



UNIVERSITAS INDONESIA

**IDENTIFIKASI PRODUK HASIL KONVERSI ASETON
MENGUNAKAN KATALIS HZSM-5 SERTA
KARAKTERISASI KATALISNYA**

SKRIPSI

MONDY DWI SYAHRYANDI

0606076614

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2010**

**IDENTIFIKASI PRODUK HASIL KONVERSI ASETON
MENGUNAKAN KATALIS HZSM-5 SERTA
KARAKTERISASI KATALISNYA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**MONDY DWI SYAHRYANDI
0606076614**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**

DEPOK

JULI 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

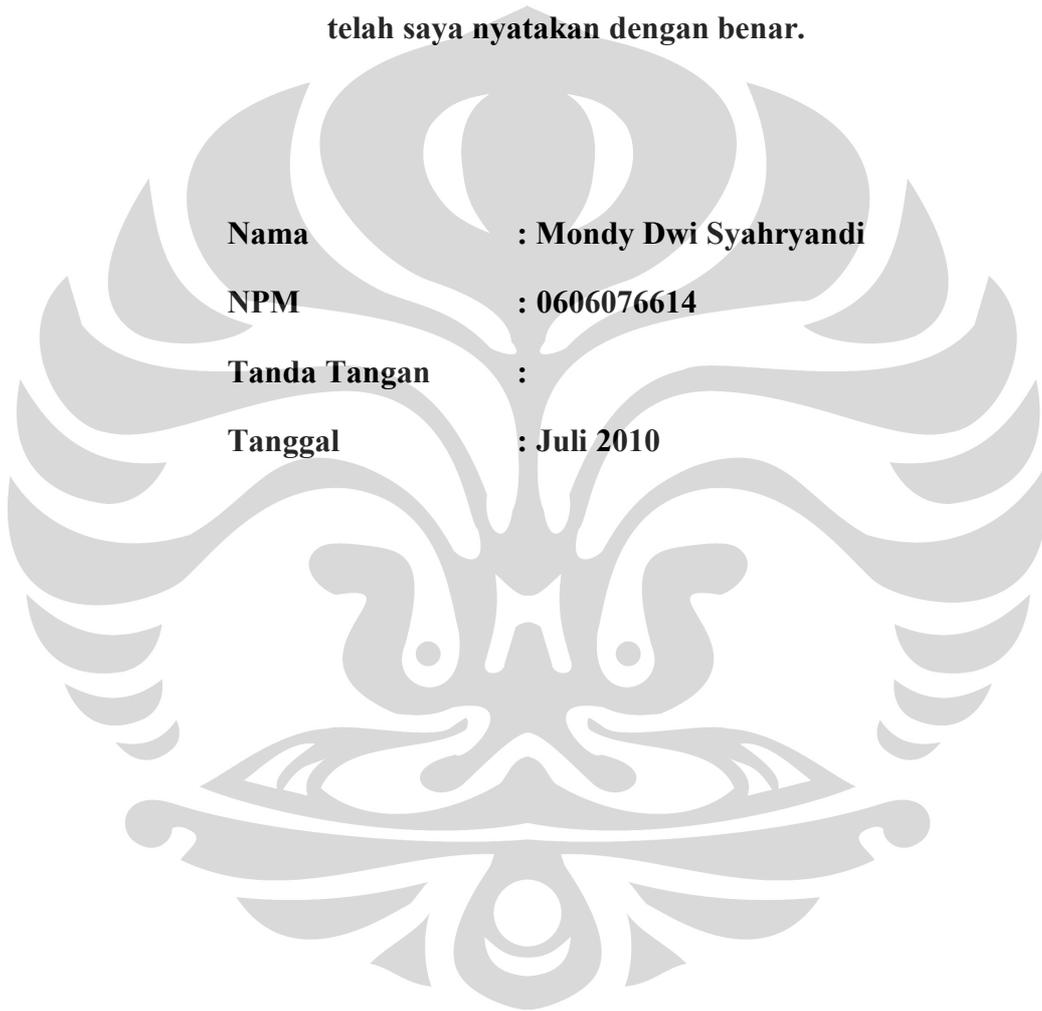
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Mondy Dwi Syahryandi

NPM : 0606076614

Tanda Tangan :

Tanggal : Juli 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Mondy Dwi Syahryandi
NPM : 0606076614
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Identifikasi produk hasil konversi aseton
menggunakan katalis HZSM-5 serta karakterisasi
katalisnya

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Setiadi M.Eng ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. Slamet MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah serta puji dan syukur tak hentinya penulis panjatkan kepada Allah SWT serta shalawat dan salam kepada Nabi besar Muhammad SAW atas segala rahmat dan Hidayah-Mu sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sngatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Setiadi M.Eng selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo W.Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Slamet, M.T. selaku Pembimbing Akademik penulis.
4. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
5. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Kimia 2006 atas semua kerjasamanya.
6. Serta berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu untuk segala kontribusinya.

Penulis berharap makalah ini dapat berguna suatu saat kelak bagi setiap orang yang membacanya. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan makalah ini agar dapat memberikan manfaat yang lebih baik lagi.

Depok, Juli 2010

Penulis

Universitas Indonesia

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

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

Nama : Mondy Dwi Syahryandi

NPM : 0606076614

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 karya ilmiah saya yang berjudul:

Identifikasi Produk Cair Hasil Konversi Aseton
Menggunakan Katalis HZSM-5 serta karakterisasi katalisnya

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.

