



**PREPARASI KATALIS PRASEODIMIUM OKSIDA/ZEOLIT
KLIPNOTILOLIT AKTIF UNTUK MENINGKATKAN
BILANGAN OKTANA PADA GASOLIN**

SKRIPSI

YAN MULDERS TOGAR

0806456890

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK 2012**



**PREPARASI KATALIS PRASEODIMIUM OKSIDA/ZEOLIT
KLIPNOTILOLIT AKTIF UNTUK MENINGKATKAN
BILANGAN OKTANA PADA GASOLIN**

SKRIPSI

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

YAN MULDERS TOGAR

0806456890

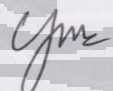
**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Yan Mulders Togar

NPM : 0806456890

Tanda Tangan : 

Tanggal : 19 Januari 2012

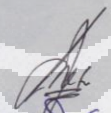
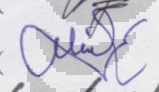
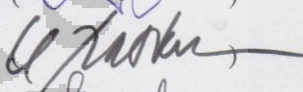
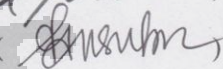
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Yan Mulders Togar
NPM : 0806456890
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Preparasi Katalis Praseodimium Oksida/Zeolit
Klipnotilolit Aktif Untuk Meningkatkan Bilangan
Oktana Pada Gasolin

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Eny Kusriani ()
Penguji : Dr. Ir. Sukirno, M. Eng ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng ()
Penguji : Dr. Ir. Praswasti PDK Wulan, M.T ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 19 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat kasih karunia-Nya, akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Tugas akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kimia FTUI.

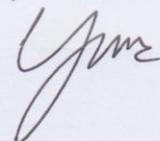
Penulis berharap agar semua pembaca tugas akhir ini mendapatkan pengetahuan tentang “Preparasi Katalis Praseodimium Oksida/Zeolit Klipnotiolit Aktif Untuk Meningkatkan Bilangan Oktana Pada Gasolin”

Penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih atas terlaksananya penulisan skripsi ini dari awal hingga akhir kepada :

1. Ibu Dr. Eny Kusriani, S.Si, atas bimbingan, ilmu, diskusi dan nasehatnya dalam pembuatan tugas akhir ini.
2. Mama & Papa serta Teresia adikku yang terkasih, terima kasih atas semua doa dan dukungan yang telah diberikan. Semoga papa, mama, adik berbahagia selalu.
3. Para dosen Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang sangat berguna bagi penulis.
4. Opung, Tante Butet, Tulang Nike yang selalu menyemangati, mengerti dan memberikan pandangan – pandangan tentang kehidupan sehingga saya dapat introspeksi diri dan terus mengembangkan kemampuan saya setiap harinya.
5. Kang Jajat, Kak Ius, Mas Eko, Mang Ijal, Mbak Tiwi, Mas Taufik, Mas Heri, Mas Sri, Mas Rinan, dan Mas Mugeni atas bantuannya selama ini.
6. Intan, Wisnu, Jacquin, Resiana, Vina, Dessy Emon, Juhe, Gabriel, Ncek, dan Andry yang selalu bisa mengerti, menemani, mendukung dan menyemangati. Terkhusus Resi, yang udah menunjukkan arah jalan ke LIPI Serpong untuk uji sampel saya.

7. Santoso, Fika, Yosmarina, Arief, Sari , Kenny, Ase, Sisca, Adet, Ilyin, Sari, Femmy, Indriani P, Monica, Kak Dewi, dan teman-teman yang menemani canda tawa, *sharing-sharing* selama ngelab semester ini. Sukses selalu buat semuanya, terima kasih buat segala bantuannya.
 8. Kak Silvia, Kak Mumu, dan Savitri, serta seluruh teman-teman dari Kimia MIPA. Terima kasih buat *sharing* ilmu tentang zeolit selama ini.
 9. Mas Wisnu, mbak Eva, dan ibu Endah yang telah banyak membantu menguji karakterisasi katalis saya. Terkhusus untuk ibu Endah, terima kasih untuk kesediaan waktunya mengajarkan GC-MS dengan baik kepada saya dari pengenalan hingga cara analisis GC-MS tersebut.
 10. Untuk Caterina FE'10, terima kasih atas *support*-nya kepada saya selama ini. Dan kepada Sry FIB'10 yang boleh izin scan berkas-berkas penelitian saya untuk dilampirkan dalam skripsi. Tuhan memberkatimu selalu.
 11. Seluruh teman 2008, angkatan yang sangat spesial, energik dan unik yang telah memberikan motivasi, doa, dan segala relasi yang sudah kita bangun selama kurang lebih 3 tahun 6 bulan ini. Keep contact! Sukses buat semuanya saya doakan dan Tuhan memberkati teman-teman selalu.
 12. Dan kepada pihak-pihak lain yang terkait dalam penulisan laporan ini yang belum disebutkan namanya. Terima kasih banyak ya.
- Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini belumlah sempurna, baik dari segi isi maupun tatabahasanya. Oleh karena itu, saran dan kritik yang konstruktif sangat penulis harapkan demi perbaikannya tugas akhir ini.

Depok, 19 Januari 2012



Yan Mulders Togar

ABSTRAK

Nama : Yan Mulders Togar
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Preparasi Katalis Praseodimium oksida/Zeolit Klipnotiolit Aktif Untuk Meningkatkan Bilangan Oktana Pada Gasolin

Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi zeolit Klipnotiolit aktif (Katalis 1) dengan variasi konsentrasi Praseodimium (Pr), yaitu 0,01 (Katalis 2) dan 0,1% (b/b) (Katalis 3) terhadap zeolit Klipnotiolit aktif dengan metode impregnasi. Suhu kalsinasi yang digunakan adalah 500°C selama 2 jam untuk menghilangkan pengotor organik, dan menstabilkan struktur katalis. Katalis yang dihasilkan dikarakterisasi dengan *Brunauer, Emmett and Teller* (BET), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS), *X-ray Diffraction* (XRD), dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Rasio Si/Al mengalami peningkatan dari 5,1-5,85 dengan prosentase Pr pada katalis 2 dan 3 masing-masing sebesar 0,14 dan 0,05%. Karakterisasi BET menunjukkan luas permukaan menurun dari katalis 1 sebesar 19,42 m²/gr menjadi katalis 3 sebesar 15,22 m²/gr. Hal ini disebabkan banyaknya Pr yang tersebar menutupi pori dari permukaan katalis 1. Uji aktivitas katalis 3 dengan % *loading* 1 dan 3% pada suhu 27,7°C selama 2 menit telah berhasil menaikkan 0,1 bilangan oktana. Kenaikan 0,1 bilangan oktana tersebut didukung oleh hasil GC-MS yang menunjukkan adanya pengurangan komposisi hidrokarbon C₄ – C₁₁ dan penambahan senyawa aromatik.

Kata kunci: Bilangan Oktana; Gasolin; Praseodimium; Zeolit Klipnotiolit.

ABSTRACT

Name : Yan Mulders Togar
Major : Chemical Engineering
Title : Preparation Praseodymium oxide/Activated Clipnotilolite Zeolite Catalyst To Increase Octane Number of Gasoline

The purpose of this research was to modify activated Clipnotilolite zeolite (catalyst 1) with concentration variations of praseodymium namely are 0.01 (catalyst 2) and 0,1% (w/w) (catalyst 3) toward the activated Clipnotilolite zeolite using impregnation method. The calcination temperature was 500°C for 2 hours to remove organic impurities and stabilize the catalyst structure. The catalysts were characterized by Brunauer, Emmett and Teller (BET), Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS), X-ray Diffraction (XRD), dan Fourier Transform Infrared (FTIR). The Si/Al ratio increase from 5.1 to 5.85 with Pr percentage in catalysts 2 and 3 were 0.14 and 0.05% respectively. The BET characterization shows that surface area decrease from catalyst 1, 19.42 to catalyst 3, 15.22 m²/gr. The reason for the result because a large amount of Pr covered the pores surface of catalyst 1. Activity tests of catalyst 3 with 1 and 3 % loading at 27.7 °C for 2 minutes have successfully increase the octane number of 0.1. Increasing octane number of 0.1 was supported by the GC-MS data which showed the presence of decreasing C₄-C₁₁ hydrocarbon and increasing in aromatic compound compositions.

Keyword: Octane number; Gasoline; Praseodymium nitrate heksahidrate; Clipnotilolite zeolite.

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Yan Mulders Togar
NPM : 0806456890
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

Preparasi Katalis Praseodimium Oksida/Zeolit Klipnotiolit Aktif Untuk Meningkatkan Bilangan Oktana Pada Gasolin

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal :
Yang menyatakan

(Yan Mulders Togar)

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

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

Nama : Yan Mulders Togar
NPM : 0806456890
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

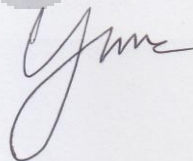
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas tugas akhir saya yang berjudul :

Preparasi Katalis Praseodimium Oksida/Zeolit Klipnotiolit Aktif Untuk Meningkatkan Bilangan Oktana Pada Gasolin

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 24 Januari 2012
Yang menyatakan



(Yan Mulders Togar)

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS... Error! Bookmark not defined.	
HALAMAN PENGESAHAN..... Error! Bookmark not defined.	
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	ix
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR PERSAMAAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gasolin.....	5
2.2 Hubungan Antara Gasolin Dengan Bilangan Oktana.....	6
2.3. Praseodimium Nitrat Heksahidrat ($\text{Pr}(\text{NO})_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	7
2.4. Ethylene Diaminetetraaceticacid (EDTA).....	11
2.5. Zeolit	12
2.5.1. Struktur Zeolit.....	14
2.5.2. Jenis-jenis Zeolit.....	17
2.5.3. Sifat Zeolit.....	20
2.5.4. Zeolit Klipnotilolit.....	27
2.5.5. Metode Aktivasi Zeolit.....	28
2.6. Katalis.....	30
2.6.1. Sifat Katalis	30
2.6.2. Karakterisasi Katalis	31
2.6.3. Penggolongan Katalis	37
2.7. Mekanisme Reaksi Perengkahan Katalitik (<i>Cracking</i>)	38
2.7.1. Inisiasi	39
2.7.2. β – Scission.....	40
2.7.3. Isomerisasi.....	40
2.7.4. Transfer Hidrogen	40
2.7.5. Eliminasi.....	41
2.8. Mekanisme Reaksi Katalitik Heterogen.....	41
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	41
3.1. Tahapan Penelitian	41
3.2. Variabel Penelitian	43
3.3. Peralatan dan bahan.....	43
3.4. Prosedur Penelitian dan Analisis	44
3.4.1 Aktivasi Zeolit Klipnotilolit.....	44

3.4.2. Impregnasi kompleks Praseodimium oksida-EDTA ke dalam zeolit aktif	45
3.4.3. Impregnasi kompleks Praseodimium nitrat heksahidrat ke dalam zeolit aktif	45
3.4.4. Uji Aktivitas Peningkatan Bilangan Oktana Pada Gasolin	46
3.5. Perolehan Data dan Analisis.....	47
3.6 Pelaksanaan Penelitian	48
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1. Metode Aktivasi Zeolit.....	49
4.2. Karakterisasi <i>BET</i>	51
4.3. Karakterisasi Morfologi dan Komposisi Kimia (SEM-EDS).....	52
4.4. Karakterisasi Kristalinitas (XRD)	55
4.5. Karakterisasi Struktur dan Ikatan (FTIR) Pada Katalis.....	58
4.6. Studi Uji Katalis Dengan Gasolin dengan <i>Portable Octane Number</i>	61
BAB 5 KESIMPULAN.....	71
5.1. Kesimpulan.....	71
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN A	74
LAMPIRAN B	77
LAMPIRAN C	80
LAMPIRAN D.....	84
LAMPIRAN E	88
LAMPIRAN F.....	94

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi Bensin dengan Bilangan Oktana 88	6
Tabel 2.2. Aplikasi Logam Lantanida	8
Tabel 2.3. Karakteristik Logam Praseodimium (Pr)	9
Tabel 2.4. Klasifikasi Mineral Zeolit	13
Tabel 2.5. Klasifikasi Zeolit Berdasarkan Rasio Si/Al 19	22
Tabel 2.6. Kapasitas Tukar Kation Mineral Zeolit.....	22
Tabel 2.7. Urutan Selektifitas Pertukaran Ion Pada Beberapa Jenis Zeolit	22
Tabel 2.8. Identifikasi daerah serapan pada FTIR	37
Tabel 2.9. Perbandingan Elemen Katalis Homogen dan Heterogen	38
Tabel 4.1. Hasil Karakterisasi BET	51
Tabel 4.2. Hasil Karakterisasi Katalis dengan SEM-EDS	52
Tabel 4.3. Relatif Intensitas (%) dan Height katalis 1 (cts)	57
Tabel 4.4. Relatif Intensitas (%) dan Height Katalis 2	57
Tabel 4.5. Relatif Intensitas (%) dan Height Katalis 3	57
Tabel 4.6. Hasil Karakterisasi FTIR dari Katalis 1 dan 2.	59
Tabel 4.7. Perhitungan % berat gasolin yang menguap	61
Tabel 4.8. Hasil Uji Bilangan Oktana Gasolin	63
Tabel 4.9. Hasil Konversi dan Selektivitas Hidrokarbon C ₄ – C ₁₁ Gasolin Sebelum dan Sesudah Penambahan Katalis 3.	65
Tabel 4.10. Perbandingan analisis FTIR sebelum dan sesudah penambahan katalis 3 pada gasolin.	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mekanisme Reaksi Pembentukan $\text{PrO}_{1,833}$	11
Gambar 2.2. Interpretasi Kurva TG dan DTA	12
Gambar 2.3. Struktur Molekul EDTA	12
Gambar 2.4. Struktur Asam-Basa Bronstead Si/Al	15
Gambar 2.5. Bentuk Tetrahedron Silika atau Alumina	16
Gambar 2.6. Unit Pembentuk Sekunder	17
Gambar 2.7. Rongga Selektif Reaktan.....	24
Gambar 2.8. Rongga Selektif Produk	24
Gambar 2.9. Dehidrasi Terhadap Kation Multivalen pada Zeolit	25
Gambar 2.10. Dehidroksilasi Dua Gugus Hidroksil yang Berdekatan Pada Temperatur lebih dari 477°C	26
Gambar 2.11. Reaksi Pembentukan NH_4 -Zeolit.....	30
Gambar 2.12. Permukaan Katalis yang Tertutupi Adsorbat.....	33
Gambar 2.13. Difraktogram Standar SiO_2 , Standar Klipnotilolit dan Standar Al_2O_3	34
Gambar 2.14. Reaksi inisiasi oleh asam Lewis.....	40
Gambar 2.15. Reaksi inisiasi oleh asam Bronstead	40
Gambar 2.16. Reaksi β – Scission	41
Gambar 2.17. Reaksi Isomerisasi	41
Gambar 2.18. Reaksi Transfer Hidrogen	41
Gambar 2.19. Reaksi Eliminasi	42
Gambar 2.20. Mekanisme Katalitik Heterogen	42
Gambar 3.1. Skematik Preparasi Katalis Praseodimium oksida-EDTA/zeolit Klipnotilolit dan dan Karakterisasinya.....	44
Gambar 3.2. Susunan Perangkat Kondenser	46
Gambar 3.3. Skematik Impregnasi Praseodimium oksida ke dalam zeolit Klipnotilolit	48
Gambar 3.4. Alat Pengukur Bilangan Oktana.....	49
Gambar 4.1. Bentuk Morfologi Permukaan katalis, (a) Katalis 1; (b) Katalis 2; (c) Katalis 3.....	54
Gambar 4.2. Spektrum Difraksi Sinar-X (a) Katalis 1; (b) katalis 2; (c) katalis 3.....	56
Gambar 4.3. Spektrum Difraksi Standar Pembanding Pr_6O_{11}	56
Gambar 4.4. Spektrum FTIR Katalis 1 dan 2.....	60
Gambar 4.5. Perubahan warna pada gasolin.	64
Gambar 4.6. Hubungan antara Konversi dan Selektivitas Hidrokarbon pada Gasolin Sebelum dan Sesudah Penambahan Katalis 3	65
Gambar 4.7. Perbandingan Komposisi Senyawa pada Gasolin Sebelum dan Sesudah Penambahan Katalis 3	68
Gambar 4.8. Grafik Kenaikan Senyawa Benzena	70

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1. Perhitungan bilangan oktana.....	7
Persamaan 2.2. Rumus kimia dari zeolit.....	14
Persamaan 2.3. Pertukaran ion pada zeolit.....	21
Persamaan 2.4. Ionisasi H ₂ O oleh kation-kation <i>polivalent</i>	25
Persamaan 2.5. Perlakuan asam terhadap zeolit dan proton (H ⁺)	25
Persamaan 2.6. reduksi logam dengan H ₂ oleh kation logam transisi	25
Persamaan 2.7. Reaksi kesetimbangan larutan dan zeolit dalam pertukaran ion....	28
Persamaan 2.8. Mekanisme pembentukan NH ₄ -Zeolit	30
Persamaan 2.9. Mekanisme pembentukan H-Zeolit	30
Persamaan 2.10. Persamaan BET.....	32
Persamaan 2.11. Konstanta dan fungsi eksponensial dari panas adsorbansi dan panas pencairan.....	32
Persamaan 2.12. Persamaan intensitas XRD.....	33
Persamaan 2.13. Reaksi pembentukan ion karbonium pada situs asam	37
Persamaan 3.1. Konversi hidrokarbon C ₄ -C ₆ , C ₇ -C ₈ dan C ₁₁ -C ₁₂	47
Persamaan 3.2. Selektivitas produk rengkahan C ₄ -C ₆ , C ₇ -C ₈ dan C ₁₁ -C ₁₂	48
Persamaan 4.1. Persamaan energi Gibbs.....	69
Persamaan 4.2. Reaksi pembentukan produk n-heptana dan siklobutana dari reaktan undekana.....	70
Persamaan 4.3. Reaksi pembentukan produk n-pentana dan n-heksana dari reaktan undekana.....	70
Persamaan 4.4. Reaksi pembentukan produk etilbenzena dan n-butana dari reaktan sikloheksana	70

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gasolin atau sering disebut juga bensin, berasal dari minyak bumi mentah yang dipisahkan melalui alat distilasi berdasarkan titik didih cairan. Gasolin mengandung lebih dari 500 jenis hidrokarbon yang memiliki rantai $C_5 - C_{10}$ dengan titik didih $40 - 200^\circ\text{C}$ serta memiliki bilangan oktana 88 (Migas, 2006).

Bilangan oktana merupakan suatu indikator dalam bensin yang menunjukkan kemampuan gasolin untuk menghasilkan tenaga maksimum yang diberikan dalam mesin, dan dapat menahan peristiwa *knocking* pada saat pengapian bahan bakar. Beberapa zat aditif yang digunakan untuk meningkatkan bilangan oktana pada gasolin diantaranya metanol, etanol, *tetraethyl lead* (TEL, $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$), *methyl tertiary butyl ether* (MTBE, $(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O})$), *tertiary butyl alcohol* (TBA), *tert-amyl methyl ether* (TAME), dan *tertiary butyl formate* (TBF) (Kish, dkk, 2010). Zat aditif ini digunakan untuk memperbaiki nyala dan efisiensi pembakaran, serta menstabilkan campuran bahan bakar. Namun keberadaan senyawa aditif tersebut bersifat toksik, dan tidak dapat digunakan. Senyawa aromatik adalah salah satu jenis komponen dalam gasolin sekaligus dapat menaikkan bilangan oktana (Liu, 2004), namun konsentrasinya pada gasolin lebih baik dalam jumlah kecil karena senyawa aromatik bersifat karsinogenik (Prawoto, 2009). Oleh karena itu, perlu dilakukan sintesis suatu bahan katalis atau aditif yang bersifat aman, ramah lingkungan dan dengan metode yang sederhana. Dalam penelitian ini telah dilakukan sintesis katalis Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif dengan variasi konsentrasi 0,01 dan 0,1% w/w Praseodimium oksida terhadap zeolit Klipnotilolit. Dengan adanya variasi konsentrasi tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh zat aktif dari Praseodimium terhadap gasolin.

Katalis yang efektif setidaknya harus mempunyai selektivitas, aktivitas dan daya tahan yang cukup baik dan dapat menghasilkan produk yang diinginkan dalam kondisi operasi yang tidak terlalu ekstrem. Untuk menghasilkan katalis

yang efektif, peran support sebagai tempat tersebarnya inti aktif dapat meningkatkan efektivitas katalis keseluruhan.

Penyangga katalis harus mempunyai struktur yang dapat mendispersikan inti aktif sehingga dapat memperbanyak jumlah inti aktif yang berbeda di permukaan katalis. Dengan semakin luas permukaan inti aktif, aktivitas akan meningkat, sedangkan daya tahan keseluruhan juga meningkat dibandingkan dengan inti aktif tanpa penyangga (Bond, 1987).

Zeolit Klipnotilolit merupakan salah satu jenis zeolit alam yang berasal dari Lampung. Pemilihan zeolit sebagai penyangga katalis didasarkan pada keunggulannya, yaitu memiliki luas permukaan yang besar, stabil pada temperatur tinggi, mempunyai sifat keasaman yang tinggi, serta cocok untuk digunakan pada proses perengkahan senyawa (Tago, dkk. 2009). Kelebihan lain dari zeolit alam adalah keberadaannya dalam jumlah besar di alam, harga murah, dan memiliki struktur berongga ukuran pori tertentu. Zeolit yang akan dipakai sebagai katalis dalam uji aktivitas terhadap gasolin ini memerlukan modifikasi atau aktivasi sehingga dapat memperbaiki kinerjanya. Modifikasi ini diharapkan mampu membersihkan zeolit alam dari mineral-mineral atau kandungan yang sifatnya sebagai pengotor, meningkatkan luas permukaan katalis, dan memberikan inti aktif berupa asam (Riberio, 1984).

Metode pembuatan katalis yang dipakai adalah metode impregnasi. Metode ini sudah dikenal dalam dunia industri katalis karena cukup sederhana dan relatif mudah (Campanati, 2003). Impregnasi dengan larutan Praseodimium nitrat dimanfaatkan untuk mendapatkan deposit Pr_6O_{11} pada zeolit dan diharapkan dapat menghasilkan Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif dengan karakteristik yang baik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dihadapi dalam penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui kemampuan zeolit alam termodifikasi dengan Praseodimium nitrat heksahidrat sebagai katalis dalam uji aktivitas terhadap bilangan oktana gasolin, diperlukan juga pengetahuan tentang sifat-sifat fisik dan kimia dari katalis.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Sintesis senyawa Praseodimium nitrat heksahidrat pada permukaan zeolit Klipnotilolit dengan metode impregnasi.
- Karakterisasi sifat fisika dan kimia dari katalis Praseodimium(III)/zeolit Klipnotilolit aktif.
- Uji aktivitas katalis Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif dalam menaikkan bilangan oktan baik sebelum dan sesudah pencampuran katalis dengan gasolin.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi masalah sebagai berikut:

- Zeolit alam yang digunakan adalah zeolit Klipnotilolit.
- Gasolin akan direaksikan dengan Praseodimium nitrat heksahidrat dan zeolit Klipnotilolit dalam reaktor konversi katalik.
- Proses penyisipan inti aktif pada zeolit dilakukan dengan metode impregnasi variasi katalis besar 0,01 dan 0,1% w/w Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif.
- Karakterisasi zeolit yang telah diimpregnasi kristal menggunakan *surface area analyzer* (BET), SEM-EDS, XRD, FTIR dan GC-MS.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan seminar ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Berisi pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Berisi tinjauan pustakan yang membahas tentang penelitian terdahulu sebagai dasar penelitian ini, pengertian gasolin, hubungan gasolin dengan bilangan oktana, Praseodimium nitrat hidrat, EDTA, zeolit, dan katalis, mekanisme reaksi perengkahan

katalitik, mekanisme reaksi katalitik heterogen metode impregnasi logam ke dalam zeolit, dan karakterisasi zeolit sebelum dan sesudah impregnasi.

BAB III Metode Penelitian

Berisi tentang diagram alir penelitian, variabel penelitian, alat dan bahan, serta prosedur penelitian, dan perolehan, pengolahan dan analisis data.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Di dalam bab ini akan diberikan penjelasan tentang semua hal yang berkaitan dengan prosedur dan analisis penelitian yang dilakukan. Pembahasan mencakup karakterisasi zeolit Klipnotilolit aktif dan Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif, gasolin sebelum dan sesudah uji aktivitas katalis, serta kajian produk setelah uji aktivitas katalis.

BAB V Penutup

Bab ini merupakan bagian penutup tulisan yang memberikan poin-poin penting yang merepresentasikan hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Terdiri dari acuan pustaka dan referensi baik dari literatur, jurnal ilmiah, maupun sumber lain yang digunakan sebagai rujukan dalam penulisan skripsi ini.

LAMPIRAN

Berisi tentang hasil karakterisasi katalis dan gasolin selama penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gasolin

Gasolin adalah cairan campuran yang berasal dari minyak bumi dan sebagian besar tersusun dari hidrokarbon serta digunakan sebagai bahan bakar dalam mesin pembakaran. Senyawa ini memiliki mengandung lebih dari 500 jenis hidrokarbon yang memiliki rantai $C_5 - C_{10}$ dengan titik didih $40 - 200\text{ }^\circ\text{C}$ serta memiliki bilangan oktana 88 (Migas, 2006). Adapun kandungan hidrokarbon yang ada pada gasolin yaitu parafin, baik parafin bercabang maupun sikloparafin, olefin, dan aromatik. Pada kehidupan sehari-hari penggunaan gasolin adalah sebagai bahan bakar untuk kendaraan bermotor. (Hatch *et al.*, 1982).

Proses pembuatan gasolin yaitu melalui fraksinasi minyak bumi, yaitu proses pemisahan hidrokarbon berdasarkan perbedaan titik didih komponen. Setelah fraksinasi, gasolin diproses lebih lanjut untuk menaikkan bilangan oktannya. Adapun kualitas gasolin yang ditetapkan sebagai spesifikasi standar tertentu yang dikeluarkan *American Petroleum Institute* (API) pada tahun 2005. Spesifikasi gasolin yang dibuat biasanya mencakup pertimbangan tentang kebutuhan ideal kendaraan bermotor negara bersangkutan, tingkat ekonomi negara, dan kemampuan produksinya.

Jenis bahan bakar gasolin yang dominan digunakan pada alat transportasi di Indonesia adalah gasolin premium dengan bilangan oktana 88. Spesifikasi gasolin premium di Indonesia terus berkembang menuju peningkatan kualitas gasolin terutama berkaitan dengan bilangan oktana dan kandungan timbel serta kandungan olefin. Berikut adalah beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam setiap perubahan spesifikasi gasolin pada Tabel 2.1, antara lain :

Tabel 2.1. Spesifikasi Bensin dengan Bilangan Oktana 88

no	Properties	Limits		Test methods	
		Min	Max	ASTM	Others
1	Knock Rating Research Octane Number (RON)	88	-	D-2699	
2	T.E.L content (gr/ltr)	-	0,3	D-3341 D-5059	
3	Distillation				
	10% vol evap (°C)	-	74		
	50% vol evap (°C)	-	125		
	90% vol evap (°C)	88	180		
4	R.V.P at 37,8 (°C) [psi]	-	9	D-232	
5	Existent gum (mg/100ml)	-	4	D-381	
6	Induction period min	240	-	D-525	
7	Sulphur content (%wt)	-	0	D-1266	
8	Copper strip corrosion (3hr/122 °F)	-	no. 1	D-130	
9	Doctor test		Negative		IP 30
10	Color	Yellow			
11	Dye content: gr/100ltr		0,113		
12	Odour	Marketable			

Sumber : Keputusan Direktur Minyak dan Gas bumi No. 3674 K/24/DJM/2006, 17 Maret 2006

2.2 Hubungan Antara Gasolin Dengan Bilangan Oktana

Bilangan oktana menunjukkan kemampuan bahan bakar gasolin untuk mencegah terjadinya detonasi/ketukan pada proses pembakaran dalam bensin. Bilangan oktana ini tidak menunjukkan suatu kualitas atau mutu bensin, melainkan bilangan oktana hanyalah satu dari beberapa parameter yang ada pada spesifikasi bahan bakar gasolin.

Semakin tinggi bilangan oktana maka semakin rendah kecenderungan gasolin untuk menimbulkan ketukan (*knocking*). Bila bilangan oktana tidak memadai, maka ketukan yang terjadi dapat merusak mesin atau mengurangi kinerja dan efisiensi mesin. Penyesuaian angka oktan tidak bertujuan menambah kandungan energi bensin, melainkan untuk memanfaatkan semaksimal mungkin energi yang dapat diperoleh pada proses pembakaran dan melindungi mesin

terhadap kerusakan akibat detonasi. Gasolin merupakan bahan bakar transportasi yang masih memegang peranan penting sampai saat ini.

Gasolin mengandung lebih dari 500 jenis hidrokarbon yang memiliki rantai $C_4 - C_{11}$ dengan titik didih $40 - 200\text{ }^\circ\text{C}$, serta memiliki bilangan oktana 88 (Migas, 2006). Kadarnya bervariasi tergantung komposisi minyak mentah dan kualitas yang diinginkan, sedangkan pembakaran gasolin yang diinginkan adalah pembakaran yang menghasilkan dorongan tenang dan mulus terhadap penurunan piston. Hal ini tergantung pada ketepatan waktu pembakaran agar jumlah energi yang ditransfer ke piston menjadi maksimum. Ketepatan waktu pembakaran tergantung pada jenis rantai hidrokarbon yang selanjutnya akan menentukan kualitas gasolin.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan bilangan oktana adalah mengubah hidrokarbon rantai lurus dalam fraksi gasolin menjadi hidrokarbon rantai bercabang, seperti mengubah n-oktana menjadi isooktana. Suatu campuran 30% n-heptana dan 70% isooktana akan mempunyai bilangan oktana sebesar :

$$\text{bilangan oktana} = \left(\frac{30}{100} \times 0\right) + \left(\frac{70}{100} \times 100\right) = 70 \dots\dots\dots(2.1)$$

Ada dua jenis bilangan oktana pada gasolin, yakni :

1. *Motor Octane Number* (MON) : bilangan oktana pada gasolin yang diukur dalam kondisi mesin yang beroperasi lebih berat dan merupakan kecenderungan gasolin untuk mengalami *knocking* pada kecepatan tinggi.
2. *Research Octane Number* (RON) : bilangan oktana pada gasolin yang diukur saat keadaan mesin beroperasi sedang dan merupakan kecenderungan gasolin untuk mengalami *knocking* pada pengendalian biasa.

