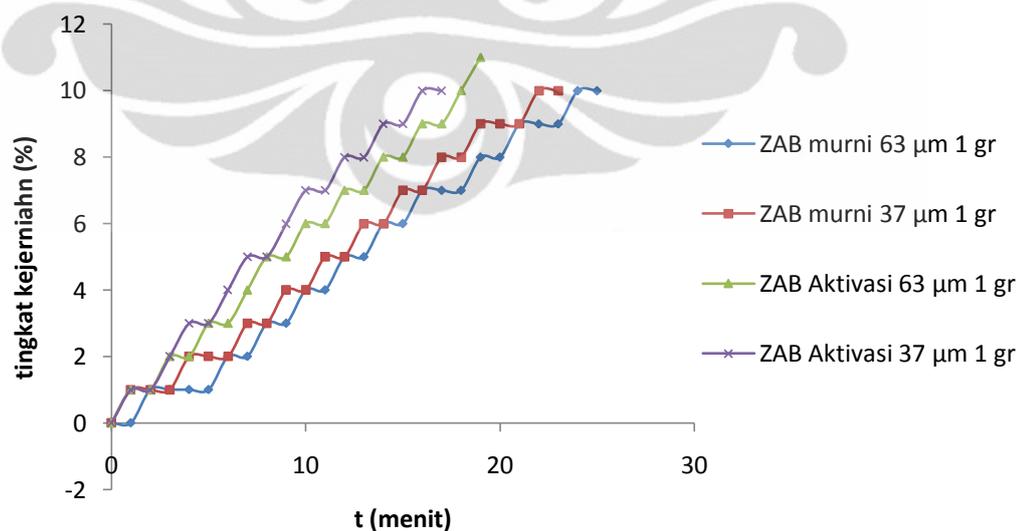
Dari Gambar 4.9 dan 4.10 dapat dilihat bahwa zeolit yang paling baik dalam menurunkan kadar CO adalah zeolit aktivasi yang memiliki massa paling besar, yaitu sebesar 3 gram. Dari hasil uji BET dapat dilihat bahwa luas permukaan ZAB aktivasi lebih besar, sehingga semakin banyak molekul CO yang kontak dengan permukaan, akibatnya daya adsorpsi pun meningkat. Hal ini sesuai dengan teori adsorpsi dari Reynold (1982), yang mengatakan bahwa adsorpsi sangat tergantung dari luas permukaan adsorben, semakin luas permukaan adsorben maka semakin besar daya adsorpsinya, dan makin besar pula tingkat efisiensi adsorpsinya. Dengan demikian CO semakin banyak yang diserap. Dari hasil uji BET juga dapat dilihat bahwa ZAB aktivasi memiliki volum pori yang lebih besar ($2,5 \times 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{gr}$) dibandingkan dengan ZAB murni ($1,87 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{gr}$). Hal ini mungkin mengakibatkan daya tampung ZAB aktivasi dalam menyerap CO lebih besar jika adsorpsi yang terjadi multilayer.

Selain itu ZAB aktivasi memiliki daya adsorpsi yang lebih baik karena menurut uji XRF rasio Si/Al zeolit aktivasi adalah 10,11 sedangkan ZAB murni memiliki rasio 5,25. Menurut Sutarti, 1994, zeolit yang cocok untuk dijadikan adsorben yaitu apabila diaktifkan akan memberikan rasio Si/Al yang tinggi, antara 10 sampai 100. Makin rendah rasio Si/Al maka zeolit akan cenderung memilih molekul-molekul yang polar untuk diadsorpsi. Sebaliknya, jika rasio Si/Al makin tinggi maka zeolit cenderung memilih molekul-molekul nonpolar untuk diadsorpsi

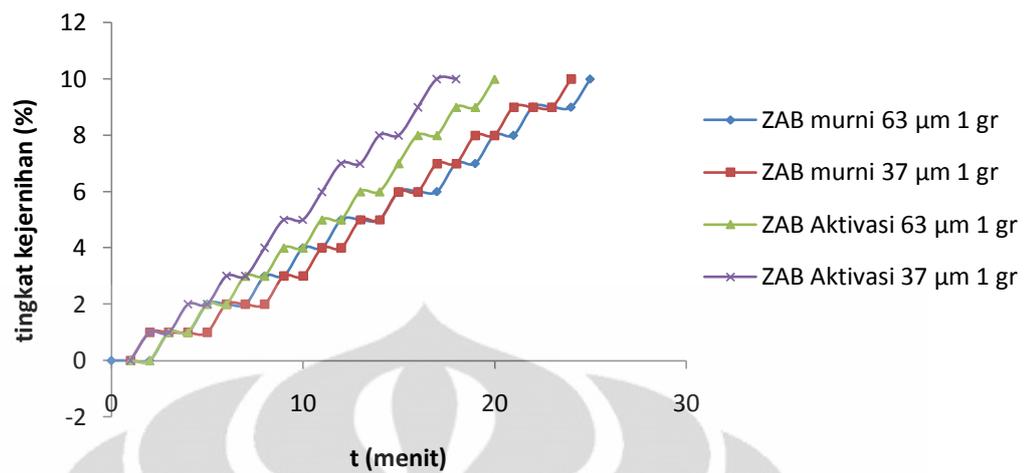
(Jansen, 1994; Handoko, 2002). Hal ini disebabkan karena dengan semakin rendahnya rasio Si/Al dalam zeolit maka dalam zeolit tersebut akan timbul gradien medan elektronik yang makin besar sehingga molekul-molekul polar akan berinteraksi lebih kuat dengan medan elektronik itu daripada molekul-molekul non-polar (Handoko, 2002). Banyaknya jumlah zeolit yang disemprotkan juga mempengaruhi penurunan konsentrasi CO pada asap. Semakin banyak zeolit yang disemprotkan akan membuat semakin banyak jumlah partikel yang dapat mengadsorpsi CO, sehingga persentase penurunan CO semakin besar. Namun, dapat dilihat juga bahwa penambahan tiga kali jumlah zeolit lebih banyak (1 dan 3 gram) tidak membuat rasio penurunan menjadi tiga kali lebih banyak. Hal ini disebabkan tidak setiap partikel zeolit dapat kontak dengan partikel CO.