Demikia pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 2 Juli 2010

Yang menyatakan

(Mondy Dwi Syahryandi)

ABSTRAK

Nama : Mondy Dwi Syahryandi
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Identifikasi Produk Hasil Konversi Aseton menggunakan Katalis H-ZSM-5 serta karakterisasi katalisnya

Hidrokarbon aromatik merupakan komponen penting dalam industri petrokimia. Konversi aseton menjadi hidrokarbon aromatik sudah dapat dilakukan melalui reaksi perengkahan dan aromatisasi dengan menggunakan katalis HZSM-5. Produk yang terbentuk dari reaksi dianalisis dengan *Gas Chromatography-mass spectroscopy*. Secara umum konversi aseton akan menghasilkan hidro karbon aromatik dan akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu reaksi. Dan senyawa hidrokarbon aromatik ditemukan paling banyak pada suhu 425⁰C. selain itu, telah dilakukan pula karakterisasi untuk katalis yang digunakan agar dapat diketahui senyawa penyusun kokas.

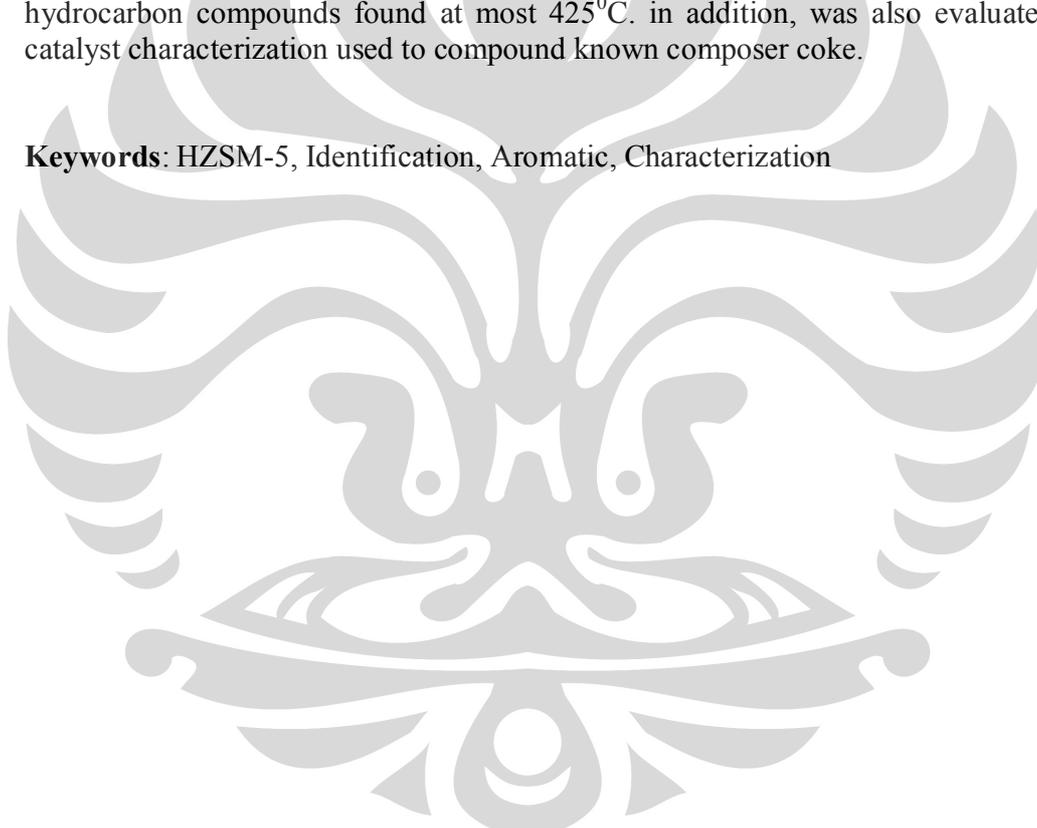
Kata kunci : HZSM-5, Identifikasi, Aromatik, Karakterisasi

ABSTRACT

Name : Mondy Dwi Syahryandi
Study Program : Chemical Engineering
Title : Identification Resulted From Acetone Conversion Using H-ZSM-5 Catalyst and The Catalyst Characterization

Aromatic Hydrocarbon are very important in petrochemical industry. Conversion acetone to aromatic hydrocarbon can be done by cracking and aromatization reaction using HZSM-5 Catalyst. Product resulted from the reaction are analyze with Gas Chromatography-mass spectroscopy. Generally, conversion will produce aromatic hydrocarbon and it will increase along with the increase of temperature. Aromatic hydrocarbon compounds found at most 425⁰C. in addition, was also evaluated for catalyst characterization used to compound known composer coke.