2.3. Praseodimium Nitrat Heksahidrat ($\text{Pr}(\text{NO})_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Lantanida adalah kelompok unsur kimia yang terdiri dari 15 unsur, mulai lantanum (La) sampai lutetium (Lu) pada tabel periodik, dengan nomor atom 57 sampai 71. Secara kimiawi, jari-jari atom unsur-unsur lantanida dari no 57 sampai

71 mengalami penurunan, artinya semakin besar nomor atom maka semakin pendek jari-jari atom. Fenomena ini dapat terjadi pada satu deret periodik. Namun demikian, untuk golongan lantanida hal ini menjadi penting dan dinamakan kontraksi lantanida. Kontraksi lantanida ini bertanggung jawab terhadap sifat kekerasan, kerapatan, dan titik lebur unsur-unsur lantanida. Artinya penurunan jari-jari atom menyebabkan atom menjadi lebih rapat, padat, dan meningkatnya titik lebur. Berikut adalah pembagian lantanida berdasarkan sifat-sifatnya, seperti pada Tabel 2.2 di bawah ini :

Tabel 2.2. Aplikasi Logam Lantanida

Unsur Lantanida	Aplikasi	Pertumbuhan Pemakaian (%)
Er, Ho	Fosfor	1
Eu, Y, Tb, La, Dy, Ce, Pr, Gd	Fosfor	3
Ce, La, Nd, Er, Gd, Yb	Metalurgi	7
Ce, La, Pr	Serbuk mengkilap	7
Nd, Pr, Dy, Tb, Sm	Magnet	12
La, Ce, Pr, Nd	Katalis Perengkahan	25
Ce, La, Nd	Autokatalis	45

Pada umumnya logam ini berwarna hijau dan dapat membebaskan hidrogen ketika berkontak dengan air. Berikut adalah Tabel 2.3. sifat-sifat fisika dan kimia dari logam Praseodimium.

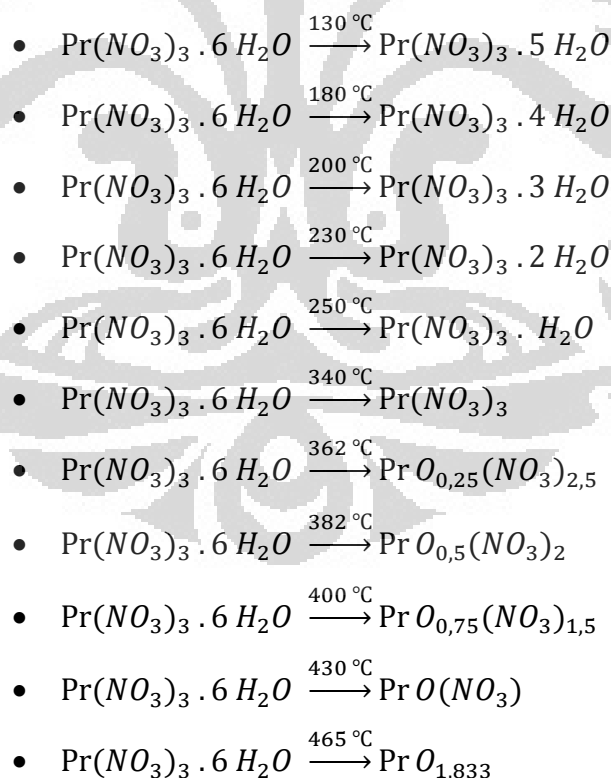
Tabel 2.3. Karakteristik Logam Praseodimium (Pr)

Praseodimium	
Bentuk Fisik	<i>Granular</i> atau bubuk padatan
Besar atom	59
Berat atom	140,9077
Massa jenis	6,773 g/cc
Titik lebur	931 °C
Titik didih	3512°C
Konduktivitas termal	0,125 W/cm/K @298,2 K
Resistivitas listrik	68 mΩ-cm @ 25 °C
Elektronegativitas	1,1 pauling
Panas spesifik	0,046 Cal/g/K @ 25 °C
Panas penguapan	79 K-Cal/g atom pada 3512 °C
Panas fusi	2.70 Cal/g mole
Koefisien temperatur resistansi	0,00171 @ 0 °C
Tampilan	Berwarna hitam
Bau	Berbau seperti tanah
pH	N/A
<i>Flammability</i>	Tidak mudah terbakar
Batas ledakan	Tidak dikenal sebagai zat yang bisa meledak

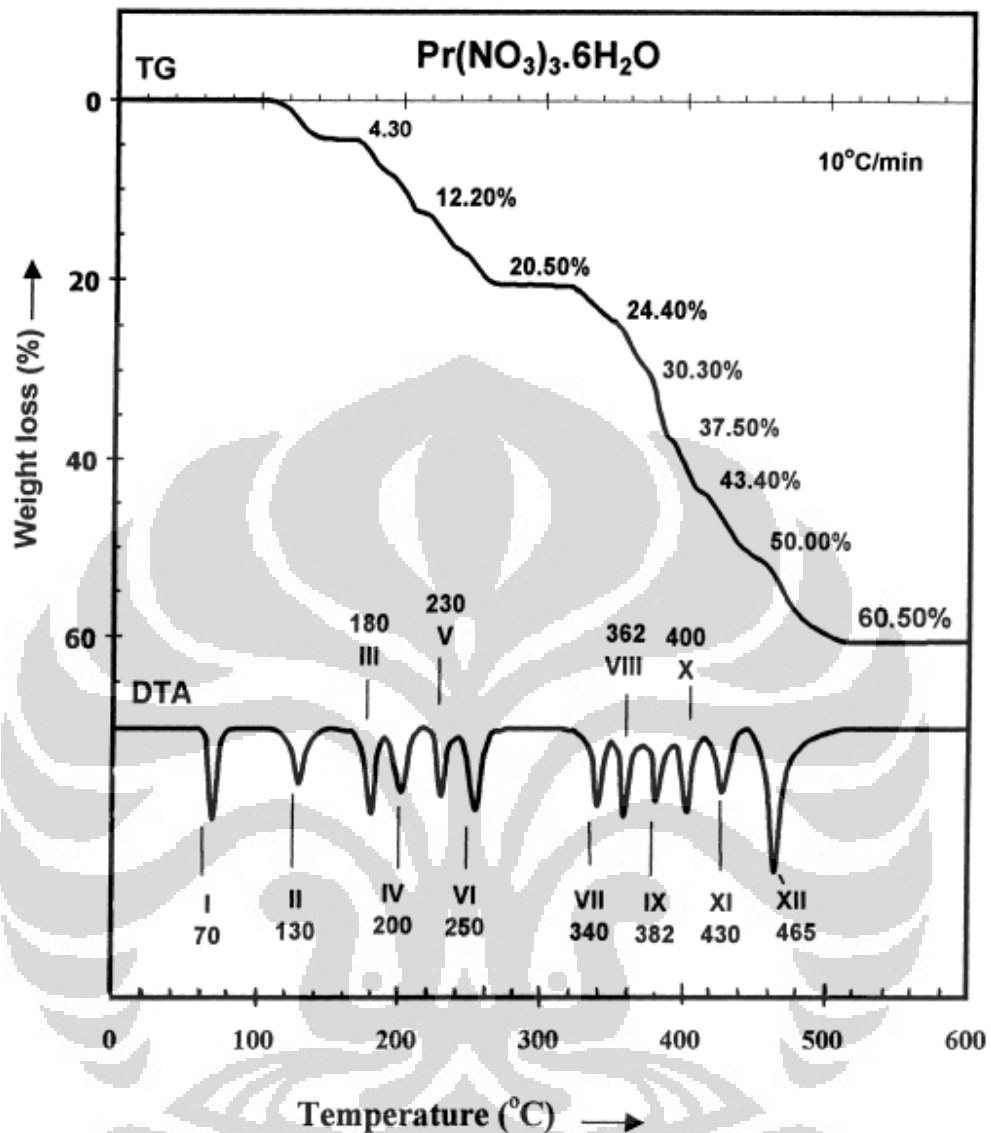
Praseodimium nitrat hidrat tersebut akan dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 2 jam agar dapat diperoleh kristal Praseodimium oksida yang stabil yaitu Pr₆O₁₁ (Hussein, 2000). Peranan Pr₆O₁₁ dalam katalis adalah sebagai fasa aktif pada katalis. Sebagai katalis, Pr₆O₁₁ memberikan aktivitas yang baik selama oksidasi *coupling* metana (Sugiyama, dkk. 1997). C₂H₄ dapat ditingkatkan dengan kehadiran tetraklorometana sebagai *feed* aditif dan atau dengan *loading* PrCl₃ di atas Pr₆O₁₁. Selain itu, Pr₆O₁₁ juga dapat memberikan yield yang besar pada sintesis etana dan etilena dari reaksi metana dan karbondioksida (Asami, dkk.,1997). Telah dihasilkan juga proses rengkahan hidrokarbon pada gasolin menggunakan Praseodimium nitrat heksahidrat dalam zeolit, dan dapat

menghasilkan kenaikan bilangan oktana pada gasolin sebesar 1,6 sebagai indikasi bahwa hidrokarbon rantai panjang terengah menjadi hidrokarbon rantai pendek atau bercabang. Oleh karena itu, Praseodimium oksida memiliki sisi aktivitas dan selektivitas yang baik dalam suatu reaksi. Selanjutnya Praseodimium oksida disisipkan pada permukaan padatan penyangga zeolit Klipnotilolit berpemukaan luas.

Adapun tahapan mekanisme reaksi kalsinasi untuk memperoleh oksida praseodimium (Pr_6O_{11}) dan Gambar 2.2. merupakan kurva TG dan DTA terhadap waktu, dimana diperoleh % *weight loss* Praseodimium Nitrat Hidrat menjadi Pr_6O_{11} yang stabil pada suhu 500-600 °C (Hussein, 2001). Dalam penelitian ini ditentukan suhu kalsinasi 500 °C selama 2 jam untuk menjaga stabilitas struktur zeolit saat diimpregansi dan kalsinasi pada suhu tersebut (Yang, 2011). Tujuan kalsinasi 500 °C adalah menghasilkan kristalinitas yang besar pada Pr_6O_{11} . Adapun bentuk empirik molekul Pr_6O_{11} adalah $\text{PrO}_{1,833}$. Pada Gambar 2.1 menjelaskan mekanisme reaksi pembentukan $\text{PrO}_{1,833}$.



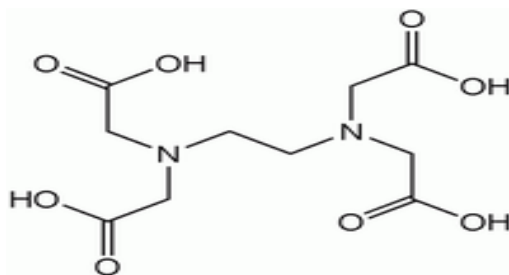
Gambar 2.1. Mekanisme reaksi pembentukan Pr_6O_{11}



Gambar 2.2. Interpretasi kurva TG dan DTA pembentukan $\text{PrO}_{1,833}$

2.4. Ethylene Diaminetetraaceticacid (EDTA)

EDTA merupakan asam karboksilat *polyamino* dengan struktur empat gugus asam karboksilat dan dua gugus amina dengan pasangan elektron bebas. Rumus molekul senyawa ini adalah $[\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2]_2$. Senyawa ini terdeprotonisasi dapat mengikat ion logam dan juga dapat membentuk kompleks ion logam. Gambar 2.3 merupakan interpretasi struktur molekul EDTA.



Gambar 2.3. Struktur molekul EDTA

2.5. Zeolit

Zeolit menurut *J.V Smith* pada tahun 1984 adalah mineral dengan struktur kristal aluminasilikat yang berbentuk rangka (*framework*) tiga dimensi, mempunyai rongga dan saluran serta mengandung ion-ion logam seperti Na, K, Mg, Ca dan Fe serta molekul air. Pertama kali zeolit ditemukan oleh seorang ahli mineralogi asal Swedia bernama *Axel Frederick Cronstedt* pada tahun 1756. Mineral yang ditemukan akan dengan cepat melepaskan air bila dipanaskan dan seolah-olah mendidih. Sehingga mineral alam ini dinamakan zeolit yang dalam bahasa Yunani berarti batu didih (*zeo: boil* dan *lythe: stone*).

Komposisi kimia dan sifat dari zeolit alam ini banyak dipengaruhi oleh kondisi hidrotermal lingkungan sekitar seperti temperatur, tekanan uap air dan komposisi air tanah di lokasi tempat pembentukan zeolit alam. Maka tidak mengherankan apabila ditemukan zeolit alam yang berbeda komposisi kimia yang berbeda dengan zeolit alam dari lokasi lain meskipun warna dan teksturnya sama (Setiadi, 2005), sehingga akan menimbulkan beragam jenis zeolit alam yang terbentuk. Tabel 2.4. menunjukkan klasifikasi mineral zeolit alam lengkap dengan rumus kimia.

Secara umum, zeolit berfungsi sebagai katalis padatan memiliki beberapa karakterisasi, antara lain :

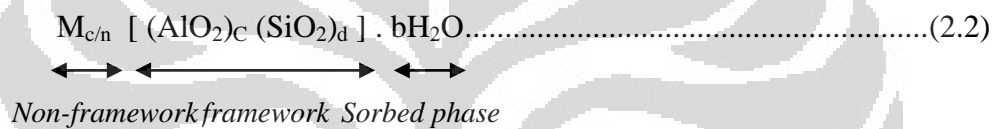
- Mempunyai kapasitas adsorpsi yang tinggi
- Dapat memisahkan atau mereaksikan produk dan reaktan
- Luas permukaan yang besar, memiliki dimensi pori molekuler
- Adanya kemungkinan melakukan *preactivation* molekul ketika pori-pori oleh medan listrik kuat dan kekangan molekul.

Tabel 2.4. Klasifikasi Mineral Zeolit

Zeolit	Rumus Kimia
Grup Analsim	
Analsim	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{31}\text{O}_{96}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Wairakit	$\text{Ca}_8[\text{Al}_{16}\text{Si}_{31}\text{O}_{96}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Grup Natrolit	
Natrolit	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Thomsonit	$\text{Na}_{16}\text{Ca}_8[\text{Al}_{20}\text{Si}_{20}\text{O}_{80}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Grup Heulandit	
Heulandit	$\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Klinoptilolit	$\text{Na}_6[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Grup Fillipsit	
Fillipsit	$\text{K}_2\text{Ca}_{1.5}[\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Zeolit Na-P-1	$\text{Na}_8[\text{Al}_{31}\text{SiO}_{16}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Grup Mordenit	
Mordenit	$\text{Na}_8[\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Ferrierit	$\text{NaCa}_{0.5}\text{Mg}_2[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Grup Kabasit	
Kabasit	$\text{Ca}_2[\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}] \cdot 13\text{H}_2\text{O}$
Zeolit L	$\text{K}_6\text{Na}_3[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}] \cdot 21\text{H}_2\text{O}$
Grup Faujasit	
Faujasit	$\text{Na}_{12}\text{Ca}_{12}\text{Mg}_{11}[\text{Al}_{58}\text{Si}_{134}\text{O}_{384}] \cdot 235\text{H}_2\text{O}$
Zeolit A	$\text{Na}_{12}[\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}] \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
Grup Laumontit	
Laumontit	$\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{46}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Grup Pentasil	
ZSM-5	$\text{Na}_n[\text{Al}_n\text{Si}_{96}\text{O}_{192}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Grup Zeotype	
$\text{AlPO}_4\text{-5}$	$[\text{Al}_{12}\text{P}_{12}\text{O}_{48}] (\text{C}_3\text{H}_7)_4 \text{NOH } q \text{ H}_2\text{O}$

2.5.1. Struktur Zeolit

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino-silikat yang terhidrasi dan mengandung kation alkali dan alkali tanah. Struktur kristal zeolit yang terkoordinasi Si, Al, atau P, atau sekelompok elemen seperti B, Ga, Fe, Cr, Ge, Ti, V, Mn, Co, Zn, Be, Cu, dan lain-lain, dan dapat juga disintesis, yang disebut zeotypes, menghasilkan $ALPO_4$, SAPO, MeAPO, dan *molecular sieve* MeAPSOS (Flanigen *et al.*, 1991). Struktur kristal zeolit mempunyai diameter ruang hampa sekitar 3-30 \AA . Kerangka dasar struktur zeolit adalah unit-unit tetrahedral AlO_4 dan SiO_4 yang saling berhubungan melalui atom oksigen dan didalam struktur tersebut ion Si^{4+} dapat digantikan oleh ion Al^{3+} (Gates, 1992). Rumus kimia zeolit sebagai berikut:



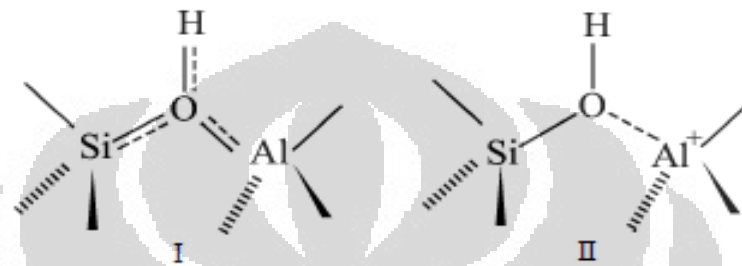
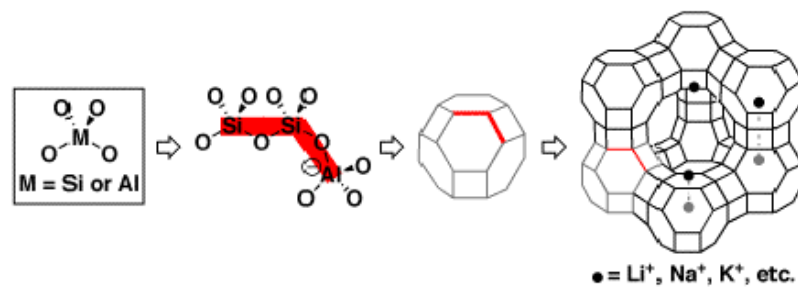
Keterangan:

$M_{c/n}$: kation bervalensi n yang dapat dipertukarkan, kationnya dapat berupa alkali atau alkali tanah.

B : menunjukkan jumlah molekul air.

c dan d : menunjukkan jumlah tetrahedron alumina dan silika dalam satu unit sel, dimana $d > c$ sehingga rasio d/c atau SiO_2/Al_2O dapat bervariasi dari 1 sampai 5.

[] : lambang struktur rangka aluminasilika



Gambar 2.4. Struktur Asam-Basa Bronstead Si/Al

Rasio Si terhadap Al pada suatu zeolit tidak kurang dari 1. Komposisi adsorben akan mengalami transisi atom-atom aluminium secara sistematis dan kaya akan atom aluminium, sehingga menjadi bersifat afinitas tinggi terhadap air dan senyawa polar lainnya, sedangkan struktur mikropori silika seperti silikalite menyebabkan sifat *hydrophobic* dan menyerap n-parafin terhadap air. Transisi dari *hydrophilic* menjadi *hydrophobic* akan terjadi jika rasio Si terhadap Al antara 8 hingga 10. Setiap adsorben zeolit akan memiliki jenis yang berbeda-beda tergantung pada struktur rangka dari rasio perbandingan Si terhadap Al dan bentuk susunan kation, dengan perbedaan komposisi tersebut akan pula menjadi adsorben yang selektif dalam pemilihan molekul yang akan dipisahkan

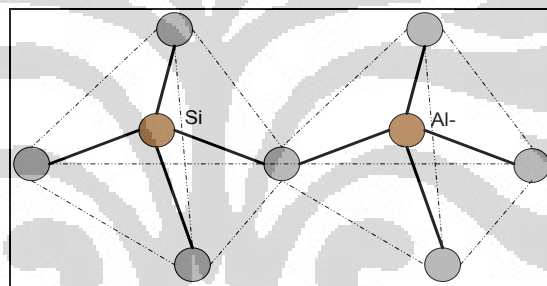
Zeolit yang terdehidrasi akan mempunyai struktur pori terbuka dengan *internal surface area* besar sehingga kemampuan mengadsorp molekul selain air semakin tinggi. Ukuran pori ini menentukan ukuran molekul yang dapat teradsorp. Sifat ini yang menjadikan zeolit mempunyai kemampuan penyaringan yang sangat spesifik yang dapat digunakan untuk pemurnian dan pemisahan. Zeolit yang digunakan sebagai penyaring molekular tidak menunjukkan perubahan cukup besar pada struktur kerangka dasar pada

dehidrasi walaupun kation berpindah menuju posisi dengan koordinasi lebih rendah. Setelah dehidrasi, zeolit sangat stabil terhadap pemanasan dan tidak terdekomposisi di bawah 600°C. (Zeolit, 2010)

Kation–kation dan molekul–molekul air tidak termasuk kedalam kerangka aluminasilikat tapi mengisi rongga diantara rangka. Unit–unit pembentuk dari kerangka aluminasilikat sebagai inti dari zeolit adalah:

1. Unit Pembentuk Primer (TO₄)

Tetrahedron yang mengandung Si atau Al sebagai pusat atom. Pada keempat sudut tetrahedron terdapat masing–masing satu atom oksigen yang digunakan bersama-sama oleh dua tetrahedron yang berdekatan, dimana atom–atom oksigen tersebut mengelilingi pusat silika (Si) atau aluminium (Al) (Zamroni, 2002).



Gambar 2.5. Bentuk tetrahedron silika atau alumina

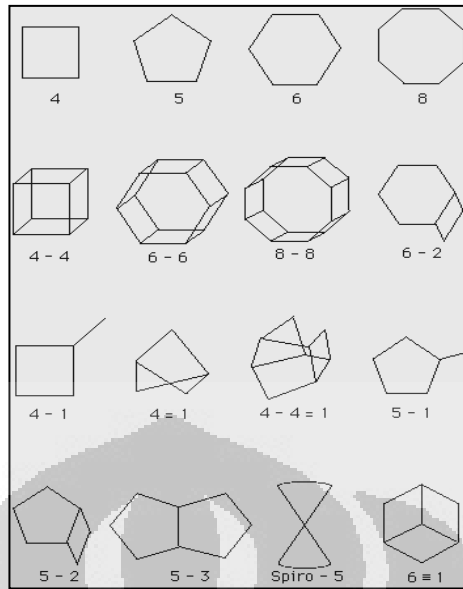
2. Unit Pembentuk Sekunder (Unit Bangun Sekunder/SBU)

Gabungan unit–unit pembentuk primer yaitu dengan cara menyusun atom–atom pusat sehingga membentuk sudut–sudut tertentu yang membagi atom–atom oksigennya.

3. Polihedron simetris,

yaitu dimana tiap unit pembentuk sekunder bergabung membentuk satu polihedron simetris yang arah pertumbuhannya sesuai dengan tiap–tiap bidang kristal unit pembentuk sekunder (Gambar 2.6). Polihedron simetris terbagi tiga jenis(Cheetham, 1992), yaitu:

- a) *Truncated octahedron* (T.O) atau unit *sodalite*
- b) *11-Hedron* atau unit *cancrinite*
- c) *14-Hedron* atau unit *gmelinite*



Gambar 2.6. Unit Pembentuk Sekunder

4. Struktur zeolit secara keseluruhan, merupakan gabungan polihedron-polihedron simetris sehingga membentuk jaringan rongga teratur ke segala arah, yang dapat terisi oleh kation-kation dan molekul air.

2.5.2. Jenis-jenis Zeolit

Menurut proses pembentukannya zeolit dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu zeolit alam dan zeolit sintesis.

a. Zeolit alam

Zeolit alam merupakan mineral yang terbentuk karena adanya proses perubahan alam (zeolitisasi). Di alam banyak dijumpai zeolit dalam lubang batuan lava dan dalam batuan sedimen terutama sedimenpiroklastik berbutir halus. Jenis zeolit di alam terdiri dari hampir 50 spesies, antara lain zeolit Klinoptilolit, Analsim, Kabasit, Erionit, Faujasit, Ferrierit, dan Heulandit. Pada proses pembentukannya, mineral zeolit yang terbentuk lebih dahulu adalah Klinoptilolit dan Filipsit yang merupakan mineral penurun bagi mineral zeolit yang lain. Di Indonesia jenis zeolit yang terbesar adalah Klipnotilotit dan Modenit.

Jenis dari zeolit alam tersebut dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

- Zeolit yang terdapat di antara celah-celah batuan atau di antara lapisan batuan.

Zeolit jenis ini terdiri dari beberapa jenis mineral zeolit bersama-sama dengan mineral lain seperti kalsit, kwarsa, renit, fluorit, mineral, dan sulfida.

- Zeolit yang berupa batuan

Jenis zeolit yang berbentuk batuan hanya sedikit, diantaranya adalah klinoptilolit, analsim, laumontit, mordenit, filipsit, erionit, kabasit dan heulandit.

Zeolit alam banyak ditemukan di India, Siprus, Jerman dan Amerika Serikat, sedangkan daerah di Indonesia yang diperkirakan mempunyai cadangan zeolit sangat besar dan berpotensi untuk dikembangkan, yaitu Jawa Barat dan Lampung.

b. Zeolit Sintesis

Zeolit sintesis merupakan hasil rekayasa manusia melalui proses kimia yang dibuat secara laboratorium ataupun dalam skala industri dan memiliki sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Sifat zeolit sangat tergantung dari jumlah komponen Al dan Si. Oleh sebab itu, zeolit sintesis dikelompokkan menjadi tiga jenis, berdasarkan perbandingan kadar komponen Al dan Si dalam zeolit, yakni :

- Zeolit Si

Zeolit ini sama sekali tidak mengandung sisi kation (Al), bersifat sangat hidrofilik-hidrofobik, sehingga dapat mengeluarkan atau memisahkan suatu molekul organik dari suatu campuran air.

- Zeolit dengan kadar Si rendah

Zeolit jenis ini kaya Al, dan memiliki pori-pori, komposisi serta saluran rongga optimum, sehingga memiliki nilai ekonomi tinggi karena sangat efektif untuk proses pemisahan atau pemurnian dalam skala besar.

- Zeolit dengan kadar Si tinggi

Sifat zeolit jenis ini sangat hidropilik dan akan menyerap molekul yang tidak polar dan baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon.

Pembuatan zeolit sintesis selalu didasarkan pada pemanfaatannya, dengan memodifikasi sifat-sifat zeolit dan memvariasikan rasio Si/Al. Berikut klasifikasi zeolit yang berdasarkan rasio Si/Al yang disajikan pada Tabel 2.5.

Pada zeolit berkadar Si rendah, akan menyebabkan daya pertukaran kation (*cations exchange*) yang maksimum. Zeolit dengan kadar Si sedang, daya tukar kationnya akan menjadi lebih rendah. Sedangkan untuk zeolit sintesis dengan kadar Si tinggi dapat digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon karena mampu menyerap molekul-molekul non polar. Zeolit dengan kadar silika 100% (zeolit silika) dapat memisahkan suatamolekul organik dari suatu campuran air (Ramo, 1984).

Tabel 2.5. Klasifikasi Zeolit Berdasarkan Rasio Si/Al

Rasio Si/Al	Zeolit
<i>Low</i> (1-1.5)	A,X
<i>Intermediate</i> (2-5)	a) Zeolit alam : Erionite, Khabasit, Klinoptilolit, Mordenit b) Zeolit sintesis : Y, L, mordenit dengan pori yang besar, omega
<i>High</i> (~10-∞)	ZSM-5 (<i>direct synthesis</i>) Erionit ^b Mordenit ^b Y ^b
<i>Silica Molecular Sieves</i>	Silicalite

b: zeolit yang mengalami modifikasi pada rangka secara termokimia

2.5.3. Sifat Zeolit

Sifat zeolit yang terpenting adalah sebagai penyerap yang selektif, penukar ion, dan mempunyai sifat katalisis yang tinggi. Sifat-sifat serapan zeolit dipengaruhi oleh muatan-muatan kation. Kation-kation ini terkoordinasi pada atom oksigen. Pada zeolit terhidrasi penuh, kation-kation mobil dapat diganti kation-kation lain tidak harus monovalen. Penggantian kation dengan kation lain yang berbeda ukurannya dan muatan listriknya dapat mempengaruhi ukuran pori-pori yang akhirnya mempengaruhi sifat-sifat serapannya. Perubahan sifat zeolit tergantung pada sifat-sifat dan ukuran kation, temperatur, tekanan, konsentrasi larutan, dan struktur zeolit. Kation-kation yang ada dalam zeolit mempengaruhi sifat fisiknya. Berikut adalah sifat-sifat zeolit antara lain :

a. Dehidrasi

Sifat dehidrasi zeolit akan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan akan efektif berinteraksi dengan molekul yang akan diadsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila unit sel kristal zeolit tersebut diaktifkan dengan jalan pemanasan.

b. Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation bila kristal zeolit dipanaskan pada suhu 300-400⁰C maka molekul air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Zeolit juga mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran dan kepolarannya, karena adanya pengaruh kutub antara molekul zeolit dengan zat tersebut. Molekul yang tidak jenuh atau memiliki kutub akan lebih mudah lolos daripada yang jenuh atau yang tidak berkutub. Selektivitas adsorpsi zeolit terhadap ukuran molekul tertentu dapat disesuaikan dengan

jalan: penukaran kation, dekationisasi, dealuminasi secara hidrotermal dan perubahan perbandingan kadar Si dan Al.

c. Pertukaran ion

Kemampuan zeolit sebagai penukar ion tergantung pada banyaknya kation tukar pada zeolit. Banyaknya kation tukar pada zeolit ditentukan oleh banyaknya kation Si^{4+} yang digantikan oleh kation yang bervalensi tiga atau lima. Pada zeolit alam kation Si^{4+} yang biasanya dapat digantikan oleh kation Al^{3+} , sehingga kapasitas tukar kation ditentukan oleh rasio Si/Al. Kation tukar pada zeolit dapat dipertukarkan dengan kation lain dari golongan logam alkali atau alkali tanah yang lain, karena kation tukar tidak terikat dalam rangka zeolit oleh empat atom oksigen seperti Si^{4+} dan Al^{3+} . Berikut contoh pertukaran kation:



Na adalah logam alkali. Selanjutnya NH_4 -Zeolit ini dapat membentuk H-Zeolit yang merupakan katalis asam. Berikut faktor – faktor yang mempengaruhi pertukaran ion:

- 1) *Ukuran Rongga Zeolit*, semakin besar ukuran rongga zeolit maka akan semakin besar pula kemampuan pertukaran ionnya.
- 2) *Rasio Si/Al*, semakin kecil rasio Si/Al maka kapasitas tukar kation zeolit akan semakin besar. Data kapasitas tukar kation dari beberapa jenis mineral zeolit berdasarkan ukuran pori dan rasio Si/Al terdapat pada Tabel 2.7. Sedangkan pada Tabel 2.6. dapat dilihat jenis reaksi pertukaran ion dengan kapasitas pertukaran ionnya (Dariyus, 2005).
- 3) *Volume Ion*, ukuran ion yang masuk dapat mempengaruhi laju dan jumlah pertukaran ion. Contoh: ion NH_4^+ akan mengalami pertukaran ion yang cukup lama karena ukuran molekulnya cukup besar dan hampir sama dengan ukuran rongga zeolit.
- 4) *Selektifitas Ion*, Setiap jenis-jenis zeolit pada umumnya memiliki urutan selektifitas ion yang berbeda-beda. Ion dengan selektifitas yang tinggi akan dengan mudah masuk kedalam rongga zeolit dibandingkan dengan ion yang selektifitasnya lebih rendah (Dariyus, 2005).

- 5) Temperatur, semakin tinggi temperatur maka akan semakin mempercepat laju pertukaran ion.