4.4.2 Pengaruh Ukuran Partikel

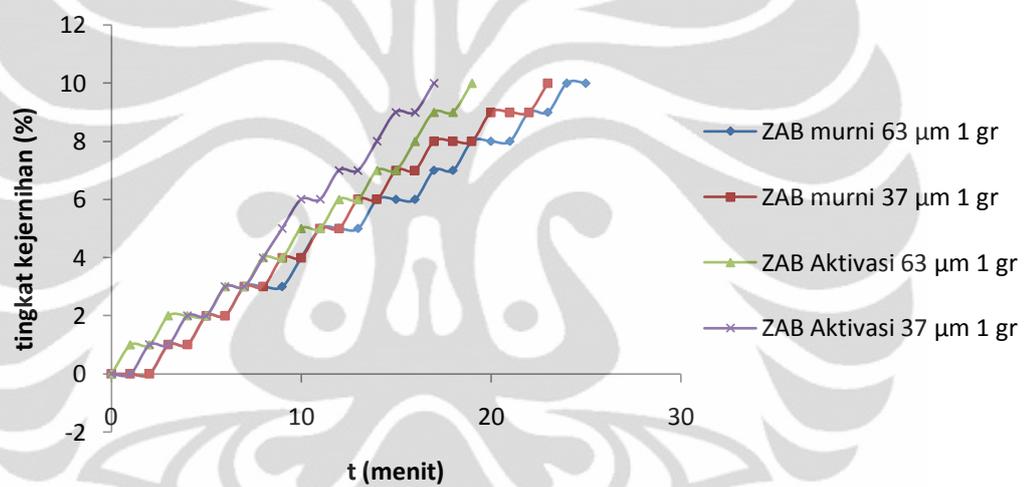
Pada bagian penelitian ini akan dibandingkan daya serap zeolit dalam menjernihkan asap dan mengadsorpsi CO berdasarkan ukuran partikel jika massa dibuat sama. Massa zeolit yang digunakan sebesar 1 dan 3 gram. Setiap massa divariasikan dengan ukuran partikel $63\ \mu\text{m}$ dan $37\ \mu\text{m}$. Berikut adalah hasil kejernihan asap pada massa 1 gr dan 3 gr.



(a)

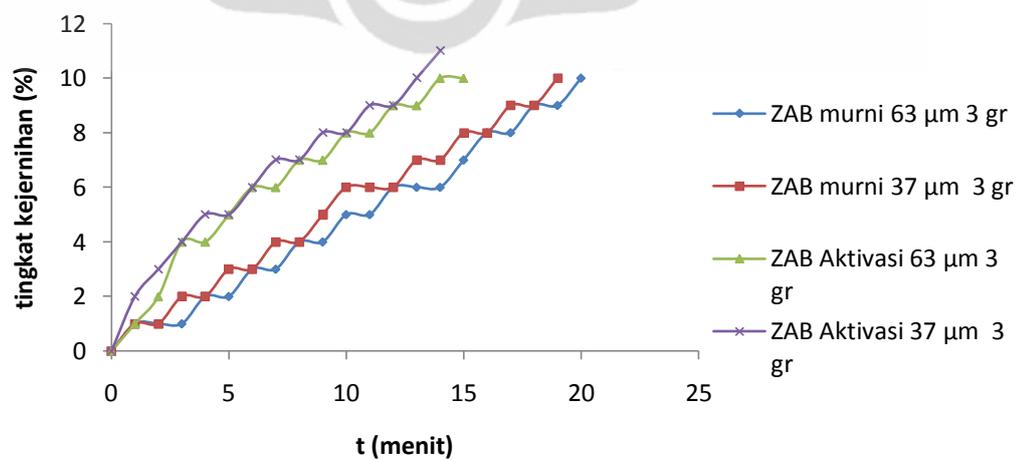


(b)

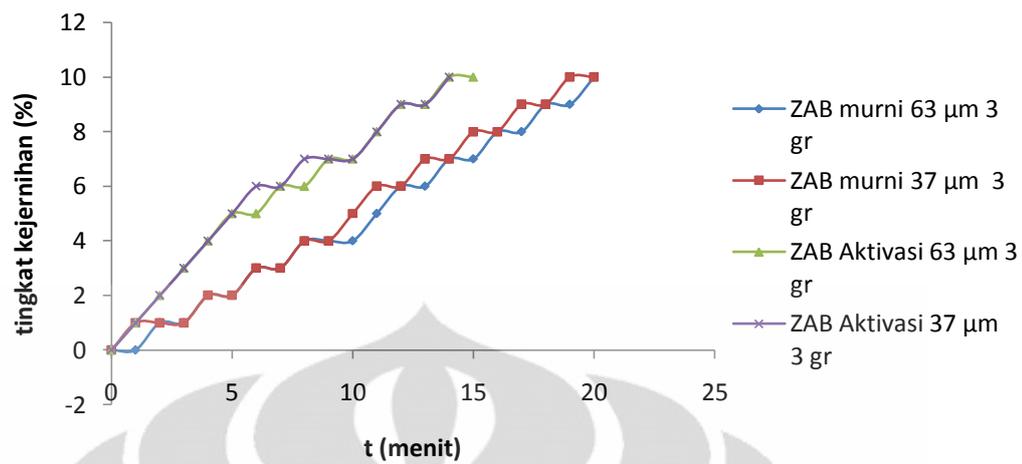


(c)