Keywords: HZSM-5, Identification, Aromatic, Characterization



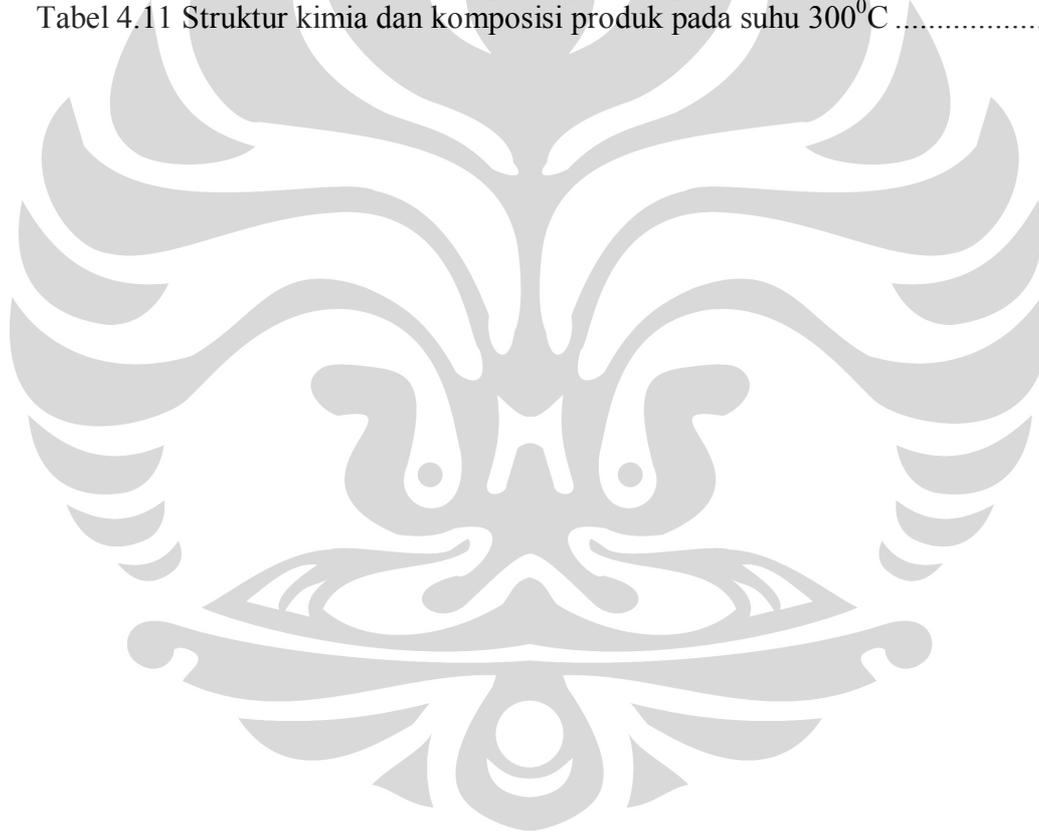
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Aseton	6
2.2 Katalis	6
2.3 Zeolit	7
2.3.1 Jenis-jenis zeolit	7
2.3.2 Struktur zeolit	8
2.3.3 Penggunaan zeolit	12
2.4 ZSM-5	17
2.4.1 Penggunaan ZSM-5	19
2.4.2 Struktur ZSM-5	19
2.5 Deaktivasi	21
2.5.1 Coking	22
2.5.2 Kerusakan partikel	25
2.5.3 Fouling	25
2.5.4 Sintering	27
2.5.5 Poisoning	28
2.6 Mekanisme Reaksi	28
2.7 Karakterisasi Katalis	29
2.7.1 Karakterisasi dengan Brunauer, Emmert, dan Teller (BET)	29
2.7.2 Karakterisasi dengan X-Ray Diffraction (XRD)	30
2.7.3 Karakterisasi dengan X-Ray Florescence (XRF)	31
2.8 Kinerja Katalis	32
2.8.1 Konversi	32
2.8.2 Selektivitas	32
2.8.3 Yield	33
BAB 3. METODE PENELITIAN	34
3.1 Rancangan Penelitian	34
3.1.1 Persiapan sampel dan katalis	35