Tabel 2.6. Urutan Selektifitas ion pada beberapa jenis zeolit

Jenis Zeolit	Urutan Selektifitas
Analsim	$K^+ < Li^+ < Na^+ < Ag^+$
Khabasit	$Li^+ < Na^+ < K^+ < Cs^+$
Klinoptilolit	$Mg^{2+} < Ca^{2+} < Na^+ < NH_4^+ < K^+$
Heulandit	$Ca^{2+} < Ba^{2+} < Si^{4+} < Li^+ < Na^+ < Rb^+ < K^+$
Mordenit	$Li^+ < Na^+ < Rb^+ < NH_4^+ < K^+ < Cs^+$

Tabel 2.7. Data ukuran rongga, Si/Al, dan kapasitas tukar kation beberapa jenis zeolit

Jenis Zeolit	Ukuran Rongga (°A)	Si/Al	Kapasitas Tukar Kation (meq/g)
Analsim	2.6	4	4.9
Klinoptilolit	3.7 x 4.2	4	4.9
	4.0 x 5.5	10	2.6
Erionit	3.6 x 5.5	5	3.3
Ferririt	3.6 x 5.2	11	2.4
	3.4 x 4.6		
Mordenit	6.7 x 7.0	10	2.6
	2.9 x 5.7		
Filipsit	4.2 x 4.4	1.4	4.7
	4.3 x 4.0		

d. Katalis

Zeolit merupakan katalisator yang baik karena memiliki pori-pori yang besar dengan permukaan yang maksimum. Zeolit memiliki ciri paling khusus yang secara praktis akan menentukan sifat khusus di dalam mineral ini, yaitu adanya ruang kosong yang akan membentuk saluran di dalam strukturnya. Pada proses penyerapan atau katalisis, pemakaian zeolit akan mengakibatkan

difusi molekul ke dalam ruang bebas atau hampa di antara kristal sehingga dimensi dan lokasi saluran sangat penting dalam proses difusi tersebut.

Zeolit merupakan katalis yang efektif untuk proses alkilasi hidrokarbon, isomerisasi, dan perengkahan. Tiga sifat zeolit yang berperan dalam fungsinya sebagai katalis adalah penyaring molekul untuk menyeleksi pereaksi, hasil antara, dan produk akhir; pusat asam; dan rasio Si/Al. Zeolit dapat digunakan sebagai katalis untuk reaksi katalitik. Ciri paling khusus dari zeolit adalah ruang kosong yang membentuk saluran di dalamnya. Bila zeolit digunakan pada proses katalitik, akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas antar kristal dan reaksi kimia di permukaan saluran tersebut.

Zeolit dimanfaatkan sebagai katalis karena tersedianya pusat aktif dalam sistem pori katalis. Sistem pori ini berhubungan dengan sifat kristal dari zeolit. Zeolit dapat berfungsi sebagai katalis asam karena kationnya dapat dipertukarkan. Sebagai contoh, zeolit alam umumnya memiliki kation jenis alkali (misalnya Na^+), jika kation ini dipertukarkan dengan NH_4^+ yang diikuti pemanasan, maka pada permukaan zeolit akan terdapat ion H^+ . Secara katalitik, ion berfungsi sebagai pusat aktif (inti aktif).

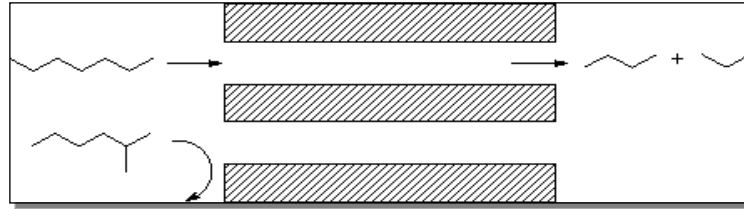
- Zeolit Sebagai Katalis Selektif Bentuk

Zeolit dimanfaatkan sebagai katalis didasarkan pada tersedianya pusat aktif dalam sistem pori katalis dan pori tersusun atas satu atau lebih ukuran yang seragam. Sistem pori ini berhubungan dengan sifat kristal zeolit. Ukuran pori yang sesungguhnya terbentuk dari struktur cincin pada praktiknya menjadi lebih kecil (bervariasi) dengan adanya kation-kation pada permukaan zeolit.

Selektifitas bentuk dari katalis dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

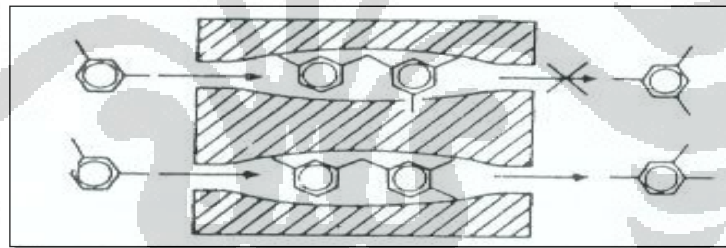
1. Selektifitas Reaktan, yaitu terjadi bila hanya sebagian dari reaktan yang hanya bisa menjangkau situs aktif didalam pori zeolit. Hal ini berarti hanya komponen-komponen reaktan yang selektif saja yang dapat masuk kedalam pori zeolit (Bathia, 1988). Sesuai dengan Gambar 2.7, maka berdasarkan selektifitas bentuk dari zeolit, hanya karbon dengan

rantai lurus saja yang dapat melewati pori-pori zeolit dan tidak untuk karbon berantai cabang.



Gambar 2.7. Rongga Selektif Reaktan

2. Selektifitas Produk, yaitu terjadi bila hanya produk reaksi yang berukuran tertentu yang dapat berdifusi keluar dari rongga zeolit. Produk yang lebih besar dari ukuran jendela pori-pori zeolit akan tinggal di dalamnya sehingga akan mendeaktivasi katalis atau dapat bereaksi lebih lanjut dan membentuk produk reaksi yang lebih kecil sehingga dapat keluar meninggalkan rongga zeolit (Bathia, 1988).



Gambar 2.8. Rongga Selektif Produk

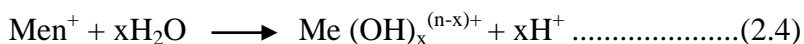
3. Selektifitas Keadaan Transisi. Selektifitas keadaan transisi terjadi bila reaksi-reaksi tertentu dapat dicegah karena keadaan transisi yang dibutuhkan oleh suatu reaksi tidak dapat dicapai dalam rongga zeolit. Misalnya membutuhkan ruang yang lebih besar daripada ruang yang ada rongga zeolit (Setyawan, 2003).

- Zeolit Sebagai Katalis Asam

Kemampuan zeolit untuk mengkatalisis suatu reaksi kimia berkaitan erat dengan sifatnya sebagai padatan asam dikarenakan adanya situs asam *Bronsted* dan *Lewis*, yaitu :

1) Pusat asam *Bronsted* adalah suatu spesies yang memberikan (mendonorkan) proton (H^+). Proton ini akan menempel pada atom-atom oksigen dalam rangka yang saling berikatan dengan atom-atom Si dan Al (Bathia, 1988). Asam Bronstead dapat dihasilkan dengan beberapa cara, diantaranya yaitu :

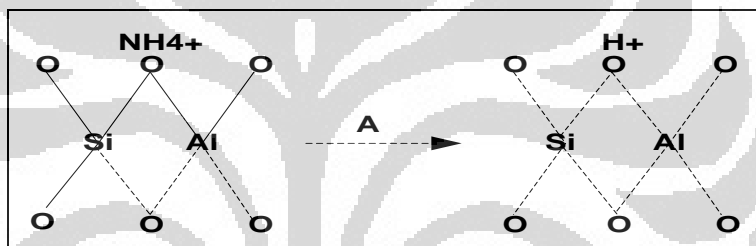
- Ionisasi H_2O oleh kation-kation *polivalent*.



- Perlakuan asam terhadap zeolit yang stabil akan secara langsung menukar kation dari zeolit dengan proton (H^+)



- Perlakuan panas terhadap bentuk ammonium zeolit untuk menghilangkan ammonia sehingga diperoleh H-zeolit.

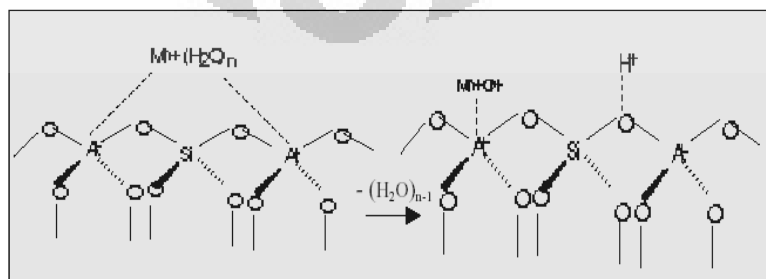


Gambar 2.8. Dekomposisi Termal Ion Amonium

- Reduksi logam dengan H_2 oleh kation-kation logam transisi dalam zeolit yang bertujuan untuk membentuk H-zeolit (HZ).



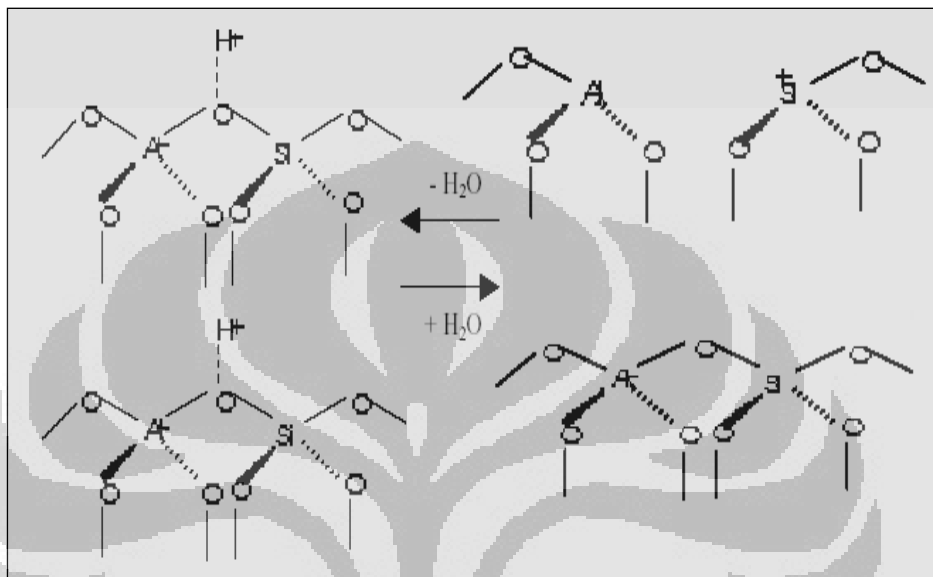
- Dehidrasi terhadap kation *multivalent* pada zeolit yang diikuti terdisosiasinya air yang terkoordinasi dalam bentuk molekul membentuk ion H^+ pada permukaan zeolit (Setyawan, 2002).



Gambar 2.9. Dehidrasi Terhadap Kation Multivalen pada Zeolit

2) Pusat asam *Lewis*.

Asam *Lewis* adalah suatu spesies yang dapat menerima sepasang elektron bebas yang dikombinasikan dengan zat kedua yang mempunyai sepasang electron bebas. Situs asam *Lewis* dapat diperoleh dari reaksi dehidroksilasi dua gugus hidroksil yang berdekatan dengan pengaruh perlakuan panas (Setyawan, 2002).



Gambar 2.10. Dehidroksilasi dua gugus hidroksil yang berdekatan pada temperatur lebih dari 477° C

Keasaman *Bronsted* dapat diubah menjadi keasaman *Lewis* dengan cara pemanasan pada suhu tinggi. Pada Gambar 2.10 dapat dilihat bahwa spesi Al mempunyai sisi yang dapat menerima sepasang elektron bebas sehingga bertindak sebagai asam *Lewis*. Sehingga zeolit yang telah mengalami tahap perlakuan asam dan pemanasan akan memiliki luas permukaan yang lebih besar dan dapat bertindak sebagai katalis atau penyangga katalis dengan kinerja yang lebih baik.

Sifat lain dari zeolit yang juga dapat mempengaruhi peranannya sebagai katalis adalah sebagai berikut :

1. Komposisi kerangka dan struktur pori zeolit
2. Kenaikan rasio Si/Al akan berpengaruh pada stabilitas zeolit terhadap temperatur tinggi dan lingkungan yang reaktif seperti naiknya keasaman.

3. Medan elektrostatis zeolit yang menyebabkan terjadinya interaksi adsorpsi zeolit dengan molekul lain menjadi berbeda-beda.
4. Perubahan struktur unit bangun sekunder (SBU) dari zeolit. Struktur pori zeolit sangat berperan penting dalam proses katalisis karena pori dalam hal ini berperan sebagai mikroreaktor untuk reaksi katalitik yang diinginkan sesuai dengan aturan selektifitas bentuk (Setiadi, 2005).
5. Ukuran kristal dan perubahan sifat morfologi yang dapat disesuaikan. Semakin besar ukuran kristal zeolit akan berakibat pada distribusi Al yang tidak merata pada permukaan kristal sehingga derajat keasamannya akan menurun.
6. Kemampuan penggabungan dengan logam maupun dengan logam yang kompleks. Partikel logam kompleks dengan ukuran yang kecil dan sesuai dengan ukuran pori atau saluran zeolit dapat dipertukarkan ke dalam zeolit dan akan memberikan sifat selektifitas tertentu pada zeolit.

e. Penyaring atau pemisah

Zeolit memiliki kemampuan untuk memisahkan berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk dan polaritas dari suatu molekul yang disaring. Zeolit dapat memisahkan suatu zat atau molekul gas dalam suatu campuran tertentu karena mempunyai ruang hampa yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam antara 2Å - 8Å , tergantung jenis zeolit. Volume dan ukuran garis tengah ruang hampa dalam kisi-kisi kristal menjadi dasar kemampuan zeolit untuk bertindak sebagai penyaring molekul.

2.5.4. Zeolit Klipnotilit

Pada penelitian ini digunakan zeolit jenis klipnotilit yang merupakan salah satu zeolit alam yang terbentuk dari sedimentasi vulkanik pada lingkungan danau dan perairan yang bersifat alkali selama jutaan tahun. Alasan pemilihan zeolit alam ini diantaranya sifat-sifatnya yang mendukung, dan jumlahnya berlimpah di Indonesia. Menurut data statistik dari Pusat Pengembangan Teknologi Mineral di Bandung tahun 1991, deposit zeolit alam

diperkirakan sekitar 120 juta ton dan tersebar di 46 lokasi, diantaranya Banyah, Tasikmalaya, Pacitan, Malang, dan Lampung (Elyana, 2000).

Klipnotilolit kaya akan silika dengan perbandingan Si/Al antara 4 sampai 10 dan mempunyai kerangka struktur tetrahedral $[SiO_4]^{4-}$ dan $[AlO_4]^{5-}$, dengan rumus molekul $Na_6[Al_6Si_{30}O_{72}] \cdot 24H_2O$ (Hasyim, 2011). Penggunaan zeolit klipnotilolit sebagai bahan penyangga telah dilaporkan pada impregnasi nanopartikel Au pada zeolit Klipnotilolit termodifikasi ligan sebagai adsorben sebagai absorben ion Pb(III) (Komalasari, 2009).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan (Hasyim, 2010) diperoleh luas permukaan zeolit Klipnotilolit sebesar $30,86 \text{ m}^2/\text{gram}$. Sedangkan untuk volume pori dan ukuran pori dari zeolit Klipnotilolit secara berurutan adalah $0,09 \text{ cc/gram}$ dan $11,34 \text{ nm}$. Katalis zeolit ini akan diimpregnasi ke dalam kristal besar Praseodimium oksida sehingga bagian permukaan zeolit akan banyak terisi oleh kristal besar dan akan menjadi lebih efektif. Selain itu juga, ukuran pori katalis zeolit tersebut menandakan bahwa ukuran pori zeolit termasuk ukuran mesopori, yaitu ukuran pori yang berkisar antara mikropori dan makropori, yaitu $3-50 \text{ nm}$. Dan setelah diimpregnasi maka ukuran pori zeolit tersebut akan bertambah dan penambahan ukuran pori tersebut dapat dikarakterisasi dengan *Surface Area Analyzer*.

2.5.5. Metode Aktivasi Zeolit

Aktivasi zeolit perlu dilakukan untuk meningkatkan mutu dan mendapatkan sifat-sifat zeolit yang diinginkan agar dapat dimanfaatkan dan sesuai dengan proses katalitik yang akan melibatkannya. Pada penelitian ini akan dilakukan aktivasi terhadap zeolit alam Klipnotilolit dengan metode sebagai berikut:

a. Pertukaran Ion

Pertukaran ion adalah suatu proses dimana kation yang berada dalam sistem pori suatu zeolit akan dipertukarkan dengan kation lain yang bersumber dari larutan. Larutan dan zeolit akan mencapai suatu kesetimbangan yang sesuai dengan persamaan berikut :



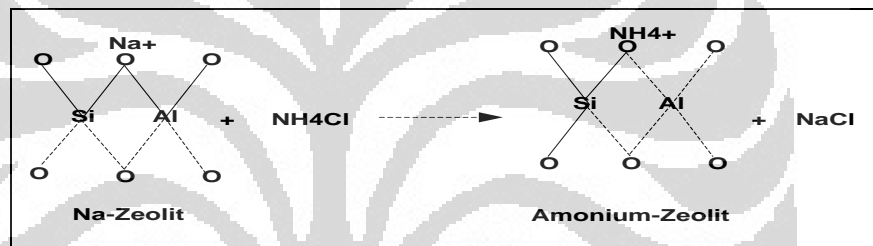
Keterangan :

A dan B : kation yang dipertukarkan

Za dan Zb : muatan masing-masing kation

Z dan S : zeolit dan larutan

Pertukaran kation akan berlangsung secara sempurna apabila konsentrasi larutan yang digunakan cukup besar dan pada temperatur yang cukup tinggi. Untuk keperluan proses reaksi katalitik dari senyawa ABE yang diinginkan adalah katalis zeolit yang bersifat asam maka digunakan larutan Ammonium klorida (NH_4Cl), yaitu pertukaran ion NH_4^+ yang berasal dari larutan NH_4Cl dengan kation-kation logam yang terdapat didalam pori-pori zeolit. Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada persamaan reaksi dibawah ini :



Gambar 2.11. Reaksi Pembentukan NH_4 -Zeolit

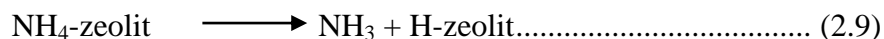
Setiap jenis mineral zeolit memiliki selektifitas pertukaran ion yang berbeda-beda (Tabel 2.6) semakin besar nilai koefisien selektifitas suatu ion maka akan semakin besar juga kecenderungannya untuk diserap oleh penukar ion. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah:

- Struktur terbentuknya zeolit sehingga akan mempengaruhi besarnya ukuran rongga yang terbentuk.
- Mobilitas ion yang dipertukarkan.
- Pengaruh difusi ion kedalam larutan.

b. Kalsinasi

Kalsinasi merupakan suatu perlakuan panas terhadap zeolit pada temperatur yang relatif tinggi dalam furnace. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan zat organik yang dikandung zeolit, juga untuk

menguapkan amoniak zeolit sehingga diperoleh H-zeolit. Mekanismenya adalah sebagai berikut:



dimana Na adalah kation (umumnya logam alkali). Persamaan 2.8 merupakan hasil dari pertukaran ion, yaitu antara Na-zeolit dengan larutan NH_4OH , sedangkan Persamaan 2.9 merupakan proses kalsinasi untuk memperoleh H-Zeolit. Pada proses kalsinasi ini terjadi penyusunan kembali alumina silika yang tidak stabil menjadi bentuk yang lebih stabil dan menghasilkan susunan kristal yang lebih baik.

2.6. Katalis

Katalis adalah suatu senyawa kimia yang menyebabkan reaksi menjadi lebih cepat untuk mencapai kestimbangan tanpa mengalami perubahan kimiawi diakhir reaksi. Katalis tidak mengubah nilai kesetimbangan dan berperan dalam menurunkan energi aktivasi. Dalam penurunan energi aktivasi ini, maka energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya tumbukan berkurang sehingga terjadinya reaksi berjalan cepat.

Katalis yang diharapkan pada penelitian ini adalah katalis heterogen yang tepat dan selektif dalam merengkah senyawa hidrokarbon rantai panjang pada gasolin, sehingga dapat menaikkan bilangan oktana. Selain itu juga diharapkan dapat mengurangi polutan dari gas buangan kendaraan sehingga aman bagi lingkungan sekitar.

2.6.1. Sifat Katalis

Katalis pada umumnya mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (Leach, 1983):

a. Selektifitas

Definisi selektifitas adalah daya produksi atau kemampuan katalis dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan yang dikehendaki. Hal ini terjadi karena satu zat yang berperan dalam suatu proses dapat juga menjadi

penghambat pada proses lainnya, sehingga perlu diteliti setiap bagiannya dengan katalis.

b. Stabilitas

Makna stabil ini menunjukkan kemampuan menghadapi senyawa toksik yang mungkin dapat merusak kinerja dari katalis itu sendiri.

c. Umur

Umur katalis menunjukkan rentang waktu bagi katalis untuk bertahan pada level yang mencukupi sesuai kinerja katalis yang diinginkan.

d. Aktifitas

Suatu katalis memiliki keaktifan masing-masing yang berbeda dalam mengubah bahan baku menjadi produk. Keaktifan ini didapat dari kombinasi bahan kimia dan bahan mineralogi, sehingga dapat dikerhau katalis tersebut aktif dalam melakukan proses katalis disertai dengan produk baru yang diinginkan

e. Kekuatan mekanik

Kekuatan mekanik merupakan suatu kondisi yang harus dimiliki katalis sehingga bila proses menghendaki tekanan dan temperatur tinggi katalis itu dapat digunakan.

f. Kemudahan regenerasi

Sifat mudah diregenerasi harus dimiliki oleh katalis sehingga pada saat katalis dioperasikan gangguan yang terjadi dapat diminimumkan.

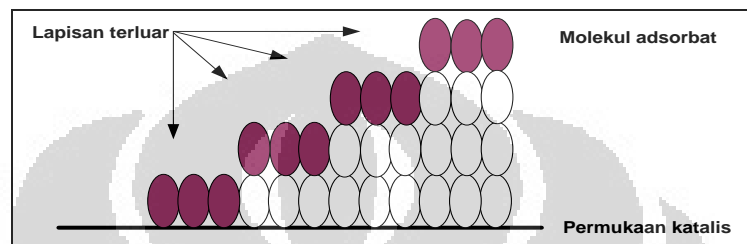
2.6.2. Karakterisasi Katalis

Karakterisasi katalis perlu dilakukan agar dapat diketahui perbedaan sifat fisik maupun kimia pada katalis sebelum ataupun setelah reaksi. Pada penelitian ini, karakterisasi katalis dilakukan dengan menggunakan metode BET untuk mengetahui luas permukaan katalis, XRD untuk mengukur kristalinitas katalis, uji ukuran partikel dan uji keasaman katalis.

a. Luas Permukaan

Metode BET digunakan untuk mengetahui penambahan luas permukaan zeolit setelah dilakukan perlakuan asam, pertukaran ion, dan impregnasi

Praseodimium oksida-EDTA dan pengaruh dilakukannya ultrasonik (Darius, 2005). Metode BET didasarkan pada penentuan volume molekul yang teradsorp secara fisika setebal satu lapis molekul (*monolayer*) pada permukaan katalis (V_m). Asumsi yang digunakan pada teori BET ini adalah adsorpsi berlapis banyak (*multilayer*), V_m yang dihitung adalah jumlah volume lapisan terluar.



Gambar 2.12. Permukaan Katalis yang Tertutupi Adsorbat

Berikut persamaan BET yang digunakan :

$$\frac{\left(\frac{P}{P_o}\right)}{V\left(1-\frac{P}{P_o}\right)} = \frac{1}{C.V_m} + \left[\frac{(C-1)}{C.V_m}\right]\left(\frac{P}{P_o}\right) \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

P : Tekanan gas saat adsorpsi

P_o : Tekanan jenuh adsorbat gas pada temperature percobaan

V : Volume gas yang diadsorp pada tekanan P

V_m : Volume gas yang diadsorp untuk lapisan tunggal (monolayer)

C : Konstanta sebagai fungsi eksponensial dari panas adsorpsi dan panas pencairan.

$$C = \exp \frac{(Q_a - Q_p)}{R} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Q_a : Panas adsorpsi pada lapisan pertama

Q_p : Panas pencairan gas pada lapisan yang lainnya

Gas yang digunakan untuk metode BET ini adalah gas yang mudah terkondensasi, mempunyai ukuran molekul kecil

seperti nitrogen (N_2). Temperatur yang digunakan pada saat pengukuran adsorpsi *isotherm* adalah 77 K (-196°C) dengan nitrogen cair.

b. Kristalinitas dengan Difraksi Sinar-X

Difraksi pada dasarnya disebabkan oleh adanya hubungan fasa tertentu antara dua penggerak atau lebih sehingga paduan dua gelombang tersebut bisa saling menguatkan atau saling melemahkan.

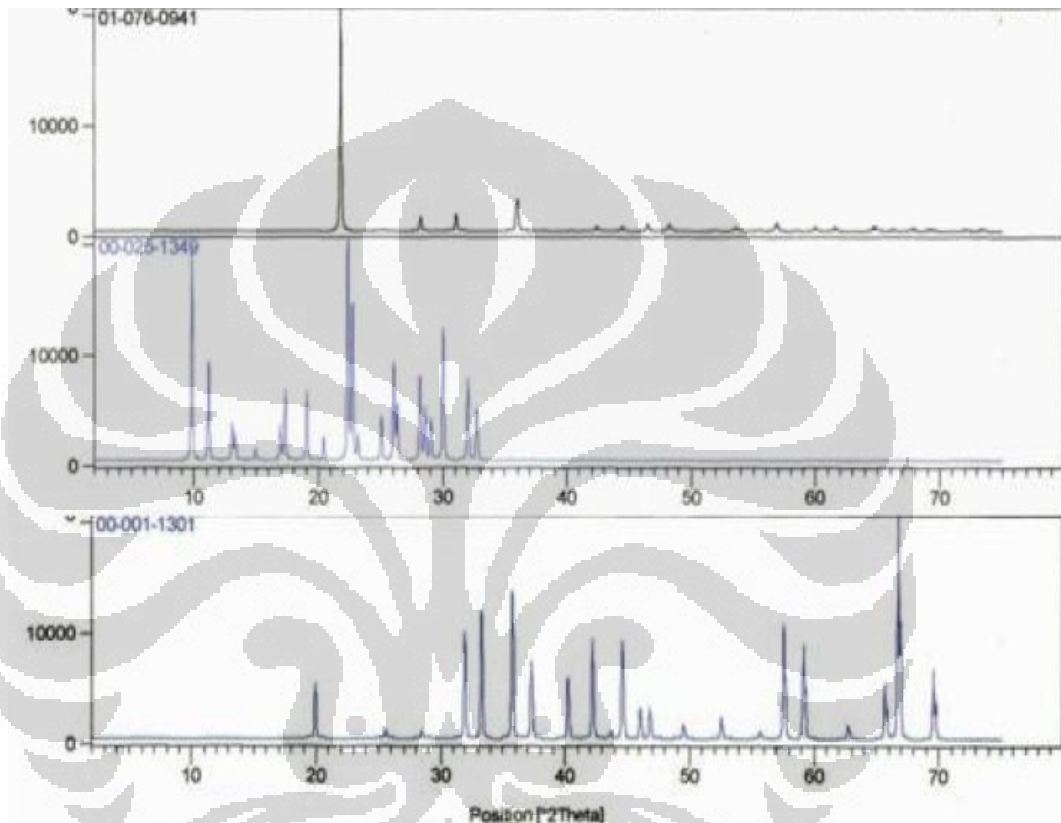
Difraksi sinar-X (X-Ray Diffraction) untuk bahan berwujud serbuk adalah metode yang penting untuk karakterisasi kualitatif dan kuantitatif karena pola umum difraksi sinar-X untuk zeolit khas dan mudah dikenal. Pola difraksi bubuk zeolit adalah plot intensitas sinar difraksi yang menyatakan indeks Miller (hkl) sebagai fungsi 2θ dimana θ adalah sudut difraksi :

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots(2.12)$$

d adalah jarak antar bidang kristal dan λ adalah panjang gelombang sinar X. Jarak bidang kristal (d) atau indeks Miller menentukan unit sel kristal.

Secara umum hasil yang diperoleh dari metode XRD adalah analisis kualitatif. Pengukuran intensitas dari difraksi sinar x menggunakan skala realtif. Penentuan kristalinitas atau sering disebut sebagai “%kristalinitas” pada dasarnya adalah membandingkan intensitas yang diperoleh dari suatu sampel dengan intensitas sampel standar. Penentuan ini menjadi lebih mudah dengan jalan merata-rata tinggi dari beberapa puncak dominan, kemudian dibagi rata-rata tinggi peak sampel standar yang dianggap mempunyai kristalinitas 100%.

Berikut adalah Gambar 2.13, yaitu difraktogram Standar SiO_2 , Standar Klipnotilolit dan Standar Al_2O_3 .



Gambar 2.13. Difraktogram Standar SiO₂, Standar Klipnotilolit dan Standar Al₂O₃
(berurutan dari atas ke bawah)

c. Komposisi Kimia (SEM-EDS)

Alat ini terbagi menjadi dua bagian fungsi yang berbeda, yaitu EDS dan SEM. Uji EDS ini dapat membaca suatu permukaan sampel dengan suatu alat pembaca elektron (5-50kV) sehingga dapat mengetahui komposisi logam-logam yang ada di dalam zeolit, dalam hal ini terutama untuk mengetahui rasio Si/Al. Jika rasio Si/Al meningkat, maka zeolit akan lebih stabil terhadap suhu tinggi.

Sedangkan uji SEM dilakukan terhadap jenis zeolit berupa katalis Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif. Tujuan uji SEM adalah untuk

mengukur kehomogenan pembentukan ukuran partikel dari sintesis yang dilakukan. Selain itu, uji SEM dapat memberikan data nilai ukuran partikel katalis. Uji SEM menghasilkan foto partikel katalis yang diperoleh dengan perbesaran gambar untuk pengamatan katalis yang dikarakterisasi. Pengolahan data uji SEM dilakukan dengan mengukur panjang partikel yang terdapat di foto dengan menggunakan penggaris. Selanjutnya, ukuran yang diperoleh dibandingkan dengan skala yang terdapat di bagian bawah foto sehingga diperoleh nilai ukuran partikel.

d. Karakterisasi FTIR

Karakterisasi infra merah dilakukan untuk mengetahui struktur dan jenis ikatan serta sifat-sifat permukaan katalis dan gasolin. Metode FTIR dapat digunakan untuk analisis kualitatif, dengan mendeteksi ikatan-ikatan kovalen yang ada di dalam suatu senyawa. Karena hampir setiap senyawa yang memiliki ikatan kovalen baik organik maupun anorganik mengadsorp energi gelombang dari radiasi elektromagnetik di daerah spektrum unfra merah yaitu pada sekitar panjang gelombang 2,5-1,5 μm .