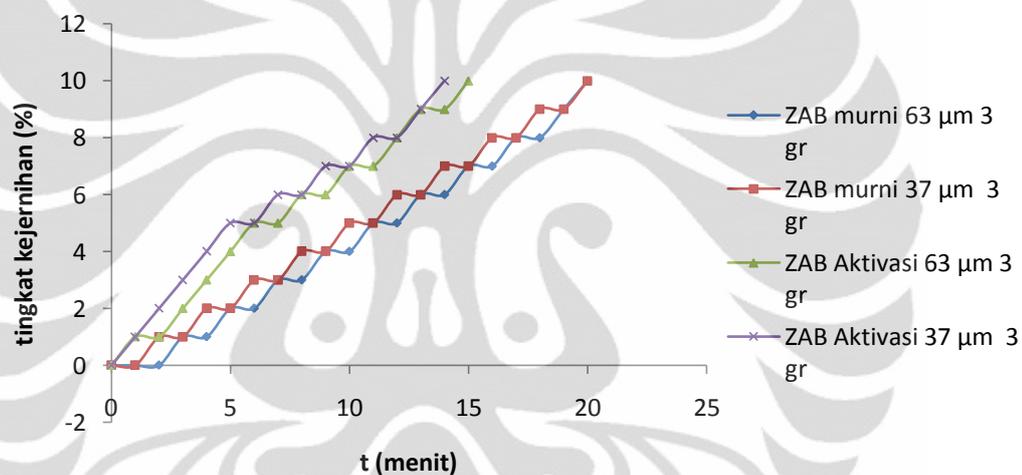
Gambar 4. 11 Kenaikan Persen Tingkat kejernihan pada zeolit dengan massa 1 gram di (a) titik 1, (b) titik 2, dan (c) titik 3



(a)



(b)



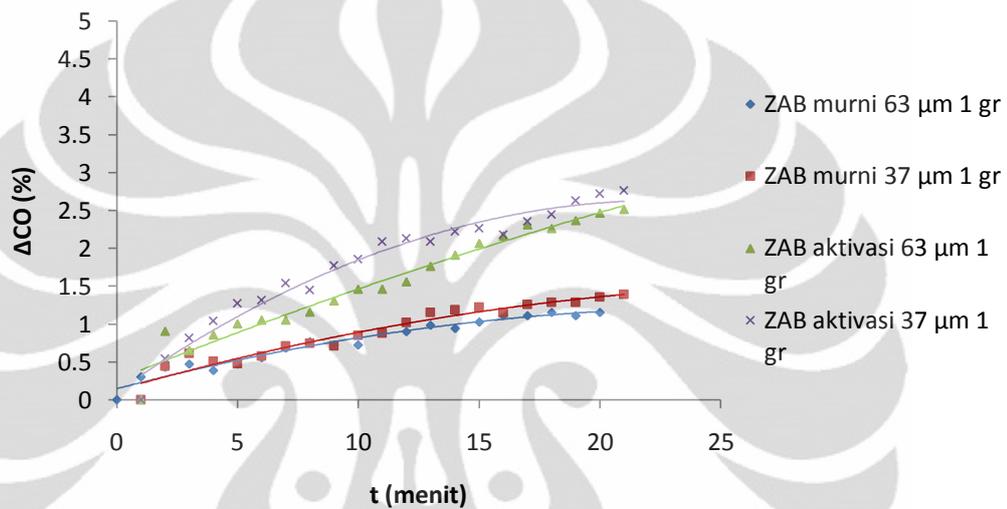
(c)

Gambar 4.12 Kenaikan Persen Tingkat kejernihan pada zeolit dengan massa 3 gram di (a) titik 1, (b) titik 2, dan (c) titik 3

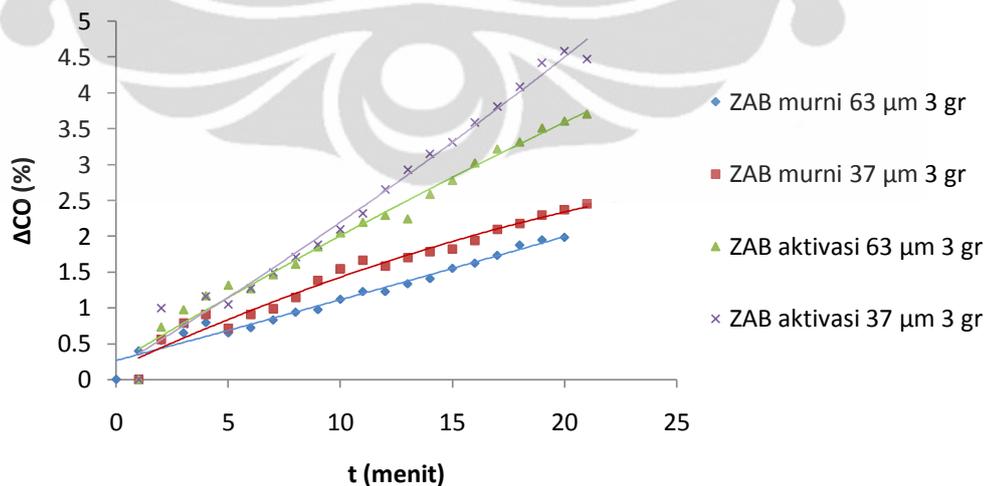
Dari Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 terlihat bahwa ukuran partikel mempengaruhi waktu untuk mencapai tingkat kejernihan tertentu (pada penelitian ini adalah t_{10}). Semakin kecil ukuran partikel zeolit, semakin baik dalam menjernihkan asap (lihat garis ungu dan merah pada grafik). Dengan massa yang sama, ZAB 37 μm lebih baik dalam menjernihkan asap. Hal ini disebabkan dengan ukuran yang lebih kecil dan dengan massa yang sama membuat jumlah partikel zeolit semakin banyak dan luas permukaan zeolit akan menjadi lebih besar. Dengan demikian tabrakan dengan partikel asap juga menjadi lebih banyak, sehingga semakin banyak partikel asap yang dapat dikoagulasikan, akibatnya asap menjadi lebih cepat jernih. Namun dapat dilihat ukuran partikel yang hampir dua

kali lebih kecil tidak membuat kejernihan menjadi meningkat dua kali lebih cepat. Hal ini disebabkan ukuran partikel yang divariasikan tidak signifikan berbeda, sehingga perbedaan waktu untuk mencapai tingkat kejernihan t_{10} juga tidak berbeda signifikan.