3.1.2 Karakterisasi katalis sebelum reaksi.....	35
3.1.3 Uji reaksi dan kinerja katalis.....	35
3.2 Lokasi Penelitian.....	37
3.3 Alat dan Bahan.....	37
3.3.1 Alat.....	37
3.3.2 Bahan.....	37
3.4 Model Penelitian.....	38
3.5 Variabel Penelitian.....	39
3.6 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data.....	39
3.6.1 Identifikasi Produk menggunakan GC-MS.....	39
3.6.2 Karakterisasi Katalis.....	39
3.6.3 Uji keasaman.....	40
3.7 Cara Penafsiran dan Penyimpulan Hasil.....	41
3.7.1 Identifikasi Produk menggunakan GC-MS.....	41
3.7.2 Karakterisasi Katalis.....	42
3.7.3 Uji keasaman.....	42
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Karakterisasi Katalis.....	43
4.1.1 Karakterisasi dengan XRF (X-Ray Fluorescence).....	43
4.1.2 Karakterisasi dengan XRD (X-Ray Diffraction).....	46
4.1.3 Karakterisasi dengan FTIR.....	49
4.2 Uji Keasaman.....	51
4.3 Identifikasi Produk.....	52
4.3.1 Identifikasi produk cair hasil reaksi suhu 300 0C.....	53
4.3.2 Identifikasi produk cair hasil reaksi suhu 375 0C.....	56
4.3.3 Identifikasi produk cair hasil reaksi suhu 400 0C.....	58
4.3.4 Identifikasi produk cair hasil reaksi suhu 425 0C.....	60
4.3.5 Pergeseran komposisi pada berbagai suhu reaksi.....	64
BAB 5. PENUTUP.....	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengolahan Data XRF untuk Katalis HZSM-5 Baru	44
Tabel 4.2 Hasil Pengolahan Data XRF untuk Katalis HZSM-5 Bekas	45
Tabel 4.3 Tabel Perbandingan Data XRF Sebelum dan Setelah Operasi	46
Tabel 4.4 Tabel 3 <i>peak</i> terkuat XRD sebelum Reaksi	47
Tabel 4.5 Tabel ukuran kristal untuk 3 <i>peak</i> terkuat XRD sebelum Reaksi	48
Tabel 4.6 Tabel 3 <i>peak</i> terkuat XRD sebelum proses	49
Tabel 4.7 Tabel ukuran kristal untuk 3 <i>peak</i> terkuat XRD sebelum reaksi	49
Tabel 4.8 Struktur kimia dan komposisi produk pada suhu 300 ⁰ C	55
Tabel 4.9 Struktur kimia dan komposisi produk pada suhu 300 ⁰ C	57
Tabel 4.10 Struktur kimia dan komposisi produk pada suhu 300 ⁰ C	59
Tabel 4.11 Struktur kimia dan komposisi produk pada suhu 300 ⁰ C	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Unit Pembentuk Primer	9
Gambar 2.2 Unit Pembentuk Sekunder	10
Gambar 2.3 Polyhedron Simetris	11
Gambar 2.4 Reaksi Pembentukan NH ₄ -Zeolit	13
Gambar 2.5 Rongga Selektif Reaktan Zeolit	15
Gambar 2.6 Rongga Selektif Produk	15
Gambar 2.7 Perubahan keasaman zeolit	16
Gambar 2.8 Perbandingan Antara Zeolit Type Faujasite dengan ZSM-5	20
Gambar 2.9 Struktur ZSM-5	20
Gambar 2.10 Grafik Konversi Menunjukkan Penurunan Aktivitas Katalis	21
Gambar 2.11 Pertambahan Coke Sejalan dengan Waktu	23
Gambar 2.12 Mekanisme Pembentukan <i>Coke</i>	23
Gambar 2.13 Hubungan Kandungan Karbon dengan Tingkat Konversi	24
Gambar 2.14 Laju Deaktivasi dengan Katalis Silica Alumina dan Faujasite	24
Gambar 2.15 Peningkatan ukuran pori selama sintering	27
Gambar 2.16 Hilangnya pori kecil selama <i>sintering</i>	28
Gambar 2.17 Mekanisme sintering pada logam yang terdispersi	28
Gambar 2.18 Skema reaksi untuk konversi dari aseton menjadi hidrokarbon dengan menggunakan HZSM-5	34
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian secara umum	34
Gambar 3.2 Reaktor Uji	35
Gambar 3.3 Susunan Reaktor Uji Katalis <i>Fixed Bed Reactor</i>	38
Gambar 4.1 <i>X-Ray Diffraction</i> HZSM-5 sebelum reaksi	47
Gambar 4.2 <i>X-Ray Diffraction</i> HZSM-5 setelah reaksi	48
Gambar 4.3 <i>X-Ray Diffraction</i> HZSM-5 Gabung	48
Gambar 4.4 Hasil FTIR untuk Katalis HZSM-5 baru	50
Gambar 4.5 FTIR untuk Katalis HZSM-5 yang telah digunakan	51
Gambar 4.6 Grafik Uji Keasaman	52
Gambar 4.7 Gambar Spektrum Chromatogram Suhu 300 ⁰ C	54
Gambar 4.8 Gambar Spektrum Chromatogram Suhu 375 ⁰ C	56
Gambar 4.9 Gambar Spektrum Chromatogram Suhu 400 ⁰ C	58
Gambar 4.10 Gambar Spektrum Chromatogram Suhu 425 ⁰ C	61
Gambar 4.11 Grafik % Mol dengan Suhu	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan global terhadap senyawa aromatik pada tahun 2008 di negara-negara ASEAN menunjukkan bahwa untuk benzena, permintaan globalnya sebesar 2,4 juta ton dengan tingkat pertumbuhan 8,5 % selama periode 2002 - 2008. Sementara itu, untuk toluena, sebesar 0,7 juta ton dengan tingkat pertumbuhan 10,3 % selama periode yang sama. Lalu untuk xilena, sebesar 1,3 juta ton dengan tingkat pertumbuhan 3,7 % masih pada periode yang sama (Chemical Division Manufacturing Industries Bureau, 2004). Dengan nilai permintaan dan tingkat pertumbuhan yang tinggi ini, tentunya penambahan kapasitas produksi BTX menjadi suatu hal yang menjanjikan.

Karenanya, perlu dipikirkan suatu cara dan sumber bahan baku alternatif yang dapat menunjang ketersediaan BTX untuk berbagai industri petrokimia. Salah satunya yang mungkin dapat digunakan adalah minyak nabati. Minyak nabati pada dasarnya tersusun atas trigliserida yang mengandung hidrokarbon seperti halnya minyak bumi. Oleh karena itu, trigliserida dalam minyak nabati juga dapat diolah menjadi produk-produk turunan minyak bumi misalnya seperti pada proses aromatisasi yang dilakukan di kilang minyak untuk mengkonversi senyawa alkana menjadi BTX. Hal ini juga sudah diperkuat dengan penelitian mengenai konversi alkana ringan yang diujicobakan di *Indian Institute of Petroleum* untuk bahan baku n-heptana. Dari sini, diperoleh konversi sebesar 90% untuk katalis HZSM-5 dengan selektivitas BTX sebesar 13,9 % berat (Viswanadham, 2004). Untuk konversi minyak nabati sendiri, sudah terdapat beberapa penelitian yang dilakukan. Pada proses konversi minyak kelapa sawit yang dilakukan di Universitas Sains Malaysia dengan menggunakan HZSM -5, telah berhasil diperoleh BTX dengan selektivitas sebesar 3,8 % untuk benzena; 11,8 % untuk toluena; dan 11,5 % untuk xilena. Konversi yang diperoleh di sini sebesar 99% pada kondisi suhu 350oC dan WHSV 1 h⁻¹ (Twaiq, 1999). Kemudian, terdapat penelitian lain yang juga menggunakan HZSM -5 untuk mengkonversi

minyak kelapa sawit pada suhu 500°C. Pada kondisi demikian, dihasilkan konversi sebesar 95,81 % dengan produk BTX sebesar 1,57 % (Siregar, 2005).