Energi yang diadsorb dari radiasi infra merah akan digunakan oleh ikatan molekul untuk menaikkan energi vibrasi dari ikatan tersebut. vibrasi dilakukan suatu ikatan adalah vibrasi ulur (*stretch vibration*) dan tekuk (*bend vibration*). Setiap suatu ikatan kovalen akan menyerap radiasi infra merah pada panjang gelombang tertentu untuk menaikkan energi vibrasinya. Perbedaan radiasi saat sinar infra merah masuk dan keluar sampek dideteksi dan hasilnya merupakan spektrum absorbansi atau transmitansi. Identifikasi struktur dari setiap perlakuan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.8 (John Coates, 2000).

Tabel 2.8. Identifikasi daerah serapan pada FTIR

Panjang gelombang (cm⁻¹)	Daerah serapan
3570 – 3200	<i>Hydroxy group, H-bonded OH stretch</i>
3640 - 3530	<i>Phenols, OH stretch</i>
3400 – 3200	<i>Normal “polymeric” OH stretch</i>
3550 – 3450	<i>Dimeric OH stretch</i>
3645 – 3630	<i>Primary alcohol, OH stretch</i>
3635 – 3620	<i>Secondary alcohol, OH stretch</i>
3500 – 3250	<i>Ikatan NH, NH₃, =NH, NH₄⁺ (Hatch, 1981)</i>
2970 – 2950/2880 – 2860	<i>Asymetric stretch, C-H</i>
2900 – 2880	<i>Methyne C-H stretch</i>
1615 – 1580	<i>Aromatic ring stretch, C=C-C</i>
1510 - 1450	
1690 – 1675 / 1650 – 1600	<i>Ketone</i>
1350 – 1260	<i>Primary or secondary, OH bend</i>
1410 – 1310	<i>Phenol or tertiary alcohol, OH bend</i>
720 – 590	<i>Alcohol, OH out of plane bend</i>
1250 – 900	<i>Asymetric stretch, O-Si-O or O-Al-O (daerah utama zeolit)</i>
900 – 670	<i>Aromatic C-H, out of plane bend</i>
770 – 730 + 710 – 690	<i>Monosubstitution (phenyl)</i>
770 – 735	<i>1,2- Disubstitution (ortho)</i>
810 – 750 + 900 – 860	<i>1,3- distributitition (meta)</i>
860 – 800	<i>1,40 Distribution (para)</i>
680 – 850	<i>Symmetric stretch, O-Si-O or O-Al-O (daerah utama zeolit)</i>
610 – 580	<i>Double ring(daerah utama zeolit)</i>

2.6.3. Penggolongan Katalis

Katalis dapat digolongkan berdasarkan fasa katalis, reaktan, dan produk hasil reaksi, sbagai contohnya adalah katalis heterogen dan katalis homogen.

Penggolongan ini berdasarkan pada fasa katalis yaitu :

a. Katalis heterogen

Katalis yang berbeda fasa dengan reaktan dan produk reaksinya. Katalis jenis ini memiliki pusat aktif yang tidak seragam dan tidak semua bagian permukaan padatannya berfungsi sebagai pusat aktif. Pusat aktif katalis heterogen berada pada permukaan pori-pori padatan. Katalis jenis ini berfungsi untuk melakukan proses rengkahan hidrokarbon.

b. Katalis homogen

Katalis yang berfasa sama dengan reaktan. Katalis ini memiliki aktivitas dan selektivitas tinggi karena setiap molekul katalis bersifat aktif sebagai katalis yang tidak mudah teracuni oleh adanya sedikit kotoran.

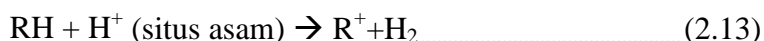
Berikut adalah Tabel perbandingan elemen katalis homogen dan heterogen, yaitu :

Tabel 2.9. Perbandingan Elemen Katalis Homogen dan Heterogen

Elemen katalis	Homogen	Heterogen
Pusat aktivitas	Semua atom memiliki reaktivitas	Hanya atom-atom pada permukaan partikel
Konsentrasi yang dibutuhkan	Rendah	Tinggi
Selektifitas	Tinggi	Rendah
Sifat difusi	Secara praktiknya tidak ada (kinetika yang mengendalikan jalannya reaksi)	Ada (perpindahan massa mempengaruhi jalannya reaksi)
Suhu reaksi	50-200 °C	>250 °C
Penggunaan	Spesifik	Luas
Struktur/stoikiometri	Mudah ditentukan	Sulit ditentukan
Kemungkinan modifikasi	Tinggi	Rendah
Daya tahan suhu	Rendah	Tinggi
Teknik pemisahan	Distilasi, ekstraksi,	Suspensi, filtrasi,

2.7. Mekanisme Reaksi Perengkahan Katalitik (*Cracking*)

Reaksi yang terjadi pada perengkahan katalitik cukup rumit. Katalis asam akan menyebabkan pembentukan karbokation. Karbokation merupakan atom karbon yang bermuatan positif pada suatu rantai hidrokarbon. Karbokation ini kemudian akan membentuk senyawa yang lebih stabil. Ciri-ciri umum perengkahan yaitu melibatkan bentuk ion karbonium (Rahma, dkk, 2002) :



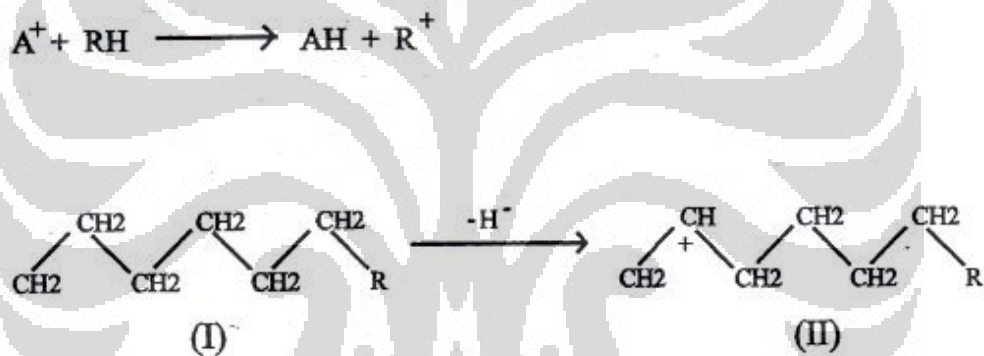
dengan R = alkil dan R⁺ = ion karbonium

Reaksi perengkahan hidrokarbon oleh katalis zeolit berlangsung melalui beberapa tahap reaksi sebagai berikut :

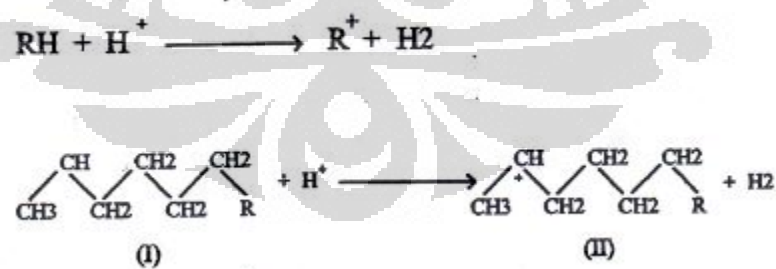
- Inisiasi
- β – Scission
- Isomerisasi
- Transfer hidrogen
- Eliminasi

2.7.1. Inisiasi

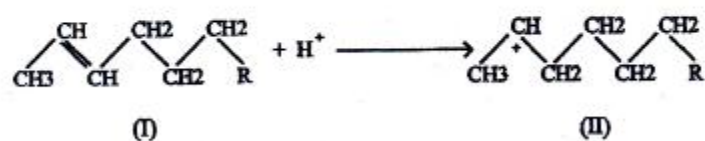
Reaksi inisiasi adalah reaksi pembentukan ion karbonium (II) dari paraffin (I). Ada dua kemungkinan terjadinya reaksi inisiasi, yaitu melalui abstraksi ion hidrida dari sisi asam Lewis (gambar 2.14) dan serangan proton dari sisi asam Bronstead yang dapat dilakukan terhadap senyawa hidrokarbon jenuh maupun tak jenuh (gambar 2.15)



Gambar 2.14. Reaksi inisiasi oleh asam Lewis



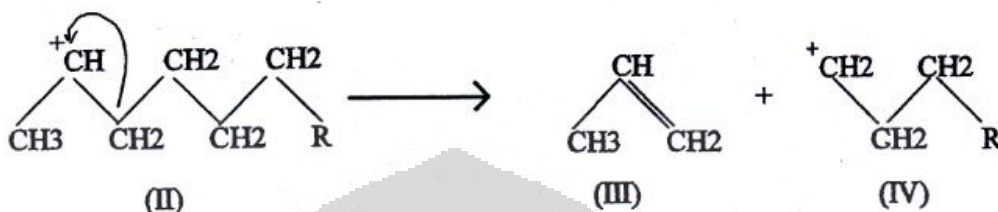
atau :



Gambar 2.15. Reaksi inisiasi oleh asam Bronstead

2.7.2. β - Scission

Reaksi β - Scission adalah reaksi pemutusan ikatan C-C dan menghasilkan molekul Olefin (III) dan ion karbonium (IV) dengan rantai lebih pendek (gambar 2.16)



Gambar 2.16. Reaksi β - Scission

2.7.3. Isomerisasi

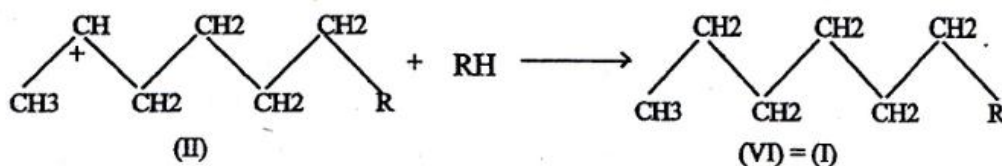
Terjadinya isomerisasi disebabkan oleh adanya ion karbonium yang dapat mengalami perpindahan hibrida, alkil, atau aril. (gambar 2.17)



Gambar 2.17. Reaksi Isomerisasi

2.7.4. Transfer Hidrogen

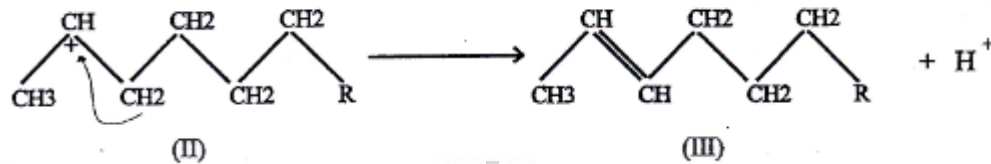
Reaksi ini merupakan pendistribusian kembali hidrogen oleh zeolit dan dihasilkan molekul netral.



Gambar 2.18. Reaksi Transfer Hidrogen

2.7.5. Eliminasi

Terjadi penghentian reaksi dimana ion karbonium dilepaskan dari sisi aktif menjadi olefin.

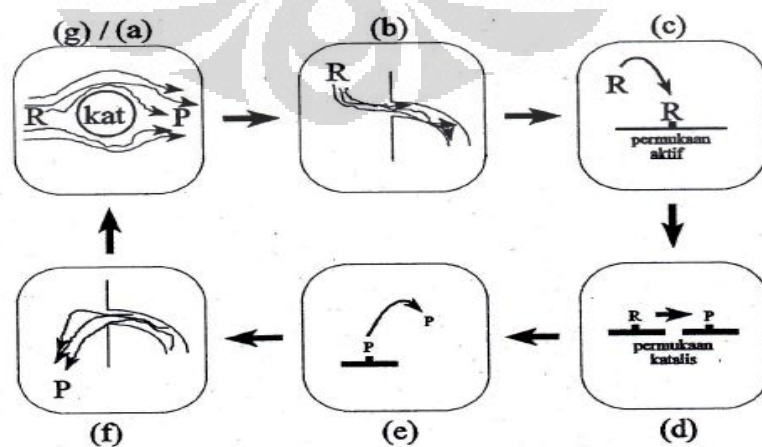


Gambar 2.19. Reaksi Eliminasi

2.8. Mekanisme Reaksi Katalitik Heterogen

Reaksi katalitik heterogen terjadi pada permukaan aktif katalis. Mekanisme reaksi katalitik dengan menggunakan katalis padat mengikuti tahap-tahap sebagai berikut :

- Difusi eksternal : reaktan (R) berdifusi ke permukaan luar katalis
- Difusi internal : reaktan (R) berdifusi ke dalam rongga-rongga/pori –pori katalis menuju permukaan aktif
- Adsorpsi : reaktan (R) terserap secara kimia ke permukaan aktif
- Reaksi permukaan : terjadi reaksi pada sisi aktif, reaktan terkonversi menjadi produk (P)
- Desorpsi : produk reaksi (P) terlepas dari permukaan aktif
- Difusi internal : produk (P) berdifusi di dalam rongga-rongga/ pori-pori
- Difusi eksternal : produk reaksi (P) berdifusi ke permukaan katalis



Gambar 2.20. Mekanisme Katalitik Heterogen

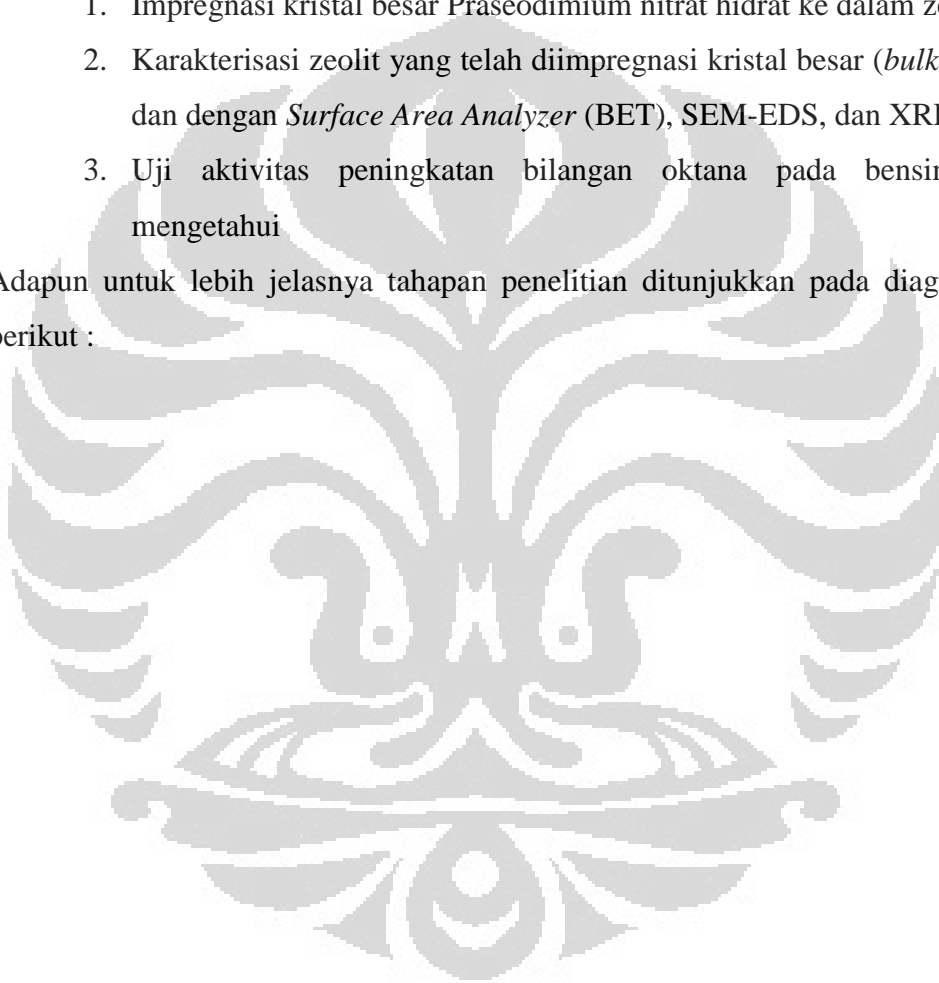
BAB 3 METODE PENELITIAN

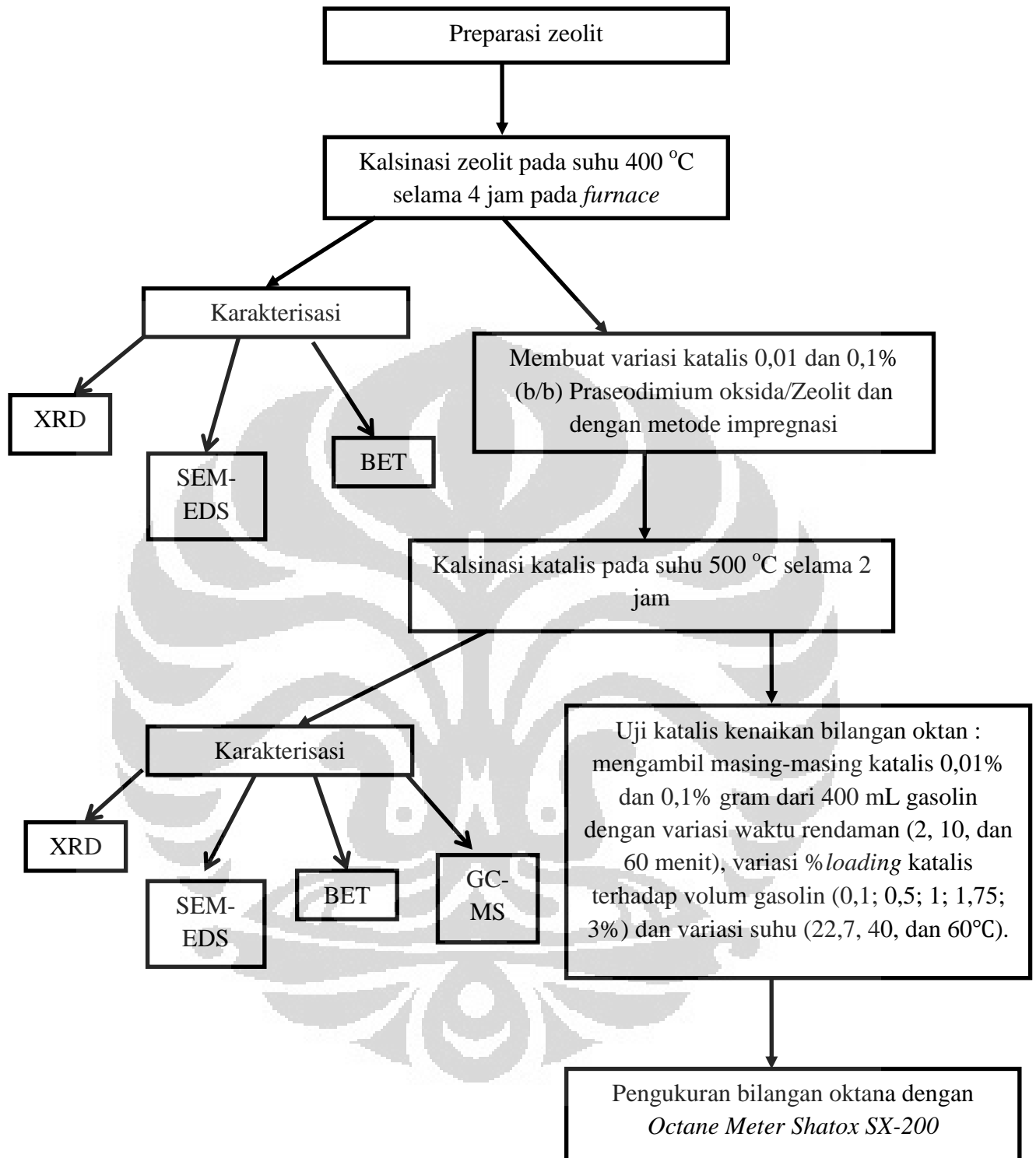
3.1. Tahapan Penelitian

Secara garis besar prosedur penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa tahap, yaitu :

1. Impregnasi kristal besar Praseodimium nitrat hidrat ke dalam zeolit.
2. Karakterisasi zeolit yang telah diimpregnasi kristal besar (*bulk crystal*) dan dengan *Surface Area Analyzer* (BET), SEM-EDS, dan XRD.
3. Uji aktivitas peningkatan bilangan oktana pada bensin, serta mengetahui

Adapun untuk lebih jelasnya tahapan penelitian ditunjukkan pada diagram alir berikut :





Gambar 3.1. Skematik Preparasi Katalis Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit dan Karakterisasinya (Kusrini, 2011)

3.2. Variabel Penelitian

Variabel bebas dari kondisi operasi yang divariasikan pada penelitian ini adalah

1. Suhu reaksi yaitu 27,7; 40, dan 60 °C.
2. Interval waktu rendaman katalis ke dalam gasolin, yaitu 2, 10, dan 60 menit.

Sedangkan, parameter yang ingin diketahui pada berbagai kondisi operasi atau sebagai variabel terikat pada penelitian ini adalah bilangan oktana.

3.3. Peralatan dan bahan

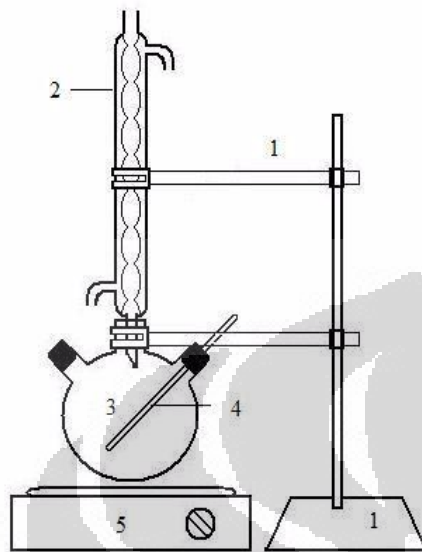
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| a. <i>Glass slide</i> | j. termometer |
| b. Timbangan analitik | k. Magnetic stirrer |
| c. Mikropipet (10-1000 μ L) | l. Tabung sentrifuge |
| d. Tabung reaksi 10 mL | m. Alat sentrifuge |
| e. Mortar | n. SEM-EDS |
| f. Desikator | o. BET |
| g. Oven | p. XRD |
| h. <i>Vortex</i> | q. GC-MS |
| i. <i>Furnace</i> | r. <i>Octane number SHATOX SX200</i> |
| j. <i>Hot plate</i> | |

Sedangkan bahan – bahan yang digunakan antara lain :

- a. Garam Praseodimium Nitrat Hidrat
- b. Larutan NaOH 0,05 M
- c. Larutan HCl 0,05 M
- d. Larutan NH₄OH 0,05 M
- e. Larutan NaCl jenuh
- f. Zeolit Klipnotilolit
- g. Air demin
- h. Gasoline Premium PT PERTAMINA

Berikut adalah skema alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :



Gambar 3.2. Susunan Perangkat Kondenser

Keterangan:

1. statif dan klem
2. kondenser
3. labu leher tiga
4. termometer
5. *hot plate*

3.4. Prosedur Penelitian dan Analisis

3.4.1 Aktivasi Zeolit Klipnotilolit

Aktivasi zeolit klipnotilolit berdasarkan :

1. Secara fisika : dengan penambahan aquades dengan perbandingan 1 : 3, kemudian distirer selama 1 jam pada temperatur 60°C. Koloid yang terbentuk diambil, lalu didekantasi untuk memisahkan pelarutnya. Lalu koloid dicuci dengan awuades, dan dikeringkan pada temperatur 105°C selama 6 jam.

2. Secara kimia dilakukan dalam 2 tahap, yaitu :

- Zeolit yang sudah diaktivasi secara fisika ditambahkan HCL 0,05 M dan distirrer selama 1 jam pada temperatur 60°C, dan setelah itu zeolit didekantasi dan dikeringkan pada temperatur 70°C.
- Tahap selanjutnya zeolit yang sudah kering tersebut ditambahkan NaOH 0,05 M dan distirrer selama 1 jam pada temperatur 60°C, dan setelah itu zeolit didekantasi dan dikeringkan pada temperatur 70°C.
- Setelah itu zeolit ditambahkan larutan NaCl jenuh dan distirrer selama 1 jam pada temperatur 60°C, dan setelah itu zeolit didekantasi dan dikeringkan pada temperatur 70°C.
- Kemudian ditambahkan aquades dan NH₄OH 0,05 M dan distirrer selama 1 jam pada temperatur 60°C, dan setelah itu zeolit didekantasi dan dikeringkan pada temperatur 70°C.

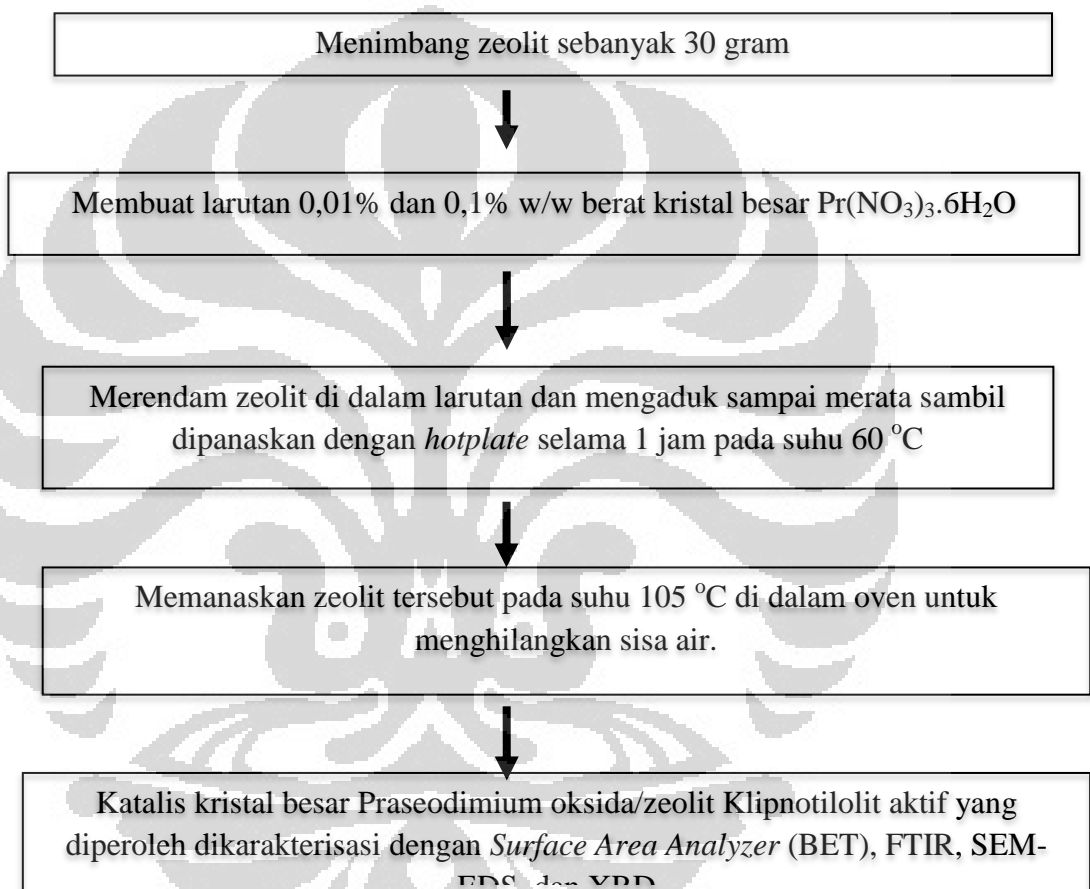
3.4.2. Impregnasi kompleks Praseodimium oksida-EDTA ke dalam zeolit aktif

- a. Menimbang zeolit 1 gram dan dibuat larutan 0,1% w/w kristal besar kompleks Praseodimium oksida-EDTA.
- b. Zeolit direndam di dalam larutan dan aduk selama 1 jam sambil dipanaskan dengan *hot plate* pada suhu 60°C
- c. Memasukkan zeolit dalam alat sentrifuge dan disentrifuge dengan kecepatan 2000 selama 10 menit.
- d. Setelah itu memasukkan zeolit ke dalam oven 110°C untuk menghilangkan sisa air.
- e. Memperoleh katalis Praseodimium oksida-EDTA/Zeolit Klipnotilolit aktif

3.4.3. Impregnasi kompleks Praseodimium nitrat heksahidrat ke dalam zeolit aktif

- a. Menimbang masing-masing zeolit sebanyak 30 gram untuk variasi katalis 0,01 dan 0,1% w/w Praseodimium oksida/Zeolit Klipnotilolit Aktif

- b. Zeolit direndam di dalam larutan dan aduk selama 1 jam sambil dipanaskan dengan *hot plate* pada suhu 60°C
 - c. Setelah itu zeolit didekantasi dan dimasukkan ke dalam oven 110°C untuk menghilangkan sisa air.
 - d. Memperoleh katalis Praseodimium oksida/Zeolit Klipnotilolit aktif
- Berikut adalah diagram alir cara impregnasi kristal besar kompleks garam Praseodimium Nitrat hidrat ke dalam zeolit Klipnotilolit :



Gambar 3.3. Skematik Impregnasi Praseodimium oksida ke dalam zeolit Klipnotilolit (Hasyim, 2011)

3.4.4. Uji Aktivitas Peningkatan Bilangan Oktana Pada Gasolin

- a. Menimbang variasi berat katalis yaitu 0,1%, 0,5%, 1%, 1,75%, dan 3% dari volume 300 mL untuk reaksi pada gasolin
- b. Memasukkan katalis kristal besar Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit ke dalam 300 ml gasolin

- c. Kemudian diaduk dengan stirer dengan variasi waktu 2, 10, dan 60 menit, serta dengan variasi suhu 27,7 40, dan 60 °C
- d. Setelah itu, menyaring endapan dengan menggunakan kertas saring whatman no. 41
- e. Filtrat yang telah disaring dimasukkan ke dalam alat pengukur bilangan oktana *Octane Meter SHATOX SX-200*
- f. Menunggu hasil pembacaan bilangan oktana dari alat tersebut
- g. Bensin hasil saringan dianalisis dengan menggunakan GCMS.

Di bawah ini adalah contoh alat pengukur bilangan oktana yang digunakan, yaitu :



Gambar 3.4. Alat Pengukur Bilangan Oktana

3.5. Perolehan Data dan Analisis

- 3.5.1 Karakterisasi katalis sebelum dan sesudah diimpregnasi kristal besar menggunakan alat *Surface Area Analyzer* (BET), XRD, dan SEM-EDS.
- 3.5.2 Pengukuran bilangan oktana gasolin dilakukan dengan menggunakan alat *Octane Meter SHATOX SX-200*
- 3.5.3 Analisis Produk Rengkahan

Analisis produk rengkahan (CHH) menggunakan alat *Gas Chromatography and Mass Spectroscopy* (GC-MS). Perhitungan konversi dan selektivitas hidrokarbon C₄-C₆, C₇-C₈ dan C₁₁-C₁₂

menggunakan persamaan yang diajukan oleh Arroyo,dkk pada tahun 2000.

- Konversi hidrokarbon C₄-C₆, C₇-C₈ dan C₁₁-C₁₂ :

$$X_i = \frac{F_i^o - F_i}{F_i^o} \dots\dots\dots(3.1)$$

- Selektivitas produk rengkahan C₄-C₆, C₇-C₈ dan C₁₁-C₁₂:

$$S_i = \frac{F_i - F_i^o}{\sum F_i - \sum F_i^o} \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana $\sum F_i - \sum F_i^o$ untuk $F_i > F_i^o$.