Untuk massa yang sama, kemampuan zeolit dalam mengadsorpsi CO di berikan dalam Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.

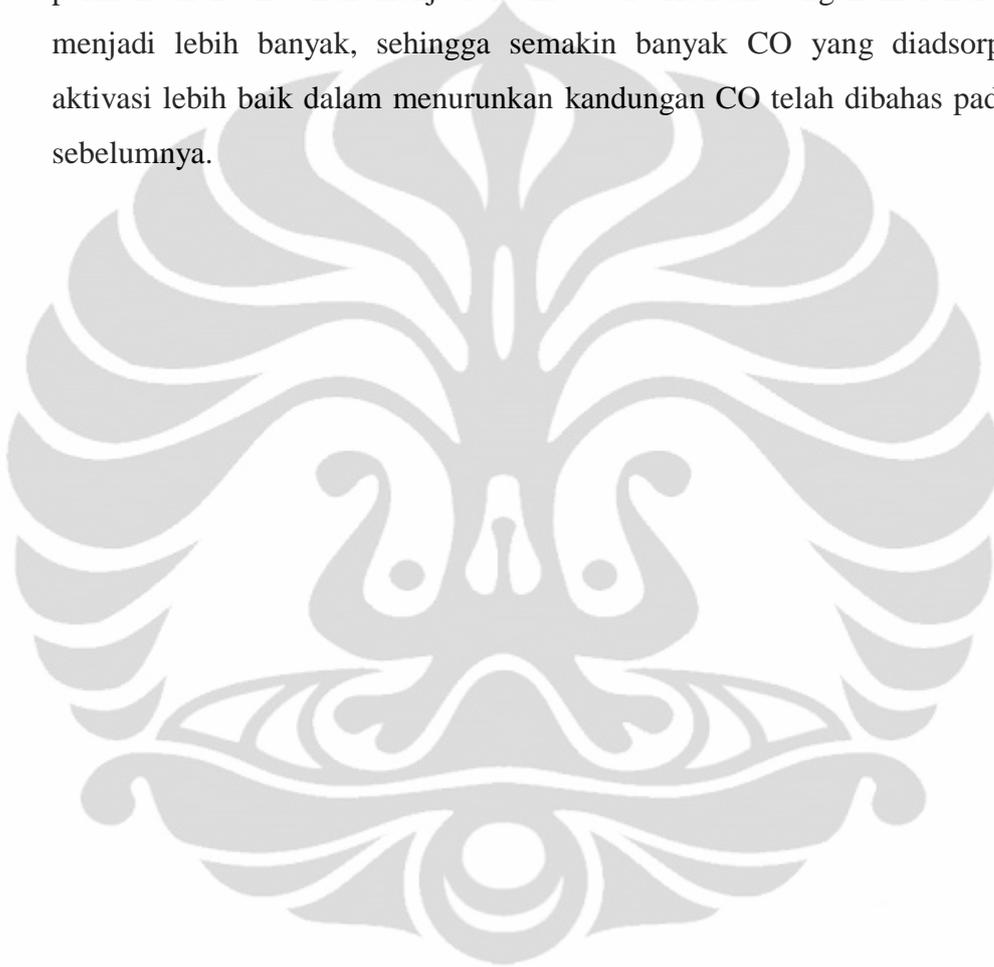


Gambar 4. 13 Perbandingan Persentase Δ CO dengan massa 1 gram



Gambar 4. 14 Perbandingan Persentase Δ CO dengan massa 3 gram

Dari Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 di atas dapat dilihat bahwa ukuran partikel mempengaruhi penurunan CO. Semakin kecil ukuran partikel semakin baik dalam menurunkan kandungan CO pada asap. (lihat garis ungu dan merah pada grafik). Dengan massa yang sama, ZAB 37 μm lebih baik dalam mengadsorpsi CO. Hal ini disebabkan dengan ukuran yang lebih kecil maka luas permukaan zeolit akan menjadi lebih besar. Kontak dengan molekul CO juga menjadi lebih banyak, sehingga semakin banyak CO yang diadsorpsi. ZAB aktivasi lebih baik dalam menurunkan kandungan CO telah dibahas pada subbab sebelumnya.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian pemanfaatan zeolit alam bayah pada proses penjernihan asap kebakaran dan pengurangan tingkat racun asap, secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses aktivasi zeolit dapat menaikkan rasio Si/Al Zeolit Bayah dari 5,25 menjadi 10,11.
2. Zeolit Bayah aktif dapat dijadikan adsorben karena memiliki rasio Si/Al tinggi, di atas 10
3. Proses aktivasi zeolit juga dapat meningkatkan luas permukaan Zeolit Bayah dari 20,32 m²/gr menjadi 83,15 m²/gr.
4. Zeolit Bayah aktivasi lebih baik dalam menjernihkan asap dan adsorpsi CO dibanding Zeolit Bayah Murni.
5. Semakin kecil ukuran zeolit semakin bagus dalam menjernihkan asap dan mengadsorpsi CO.
6. Semakin banyak jumlah zeolit semakin bagus dalam menjernihkan asap dan mengadsorpsi CO.