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa hidrokarbon seperti golongan alkohol dan keton dapat diubah menjadi hidrokarbon. Konversi katalitik methanol dan ethanol menjadi hidrokarbon telah banyak dilakukan, misalnya yang dilakukan oleh Chang and Silvestri pada tahun 1977. Sebaliknya, informasi tentang konversi katalitik aseton masih belum banyak diteliti dan diperlukan riset agar aseton dapat diubah menjadi hidrokarbon yang dapat dijadikan bahan baku industri petrokimia.

HZSM-5 yang digunakan dalam reaksi aseton ini dikenal sebagai jenis zeolit sintetik yang mempunyai permukaan inti asam dan struktur jaringan pori yang luas serta homogen. Struktur kerangka jenis bahan alumino-silikat tersebut terbentuk dari bahan dasar pembangun berupa tetrahedron atom silikon atau aluminium. Kemampuan HZSM-5 untuk mengakselerasi berbagai jenis reaksi sangat berkait dengan sifat keasamannya, dan parameter penting HZSM-5 bisa dikontrol dengan rasio Si/Al. Namun beragamnya variasi Si/Al ini sama sekali tidak akan mempengaruhi struktur kerangka HZSM-5 (Bhatia, 1990).

Disamping itu, kemampuan selektivitas HZSM-5 terhadap terbentuknya senyawa hidrokarbon sangat tinggi berdasarkan ukuran dan struktur pori (Weitkamp, 2000). Berbagai hasil penelitian (Chang dkk, 1981; Lucas dkk, 1997; Lucas dkk., 2001; Setiadi dkk, 2003) telah dapat menyimpulkan bahwa HZSM-5 mempunyai kemampuan selektivitas yang tinggi berdasar bentuk dan ukuran pori (*shape selective catalyst*) kearah terbentuknya berbagai jenis molekul yang berdiameter kinetik maksimal sekitar 0.6 nm, yang mana sangat sesuai dengan hidrokarbon aromatik (benzena, toluena, dan xilena). Reaksi konversi aseton menjadi hidrokarbon aromatik telah terbukti dapat dilakukan dengan baik pada suhu 673 K dan space velocity sebesar 4 h⁻¹ pada tekanan atmosferik. Konversi aseton yang didapat mendekati 100% selama rentang waktu uji reaksi 17 jam. Namun, terjadi penurunan aktivitas (deaktivasi) setelah 17 jam karena penutupan pori katalis oleh kokas yang pembentukannya berasal dari reaksi konversi aseton (Setiadi, 2005).

Kemampuan katalis dalam menahan aktivitas dan selektivitas dalam rentang waktu tertentu sangat dipengaruhi oleh jenis reaksi, jenis zeolit, dan kondisi reaksi (Richardson, 1989). Dan aspek lainnya adalah stabilitas katalis dalam rentang waktu tertentu, cepat atau lambat akan mengalami deaktivasi. Begitu juga pada reaksi aseton menggunakan katalis HZSM-5 juga akan mengalami deaktivasi walaupun konversi aseton menjadi benzene, toluene, dan xilena sudah dapat dilakukan dengan menggunakan katalis HZSM-5. Namun, belum ada penelitian yang mempelajari bagaimana secara detail distribusi serta identifikasi produk aseton dalam rentang berbagai suhu. Dan masih sedikit pula karakterisasi katalis baik sebelum reaksi maupun setelah reaksi untuk mengkaji perbedaan maupun perubahan katalis tersebut.

Berdasarkan uraian diatas maka penelitian ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi produk-produk yang terbentuk dari reaksi aseton dengan katalis HZSM-5 dengan menggunakan GC-MS serta mengkarakterisasi katalis HZSM-5 yang digunakan menggunakan berbagai metode, seperti XRF, XRD dan FTIR serta uji keasaman.

1.2 Rumusan Masalah

Beraneka ragamnya produk hasil konversi aseton perlu diidentifikasi secara cermat untuk memastikan produk hidrokarbon apa saja yang dapat terbentuk pada berbagai suhu reaksi. Dan belum teridentifikasinya kokas yang terbentuk selama reaksi yang menyebabkan terjadinya deaktivasi.

1.3 Tujuan Penelitian

- Mengidentifikasi produk hasil konversi aseton menjadi senyawa aromatis dengan katalis HZSM-5 pada berbagai suhu reaksi
- Mengamati terbentuknya produk hidrokarbon berdasarkan kenaikan suhu reaksi dan data-data hasil analisa GC-MS
- Mengkarakterisasi katalis yang digunakan pada saat sebelum reaksi dan setelah reaksi pada proses konversi aseton menjadi senyawa hidrokarbon menggunakan metode analisa XRF, XRD, dan FTIR serta uji keasaman.