Keterangan :

CHH = produk hasil rengkahan

X_i = konversi komponen ke – i fraksi gasolin

S_i = Selektivitas komponen ke – i

F_i^o = luas area kromatogram komponen ke-i dari gasolin murni

F_i = luas area kromatogram komponen ke – i dari CHH

3.5.4 Karakterisasi gasolin setelah penambahan katalis dengan GC-MS

3.6 Pelaksanaan Penelitian

Keseluruhan penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam (RPKA), Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Metode Aktivasi Zeolit

Aktivasi zeolit perlu dilakukan untuk meningkatkan mutu dan mendapatkan sifat-sifat zeolit yang diinginkan agar dapat dimanfaatkan dan sesuai dengan proses katalitik yang akan melibatkannya. Zeolit alam biasanya mengandung kation K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+} , sedangkan zeolit sintetis biasanya hanya mengandung kation K^+ atau Na^+ (Muthia,2010). Pada zeolit alam, adanya molekul air di dalam pori dan oksida bebas di permukaan, seperti Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalitik dari zeolit tersebut (Vino, 2010). Hal ini merupakan alasan perlunya kegiatan aktivasi zeolit sebelum digunakan. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisik maupun kimiawi. Secara fisik, aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu $300^\circ C - 400^\circ C$ (Hardono,1997). Aktivasi secara kimiawi dilakukan dengan pencucian zeolit menggunakan asam anorganik, seperti aquades, larutan HCL 0,05 M, larutan NaOH 0,05 M, larutan NaCl jenuh, dan larutan NH_4OH 0,05 M. untuk menghilangkan oksida pengotor yang menutupi permukaan pori.

Pertama-tama zeolit direndam ke dalam aquades dengan perbandingan 1 : 3, kemudian distirer selama 1 jam pada temperatur $60^\circ C$. Tujuan dari pencucian dengan aquades ini untuk menghilangkan partikel-partikel pengotor yang besar setelah proses penumbukan dan pengayakan. Setelah itu pencucian ini juga bertujuan memperoleh pH netral. Setelah dicuci, zeolit didekantasi untuk memisahkan larutannya. Dan selanjutnya zeolit diletakkan di atas cawan petri, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu $105^\circ C$ selama 6 jam.

Langkah selanjutnya adalah aktivasi kimiawi zeolit dengan media larutan HCl, NaOH, NaCl jenuh, dan NH_4OH . Definisi aktivasi secara kimiawi adalah preparasi yang dilakukan untuk menghilangkan pengotor, meningkatkan rasio Si/Al, dan menguatkan struktur di dalam katalis zeolit alam. Metode aktivasi ini digunakan metode pertukaran ion. Untuk tahap awal aktivasi kimiawi yaitu

pencucian zeolit dengan HCl dengan menggunakan stirrer pada suhu 60 °C selama 1 jam dan dilanjutkan dengan proses pengeringan dalam oven. Setelah itu dilanjutkan dengan pencucian NaOH 0,05 M dengan menggunakan stirrer pada suhu 60 °C selama 1 jam dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven. Tujuan pencucian ini adalah untuk menghilangkan partikel pengotor, baik asam maupun basa, yang ada pada permukaan zeolit, yang nantinya zeolit akan dilarutkan dalam NaCl jenuh. Dalam konteks ini pengotor yang dominan dalam zeolit adalah logam Kalium, Kalsium, dan Besi. Keberadaan logam-logam tersebut dapat mengganggu proses pertukaran ion atau homogenisasi zeolit dengan NaCl jenuh pada tahap selanjutnya. Hal ini dapat dilihat dari logam-logam pengotor yang reaktif terhadap ion Na^+ dan reaksi yang diharapkan adalah reaksi antara pertukaran ion H^+ dengan ion Na^+ . Semakin banyak prosentase logam-logam pengotor maka besar kemungkinan terganggunya pertukaran ion H^+ dengan ion Na^+ .

Hasil dari preparasi asam dan basa, menunjukkan bahwa prosentase kandungan unsur logam dalam zeolit telah berkurang dan dilanjutkan pencucian larutan NaCl jenuh dengan cara *men-stirrer* pada suhu 60 °C selama 1 jam. Tujuan pencucian ini adalah menstabilkan zeolit dengan struktur Na-Zeolit dan setelah itu zeolit dikeringkan dan dilanjutkan dengan pencucian dengan larutan NH_4OH 0,05 M. Setelah dicuci, zeolit dikeringkan pada suhu 60°C dan dilanjutkan dengan proses kalsinasi pada suhu 400°C selama 4 jam (Hagen, 2006). Mekanisme reaksi pertukaran ion untuk menghasilkan Na-Zeolit dan H-Zeolit dilihat pada Persamaan 2.8 dan 2.9.

Kemampuan zeolit sebagai penukar ion tergantung pada banyaknya kation tukar pada zeolit. Banyaknya kation tukar pada zeolit ditentukan oleh banyaknya kation Si^{4+} yang diganti oleh kation lain yang bervalensi tiga atau lima (Atmadiputri, 2010). Pada zeolit alam Si^{4+} biasanya digantikan oleh kation Al^{3+} sehingga kapasitas tukar kation ditentukan oleh perbandingan Si terhadap Al. Kation tukar pada zeolit dapat dipertukarkan dengan kation lain dari logam alkali atau alkali tanah yang lain karena kation tukar tidak terikat dalam rangka zeolit oleh empat atom oksigen seperti Si^{4+} dan Al^{3+} .

4.2. Karakterisasi BET

Katalis 1 (zeolit klipnotilolit aktif), katalis 2 (0,01% w/w Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif), dan katalis 3 (0,1% w/w Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif) dikarakterisasi dengan *Surface Area Analyzer* (BET) untuk mengetahui luas permukaan, volume pori dan ukuran pori katalis. Hasil karakterisasi BET dapat dilihat pada tabel 4.1. di bawah ini.

Tabel 4.1. Hasil Karakterisasi BET

Area-Volume-Pore Size	Katalis 1	Katalis 2	Katalis 3
Surface area data (m ² /g)	19,42	18,09	15,22
Pore volume data (cc/g)	0,002251	0,0006907	0,001113
Pore size data (Å)	17,6	17,88	17,6

Tabel 4.1 merupakan hasil proses modifikasi zeolit alam, dapat diketahui pengujian luas permukaan pada zeolit sebelum impregnasi kristal besar Pr(NO₃)₃.6 H₂O adalah 19,42 m²/g dan pada katalis 2 diperoleh luas permukaan sebesar 18,09 m²/g. Semakin banyak logam Pr yang ditambahkan pada permukaan padatan zeolit maka akan berpengaruh pada menurunnya luas permukaan spesifik dari katalis tersebut. Hal ini disebabkan oleh jumlah logam Pr yang semakin banyak maka akan terjadi kompetisi berdifusi ke dalam mulut pori sehingga akan terakumulasi pada beberapa tempat dan menutupi mulut pori (Astuti dan Jumaeri, 2007). Data tersebut didukung dengan data SEM pada Gambar 4.1, di mana semakin banyak Praseodimium nitrat heksahidrat yang terbentuk pada penyangga zeolit, semakin besar juga deposit Pr₆O₁₁ yang terbentuk sehingga luas permukaan katalis berkurang. Fenomena ini dapat dilihat pada katalis 3 dengan konsentrasi 0,1% w/w Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit yang memiliki luas permukaan paling kecil yaitu sebesar 15,22 m²/g. Adapun tujuan variasi konsentrasi katalis tersebut adalah mengetahui persebaran Pr₆O₁₁ pada permukaan permukaan zeolit serta uji aktivitas katalis terhadap bilangan oktana pada gasolin.

Tabel 4.1 di atas juga menunjukkan zeolit aktif memiliki volum pori lebih besar dan katalis kristal besar 2 memiliki volum pori yang terkecil. Hal ini disebabkan karena adanya ion-ion yang menjadi pengotor yang mengisi pori-pori katalis zeolit. Tabel 4.1 juga menunjukkan bahwa ukuran pori meningkat setelah

dimodifikasi. Pengecualian yang terjadi hanya terjadi pada katalis 3, dimana ukuran porinya tetap, kemungkinan karena adanya penutupan saluran pori oleh ion-ion pengotor atau ion NH_4^+ yang terjadi saat modifikasi dilakukan.

4.3. Karakterisasi Morfologi dan Komposisi Kimia (SEM-EDS)

Karakterisasi menggunakan SEM-EDS bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia secara semi kuantitatif dari katalis zeolit, dan gambar morfologi permukaan dari zeolit. Selain itu juga keasaman dari katalis dapat diobservasi dengan melihat perbandingan Si/Al. Hasil SEM-EDS ditunjukkan dalam Tabel 4.2. Hasil Karakterisasi Katalis dengan SEM-EDS.

Tabel 4.2. Hasil Karakterisasi Katalis dengan SEM-EDS

Nama Unsur	% massa			
	Zeolit Belum Teraktivasi	Katalis 1	Katalis 2	Katalis 3
O	46,54	41,21	43,44	47,1
Mg	1,01	0	0,84	0,87
Al	6,58	7,4	6,45	6,83
Si	33,56	42,02	37,73	35,38
K	2,88	2,95	1,85	1,93
Ca	4,38	0	1,29	1,22
Fe	5,06	1,19	1,64	1,31
Na	0	3,22	3,14	2,77
Cl	0	2,02	2,35	1,47
Zn	0	0	1,13	1,07
Pr	0	0	0,14	0,05
Total	100,01	100,01	100	100

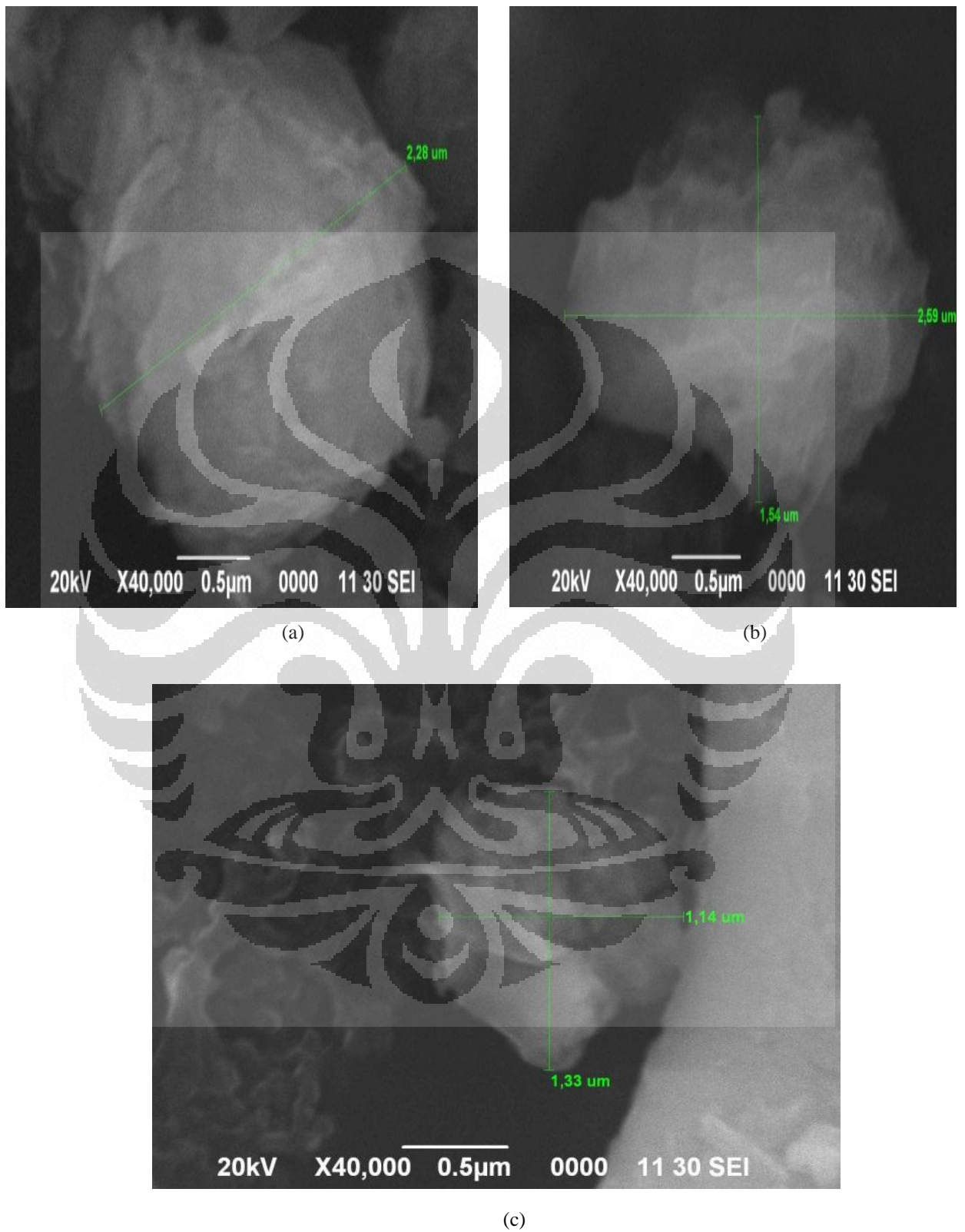
Berdasarkan tabel 4.2, dengan membandingkan persentase massa Si/Al, diperoleh nilai rasio katalis 1, 2, dan 3 masing-masing 5,67; 5,85 dan 5,18. Perbandingan Si/Al yang tertinggi ditunjukkan pada katalis 2, dan rasio Si/Al terendah pada katalis 3.

Rasio Si/Al pada katalis Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif tergolong sedang untuk kategori zeolit yang biasanya memiliki rasio Si/Al pada kisaran nilai 4 - 10 (Muthia, 2010). Dengan kadar keasaman yang diperoleh diharapkan dengan menunjukkan kuatnya ikatan alumina dan silika, katalis Praseodimium Oksida/Zeolit Klipnotilolit Aktif dapat memberikan performa

terbaik untuk menghasilkan merengkah senyawa hidrokarbon dengan gasolin dengan kualitas yang lebih baik.

Kandungan Pr dalam katalis 2 sebesar 0,14% dan dalam katalis 3 sebesar 0,05%. Prosentase yang diperoleh dari data EDS merupakan prosentase terhadap kandungan-kandungan unsur dalam katalis. Hal ini mengindikasikan bahwa Pr berhasil diimpregnasikan ke dalam pori-pori zeolit.

Bentuk morfologi Zeolit Klipnotiloolit aktif berupa lempengan – lempengan tipis dan memanjang. Gambar 4.2 merupakan hasil intrepetasi ukuran morfologi dari katalis baik sebelum maupun sesudah modifikasi dengan $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ terhadap zeolit klipnotiloolit aktif. Dari gambar 4.2 menyatakan ukuran morfologi katalis memiliki ukuran 1,33-2,59 μm setelah dilakukan perbesaran 40.000 kali, atau dengan kata lain termasuk dalam range 0,1-10 μm . Ukuran katalis terbesar adalah katalis 1 dan ukuran katalis terkecil adalah katalis 3. Hal ini disebabkan karena banyaknya jumlah Pr yang diimpregnasikan ke dalam zeolit Klipnotiloolit semakin besar dan dalam jumlah besar diimpregnasikan pada permukaan zeolit, maka dapat memberikan pengaruh yang baik pada uji aktivitas.

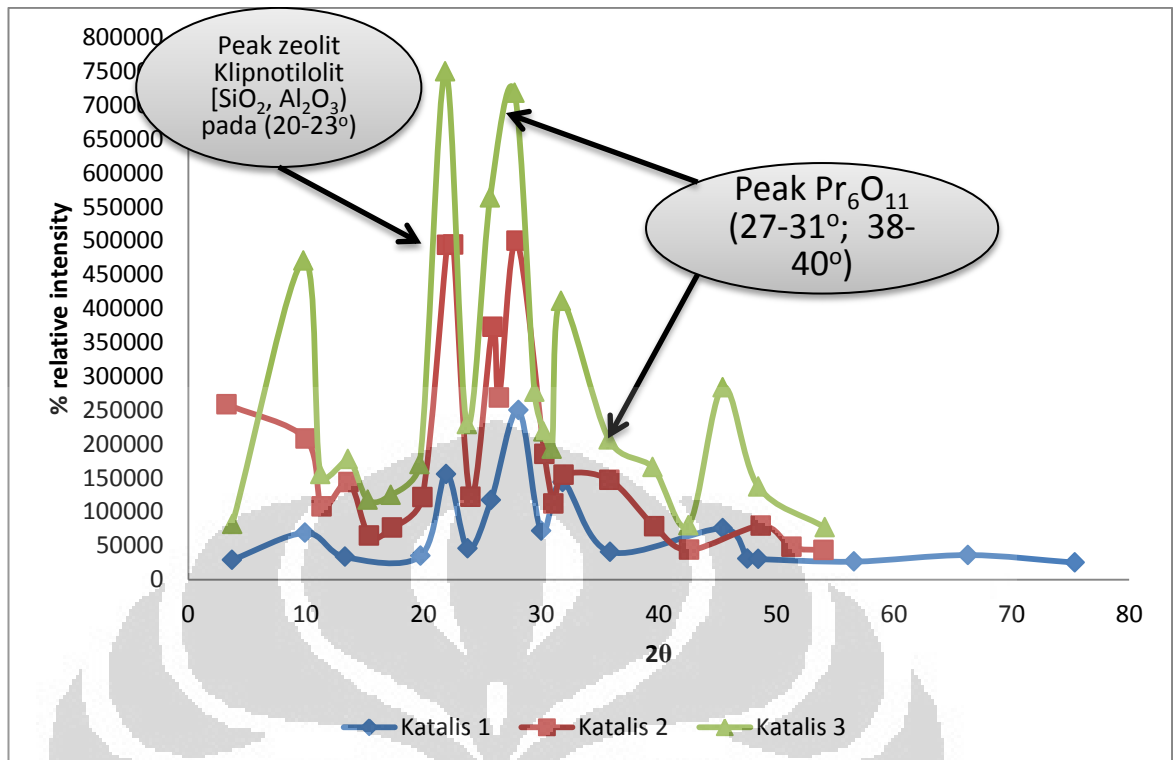


Gambar 4.1. Bentuk Morfologi Permukaan katalis, (a) Katalis 1; (b) Katalis 2; (c) Katalis 3

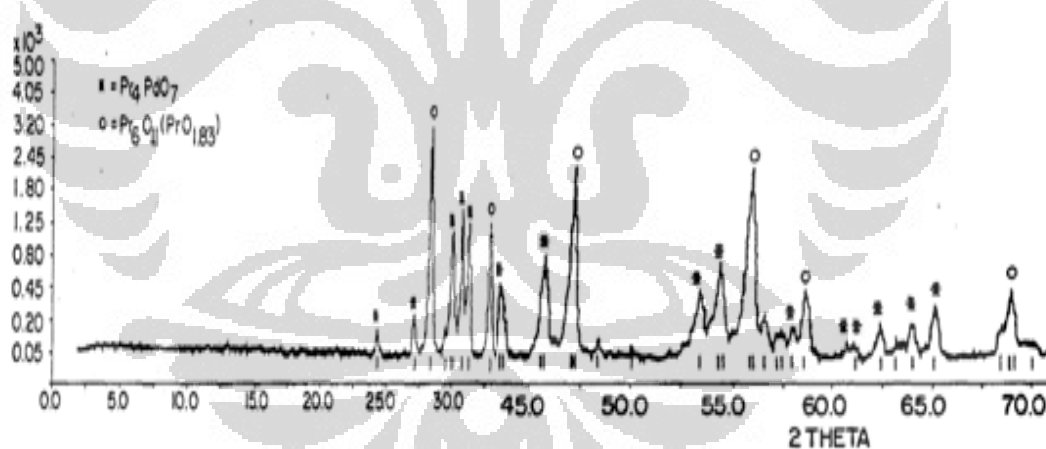
4.4. Karakterisasi Kristalinitas (XRD)

Metode difraksi sinar-x merupakan metode utama untuk mengidentifikasi dan menggambarkan struktur zeolit. Metode ini digunakan karena disamping cukup sederhana juga disebabkan zeolit merupakan kristal yang sangat kecil sehingga teknik *single-crystals* tidak dapat digunakan (Hardono, 1997). Dengan data-data XRD berupa sudut (2θ), jarak antara kisi kristal. (d), dan intensitas relatif (%) dapat diketahui struktur kristal dari katalis yang dihasilkan melalui peak-peak yang timbul. Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 merupakan grafik struktur kristal katalis percobaan yang disertai dengan standar pembandingnya untuk melihat sudut timbulnya kristalinitas dalam katalis.

Pada Gambar 4.2 menunjukkan difraktogram katalis 1, 2, dan 3 dengan skala yang berbeda berturut-turut, yaitu perbesaran 2500, 5000, dan 7500. Tujuan perbesaran ini memudahkan menginterpretasikan perbedaan hasil peak katalis 1 dengan katalis 2 dan 3. Pada sudut 20° - 23° merupakan difraktogram zeolit Klipnotilolit aktif secara umum. Beberapa *peak* lain juga menunjukkan kemiripan dengan difraktogram standar. *Peak* yang tajam tersebut menginterpretasikan bahwa zeolit Klipnotilolit mengandung senyawa SiO_2 dan Al_2O_3 (Gambar 2.13), yang merupakan ciri utama katalis zeolit. Selain itu juga setelah zeolit mengalami modifikasi, terdapat kemiripan *peak* Pr_6O_{11} pada sudut $27^{\circ} - 31^{\circ}$ dan $38 - 40^{\circ}$ (Gambar 4.3). Fenomena ini menunjukkan bahwa impregnasi dan kalsinasi Praseodimium nitrat hidrat menghasilkan Praseodimium oksida (Pr_6O_{11}) berhasil dengan adanya kemunculan *peak* yang menyerupai standar pembandingnya.



Gambar 4.2. Spektrum Difraksi Sinar-X (a) Katalis 1; (b) katalis 2; (c) katalis 3



Gambar 4.3. Spektrum Difraksi Standar Pemanding Pr₆O₁₁ (Chou, dkk., 1992)

Pada Tabel 4.3 spektrum katalis 1 terlihat pada sudut difraksi (2θ) utama 21,9346; 25,7517; 28,074 dan 31,8327 dengan % relatif intensitas peak berturut-turut 62,31; 46,99; 100 dan 57,55. Pada sudut difraksi tersebut terbentuk *peak* Klinoptilolit yang cukup tajam dan berhimpit. *Peak* yang terbentuk pada difraktogram zeolit Klinoptilolit teraktivasi secara umum mengindikasikan bahwa sifat kekristalan yang dimiliki katalis.

Tabel 4.3. Relatif Intensitas (%) dan Height katalis 1 (cts)

Sudut Difraksi (2θ)	d-spacing (\AA)	Relatif Intensitas (%)	Height (cts)
21,9346	4,05225	62,31	73,5
25,7517	3,45962	46,99	55,42
28,074	3,17848	100	117,95
31,8327	2,81124	57,55	67,88

Pada Tabel 4.4 spektrum katalis 2 terlihat pada sudut difraksi (2θ) utama 22,0145; 25,8798; 27,9136 dan 30,2808 dengan % relatif intensitas masing-masing adalah 98,75; 74,6; 100 dan 37,79. Sedangkan pada gambar (c) katalis 3 terlihat pada sudut difraksi (2θ) utama 21,8535; 25,6701; 27,7455 dan 31,6979 dengan % relatif intensitas masing-masing adalah 100; 75,2; 95,78 dan 54,81. Berdasarkan literatur, sudut difraksi Praseodimium yang telah dikalsinasi pada suhu 500 °C yaitu pada 27° dan 31° (Ming Yang, 2011).

Tabel 4.4. Relatif Intensitas (%) dan Height Katalis 2

Sudut Difraksi (2θ)	d-spacing (\AA)	Relatif Intensitas (%)	Height (cts)
22,0145	4,03773	98,75	104,34
25,8798	3,44278	74,6	78,82
27,9136	3,19638	100	105,66
30,2808	2,95169	37,79	39,2

Tabel 4.5. Relatif Intensitas (%) dan Height Katalis 3

Sudut Difraksi (2θ)	d-spacing (\AA)	Relatif Intensitas (%)	Height (cts)
21,8535	4,06712	100	105,62
25,6701	3,47042	75,2	79,43
27,7455	3,21537	95,78	101,16
31,6979	2,82289	54,81	57,89

Berdasarkan Tabel 4.5 spektrum di atas, struktur kristal dari zeolit Klipnotilolit tidak mengalami kerusakan, hal ini terlihat dari keberadaan sudut difraksi (2θ) antara 20° – 25° yang merupakan daerah sudut difraksi H-zeolit dengan intensitas peak yang cukup besar. Pada tabel 4.4 dan 4.5 dapat juga dilihat sudut difraksi Pr_6O_{11} yang dikalsinasi pada suhu 500 °C yaitu pada sudut 27° dan

31° perbedaan peak yang tidak begitu signifikan. Pada sudut 27°, relatif intensitas katalis 1 lebih besar daripada katalis 2, begitu juga pada sudut difraksi 31.

Pada Tabel 4.5 memperlihatkan juga sudut difraksi dari H-Zeolit yang muncul pada 21,8535° dan 25,6701° dengan intensitas yang mulai menurun dibandingkan pada sampel sebelumnya (Tabel 4.4). Jadi dapat dianalisis bahwa struktur zeolit sudah mulai mengalami penurunan namun besarnya degradasi kristalinitas tersebut masih dalam batas toleransi. Penurunan puncak-puncak kurva pada zeolit dapat terjadi karena hilangnya sebagian kation-kation struktural (K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , dll) dari struktur zeolit sehingga berkurang pula daya tahan struktur pori zeolit tersebut terhadap kemungkinan keruntuhan struktur porinya.

Proses penyisipan inti aktif Pr_6O_{11} ke dalam zeolit itu mengakibatkan sedikit penurunan puncak-puncak kurva. Hal ini dapat terjadi karena deposit oksida logam pada sampel katalis, baik katalis 2 maupun katalis 3, yang menutupi permukaan zeolit, telah mengubah karakteristik kristal zeolit dan memberi dampak pengurangan intensitas puncak pada kurva yang tercatat. Secara umum, pengurangan intensitas tersebut masih dalam batas toleransi, sehingga proses aktivasi secara keseluruhan dianggap tidak mengganggu kristalinitas material zeolit.

4.5. Karakterisasi Struktur dan Ikatan (FTIR) Pada Katalis

Hasil karakterisasi dengan metode FTIR untuk katalis 1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 4.6. Spektrum FTIR Katalis 1 dan 2 di bawah ini. Dari hasil itu terlihat bahwa daerah serapan *peak* yang muncul tidak banyak mengalami perubahan. Ciri utama dari daerah serapan pada zeolit adalah gugus *asymmetric stretch* dan *double ring* ikatan O – Si – O dan O – Al – O yang terbaca pada spektrum 1040,36 cm^{-1} , dan 599,24 cm^{-1} . Dengan munculnya interpretasi ini menunjukkan bahwa pada zeolit mengandung unsur Si, O, dan Al, seperti yang ada pada hasil karakterisasi SEM-EDS. Selain itu juga terdapat daerah serapan NH_4^+ pada 1389,22 cm^{-1} , yang menggambarkan bahwa secara kualitatif telah terjadi pertukaran ion antara NH_4OH dengan zeolit Klipnotilolit aktif.

Selain membuktikan keberadaan O-Si-O dan O-Al-O, dapat diketahui korelasi daerah serapan ikatan antara piridin sebagai basa adsorbat zeolit dengan

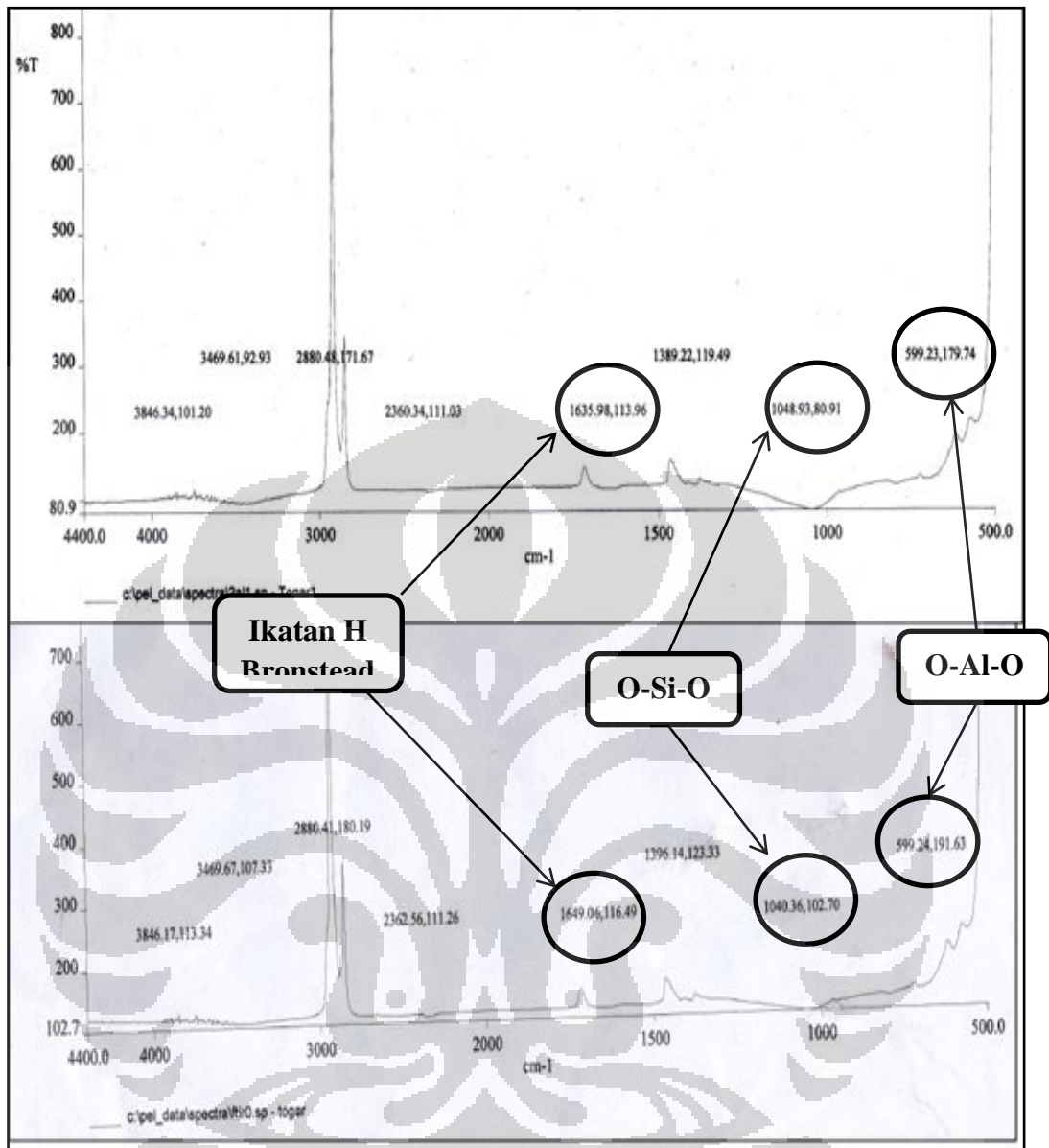
situs asam Bronsted (Tanabe, 1981). Menurut Tanabe, puncak serapan interaksi piridin dengan situs asam Bronsted muncul pada daerah serapan 1485-1500, 1540, ~1620, dan ~1640 cm^{-1} , interaksi piridin dengan situs asam Lewis muncul di 1447-1460, 1488-1503, ~1580, dan 1600-1633 cm^{-1} dan interaksi piridin dalam bentuk ikatan hidrogen, muncul di 1400-1447, 1485-1490 dan 1580-1600 cm^{-1} .