5.2 Saran

Berdasarkan pengalaman yang diperoleh dari pada saat penelitian, saran yang dapat diberikan adalah pada uji analisa luas permukaan dengan metode BET sebaiknya dilakukan pada tiap tahapan proses aktivasi dan setiap ukuran agar dapat diketahui perubahan luas permukaan di setiap tahap proses aktivasi dan tiap ukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Sirkecio_glu, Y. Altav, and A. Erdem-Şenatalar. (1995). *Sep. Sci.Technol.* 30, 2747.
- Ackley, M.W., Rege, S.U., and S. Himanshu. (2002). *Application of natural zeolites in the purification and separation of gases.* ScienceDirect Journals.
- Alaire, Yves. (2002). *Toxicity of Fire Smoke. Critical Reviews in Toxicology*; 32, 4; ProQuest Science Journals pg. 259.
- Anderson, R.A., Watson, A.A., and Harland, W.A. (1981a). *Fire Deaths in the Glasgow Area. I. General Consideration and Pathology. Med. Sci. Law* 21, 51-59.
- Anderson, R.A., Watson, A.A., and Harland, W.A. (1981b). *Fire Deaths in the Glasgow Area. II. The Role of Carbon Monoxide. Med. Sci. Law* 21, 60-66.
- Anonim. *Sulphur Dioxide (SO₂)*. <http://www.airqualityontario.com/science/pollutants/sulphur.cfm>. (di akses tanggal 18 Juni 2010).
- Bahl, B.S., Tuli, G.D., and Bahl, A. (1997). *Essential of Physical Chemistry*. New Delhi: S Chand and Company Ltd.
- Butler, Kathryn M. and Mulholland, George W. (2004). *Generation and Transport of Smoke Components*. Kluwer Academic Publishers.
- C.J. Hilado. (1982). *Flammability Handbook for Electrical Insulation*, Westport, CN: Technomic Publishing Co.
- Davidson, Clive. (2003). *"Marine Notice: Carbon Dioxide: Health Hazard"*. Australian Maritime Safety Authority.
- Rini, Dian K., dan Anthonius, Fendy L. *Optimasi Aktivasi Zeolit Alam untuk Dehumidifikasi*. Universitas Dipenogoro
- Ensor, D.S. and Pilat, M.J. (1971). *Calculation of Smoke Plume Opacity from Particulate Air Pollutant Properties*. University of Washington.
- F.H. Tezel, and G. Apolonatos. (1993). *Gas Sep. Purif.* 7 (1), 11.

- Foo, K.Y and Hameed, B.H. (2010). Insight Into Modeling of Adsorption Isotherm System. *Chemical Engineering Journal*, 156, 2-10.
- Granholt, J.M. and Chester, S.E. (2007). *How Do I Become Certified to Evaluate Visible Emissions (Opacity) in Accordance with EPA Reference Method 9?*. www.eta-is-opacity.com. (diakses tanggal 4 Juni 2010).
- Maron, S. H., and Lando, J. (1974). *Fundamentals of Physical Chemistry*. New York: Macmillan Publishing Co. Inc.
- Mc. Cabe, W. L., Smith, J. C., and Harriot, P. (1999). *Operasi Teknik Kimia*. Jakarta: Erlangga.
- 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.
- Penley, Jonathan Jay. (2002). *Effective Medium Theory and Rosseland Mean Opacity*. Wichita State University.
- Prayitno, KB. (1989). *Zeolit sebagai Alternatif Industri Komoditi Mineral Indonesia*. BPPT No. XXXV.
- R.H. Huesca, L. Diaz, and G.A. Armenta. (1999). *Separ. Purif. Technol.* 15, 163.
- Tim Penyusun Kamus Pusat Bahasa. (2002). *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Ed. 3 cetakan ke-2. Jakarta: Balai Pustaka.
- Treybal, R.E. (1980). *Mass Transfer Operation* (3rd ed). Singapore: McGraw Hill.
- Wang, Wei, Zhang He Ping and Wan Yu Tian. (2007). "Experimental Study on CO₂/CO of Typical Lining Materials in Full-Scale Fire Test". Chinese Science Bulletin, Springer-Verlag.
- Yadav R., Maghirang, R.G., Erickson L.E., Kakumanu, B., and Castro, S.G.. (2007). *Laboratory Evaluation of the Effectiveness of Nanostructured and Conventional Particles in Clearing Smoke Spaces*. Elsevier, ScienceDirect Journals.
- Yang, T Ralph. (1987). *Gas Separation by Adsorption Process*. London: Imperial College Press.

LAMPIRAN A
DATA PENELITIAN

• **Data Tingkat Kejernihan Tanpa Adsorben**

t (menit)	Tingkat Kejernihan		
	Titik 1 (%)	Titik 2 (%)	Titik 3 (%)
0	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	1	0	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	2	2	2
11	2	2	2
12	2	2	2
13	3	2	3
14	3	3	3
15	3	3	3
16	4	3	4
17	4	4	4
18	5	4	5
19	5	4	5
20	6	5	5
21	6	5	6
22	6	6	6
23	7	6	6
24	7	6	7
25	8	7	7
26	8	8	8
27	9	8	8
28	9	8	8
29	10	9	9
30	10	9	9
31	11	10	10

- **Data Tingkat Kejernihan Asap dan Tingkat CO Menggunakan Zeolit Bayah Murni**

A. Zeolit Bayah Murni 63 μ m 1 gram

B. Zeolit Bayah Murni 63 μ m 3 gram

t (menit)	Tingkat Kejernihan			CO (ppm)	t (menit)	Tingkat Kejernihan			CO (ppm)
	Titik 1 (%)	Titik 2 (%)	Titik 3 (%)			Titik 1 (%)	Titik 2 (%)	Titik 3 (%)	
0	0	0	0	2341	0	0	0	0	2772
1	0	0	0	2334	1	1	0	0	2761
2	1	0	0	2331	2	1	1	0	2757
3	1	1	1	2330	3	1	1	1	2754
4	1	1	1	2332	4	2	2	1	2750
5	1	2	2	2330	5	2	2	2	2754
6	2	2	2	2328	6	3	3	2	2752
7	2	2	3	2325	7	3	3	3	2749
8	3	3	3	2323	8	4	4	3	2746
9	3	3	3	2324	9	4	4	4	2745
10	4	4	4	2324	10	5	4	4	2741
11	4	4	5	2320	11	5	5	5	2738
12	5	5	5	2320	12	6	6	5	2738
13	5	5	5	2318	13	6	6	6	2735
14	6	5	6	2319	14	6	7	6	2733
15	6	6	6	2317	15	7	7	7	2729
16	7	6	6	2315	16	8	8	7	2727
17	7	6	7	2315	17	8	8	8	2724
18	7	7	7	2314	18	9	9	8	2720
19	8	7	8	2315	19	9	9	9	2718
20	8	8	8	2314	20	10	10	10	2717
21	9	8	8						
22	9	9	9						
23	9	9	9						
24	10	9	10						
25	10	10	10						