1.4 Batasan Masalah

Sesuai dengan tujuan dari penelitian yang akan dilakukan serta untuk memfokuskan pada masalah yang akan dibahas, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah aseton murni.
2. Katalis yang digunakan dalam reaksi konversi katalitik senyawa A seton menjadi senyawa hidrokarbon aromatik adalah HZSM-5 komersial dengan rasio Si/Al=50.
3. Variasi suhu reactor dalam penelitian ini adalah 300 °C, 375 °C, 400 °C, dan 425 °C.
4. Reaksi konversi katalitik aseton dilakukan di dalam reaktor tabung yaitu jenis reaktor unggun tetap (*Fixed bed reactor*).
5. Analisa karakteristik produk yang dihasilkan dari reaksi konversi katalitik menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography - mass spectroscopy*) untuk identifikasi komposisi produk.
6. Karakterisasi katalis menggunakan XRD, XRF, dan FTIR

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan terdiri dari :

BAB I PENDAHULUAN, bab ini berisi tentang Gambaran umum permasalahan yang diangkat mencakup latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, bab ini berisikan tentang informasi dan teori-teori yang mendukung penelitian pengaruh kondisi operasi terhadap reaksi konversi aseton menjadiah aromatik dengan menggunakan katalis HZSM-5 yang akan dijadikan landasan dan dasar acuan yang mendukung penelitian yang akan dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN, bab ini berisi metode yang dipakai dalam penelitian yang mencakup tahapan-tahapan penelitian yaitu mulai dari metode pengumpulan data hingga pengolahan data. Bagian ini juga menjelaskan diagram alir penelitian, prosedur percobaan, jenis bahan dan

alat yang dipakai serta susunan dan fungsinya dalam percobaan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi perumusan hasil penelitian dan analisis yang berkaitan dengan fenomena yang terjadi dalam reaksi perengkahan dan aromatisasi aseton.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aseton

Pada tahun 1862, Pasteur melakukan proses fermentasi yang memproduksi butanol dari asam laktat dan kalsium laktat. Pada tahun 1912, Weizmann melanjutkan penelitian untuk mempelajari fermentasi. Setelah sekitar dua tahun dia menemukan organisme yang disebut *Clostridium acetobutylicum* yang telah berhasil menghasilkan aseton dari proses fermentasi bijih-bijih padi. *Clostridium acetobutylicum* memiliki enzim *amylolytic* dan *saccarolytic* yang dibutuhkan untuk menghidrolisis gelatin dari padi-padian menjadi glukosa dan maltosa.

2.2 Katalis

Konsep tentang katalis pertama kali diperkenalkan oleh Berzellius pada tahun 1935 yang menyebutkan bahwa katalis adalah suatu zat yang mempengaruhi laju reaksi tanpa perubahan secara kimiawi pada akhir reaksi. Berdasarkan fasanya, material katalis dapat digolongkan menjadi katalis homogen dan heterogen.

Parameter yang harus diperhatikan untuk menilai kualitas suatu katalis adalah sebagai berikut:

1. Aktifitas, yaitu kemampuan katalis untuk mengkonversi reaktan menjadi produk yang diinginkan.
2. Selektifitas, yaitu kemampuan katalis untuk mempercepat suatu reaksi diantara beberapa reaksi yang terjadi sehingga produk yang diinginkan dapat diperoleh dengan produk samping seminimal mungkin.
3. Stabilitas, yaitu lamanya katalis memiliki aktifitas dan selektifitas seperti pada keadaan semula.
4. Yield, yaitu jumlah produk tertentu untuk setiap satuan reaktan yang dikonsumsi.
5. Kemudahan diregenerasi, yaitu proses pengembalian aktifitas dan selektifitas katalis pada keadaan semula.

2.3 Zeolit

2.3.1 Jenis-jenis zeolit

Zeolit memiliki beraneka ragam bentuk dan jenis, tergantung pada cara perolehannya. Ada yang berasal dari alam dan ada yang sintetis. Untuk itu, berdasarkan cara perolehannya, zeolit dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian, yaitu :

1. Zeolit alam, yang diperoleh dari alam.

Zeolit alam terbentuk melalui proses alam, zeolitisasi batuan vulkanik dengan air lingkungan (air hidrologi) pada sistem terbuka maupun tertutup. Kondisi batuan, tanah dan lingkungan tempat pembentukannya mempengaruhi sifat-sifat fisik, kimia dan struktur mineral zeolit alam sehingga muncul beragam spesies. Batuan yang sangat jenuh dengan silika misalnya, membentuk zeolit alam jenis *faujasit*, *khabasit* dan *gmelin*. Spesies yang banyak ditemukan pada batuan sedimen adalah *klinoptilolit*, *khabasit*, *heulandit*, *mordenit*, *filipsit*, *analkim*, *laumontit* dan *wairakit*.

2. Zeolit sintetis, yang diperoleh melalui proses sintesa dan direayasa oleh manusia.

Zeolit sintesis diproduksi dengan cara hidrothermal. Pembuatan zeolit sintesis sangat tergantung pada pemanfaatannya. Sifat-sifatnya dimodifikasi, dengan memvariasikan kadar unsur alumunium (Al) dan silika (Si). Biasanya zeolit sintesis terbagi menjadi empat kelompok, yaitu:

a. Zeolit sintesis berkadar Si rendah ($Si/Al = 1$).

Kadar Si yang rendah menyebabkan harga rasio Si/Al mendekati 1. Kadar Si yang rendah menyebabkan daya penukaran kation dari zeolit maksimum. Contoh : Zeolit A dan X.

b. Zeolit sintesis berkadar Si sedang ($Si/Al = 5$).

Jika dibandingkan dengan zeolit alam, zeolit sintesis ini termasuk jenis *klinoptilolit*, *mordenit* dan *erionit*.

c. Zeolit sintesis berkadar Si tinggi ($Si/Al = 10-100$).

Mampu menyerap molekul-molekul non polar dan baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Contoh : ZSM-5, ZSM-11 dan ZSM-21.

d. Zeolit Si (100%).

Sama sekali tidak mengandung unsur Al, dapat mengeluarkan atau memisahkan suatu molekul organik dari suatu campuran air. Contoh : zeolit silikat.