Terjadi pergeseran puncak serapan pada daerah bilangan gelombang 1635,98 cm^{-1} zeolit Klipnotilolit aktif ke bilangan gelombang 1649,06 cm^{-1} untuk katalis 2. Perubahan tersebut diduga kuat akibat perubahan kekuatan situs asam Brönsted karena penambahan senyawa Praseodimium oksida, Pr_6O_{11} (Hussein, 2000). Interpretasi ini sesuai dengan adanya peak baru yang timbul pada sudut 2θ di $27^\circ - 31^\circ$ dan $38 - 40^\circ$ dari analisis XRD. Keberadaan peak baru menyebabkan katalis semakin asam, yaitu rasio Si/Al meningkat. Pada analisis SEM-EDS terlihat bahwa terjadi pengurangan ion Al^{3+} . Hal ini mengindikasikan bahwa impregnasi Praseodimium oksida dalam rupa ion Pr^{3+} telah berhasil menggantikan posisi ion Al^{3+} sehingga menghasilkan rasio keasaman lebih besar daripada katalis 1.

Selain itu juga munculnya puncak serapan pada daerah serapan 1396,14 cm^{-1} yang merupakan merupakan puncak serapan karakteristik untuk ikatan hidrogen piridin. Meningkatnya intensitas pada daerah serapan tersebut mendukung pernyataan sebelumnya yaitu meningkatnya situs asam Brönsted pada katalis 2. Secara singkat, Tabel 4.6 adalah tabulasi hasil analisis FTIR katalis 1 dan 2.

Tabel 4.6. Hasil Karakterisasi FTIR dari Katalis 1 dan 2

Gugus fungsi	Range daerah serapan (cm^{-1})	Katalis 1		Katalis 2	
		Keberadaan	%T	Keberadaan	%T
Hidroksil Asam	~1600	✓	92,93	✓	107,33
Bronstead Ikatan H piridin	~1400	✓	119,49	✓	123,33
O-Si-O	1250 – 900	✓	80,91	✓	102,70
O-Al-O	610 – 580	✓	179,74	✓	191,63



Gambar 4.4. Analisis FTIR katalis 1 dan 2

Berdasarkan Gambar 4.4 modifikasi zeolit Klipnotilolit aktif dengan impregnasi Praseodimium nitrat hidrat tidak merusak struktur zeolit. Hal ini disebabkan karena pada konsepnya metode impregnasi tersebut hanya menyisipkan inti aktif ke dalam permukaan penyangga, dan tidak berikatan dengan komposisi yang ada pada zeolit (Muthia, 2010). Fenomena ini juga didukung juga oleh hasil karakterisasi XRD, yang menunjukkan tidak adanya perubahan secara signifikan pada katalis dan struktur kristalinitas katalis masih memiliki %intensitas yang cukup besar baik sebelum maupun sesudah penambahan Praseodimium nitrat hidrat.

4.6. Studi Uji Katalis Dengan Gasolin dengan *Portable Octane Number*

Setelah dilakukan uji reaksi terhadap katalis-katalis yang dibuat dari modifikasi zeolit alam, maka didapat hasil berupa data bilangan oktana, analisis FTIR terhadap gasolin, dan GC-MS. Pada uji reaksi telah dilakukan beberapa variasi untuk mengetahui kondisi optimum kenaikan bilangan oktana pada gasolin, diantaranya variasi suhu ($T = 22,7, 40, \text{ dan } 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$), waktu ($t = 2, 10, \text{ dan } 60$ menit), dan berat katalis terhadap volume gasolin ($m = 0,1, 0,5, 1, 1,75$ dan 3%).

Uji reaksi tersebut dilakukan pada suatu rangkaian perangkat kondenser (Gambar 3.2). Penggunaan kondenser dalam rangkaian ini adalah sebagai pendingin balik dimana gasolin yang direaksikan akan mengalami penguapan dan uap gasolin didinginkan sehingga perubahan massa uap gasolin sebelum dan sesudah reaksi yang terjadi menjadi sangat kecil atau mendekati nol. atau antara. Massa gasolin ditambahkan dengan katalis 3, perubahan massa saat uji katalis tidak begitu signifikan. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.7. Kondenser akan dialiri air dari lubang bagian bawah dan keluar pada bagian atas kondenser. Saat dilakukan pemanasan oleh *hot plate* pada suhu 40 dan $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$, terlihat gasolin mulai menguap. Hal ini disebabkan oleh nilai titik didih gasolin terjadi antara suhu $40\text{-}200 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Uap tersebut bergerak menuju mulut kondenser bagian bawah yang terhubung langsung oleh labu leher tiga, dan uapnya akan dingin kemudian akan kembali turun ke labu leher tiga.

Tabel 4.7. Perhitungan % berat gasolin yang menguap

No	Kondisi uji aktivitas katalis	massa gasolin + gelas beaker 500 ml (gram)		delta massa uap gasolin	% berat gasolin yang menguap
		sebelum uji aktivitas	sesudah uji aktivitas		
1	$T = 27,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $t = 2$ menit	475,86	475,37	0,49	0,103
2	$T = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $t = 10$ menit	478,48	476,75	1,73	0,362
3	$T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $t = 60$ menit	477,93	466,49	11,44	2,394

Interpretasi Tabel 4.7 menjelaskan bahwa semakin besar suhu dan waktu operasi yang digunakan maka semakin besar % uap gasolin yang menguap. Perubahan yang terjadi tidak begitu besar karena pipa bagian dalam kondenser yang berbentuk liku-liku vertikal. Bentuk liku-liku tersebut bertujuan untuk memperluas bidang kontak dari uap gasolin terhadap dinding, sehingga uap gasolin tidak keluar dari sistem. Banyaknya gasolin yang menguap (%) disebabkan karena uap gasolin masih menempel pada dinding pipa berliku-liku yang terakumulasi. Ketika uap tersebut terakumulasi pada dinding pipa, terjadi proses kondensasi antara uap gasolin dengan aliran air sekitar pipa bagian luar berliku-liku dan uap yang terkondensasi turun kembali ke labu ukur leher tiga. Saat turun akan berkontakkan juga dengan uap gasolin yang baru, sehingga uap yang terkondensasi tersebut sebagian terbawa kembali ke atas dan sebagiannya kembali ke labu ukur leher tiga. Dalam penelitian ini, dengan adanya rangkaian perangkat kondenser berhasil mengurangi % massa gasolin yang menguap saat uji aktivitas katalis berlangsung yang ditandai dengan perubahan massa yang relatif kecil.

Berikut adalah Tabel 4.8 merupakan hasil uji reaksi katalis terhadap bilangan oktana. Pada uji pertama sampai dengan uji ketiga terjadi penurunan bilangan oktana.

Tabel 4.8. Hasil Uji Bilangan Oktana Gasolin

<i>Uji 1: Suhu 60 C, t= 60 menit, 0,1% loading katalis</i>		
Katalis	BO	Delta BO
Gasolin	91	0
Gasolin + Katalis 1	90,4	-0,6
Gasolin + Katalis 2	90,8	-0,2
Gasolin + Katalis 3	90,4	-0,6
<i>Uji 2: Suhu 60 C, t= 10 menit, 0,1% loading katalis</i>		
Katalis	BO	Delta BO
Gasolin	89,7	0
Gasolin + Katalis 1	89,3	-0,4
Gasolin + Katalis 2	89,5	-0,2
Gasolin + Katalis 3	89,3	-0,4
<i>Uji 3: Suhu 40 C, katalis 2, t= 2 menit</i>		
% loading katalis	BO	Delta BO
Gasolin	89,4	0
0,5	89,4	0
1	89,4	0
1,75	89,3	-0,1
3	89,4	0
<i>Uji 4: Suhu 27,7 C t= 2 menit</i>		
Katalis	BO	Delta BO
Gasoline	89,4	0
berat 1% katalis 3	89,5	0,1
berat 3% katalis 3	89,5	0,1
Katalis Praseodimium oksida-EDTA/ZAL	89,5	0,1

Penurunan bilangan oktana ini merupakan indikasi bahwa terjadi penambahan rantai hidrokarbon rantai panjang, dan sedikitnya rantai bercabang. Keberadaan senyawa tersebut memiliki bilangan oktana yang rendah dan jumlahnya semakin banyak.

Selanjutnya penelitian dilakukan dengan kondisi yang baru yaitu pada suhu 27,7 °C, waktu 2 menit, dan variasi %loading katalis sebesar 1% dan 3%, dan penambahan EDTA pada katalis Praseodimium oksida-EDTA/zeolit Klipnotilolit aktif. Semakin besar %loading katalis yang digunakan, maka semakin banyak juga molekul-molekul reaktan yang dapat berdifusi ke dalam pori katalis sehingga jumlah *coke* yang terbentuk pada katalis belum cukup besar atau tidak ada.

Kondisi baru ini menghasilkan kenaikan bilangan oktana sebesar 0,1. Selain itu juga adanya katalis dengan penambahan senyawa EDTA, dengan tujuan

mengetahui pengaruh senyawa terhadap EDTA dalam katalis saat direaksikan dengan katalis. Dari hasil yang diperoleh ternyata EDTA memberi pengaruh stabilitas katalis lebih baik seperti yang sudah dilakukan peneliti sebelumnya. Kenaikan bilangan oktana tersebut dapat dilihat dengan bentuk fisik gasolin. Perubahan warna yang terjadi yaitu gasolin menjadi kuning muda dibandingkan dengan gasolin sebelum penambahan katalis. Sedangkan gasolin yang mengalami penurunan bilangan oktana, terlihat perubahan warnanya menjadi kuning lebih terang. Berikut adalah gambar 4.5 sebagai interpretasi perubahan warna gasolin baik sebelum dan sesudah uji katalis 3. Label A merupakan gasolin murni, label B adalah gasolin dengan oktan yang menurun, sedangkan label C adalah gasolin yang mengalami kenaikan sebesar 0,1 bilangan oktana.



Gambar 4.5. Perubahan warna pada gasolin.

Selanjutnya hasil tersebut diuji dengan analisis FTIR untuk mengetahui struktur ikatan hidrokarbon dan analisis GC-MS untuk mengetahui senyawa hidrokarbon yang terengkah.

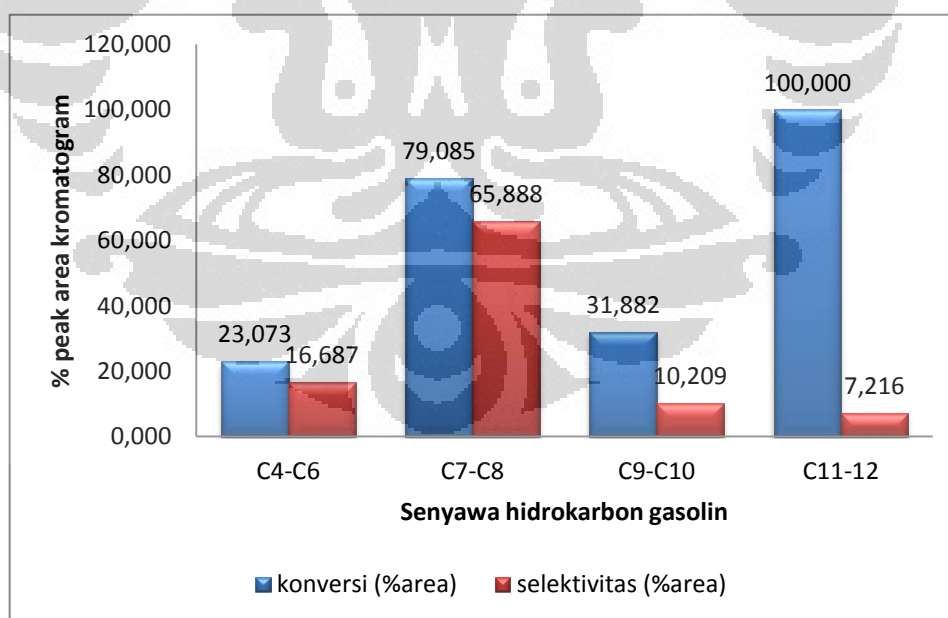
4.6.1. Analisis Produk Uji Aktivitas Katalis

Analisis produk rengkahan dalam penelitian ini ditinjau dari senyawa hidrokarbon yang mempunyai jumlah atom C_5 sampai C_{12} . Dari hasil analisis ini dapat diketahui konversi dan selektivitas rengkahan hidrokarbon gasolin terhadap katalis 3. Dari tabel 4.9 dapat diketahui bahwa terjadi pergeseran yang

cukup besar menuju ke komponen senyawa hidrokarbon dengan jumlah atom C₄-C₆, C₇-C₈ dan C₁₁-C₁₂. Fakta ini menunjukkan bahwa katalis yang dipreparasi memiliki kemampuan untuk mengkonversi senyawa hidrokarbon pada gasolin. Sedangkan pada Gambar 4.6 menyatakan banyaknya konversi dan selektivitas hidrokarbon yang terengkah.

Tabel 4.9. Hasil Konversi dan Selektivitas Hidrokarbon C₄ – C₁₁ Gasolin Sebelum dan Sesudah Penambahan Katalis 3

Senyawa alkana	Gasolin Murni	Gasolin+Katalis 3	Konversi (%area)	Selektivitas (%area)
C ₄ -C ₆	17,64	13,57	23,073	16,687
C ₇ -C ₈	20,32	4,25	79,085	65,888
C ₉ -C ₁₀	7,81	5,32	31,882	10,209
C ₁₁ -C ₁₂	1,76	0	100,000	7,216
Total	50,08	23,14		100



Gambar 4.6. Hubungan antara Konversi dan Selektivitas Hidrokarbon pada Gasolin Sebelum dan Sesudah Penambahan Katalis 3

Berdasarkan Tabel 4.9 dan Gambar 4.6, terlihat terjadi proses rengkahan hidrokarbon dari rantai panjang menjadi rantai hidrokarbon rantai pendek atau bercabang. Hal ini diyakini bahwa mekanisme proses perengkahan adalah dengan pembentukan mekanisme reaksi melalui pembentukan ion karbonium. Tiap ion karbonium yang dihasilkan akan menginduksi senyawa lain hingga terbentuk ion karbonium baru dengan jumlah atom karbon yang lebih kecil. Produk dominannya adalah senyawa hidrokarbon dengan jumlah atom karbon yang kecil. Sebagai contoh senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari data GC-MS adalah produk 3-metil pentana yang merupakan bentuk reaksi dari senyawa 3-metil heksana. Konversi hidrokarbon dari rantai lurus menjadi rantai bercabang merupakan reaksi isomerisasi yang penting, karena hidrokarbon rantai cabang memiliki bilangan oktana yang lebih tinggi (Nasikin, Bambang Heru, 2010).

Penambahan Pr_6O_{11} ke dalam katalis mampu meningkatkan aktivitas yang tinggi pada proses rengkahan. Hal tersebut dapat dilihat dari tingginya konversi dan selektivitas produk $\text{C}_4 - \text{C}_6$ dan $\text{C}_7 - \text{C}_8$ pada gasolin. Pada senyawa hidrokarbon $\text{C}_{11}-\text{C}_{12}$ terjadi penurunan yang signifikan. Suatu indikasi yang kuat bahwa konversi 100% dari $\text{C}_{11}-\text{C}_{12}$ yaitu terbentuknya senyawa hidrokarbon atau ion karbonium yang lebih ringan dan membentuk gugus hidrokarbon yang baru, misalnya senyawa aromatik yang jumlahnya semakin besar dari perolehan analisis kromatogram GC-MS.

4.6.2. Identifikasi Struktur Ikatan Hidrokarbon Gasolin

Analisis FTIR digunakan untuk mengetahui perubahan struktur ikatan hidrokarbon pada gasolin (Lampiran C.2). Gugus hidroksil $-\text{OH}$ ditunjukkan pada daerah $3550 - 3670 \text{ cm}^{-1}$, yaitu $3646,12$ dan $3667,88 \text{ cm}^{-1}$. Terjadi pergeseran % transmitten kedua peak sebesar kurang lebih 0,1% antara sebelum dan sesudah penambahan katalis 3. Selain itu juga keberadaan kombinasi peak senyawa hidrokarbon alifatik rantai panjang, yaitu pada daerah serapan $2800-3000$, $1300 - 1500$ dan $720-750 \text{ cm}^{-1}$. Daerah serapan tersebut terdapat pada $2925,33$; $2957,87$; $1455,49$; $728,83$ dan $768,31 \text{ cm}^{-1}$. Yang membedakan pada kedua spektrum adalah pada spektrum FTIR gasolin sesudah penambahan katalis. Terjadi pergeseran %transmitten secara signifikan pada daerah serapan

analisis FTIR sesudah penambahan peak sebesar kurang lebih 20%. Hal ini menunjukkan bahwa katalis 3 berhasil merengkah atau memotong senyawa hidrokarbon rantai panjang. Jika reaksi perengkahan tidak terjadi, peningkatan grup -CH menjadi lebih banyak dalam jumlah persen peak area pada analisis GC-MS.

Absorbansi dari ikatan aromatik muncul analisis FTIR. Munculnya daerah serapan C=C pada 1580-1615 cm^{-1} , dan C-H pada 670-900 cm^{-1} . Terjadi penambahan panjang gelombang ikatan aromatik antara sebelum dan sesudah penambahan katalis 3. Keberadaan spektrum baru yaitu 1651,68 dan 1681,77 cm^{-1} , disertai dengan menghilangnya spektrum 1613,97 cm^{-1} , menunjukkan bahwa pada perengkahan katalitik banyak menghasilkan gugus aromatik setelah penambahan katalis 3. Fenomena ini terjadi karena kekuatan asam dari katalis 3 untuk merengkahnya. Selain itu juga daerah serapan 1620-1680 juga mengindikasikan adanya gugus C=C pada senyawa alkena. Dari hasil studi ini terdapat kecenderungan bahwa gugus C=C aromatik lebih dominan daripada senyawa alkena. Berikut adalah Tabel 4.10 yaitu perbandingan analisis FTIR sebelum dan sesudah penambahan katalis 3 pada gasolin.

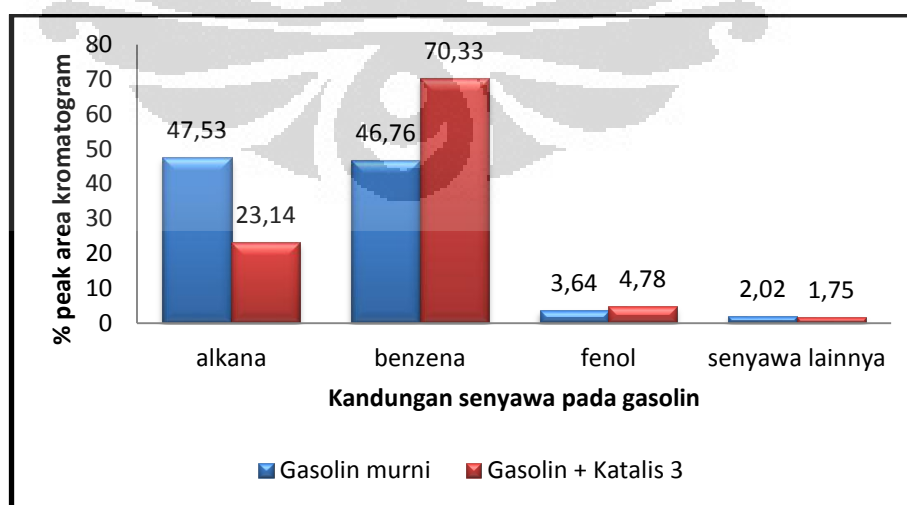
Tabel 4.10. Perbandingan analisis FTIR sebelum dan sesudah penambahan katalis 3 pada gasolin

Gugus fungsi	Range daerah serapan (cm^{-1})	Gasolin Murni			Gasolin+Katalis 3		
		Jumlah titik serapan	Keberadaan	%T	Jumlah titik serapan	Keberadaan	%T
OH	3550-3670	2	✓	67,87; 69,40	2	✓	68,34; 69,34
C=C aromatik	1580-1680	2	✓	70,61; 74,17	2	✓	79,25; 80,29
C-H aromatik	670-900	2	✓	70,36; 72,27	1	✓	69,22
C-H alifatik	2800-3000	2	✓	29,56; 29,59	2	✓	40,63; 41,12
	1300-1500	2	✓	57,63; 74,71	1	✓	69,05
	720-750	2	✓	70,36; 72,27	2	✓	69,22
C=C alkena	1620-1680	0	-	-	2	✓	79,25; 80,29

4.6.3. Identifikasi Komposisi Senyawa Gasolin

Untuk mengetahui kandungan senyawa di dalam gasolin, dilakukan uji analisis GC-MS. Hal yang paling penting dari tujuan pengujian komponen gasolin adalah untuk mengetahui kadar senyawa alkana, aromatik, alkohol, dan senyawa oksigenat sebagai parameter kenaikan bilangan oktana sebesar 0,1. Sesuai dengan tujuan utama penelitian, pengaruh keberadaan katalis Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif dapat memotong hidrokarbon rantai lurus menjadi rantai bercabang, dan adapun hasil sampingan yaitu terjadinya penambahan senyawa aromatik, alkohol, dan oksigenat. Adanya senyawa oksigenat ini cenderung korosif, tidak stabil, memiliki viskositas yang tinggi dan pH rendah sehingga berimplikasi pada rendahnya nilai *heating value*. Meningkatnya senyawa alkohol pada gasolin akan meningkatkan nilai *heating value* (Iliopoulou, 2007). Di samping itu juga, senyawa aromatik bersifat karsinogenik, jadi, seiring meningkatnya persentase senyawa aromatik pada gasolin mengindikasikan bahwa gasolin berbahaya bagi kesehatan apabila terhirup oleh orang sekelilingnya.

Perhitungan jumlah senyawa pada gasolin dilakukan dengan menjumlahkan fraksi senyawa alkana, aromatik, alkohol, dan oksigenat di dalam *bio-oil*. Pada Gambar 4.7 ditampilkan kandungan-kandungan senyawa pada gasolin sebelum dan sesudah penambahan katalis.



Gambar 4.7. Perbandingan Komposisi Senyawa pada Gasolin Sebelum dan Sesudah Penambahan Katalis 3

Dari Gambar 4.7 dapat disimpulkan bahwa keberadaan katalis 3 ternyata memberikan pengaruh terhadap jumlah hidrokarbon rantai bercabang, senyawa aromatik, alkohol, dan senyawa oksigenat. Kondisi operasi optimum reaksi gasolin dengan katalis 3 yaitu pada temperatur 27,7 °C, waktu 2 menit dan % loading katalis sebesar 1 dan 3%. Kenaikan oktana sebesar 0,1 ditunjukkan dengan keberadaan senyawa alifati rantai pendek, aromatik, dan alkohol yang memiliki angka oktana lebih tinggi.

Sesuai dengan literatur *Effect of ZSM-5 on the Aromatization Performance in Cracking Catalyst*, telah diketahui bahwa salah satu bukti keberhasilan bilangan oktana meningkat dapat dilihat dari meningkatnya kandungan aromatik dari, dan berkurangnya produk n-parafin (Liu, 2004). Reaksi pembentukan senyawa aromatik dan berkurangnya n-parafin terjadi pada suhu 27,7 °C. Untuk menguji reaksi tersebut perlu diketahui sifat Termodinamika dari tinjauan nilai energi Gibbs yang dihasilkan. Persamaan energi Gibbs dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta G = -RT \ln K \dots\dots\dots(4.1)$$

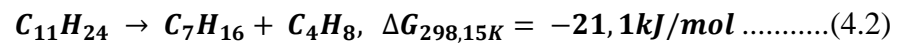
Jika $\Delta G < 0$, atau bernilai negatif, maka reaksi terjadi secara spontan, yaitu konversi energi yang terjadi besar karena nilai konstanta keseimbangan K yang besar. Sebaliknya, jika $\Delta G > 0$, atau bernilai positif, maka reaksi terjadi tidak spontan, yaitu konversi energi yang terjadi kecil serta nilai konstanta keseimbangan K yang relatif kecil.

Jika suatu persamaan reaksi kimia dinyatakan sebagai berikut: $A + B \rightarrow C + D$, maka perhitungan nilai konstanta kesetimbangan K dari reaksi tersebut adalah perbandingan konsentrasi produk dengan reaktan, atau dengan dapat ditulis juga dengan $K = \frac{C \cdot D}{A \cdot B}$. Jika $\Delta G < 0$, maka jumlah produk yang dihasilkan lebih besar daripada reaktan sehingga nilai K bernilai besar. Sedangkan jika $\Delta G > 0$, maka jumlah reaktan lebih besar daripada jumlah produk, sehingga nilai K bernilai relatif kecil, atau reaksi berjalan tidak spontan.

Dari data hasil analisis GC-MS, berikut adalah beberapa persamaan reaksi yang mungkin terjadi berdasarkan kandungan senyawa hidrokarbon pada gasolin, baik sebelum maupun sesudah uji aktivitas katalis. Persamaan reaksi

4.1, 4.2, 4.3 di bawah ini yang dapat terjadi pada uji aktivitas katalis dan untuk perhitungan nilai energi Gibbs dapat dilihat pada Lampiran F.3.

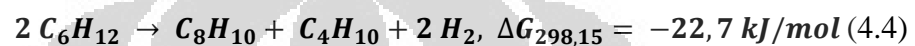
1. Pembentukan produk n-heptana dan siklobutana dari reaktan undekana.



2. Pembentukan produk n-pentana dan n-heksana dari reaktan undekana.



3. Pembentukan produk etilbenzena dan n-butana dari reaktan sikloheksana.



Berdasarkan tiga jenis persamaan reaksi di atas, dapat disimpulkan bahwa reaksi dapat terjadi secara spontan saat uji aktivitas katalis. Hal ini disebabkan oleh nilai energi Gibbs bernilai negatif sehingga nilai konstanta kesetimbangan K bernilai besar, sehingga jumlah produk lebih besar daripada reaktan dari hasil uji aktivitas katalis.

BAB 5 KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pada bab – bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Katalis besar Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit berhasil disintesis dengan metode impregnasi.
2. Pada karakterisasi BET, terjadi penurunan luas permukaan spesifik katalis yang dihasilkan antara 19,42 m²/gr menjadi 15,22 m²/gr peningkatan jumlah Praseodimium oksida pada permukaan zeolit Klipnotilolit.
3. Hasil uji SEM-EDS diperoleh kandungan rasio Si/Al katalis antara 5,18 sampai 5,85.
4. Hasil analisa XRD dan FTIR menunjukkan bahwa zeolit Klipnotilolit, katalis kritical besar 0,01 dan 0,1% w/w Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif tidak terjadi kerusakan struktur kristalinitas yang diakibatkan oleh beberapa perlakuan modifikasi.
5. Pada penggunaan katalis besar 0,1% Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit dengan variasi massa 1 dan 3% *loading* katalis terhadap 400 ml gasolin pada suhu 27,7 selama 2 menit, diperoleh kenaikan bilangan oktana sebesar 0,1. Oleh karena itu, katalis Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit dapat bekerja pada suhu kamar yaitu 27,7 °C.
6. Dari hasil uji reaksi FTIR dan GC-MS pada gasolin terjadi kenaikan bilangan oktana sebesar 0,1 disebabkan oleh adanya pengurangan konsentrasi pada C₄ – C₁₁, penambahan senyawa benzena, dan meningkatnya senyawa alkohol.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik di masa yang datang berikut ini disampaikan beberapa saran:

1. Metode penyisipan inti aktif dapat dicoba metode yang lain, misalnya dengan metode presipitasi dan pertukaran ion, dengan tujuan mendapatkan *loading* inti aktif yang lebih besar.
2. Preparasi dan pemilihan penyangga katalis yang cukup besar untuk meningkatkan luas kontak serta menambah suhu dan waktu reaksi katalis terhadap gasolin.



DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Zied, B.M, S.A. Soliman. 2008. “*Thermal Decomposition of Praseodymium Acetate as a Precursor of Praseodymium Oxide Catalyst*”. *Thermochimica acta* 470, 91-97.
- Astuti, Jumaeri dan W.T.P. Lestari. 2007. Preparasi Dan Karakterisasi Zeolit Dari AbuLayang Batubara Secara Alkali Hidrotermal. *Reaktor*, volume 11. Hal : 38-44.
- Bond, G.C. 1987. *Heterogenous Catalysis : Principles and Applications*. London: Clarendon Press, Oxford.
- Budisusanto, Tito. 1998. Preparasi Zeolit Alam Sebagai Katalis Pada Reaksi Isomerisasi Xylena. Depok: Universitas Indonesia.
- Campanati, M., G. Fornasari, A. Vaccari. 2003. *Fundamentals in the Preparation of Heterogeneous Catalyst*. *Catalyst Journal* 77 299-314.
- Chou, T.C. 1992. *United State Patent :Praseodymium-Palladium Binary Oxide, Catalyst Compositions Containing The Same, and Methods of Use*. Patent Number: 5,102,639.
- Coates, J. 2000. *Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach*. USA: John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- Gates, B.C., 1992, *Catalytic Chemistry*”, John Wiley and Sons, Inc, Canada.
- Habib, V. 1989. *Fluid Catalytic Cracking Zeolite*. New York: Marcel Dekker
- Hagen, Jens. 2006. *Industrial Catalyst*. Germany: University of Applied Sciences Mannheim.
- Hardono. 1997. Preparasi CuO/Zeolit Alam Lampung Dengan Impregnasi Menggunakan Larutan CuSO₄.5H₂O Serta Karakterisasinya Untuk Eliminasi Gas Buang Sox. Depok : Teknik Kimia, Universitas Indonesia.
- Hasyim, V. 2011. Peningkatan Bilangan Oktanan pada Gasoline Menggunakan Praseodimium oksida-Etilen Diamin Tetra Asetat/Zeolit Klipnotilolit Aktif. Teknik Kimia. Depok, Universitas Indonesia. Sarjana Teknik.