C. Zeolit Bayah Murni 37 μm 1 gram

t (menit)	Tingkat Kejernihan			CO (ppm)
	Titik 1 (%)	Titik 2 (%)	Titik 3 (%)	
0	0	0	0	2950
1	1	1	0	2937
2	1	1	0	2932
3	1	1	1	2935
4	2	1	1	2936
5	2	2	2	2933
6	2	2	2	2929
7	3	2	3	2928
8	3	3	3	2929
9	4	3	4	2925
10	4	4	4	2924
11	5	4	5	2920
12	5	5	5	2916
13	6	5	6	2915
14	6	6	6	2914
15	7	6	7	2916
16	7	7	7	2913
17	8	7	8	2912
18	8	8	8	2912
19	9	8	8	2910
20	9	9	9	2909
21	9	9	9	
22	10	9	9	
23	10	10	10	

D. Zeolit Bayah Murni 37 μm 3 gram

t (menit)	Tingkat Kejernihan			CO (ppm)
	Titik 1 (%)	Titik 2 (%)	Titik 3 (%)	
0	0	0	0	2528
1	1	1	0	2514
2	1	1	1	2508
3	2	1	1	2505
4	2	2	2	2510
5	3	2	2	2505
6	3	3	3	2503
7	4	3	3	2499
8	4	4	4	2493
9	5	4	4	2489
10	6	5	5	2486
11	6	6	5	2488
12	6	6	6	2485
13	7	7	6	2483
14	7	7	7	2482
15	8	8	7	2479
16	8	8	8	2475
17	9	9	8	2473
18	9	9	9	2470
19	10	10	9	2468
20	10	10	10	2466

- **Data Tingkat Kejernihan Asap dan Tingkat CO Menggunakan Zeolit Bayah Aktif**

A. Zeolit Bayah Aktif 63 μm 1 gram

B. Zeolit Bayah Aktif 63 μm 3 gram

t (menit)	Tingkat Kejernihan			CO (ppm)	t (menit)	Tingkat Kejernihan			CO (ppm)
	Titik 1 (%)	Titik 2 (%)	Titik 3 (%)			Titik 1 (%)	Titik 2 (%)	Titik 3 (%)	
0	0	0	0	1988	0	0	0	0	2051
1	1	0	1	1970	1	1	1	1	2036
2	1	1	1	1975	2	2	2	1	2031
3	2	1	2	1971	3	4	3	2	2027
4	2	2	2	1968	4	4	4	3	2024
5	3	2	2	1967	5	5	5	4	2025
6	3	3	3	1967	6	6	5	5	2021
7	4	3	3	1965	7	6	6	5	2018
8	5	4	4	1962	8	7	6	6	2013
9	5	4	4	1959	9	7	7	6	2009
10	6	5	5	1959	10	8	7	7	2006
11	6	5	5	1957	11	8	8	7	2004
12	7	6	6	1953	12	9	9	8	2005
13	7	6	6	1950	13	9	9	9	1998
14	8	7	7	1947	14	10	10	9	1994
15	8	8	7	1945	15	10	10	10	1989
16	9	8	8	1942	16				1985
17	9	9	9	1943	17				1983
18	10	9	9	1941	18				1979
19	11	10	10	1939	19				1977
20				1938	20				1975

C. Zeolit Bayah Aktif 37 μm 1 gram

t (menit)	Tingkat Kejernihan			CO (ppm)
	Titik 1 (%)	Titik 2 (%)	Titik 3 (%)	
0	0	0	0	2207
1	1	1	0	2195
2	1	1	1	2189
3	2	2	1	2184
4	3	2	2	2179
5	3	3	2	2178
6	4	3	3	2173
7	5	4	3	2175
8	5	5	4	2168
9	6	5	5	2166
10	7	6	6	2161
11	7	7	6	2160
12	8	7	7	2161
13	8	8	7	2158
14	9	8	8	2157
15	9	9	9	2159
16	10	10	9	2155
17	10	10	10	2153
18				2149
19				2147
20				2146

D. Zeolit Bayah Aktif 37 μm 3 gram

t (menit)	Tingkat Kejernihan			CO (ppm)
	Titik 1 (%)	Titik 2 (%)	Titik 3 (%)	
0	0	0	0	1813
1	2	1	1	1795
2	3	2	2	1799
3	4	3	3	1792
4	5	4	4	1794
5	5	5	5	1790
6	6	6	5	1786
7	7	6	6	1782
8	7	7	6	1779
9	8	7	7	1775
10	8	7	7	1771
11	9	8	8	1765
12	9	9	8	1760
13	10	9	9	1756
14	11	10	10	1753
15				1748
16				1744
17				1739
18				1733
19				1730
20				1732