2.3.2 Struktur zeolit

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat yang dibentuk oleh struktur pori seragam yang memiliki minimum diameter saluran sekitar 0.3-1,0 nm. Pada dasarnya ukuran tergantung pada jenis zeolit. Zeolit memiliki aktivitas dan selektivitas yang tidak biasa untuk berbagai variasi reaksi katalis asam. Sebagian besar ini disebabkan sifat keasaman zeolit.

Struktur zeolit terdiri atas kerangka tiga dimensi SiO_4 atau tetrahedral AlO_4 . Masing-masing terdiri dari atom Silikon dan Alumunium di pusat. Atom oksigen terletak berdampingan membentuk tetrahedral, dimana dapat berada pada berbagai rasio dan tersusun dengan berbagai cara. Kerangka yang terbentuk terdiri atas pori-pori, saluran-saluran dan ruang kosong.

Rumus kimia unit sel zeolit adalah sebagai berikut :



dengan,

$M_{a/n}$: merupakan kation bervalensi n yang dapat ditukar dan tidak termasuk struktur rangka aluminosilikat.

[] : melambangkan struktur rangka aluminasilikat.

w : menunjukkan jumlah molekul air di dalam stuktur zeolit.

a & b : menyatakan jumlah tetrahedron $(\text{SiAl})\text{O}_4$ di dalam satu unit sel dimana $b > a$.

Berdasarkan rumus tersebut dapat disimpulkan bahwa zeolit terbagi menjadi tiga komponen yaitu :

1. Kerangka aluminosilikat.

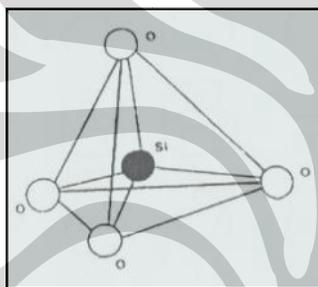
2. Kation-kation.

3. Molekul air.

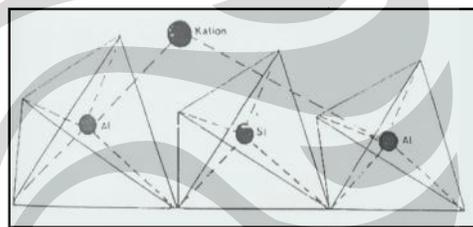
Kation-kation dan molekul-molekul air tidak termasuk pada kerangka aluminosilikat, tetapi mengisi rongga di antara kerangka.

Kerangka aluminosilikat sebagai inti dari zeolit yang secara keseluruhan sangat kompleks tersusun menjadi unit-unit pembentuk sebagai berikut :

1. Unit pembentuk primer, yaitu tetrahedron yang mengandung (Si, Al) O₄. Di keempat sudut tetrahedronnya terdapat atom-atom oksigen yang digunakan bersama-sama oleh dua tetrahedron yang berdekatan, dimana atom-atom oksigen tersebut mengelilingi pusat-pusat silicon atau aluminium. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut :



a. Tetrahedron dengan pusat atom Si



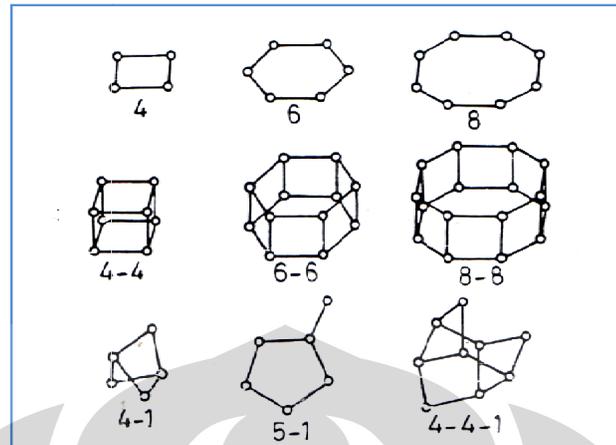
b. Rangkaian beberapa tetrahedron

Gambar 2.1 Unit Pembentuk Primer

2. Unit pembentuk sekunder, yaitu merupakan penggabungan unit-unit pembentuk primer dengan cara menyusun atom-atom pusat hingga membentuk sudut-sudut tertentu yang membagi atom-atom oksigennya. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.2. Unit pembentuk sekunder terbagi menjadi tiga jenis, yaitu :

- a. *Single ring* ; S4R, S6R, S8R, S10R, S12R
- b. *Double ring* ; D4R, D6R, D8R
- c. *Complex ring* ; 4-1, 5-1, 4-4-i

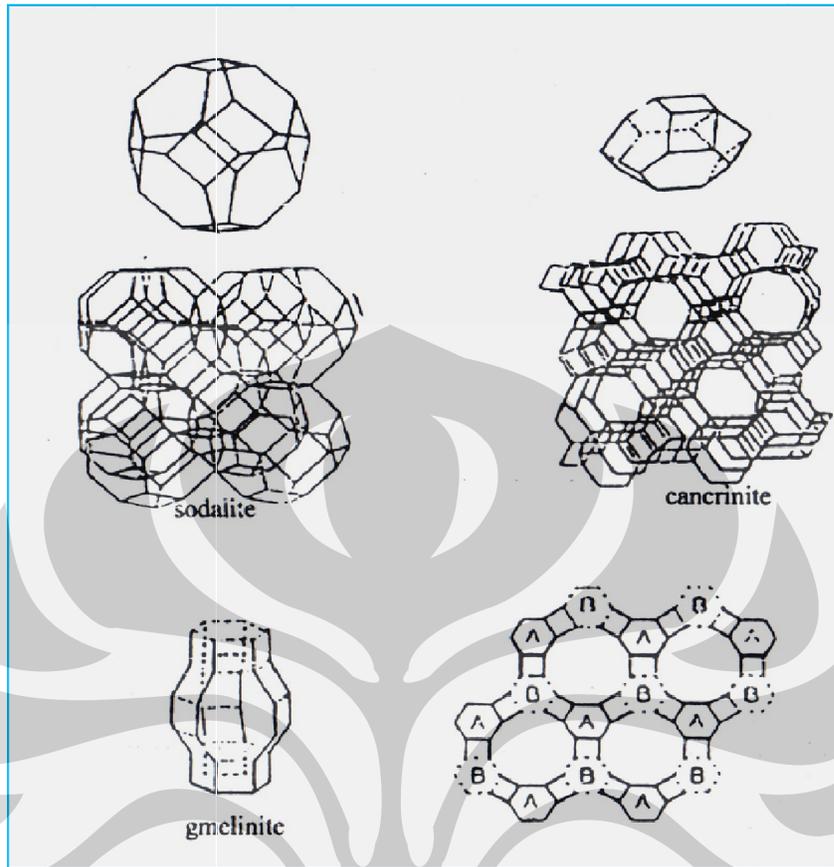
..