- Hatch, L. F. 1981. *From Hydrocarbon to Petrochemicals*, Gulf Publishing Company, Houston.
- Hussein, G.A.M, dkk. 2001. *Thermal Genesis Course and Characterization of Praseodymium Oxide from Praseodymium Nitrate Hydrate*. *Thermochimica Acta* 369: 59-66.
- K. Asami, K. Kusakabe, N. Ashi, Y. Ohtsuka. 1997. *Synthesis of ethane and ethylene from methane and carbon dioxide over praseodymium oxide catalysts*. *Applied Catalyst. A* 156: 43–56.
- Kish, S.S., A. Rashidi, H.R.Aghabozorg, L. Moradi. 2010. *Increasing the octane number of gasoline using functionalized carbon nanotubes*, *Applied Surface Science*, 256 3472-3477.
- Komalasari, S. (2009). *Potensi Nanopartikel Au Pada Zeolit Klipnotilolit Termodifikasi Ligan L-Sistein Sebagai Adsorben Ion Pb(III)*. FMIPA UI. Depok, Universitas Indonesia. Sarjana Kimia.
- Laniwati, Melia. 2002. *Konversi n-Butanol Menjadi Isobutilen*. Disertasi, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia.
- Liu, C. 2004. *Effect of ZSM-5 On The Aromatization Performance in Cracking Catalyst*. *Applied catalyst A: Chemical* 215 195-199.
- M.F. Reyniers, Y. Tang, G.B. Marina.2000. *Influence of coke formation on the conversion of hydrocarbons*. *Applied catalyst A: General* 202 (2000) 65-80. China : Fudan University.
- Migas, D. 2006. *Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Jenis Bensin 88*. D. Migas. Jakarta. 3674 K/24/DJM.
- Muthia, R. 2010. *Peningkatan Bio-Oil dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Metode Fast Pyrolysis dengan Katalis Zeolit*. Depok: Universitas Indonesia.
- Nasikin, M., Susanto, B. H. 2010. *Katalis Heterogen*. Depok: Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia.
- Prawoto, Bagus Anang Nugroho. 2009. *Kajian Efisiensi Pembakaran Motor Diesel : Tinjauan Emisi Partikulat dan Volatilitas Senyawa Organik*. *Journal of Waste Management Technology*. Vol .12 No. 1. ISSN 1410-9565.

- Rabo, J. A. 2002. *Future opportunities in zeolite science and technology*. Applied Catalysis A: General 229(1-2): 7-10.
- Ramoa, R.F. 1984. *Zeolit : Science and Technology*. Martinus Nijhoff publishers.
- Riberio. F. 1984. *Zeolites: Science and Technology*. Netherland: NATO Advances Studies Institute, Martinus Nijhof Publisher.
- S. Sugiyama, T. Miyamoto, H. Hayashi, M. Tanaka, J.B. Moffat, J. Mol. 1997. *Role of Tetrachloromethane as a Gas-Phase Additive in the Oxidative Dehydrogenation of Propane over Cerium Oxide*. Catalyst A 118: 129–136.
- Santamaria, T., Monzon A, Pena J.A. 1993. *Deactivation by Coke of a Cr₂O₃/Al₂O₃ Catalyst during Butene Dehydrogenation*, Journal of Catalyst 142.
- Tanabe, K.,. 1981. "Solid Acid and Base Catalyst in Catalysis Science and Technology", John R Anderson and Michael Boudart (eds) Vol. 2, Springer-Link Berlin, 231-273.
- Trisunaryanti, Wega, dan Ignatius Emmanuel. 2009. *Preparation, Characterization, Activity, Deactivation, And Regeneration Tests of CoO-MoO/ZnP and CoO-MoO/ZnO-Activated Zeolite Catalyst For The Hydrogen Production From Fusel Oil*. Indo, J. Chem, 9 (3). Hal 361 – 368.
- UCDSB WWW organic thermo. (n.d). Januari 19, 2011. http://www2.ucdsb.on.ca/tiss/stretton/database/organic_thermo.htm
- Yang, H.M. 2011. "Steam Reforming of Methanol Over Copper-Yttria Catalyst Supported on Praseodymium-Aluminum Mixed Oxides", Catalyst Communication 12, 1389-1395.

LAMPIRAN A

HASIL KARAKTERISASI BET

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

Sample ID	BET kat 0.1%				
Description	Togar				
Comments					
Sample Weight	0.5798 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	46.5 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler	3	End of Run	12/08/2011 11:46
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Equil Time	2	File Name	AS977821.RAW
Station #	4	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	1.522E+01	m ² /g
Single Point BET.....	1.500E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	2.387E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	1.303E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	2.189E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	2.091E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	1.113E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	7.432E-03	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	6.410E-03	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	6.535E-03	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	9.949E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.427E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.685E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
 Last Po Acquired 765.71 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	BET Kat 0.01%				
Description	Togar				
Comments					
Sample Weight	0.5292 g				
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	jajat
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	Outgas Time	14.0 hrs	Analysis Time	42.1 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler	3	End of Run	12/08/2011 10:51
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Equil Time	2	File Name	AS977820.RAW
Station #	2	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	1.809E+01	m ² /g
Single Point BET.....	1.776E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	2.860E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	1.664E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	1.454E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	2.465E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	6.907E-04	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	8.761E-03	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	7.445E-03	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	7.605E-03	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width.....	1.044E+02	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.780E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.433E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.685E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 767.08 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	ZLa				
Description	Togar				
Comments					
Sample Weight	0.5103 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	119.2 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler	3	End of Run	11/16/2011 13:58
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Equil Time	2	File Name	AS977826.RAW
Station #	4	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	1.942E+01	m ² /g
Single Point BET.....	1.920E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	3.011E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	1.511E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	4.304E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	2.701E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	2.251E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	9.600E-03	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	8.425E-03	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	8.570E-03	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	9.390E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.412E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.648E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 768.03 mm Hg
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

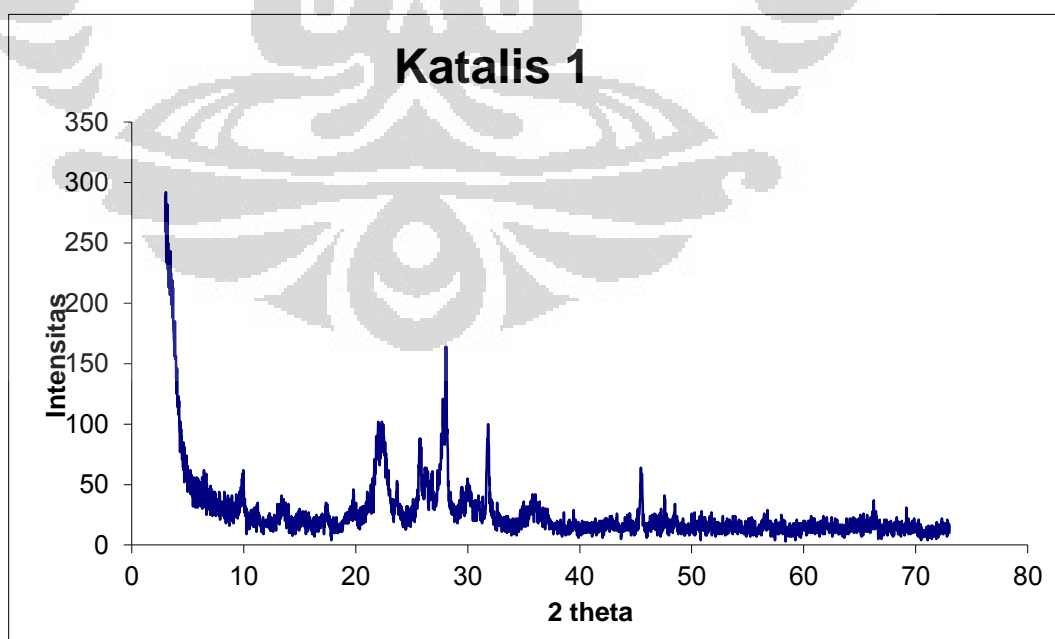
Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

LAMPIRAN B

HASIL KARAKTERISASI XRD

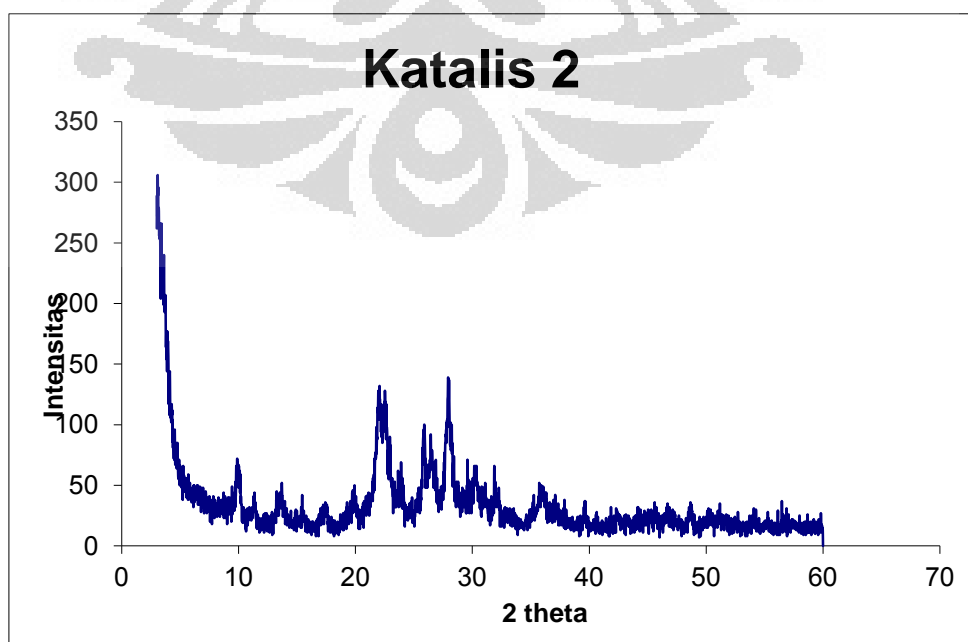
1. Hasil Karakterisasi XRD Zeolit Klipnotilolit Aktif

Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	FWHM [°2Th.]	Area [cts*°2Th.]	Backgr.[cts]	Height [cts]
3,7244	23,72421	11,69	0,4723	6,43	177,84	13,79
9,9287	8,90891	27,58	0,3149	10,1	19,07	32,53
13,3206	6,647	13,42	0,6298	9,83	12	15,82
19,764	4,49213	14,04	0,9446	15,43	14	16,56
21,9346	4,05225	62,31	0,3149	22,83	15	73,5
23,7616	3,74467	18,41	0,3149	6,75	15	21,72
25,7517	3,45962	46,99	0,4723	25,82	16	55,42
28,0741	3,17848	100	0,551	64,12	15	117,95
30,0029	2,97839	28,83	0,3149	10,56	15	34
31,8327	2,81124	57,55	0,3149	21,08	14	67,88
35,8738	2,50329	16,4	0,6298	12,02	11	19,34
45,456	1,9954	30,22	0,4723	16,61	8	35,65
47,5321	1,91298	12,35	0,4723	6,79	8	14,57
48,4769	1,87788	12,16	0,3149	4,46	8	14,34
56,6043	1,62603	10,63	0,6298	7,79	8	12,54
66,3077	1,40968	14,52	0,3149	5,32	7	17,13
75,3958	1,25969	10,07	0,576	9,12	8	11,87



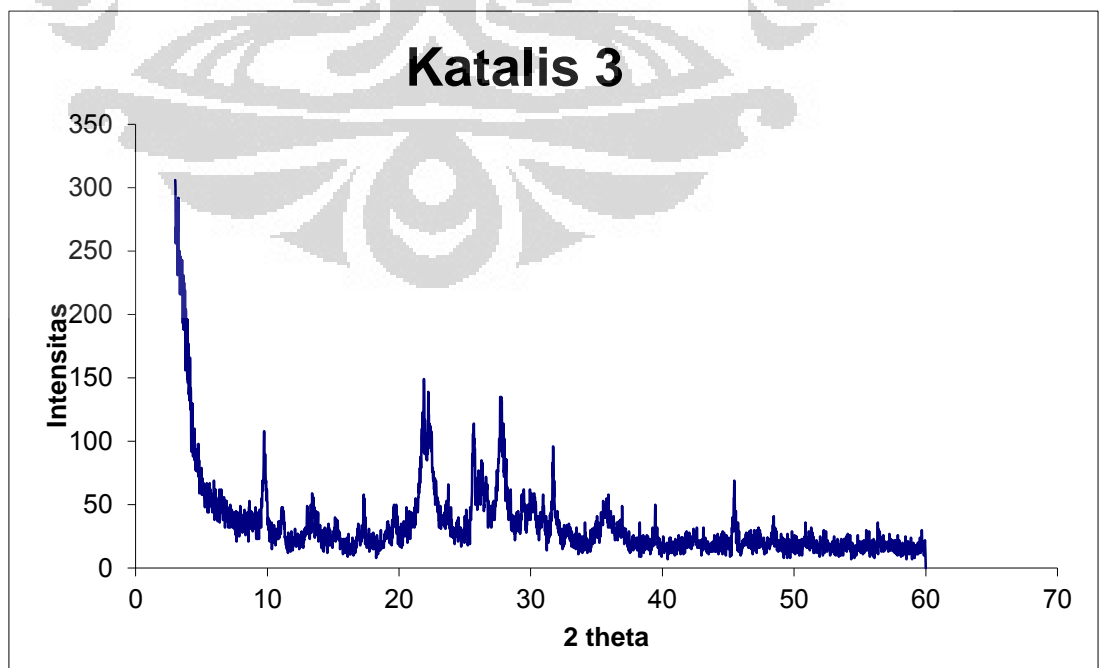
2. Hasil Karakterisasi XRD Katalis Besar 0,01 % w/w Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit Aktif

No.	Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	FWHM [°2Th.]	Area [cts*°2Th.]	Backgr.[cts]	Height [cts]
1	3,273	26,99525	51,76	0,9446	50,96	224,55	54,69
2	9,9729	8,86952	41,6	0,3149	13,65	18	43,95
3	11,3555	7,7925	21,57	0,2362	5,31	14	22,79
4	13,6439	6,49023	28,81	0,2362	7,09	11	30,44
5	15,368	5,76576	13	0,4723	6,4	11	13,73
6	17,3188	5,12046	15,31	0,6298	10,05	10	16,17
7	19,9065	4,4603	24,35	0,3936	9,99	13	25,73
8	22,0145	4,03773	98,75	0,3149	32,41	15	104,34
9	22,5305	3,94641	98,88	0,2755	28,4	16	104,48
10	24,0074	3,70688	24,39	0,3936	10,01	17	25,77
11	25,8798	3,44278	74,6	0,2362	18,36	18	78,82
12	26,4243	3,37306	53,71	0,2362	13,22	18	56,75
13	27,9136	3,19638	100	0,3149	32,82	18	105,66
14	30,2808	2,95169	37,09	0,3936	15,22	17	39,2
15	31,0532	2,88	22,47	0,3149	7,38	16	23,75
16	31,9117	2,80446	30,92	0,2362	7,61	15	32,67
17	35,8143	2,50731	29,47	0,3936	12,09	13	31,14
18	39,6281	2,27436	15,75	0,2362	3,88	11	16,64
19	42,5981	2,12241	8,79	0,9446	8,65	11	9,29
20	48,6909	1,87013	15,89	0,3149	5,21	12	16,79
21	51,3101	1,78065	9,65	1,5744	15,83	11	10,19
22	54,0133	1,69634	8,7	0,576	7,06	11	9,19



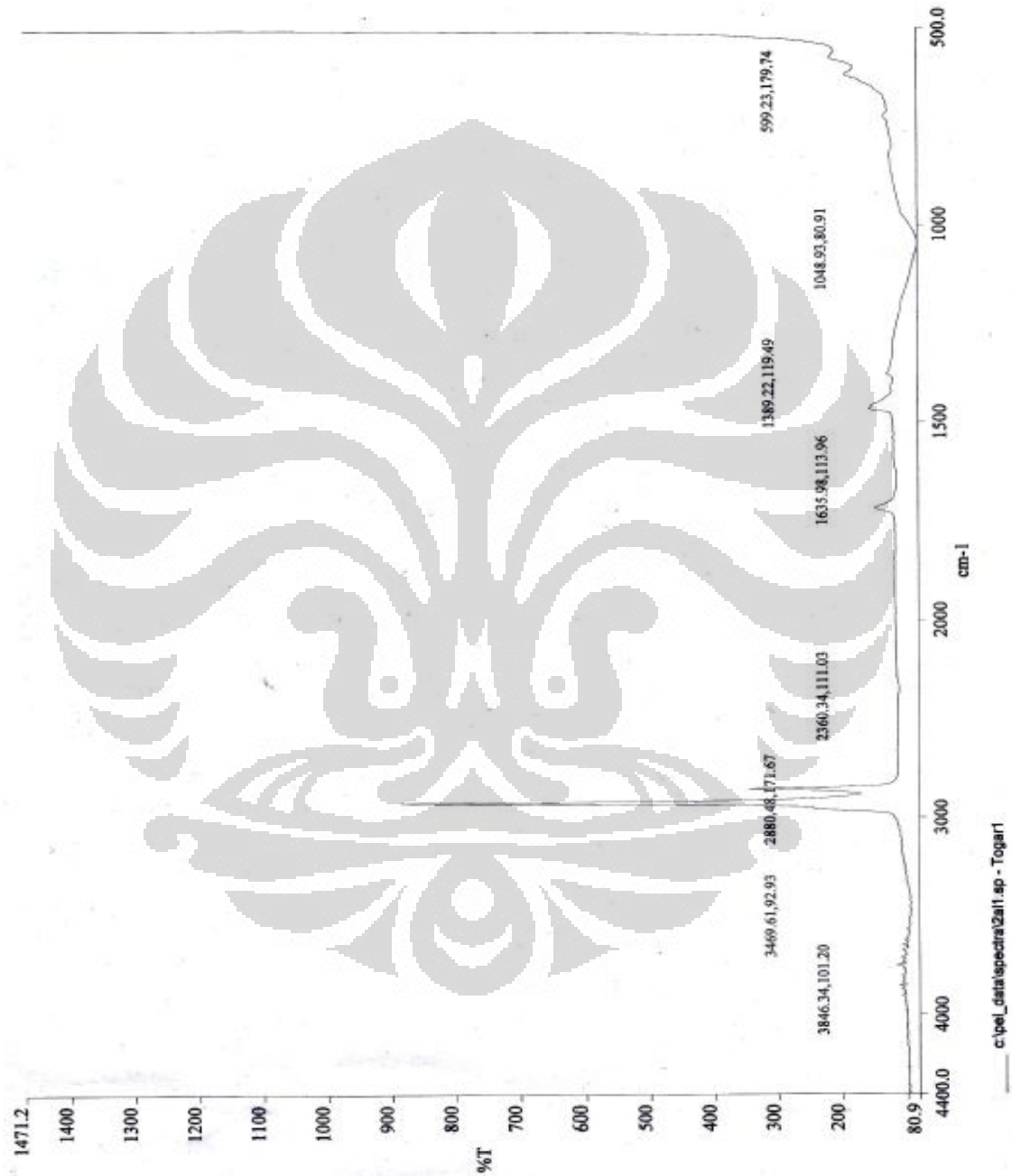
3. Hasil Karakterisasi XRD Katalis Besar 0,1 % w/w Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit Aktif

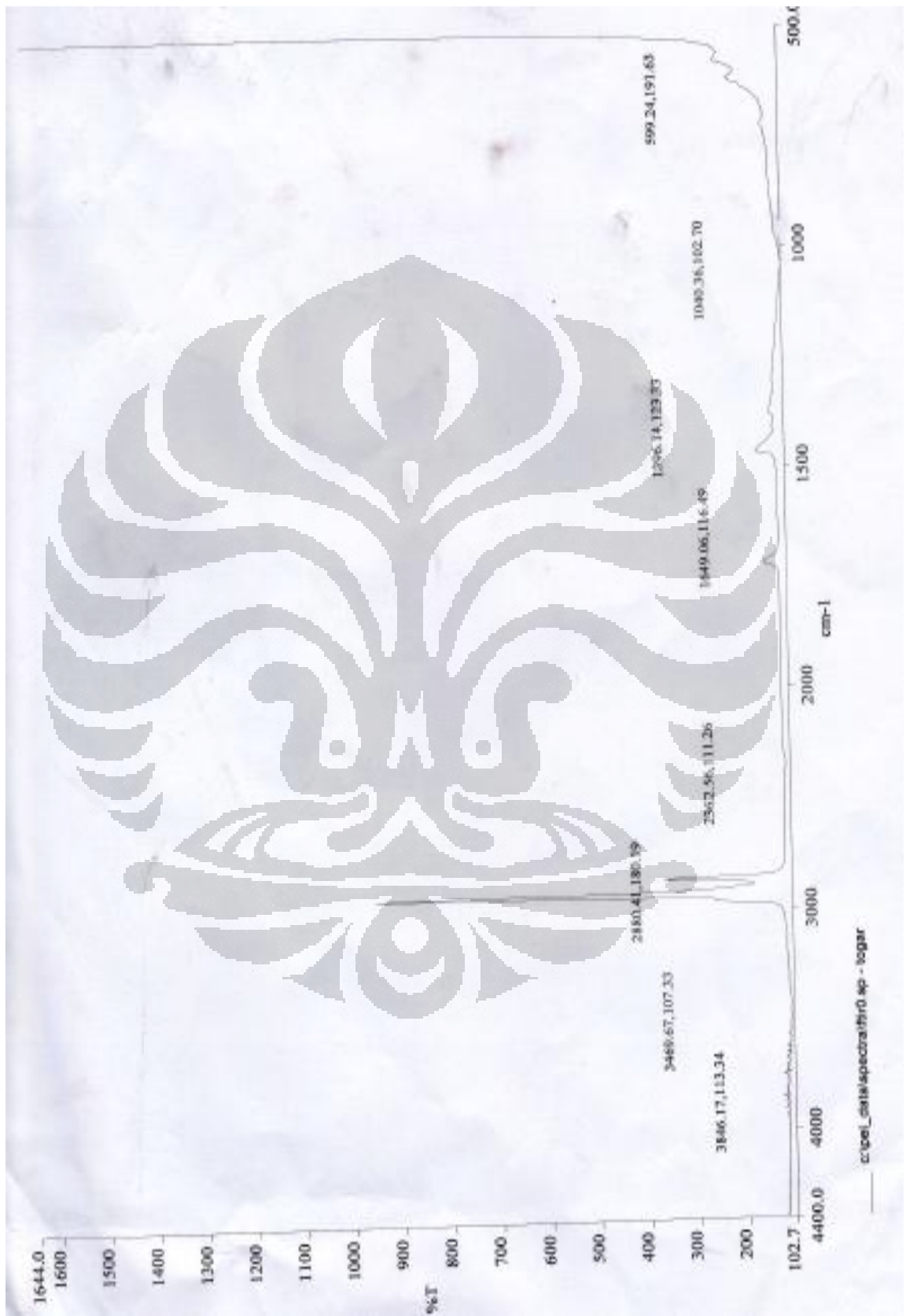
No.	Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	FWHM [°2Th.]	Area [cts*°2Th.]	Backgr.[cts]	Height [cts]
1	3,7547	23,53279	10,95	0,4723	5,39	194,29	11,56
2	9,7944	9,03075	62,75	0,1968	12,87	21	66,27
3	11,2468	7,86756	20,72	0,2362	5,1	19	21,88
4	13,5839	6,51877	23,71	0,6298	15,56	16	25,04
5	15,2502	5,81002	15,74	0,3936	6,45	15	16,62
6	17,2313	5,14624	16,68	0,6298	10,94	16	17,62
7	19,6721	4,5129	22,72	0,2362	5,59	17	23,99
8	21,8535	4,06712	100	0,2362	24,6	19	105,62
9	23,6902	3,75579	30,58	0,2362	7,52	20	32,3
10	25,6701	3,47042	75,2	0,1968	15,42	21	79,43
11	27,7455	3,21537	95,78	0,3149	31,42	21	101,16
12	29,4323	3,03482	36,91	0,1968	7,57	20	38,99
13	30,2148	2,95798	29,13	0,4723	14,33	19	30,77
14	30,9175	2,89234	25,73	0,2362	6,33	19	27,17
15	31,6979	2,82289	54,81	0,2362	13,49	18	57,89
16	35,7685	2,51042	27,54	0,4723	13,55	14	29,08
17	39,4843	2,28231	22,11	0,3149	7,25	12	23,36
18	42,5273	2,12578	10,69	0,9446	10,52	10,13	11,29
19	45,4498	1,99566	37,84	0,2362	9,31	11	39,97
20	48,4646	1,87833	18,29	0,3149	6	11	19,32
21	54,1334	1,69286	10,27	0,48	6,95	11	10,85



LAMPIRAN C HASIL KARAKTERISASI FTIR

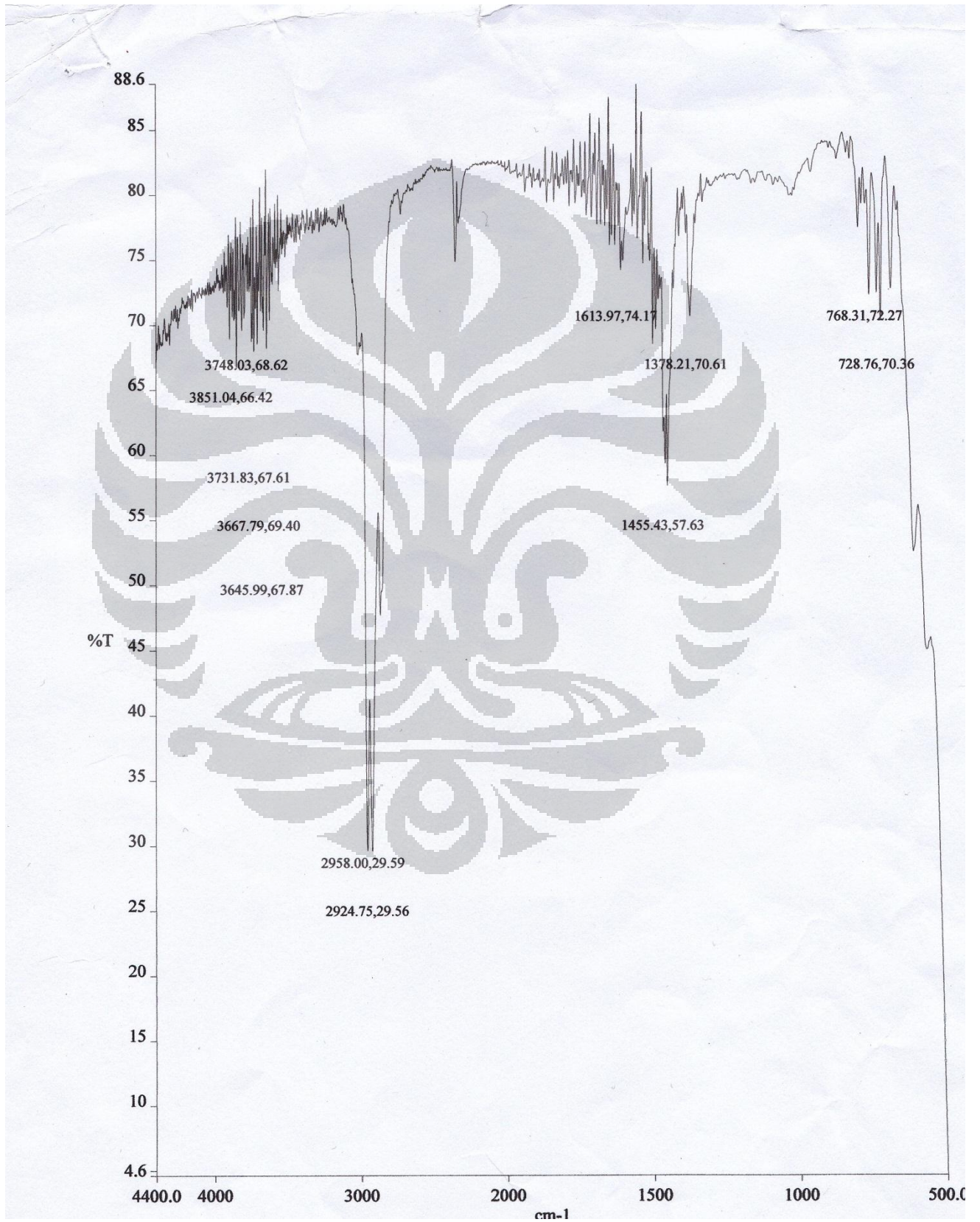
1. Katalis sebelum dan sesudah modifikasi