LAMPIRAN B
DOKUMENTASI PENELITIAN



Perendaman Zeolit dengan NH_4Cl 0,1 M



Furnace untuk Kalsinasi



Ujung Sprayer



Ruang Uji dalam Keadaan Bersih



Ruang Uji Penuh Asap



Saat Pengambilan Data Tingkat Kejernihan



Zeolit Sesudah Mengadsorpsi Asap

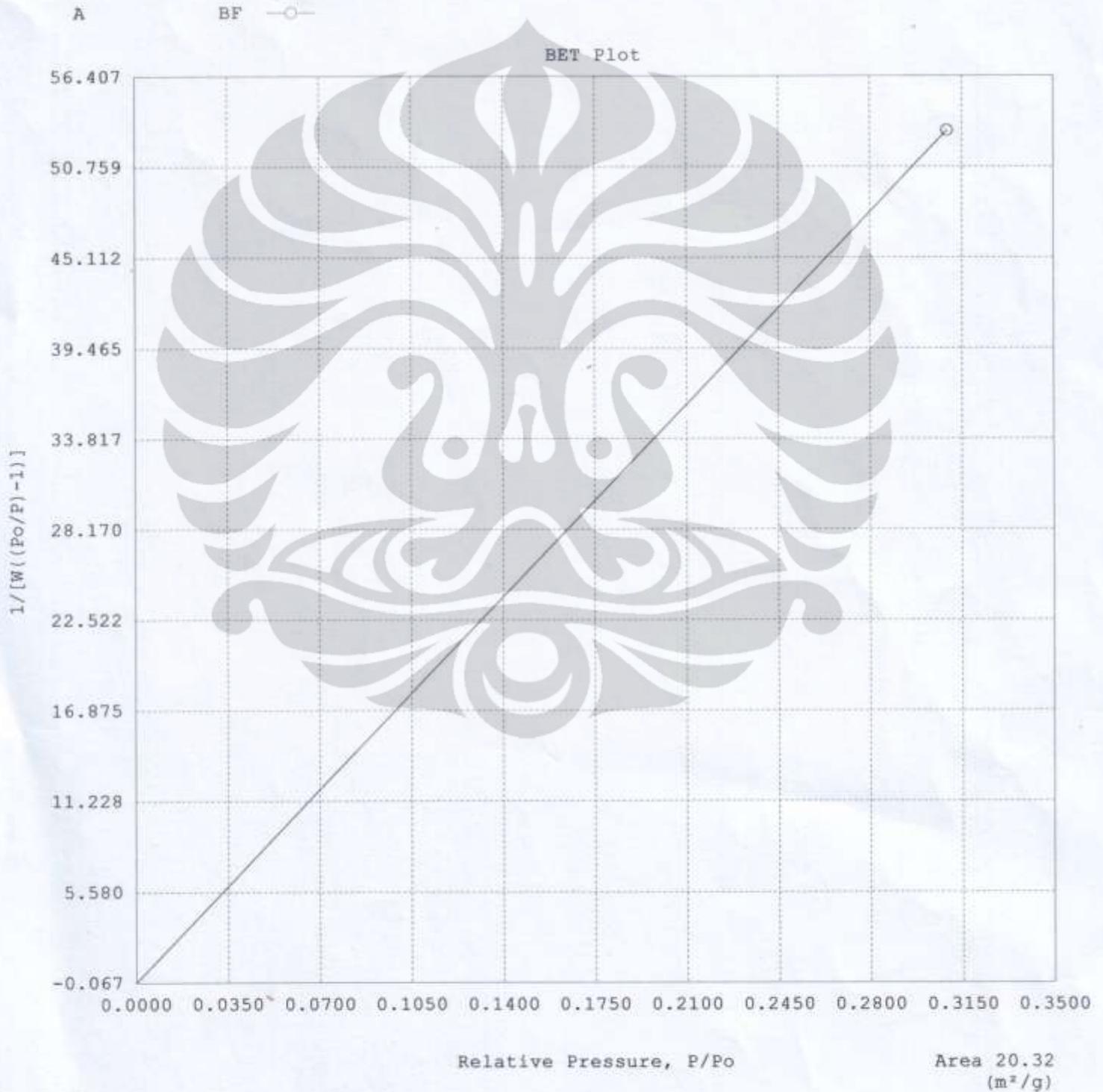




Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID ZAL bayah murni
Description Sukma
Comments
Sample Weight 0.3329 g
Adsorbate NITROGEN
Cross-Sec Area 16.2 Å²/molecule
NonIdeality 6.580E-05
Molecular Wt 28.0134 g/mol
Station # 3

Outgas Temp 150.0 °C
Outgas Time 24.0 hrs
P/Po Toler 3
Equil Time 2
Bath Temp. 77.40
Operator jajat
Analysis Time 43.5 min
End of Run 04/27/2011 17:05
File Name AS977519.RAW
PC SW Version Pre-1.20



Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	ZAL bayah murni				
Description	Sukma				
Comments					
Sample Weight	0.3329 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	43.5 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	04/27/2011 17:01
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977519.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	3				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	2.032E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	3.197E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	1.673E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	3.592E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	2.840E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	1.869E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	1.009E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	8.686E-03	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	8.842E-03	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	1.002E+02	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.442E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.722E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

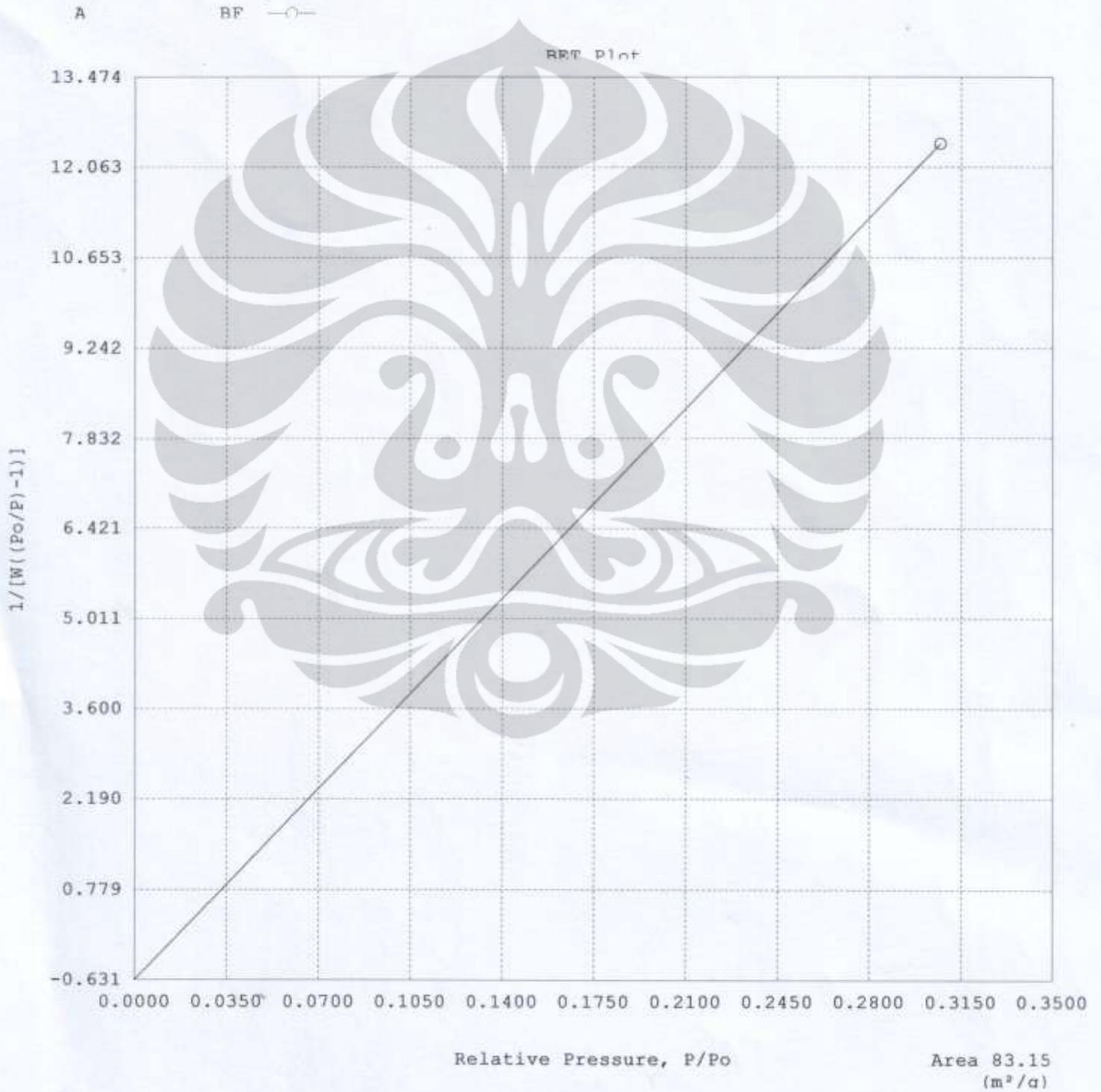
Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 768.33 mm Hg
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

Quantachrome Corporation
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	ZAL Bayah Aktivasi				
Description	Sukma				
Comments					
Sample Weight	0.3050 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	108.5 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/05/2011 13:38
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977614.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	4				



Quantachrome Corporation
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	ZAL Bayah Aktivasi				
Description	Sukma				
Comments					
Sample Weight	0.3050 g				
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	108.5 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler	3	End of Run	05/05/2011 13:31
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Equil Time	2	File Name	AS977614.RAW
Station #	4	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	8.315E+01	m ² /g
Single Point BET.....	8.356E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	1.253E+02	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	3.589E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	4.726E+01	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	1.207E+02	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	2.501E-02	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	4.291E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	3.987E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	4.018E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	7.065E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.640E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.402E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.630E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
 Last Po Acquired 766.98 mm Hg
 Additional Initialization Information Not Recorded

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol



LAMPIRAN

UJI XRF

4/13/2011 9:03:49 PM

PANalytical

Results quantitative - XR20 LINO3 FLUX

Selected archive: XR20 LINO3 FLUX

Number of results selected:

Seq.	Sample name (1-50)	Al2O3 (%)	CaO (%)	Cr2O3 (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na2O (%)	P2O5 (%)	SiO2 (%)	TiO2 (%)	V2O5 (%)	Cu (%)	Zn (%)	BaO (%)	Total (%)
		d0.025									d0.025						
		u1									u0.25						
1	BAYAH MURNI	12.350	4.52	0.007	1.60	2.80	0.71	0.022	0.80	0.034	64.880	0.18	0.005	-0.003	0.009	0.052	87.863
2	BAYAH + HF	12.842	4.83	-0.011	1.73	2.92	0.80	0.030	0.83	0.036	66.265	0.19	0.009	0.002	0.010	0.053	90.862
3	BAYAH + HCl	7.295	1.52	-0.001	0.51	2.23	0.56	0.002	0.40	0.023	79.409	0.18	0.009	-0.002	0.000	-0.004	93.705
4	BAYAH + NH4Cl	6.221	0.92	-0.010	0.42	2.21	0.37	-0.003	0.21	0.024	81.790	0.18	0.010	-0.003	-0.002	-0.014	93.153
5	BAYAH AKTIVASI	7.980	1.11	0.005	0.71	2.43	0.29	0.004	0.20	0.019	80.657	0.20	0.009	0.005	0.001	0.009	93.430
6	BLANK	0.000	0.01	0.000	0.01	0.00	0.01	0.004	0.02	0.000	0.001	-0.01	-0.002	-0.002	-0.003	-0.005	0.10
7	SARM 1	12.097	0.80	0.002	2.01	4.98	0.04	0.016	3.28	0.017	75.908	0.07	0.011	-0.002	0.002	0.007	99.12
8	exp value	12.080	0.78	0.002	2.00	4.99	0.06	0.021	3.36		75.700	0.09		0.001	0.005		
9	SARM 5	4.134	2.50	3.466	12.48	0.09	25.14	0.217	0.39	0.019	51.037	0.18	0.059	-0.001	0.010	-0.004	99.66
10	exp value	4.180	2.66	3.500	12.70	0.09	25.33	0.220	0.37	0.021	51.100	0.20	0.041			0.005	
11	HIGH PURITY SILICA	0.037	0.02	0.086	0.08	0.03	0.11	-0.003	0.07	0.019	99.770	0.02	0.014	-0.002	-0.004	-0.022	100.00
12	exp value	0.036	0.01	0.000	0.01	0.01	0.00	0.000	0.00		99.780	0.02					