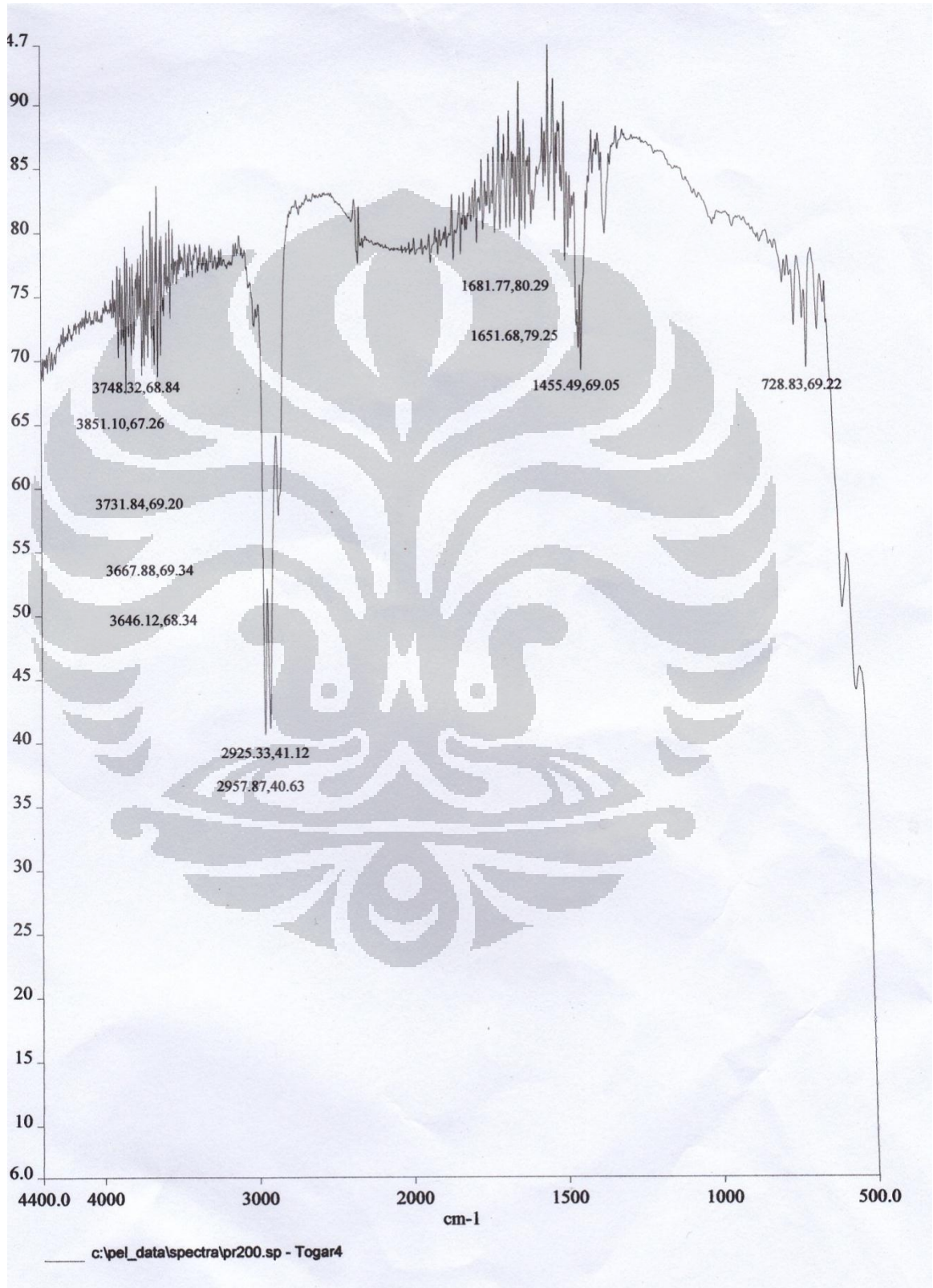


2. Gasolin sebelum dan sesudah penambahan Praseodimium nitrat heksahidrat

a. Gasolin murni

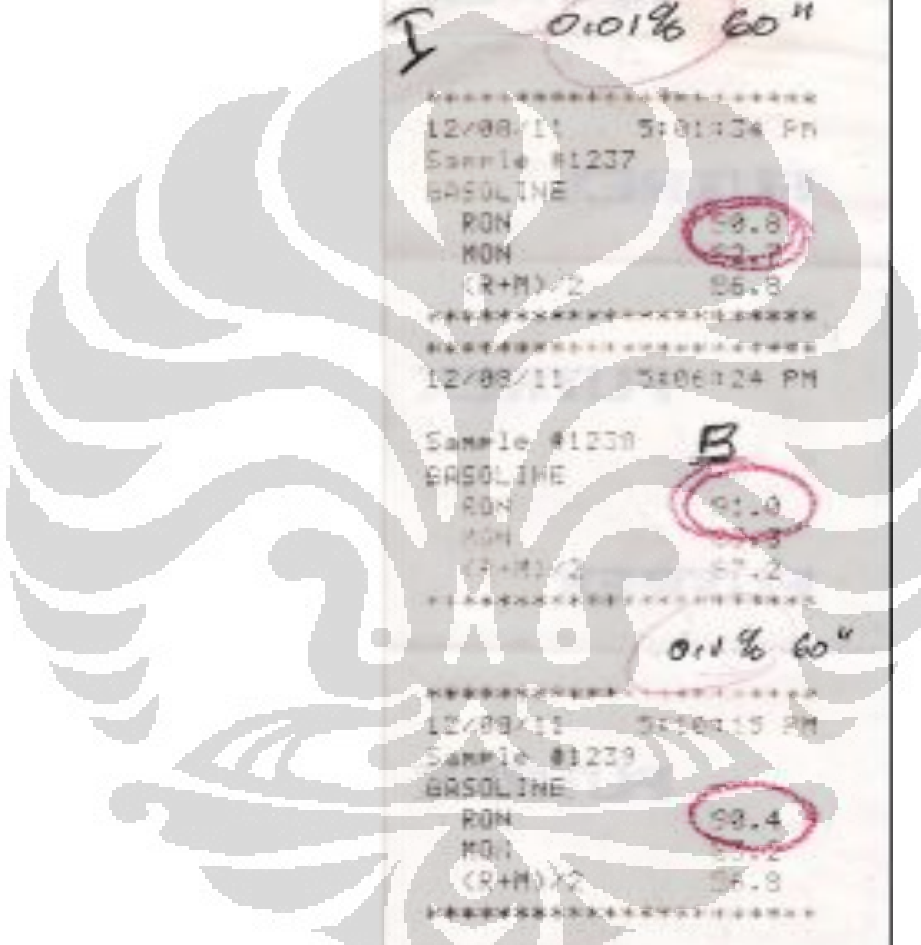


**b. Gasolin + katalis besar 0,1% w/w Praseodimium oksida/zeolit
Klipnotilolit aktif**



LAMPIRAN D
HASIL UJI BILANGAN OKTANA

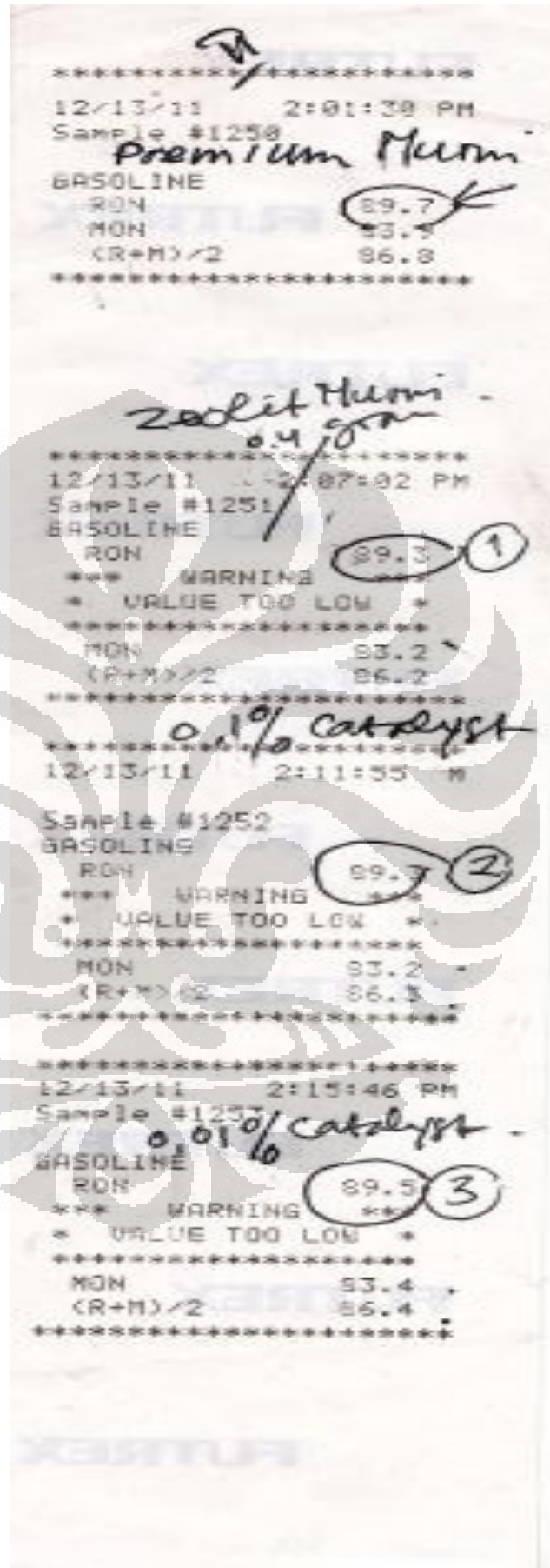
D.1. Uji Sampel I



Sample #	RON	MON	(R+M)/2
1237	98.8	82.7	95.8
1238	91.0	81.3	87.2
1239	98.4	81.2	86.8
1240	98.4	81.9	86.7

The image shows four test results for gasoline samples, each with handwritten annotations. The first sample (1237) is labeled 'I' and '0.01% 60'' with '98.8' circled. The second (1238) is labeled 'B' with '91.0' circled. The third (1239) is labeled '0.01% 60'' with '98.4' circled. The fourth (1240) is labeled 'zeol 60'' with '98.4' circled. Each result includes RON, MON, and (R+M)/2 values.

D.2. Uji Sampel 2



D.3.Uji Sampel 3

M

```
*****
12/15/11 5:43:58 PM
Sample #1254
GASOLINE
RON 89.4
*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *
*****
MON 83.8
(R+M)/2 86.6
*****
```

BM

```
*****
12/15/11 5:46:44 PM
Sample #1255
GASOLINE
RON 89.4
*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *
*****
MON 83.7
(R+M)/2 86.5
*****
```

15%

```
*****
12/15/11 5:49:31 PM
Sample #1256
GASOLINE
RON 89.3
*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *
*****
MON 83.7
(R+M)/2 86.5
*****
```

1%

```
*****
12/15/11 5:52:13 PM
Sample #1257
GASOLINE
RON 89.4
*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *
*****
MON 83.6
(R+M)/2 86.5
*****
```

175%

```
*****
12/15/11 5:55:05 PM
Sample #1258
GASOLINE
RON 89.4
*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *
*****
MON 83.6
(R+M)/2 86.5
*****
```

3%

D.4. Uji Sampel 4

1% , T = 27.7°C
t = 2 mm

12/16/11 9:27:48 PM
Sample #1267
GASOLINE
RON 89.5
*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *

MON 83.7
(R+M)/2 86.6

3% , T = 27.7°C
t = 2 mm

12/16/11 9:29:22 PM
Sample #1268
GASOLINE
RON 89.5
MON 83.7
(R+M)/2 86.6

PA - Zeol - EDTA
T = 27.7°C , t = 2 mm

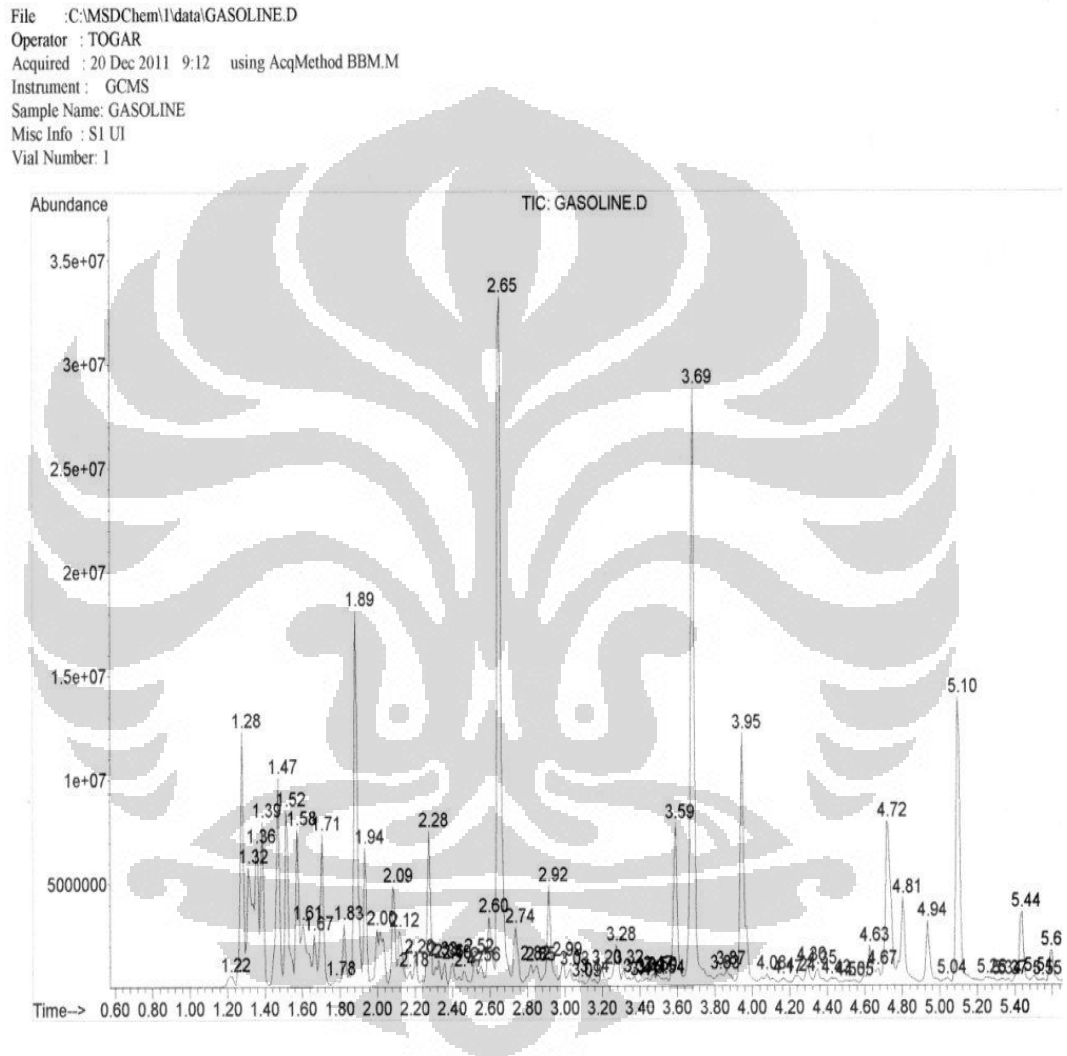
12/16/11 9:32:41 PM
Sample #1269
GASOLINE
RON 89.5
*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *

MON 83.7
(R+M)/2 86.6

16/2011
/12
farman

LAMPIRAN E HASIL ANALISIS GC-MS

Tabel E.1. Hasil Uji GC-MS Gasolin Murni Tanpa Katalis

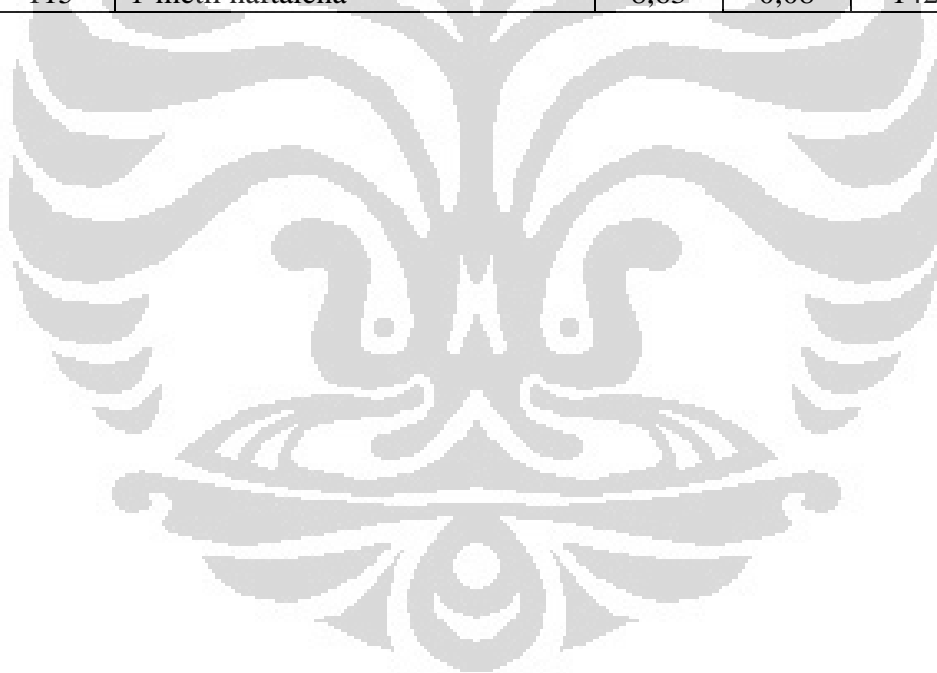


No	Nama Senyawa	RT	% Area	MW
1	1-Butene	1,23	1,81	56
2	2-metil butana	1,28	1,97	72
3	2-metil,1-butena	1,32	1,7	70
4	2-pentene	1,36	1,57	70
5	2,2-dimetil, butana	1,39	1,65	86
6	2-metil pentana	1,47	2,41	86
7	3-metil pentana	1,58	2	86

8	heksana	1,58	1,55	86
9	3-metil-2-pentena	1,6	1,42	84
10	3-metilyne pentana	1,67	0,69	84
11	metil siklopentana	1,7	1,84	84
12	cis-3-heksenal	1,79	0,58	192
13	1-metil siklopentena	1,82	1	82
14	benzena	1,89	3,55	78
15	3-metil heksana	1,94	1,42	100
16	1,3-dimetil siklopentana	2	1,95	98
17	3-metil heksana	2,09	1,23	98
18	2meti, 2-2-heksadiena	2,12	1,07	96
19	3-metil-2heksena	2,17	0,41	98
20	cycloheksanon	2,21	0,83	98
21	metil sikloheksana	2,28	1,64	98
22	2,4-dimetil heksana	2,33	0,69	114
23	etil siklopentana	2,36	0,5	98
24	1,2,4trimetil siklopentana	2,4	0,67	112
25	1,2,3-trimetil siklopentana	2,47	0,84	112
26	trimetilenemetilen siklopropana	2,53	0,72	96
27	2,3-dimetil heksana	2,55	0,51	114
28	2-metil heptana	2,6	1,11	114
29	toluena	2,65	6,71	92
30	cis-1,2-dimetil sikloheksana	2,74	1,17	112
31	1-etil-3-metil siklopentana	2,82	0,73	112
32	1-etil-2-metil siklopentana	2,85	0,6	112
33	n-oktana	2,92	1,69	114
34	trans-1,2-dimetil sikloheksana	3	0,62	112
35	1,3-dimetil-1-sikloheksena	3,03	0,83	110
36	2,2-dimetil heptana	3,1	0,28	128
37	2,4-dimetil heptana	3,14	0,68	128
38	2,6-dimetilheptana	3,2	0,55	128
39	etil sikloheksana	3,28	1,15	112
40	1,1,3-trimethylsikloheksana	3,32	0,4	126
41	5-metilena-6-hepten-3-ol	3,37	0,6	126
42	1-(1-metiletil) siklopentena	3,41	0,24	110
43	1,2,4,4-tetramethylsiklopentena	3,44	0,4	124
44	1,2,3-trimetil sikloheksana	3,47	0,36	126
45	2,3-dimetil heptana	3,5	0,46	128
46	4-etil heptana	3,54	0,26	128
47	etil benzena	3,59	2,06	106
48	1,3-dimetil benzena	3,68	5,99	106
49	3-etil sikloheksanon	3,84	0,55	126
50	1-etil-3-methylsikloheksana	3,87	0,65	126
51	1,3-dimetil benzena	3,94	3	106
52	1-etil-4-methylsikloheksana	4,08	1,05	126
53	3-metil heptana	4,17	0,53	114

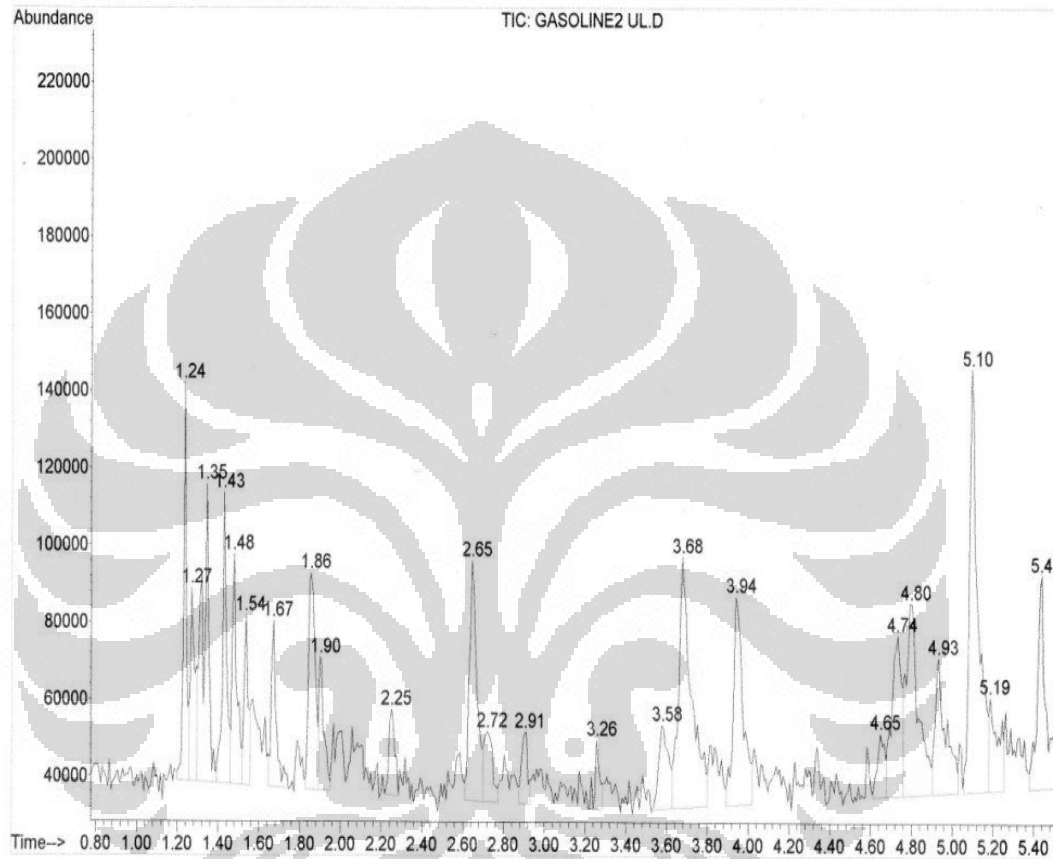
54	2-metil siklopentanol	4,24	0,63	100
55	isopropilbenzena	4,3	0,55	120
56	2,6-dimetil oktana	4,35	0,7	142
57	2,6-dimetil oktana	4,42	0,69	142
58	1,2-dimetil siklooktana	4,5	0,27	140
59	2-metil 3-otcyne	4,55	0,42	124
60	n-propilbenzena	4,63	0,97	120
61	4-metil nonana	4,67	0,31	142
62	1-etil-2-metil benzena	4,72	2,39	120
63	1,2,3-trimetil benzena	4,81	1,69	120
64	1-etil-2-metil benzena	4,93	1,25	120
65	cis-Hexahidroindana	5,04	0,39	124
66	1,2,3-trimetil benzena	5,1	3,32	120
67	(2-dimetoksimetoksi)-metil benzena	5,25	0,63	152
68	2,5-dimetilnonana	5,34	0,26	156
69	4-metil dekana	5,37	0,21	156
70	1,2,4-trimetil benzena	5,44	1,16	120
71	isobutil siklopentana	5,5	0,33	126
72	3,8-dimetil dekana	5,56	0,22	179
73	2,3-dihidroindena	5,6	0,9	118
74	1-metil-3-propil benzena	5,75	0,91	134
75	dietil benzena	5,8	0,41	134
76	4-etil-1,2-dimetil benzena	5,83	0,87	134
77	(1-metilpropil) benzena	5,93	0,54	134
78	2-etil p-xilena	6,04	0,58	134
79	1-metil-3-(1-metiletil) benzena	6,07	0,4	134
80	1-metil-2-(2-propenil) benzena	6,11	0,15	132
81	1-etil-2,4-dimetil benzena	6,14	0,92	134
82	Undekana	6,23	0,36	156
83	2-fenilpentana	6,31	0,16	148
84	1-etil-2,3-dimetil benzena	6,34	0,15	134
85	3-etil o-xilena	6,39	0,48	134
86	1,2,4,5-tetrametil benzena	6,49	0,48	134
87	1,2,3,4 tetrametil benzena	6,54	0,59	134
88	2-metil-2-fenil-1-butena	6,61	0,24	146
89	1-metil-4-(1-etilpropil) benzena	6,7	0,3	148
90	4-metil indan	6,76	0,71	132
91	2,6-dimetildekana	6,84	0,1	170
92	2-butena, 2-fenil	6,88	0,85	132
93	1-metil-4-(1-metilpropil) benzena	6,96	0,24	148
94	trans-1-metil-2-indanol	7,01	0,44	148
95	1-metil-4-(1-metilpropil) benzena	7,12	0,28	148
96	4,7-dimetil, 2,3-dihidro, 1H-indena	7,22	0,2	146
97	naftalena	7,29	0,64	128
98	3-metil-2-butenil benzena	7,39	0,58	146

99	2,6,10,14-tetrametil heksadekana	7,46	0,09	282
100	1-etil-2,4,5-trimetil benzena	7,5	0,15	148
101	2-metil undekana	7,54	0,08	170
102	1-etil-4-(1-metiletil) benzena	7,59	0,14	148
103	1-isopropil,2-5-dimetil benzena	7,65	0,16	148
104	2-etil,2,3-dihidro 1H indena	7,78	0,26	146
105	2,3-dihidro-1,1,3-trimetil 1H indena	7,85	0,17	160
106	2,3-dihidro-4,7-dimetil 1H indena	7,94	0,28	146
107	2,4-dimetil 3-heksanon	8,05	0,06	128
108	2,3-dihidro-4,6-dimetil 1H indena	8,08	0,11	146
109	2,3-dihidro-4,6-dimetil 1H indena	8,11	0,1	146
110	1,3,5-trimetil benzena	8,18	0,07	160
111	1,3-(dimetil-5(5-metiletil) benzena	8,25	0,16	148
112	n-tridekana	8,34	0,05	184
113	1,3,5-trimetil-2-(1-metiletenil) benzena	8,39	0,06	160
114	1-metil naftalena	8,47	0,17	142
115	1-metil naftalena	8,63	0,08	142



Tabel E.2. Hasil Uji GC-MS Gasolin Murni + Katalis 3

File : C:\MSDCHEM\1\data\GASOLINE2 UL.D
 Operator : TOGAR
 Acquired : 20 Dec 2011 11:47 using AcqMethod BBM.M
 Instrument : GCMS
 Sample Name: GASOLINE PR
 Misc Info : S1 UI
 Vial Number: 1



No.	Nama Senyawa	RT	% Area	MW
1	Isopentana	1,23	2,66	72
2	n-butana	1,28	1,99	72
3	2,2-dimethyl-Butane	1,34	4,76	86
4	4-Penten-2-ol	1,44	2,79	86
5	3-methyl-pentane	1,48	2,61	86
6	hexane	1,54	1,49	86
7	metil cyclopentane	1,67	2,05	84
8	benzene	1,86	3,35	78
9	1,3-dimetil,cyclopentane	1,91	1,64	98
10	metil, cyclohexane	2,25	1,15	58
11	1,3,5-cycloheptatriena	2,65	4,28	92
12	1,4-dimethyl,cyclohexane	2,73	1,46	112
13	prophylhydrazone-2-propanone	2,91	1,03	114

14	etil ester, 2-propenoic acid	3,26	0,72	100
15	ethyl-benzene	3,58	1,85	106
16	1,3-dimethyl-benzene	3,69	7,5	106
17	p-xylene	3,95	4,78	106
18	decane	4,65	1,04	142
19	1,3,5-trimethylbenzene	4,73	3,56	120
20	1,2,3-trimethylbenzene	4,8	5,74	120
21	1-ethyl-4-methyl-benzene	4,93	3,39	120
22	1,2,3-trimethyl, benzene	5,1	8,63	120
23	1,3,5-trimethylbenzene	5,19	1,94	120
24	1,2,4-trimethylbenzene	5,44	4,96	120
25	1-ethyl,4-methyl-benzene	5,76	1,23	120
26	1,3-diethylbenzene	5,82	4,47	134
27	metil(1-metiletil) benzene	5,91	1,71	134
28	1-ethyl-2,3-dimethyl-benzene	6,06	2,77	134
29	p-cymene	6,16	3,4	134
30	1-metil,4-(1-metiletil), benzene	6,49	0,95	134
31	1-ethyl,2,3,dimetil,benzene	6,54	2,79	134
32	3-ethenyl-1-1,2-dimethyl-1,4-cyclohexadiene	6,79	1,11	134
33	2,3-dihydro-2-methyl-benzofuran	6,9	3,48	134
34	2-metil,1-propenil benzene	7	1,03	132
35	2,4-diethyl-1-methyl-benzene	7,38	1,69	148

LAMPIRAN F

PERHITUNGAN – PERHITUNGAN

1. Impregnasi kristal besar Praseodimium oksida ke dalam zeolit Klipnotilolit dengan perbandingan 0,01 dan 0,1% w/w (zeolit yang digunakan 30 gram)

Diketahui :

- M zeolit yang digunakan = 30 gram

Jawab :

- a. Katalis 0,01% w/w Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif

$$\frac{m \text{ Praseodimium nitrat heksahidrat}}{m \text{ zeolit}} \times 100\% = 0,01\%$$

$$\frac{m \text{ Praseodimium nitrat heksahidrat}}{30 \text{ gram}} \times 100\% = 0,01\%$$

$$m \text{ Praseodimium nitrat hidrat} = 0,0035 \text{ gram}$$

- b. Katalis 0,1% w/w Praseodimium/zeolit Klipnotilolit aktif

$$\frac{m \text{ Praseodimium nitrat heksahidrat}}{m \text{ zeolit}} \times 100\% = 0,1\%$$

$$\frac{m \text{ Praseodimium nitrat heksahidrat}}{30 \text{ gram}} \times 100\% = 0,1\%$$

$$m \text{ Praseodimium nitrat hidrat} = 0,035 \text{ gram}$$

2. Impregnasi Praseodimium oksida-EDTA ke dalam zeolit Klipnotilolit dengan perbandingan 1% w/w (zeolit yang digunakan 10 gram)

Diketahui :

- M zeolit yang digunakan = 10 gram
- Perbandingan massa Praseodimium nitrat heksahidrat dengan EDTA = 1 : 1
- massa Praseodimium nitrat hidrat dengan EDTA = x

Jawab :

- a. Katalis 0,1% w/w Praseodimium oksida/zeolit Klipnotilolit aktif

$$\frac{x}{m \text{ zeolit} + x + x} \times 100\% = 0,1\%$$

$$\frac{x}{10 + 2x} \times 100\% = 0,1\%$$

$$x = 0,01 \text{ gram}$$

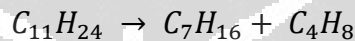
Jadi berat Praseodimium nitrat heksahidrat dan EDTA yang diambil masing-masing sebanyak 0,005 gram.

3. Perhitungan energi Gibbs pada suhu 298,15 K Persamaan reaksi 4.2, 4.3, dan 4.4. Data energi Gibbs pada perhitungan ini diperoleh dari http://www2.ucdsb.on.ca/tiss/stretton/database/organic_thermo.htm.

Persamaan energi Gibbs:

$$\Delta G_{298,15K} = \Delta G_{produk} - \Delta G_{reaktan}$$

- Energi Gibbs Persamaan 4.1



Diketahui :

$$\Delta G_{C_{11}H_{24}} = 22,4 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{C_7H_{16}} = 1,3 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{C_4H_8} = 0 \text{ kJ/mol}$$

Jawab :

$$\Delta G_{298,15K} = \Delta G_{produk} - \Delta G_{reaktan}$$

$$\Delta G_{298,15K} = (\Delta G_{C_7H_{16}} + \Delta G_{C_4H_8}) - (\Delta G_{C_{11}H_{24}})$$

$$\Delta G_{298,15K} = (1,3 + 0) - (22,4) \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{298,15K} = -21,1 \text{ kJ/mol}$$

- Energi Gibbs Persamaan 4.2



Diketahui :

$$\Delta G_{C_{11}H_{24}} = 22,4 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{C_5H_{12}} = -9,2 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{C_6H_{12}} = 26,8 \text{ kJ/mol}$$

Jawab :

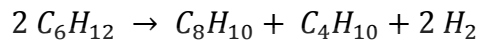
$$\Delta G_{298,15K} = \Delta G_{produk} - \Delta G_{reaktan}$$

$$\Delta G_{298,15K} = (\Delta G_{C_5H_{12}} + \Delta G_{C_6H_{12}}) - (\Delta G_{C_{11}H_{24}})$$

$$\Delta G_{298,15K} = (-9,2 + (26,8)) - (22,4) \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{298,15K} = -17,6 \text{ kJ/mol}$$

- Energi Gibbs Persamaan 4.3



Diketahui :

$$\Delta G_{C_6H_{12}} = 26,8 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{C_8H_{10}} = 19,7 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{C_4H_{10}} = -15,6 \text{ kJ/mol}$$

Jawab :

$$\Delta G_{298,15K} = \Delta G_{produk} - \Delta G_{reaktan}$$

$$\Delta G_{298,15K} = (\Delta G_{C_8H_{10}} + \Delta G_{C_4H_{10}}) - (\Delta G_{C_6H_{12}})$$

$$\Delta G_{298,15K} = (19,7 + (-15,6)) - (26,8) \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{298,15K} = -22,7 \text{ kJ/mol}$$