Gambar 2.2 Unit Pembentuk Sekunder (Bhatia, 2000)

3. Polyhedron simetris, yaitu unit pembentuk sekunder bergabung membentuk satu polyhedron simetris yang arah pertumbuhannya sesuai dengan tiap-tiap bidang kristal unit pembentuk sekunder yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 polyhedron simetris terbagi menjadi tiga jenis, yaitu :

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



Gambar 2.3 Polyhedron Simetris (Meier, 1992)

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.

Zeolite mempunyai struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori yang tertentu dan bisa dimodifikasikan. Oleh sebab itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molecular, penukar ion, penyerap bahan dan katalisator. Karena adanya pusat aktif dalam porinya, zeolit mampu mengkonversikan suatu reaktan menjadi bermacam-macam produk.

Ukuran pori diklasifikasi berdasarkan diameter porinya (D). Yang terkecil adalah mikro pori ($D < 2$ nm). Yang medium adalah meso pori (2 nm $< D < 50$ nm), dan yang terbesar adalah makro pori ($D > 50$ nm). Beberapa materi al seperti

..

zeolit dan mineral tanah liat seluruhnya adalah mikro pori. Material lain seperti arang dan silika-alumina mempunyai pori yang tidak beraturan dengan interval diameter yang lebar (Tanabe, 1989; Darmawan, 1998).

Bila dilihat secara struktur dan topology, zeolit X dan zeolit Y berhubungan dengan mineral faujasite. Dua material tersebut hanya berbeda pada rasio Si/Al yaitu 1-1,5 untuk zeolit X dan 1,5-3,0 untuk zeolit Y. Pada faujasite, lubang atau pori terbesar memiliki diameter 1,3 nm yang masing-masing dihubungkan oleh lubang 1,0 nm. Berdasarkan ukuran pori, zeolit sebagai katalis terbagi atas :

- Sistem pori cincin 8 oksigen yaitu ZSM-8 dan ZSM-34
- Sistem pori cincin 10 oksigen yaitu ZSM-5, ZSM-11 < ZSM-22, ZSM-23, dan ZSM-48
- Sistem pori cincin 12 oksigen yaitu jenis mordenit dan mazite.

Pada zeolit A, memiliki lubang besar berukuran 0,5 nm, memiliki delapan buah cincin. Struktur pori mordenit berbentuk ellips dan saluran *noninterconnected* pada struktur *orthorombic*. ZSM-5 menunjukkan struktur pori yang unik yang terdiri atas dua saluran yang berpotongan, yang satu lurus sedangkan yang lain berbentuk sinusoidal dan tegak lurus terhadap bentuknya. Kedua sistem saluran memiliki 10 cincin pembuka berbentuk ellips (diameter 0,55 Å) (Bhatia, 2000; Tanabe, 1989).

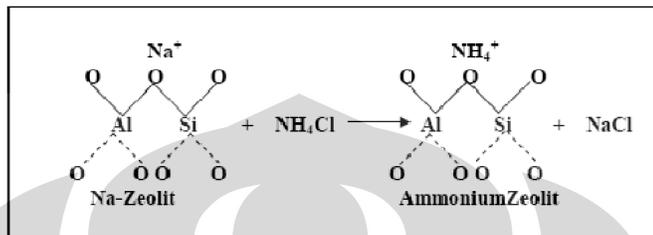
2.3.3 Penggunaan zeolit

2.3.3.1 Zeolit sebagai penukar ion (*ion exchange*)

Zeolit maupun resin dapat dipakai sebagai penukar ion. Akan tetapi penggunaan resin lebih terkenal daripada zeolit dan zeolit baru dipakai bila pemakaian resin sudah tidak layak lagi.

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. 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+} . Contoh pertukaran kation, dengan Na sebagai logam alkali :



Gambar 2.4 Reaksi Pembentukan NH_4 -Zeolit (Bhatia, 2000)

Sifat-sifat pertukaran ion dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

- Ukuran rongga zeolit, semakin besar ukuran rongga zeolit semakin besar pula kemampuan pertukaran ion zeolit.
- Rasio Si terhadap Al, kapasitas tukar kation zeolit merupakan fungsi dari rasio Si/Al karena muatan negatif dari zeolit merupakan fungsi dari jumlah Al^{3+} . Gugus $(\text{AlO}_4)^-$ menyebabkan zeolit bermuatan negatif. Semakin kecil rasio Si/Al, semakin besar kapasitas tukar kation zeolit.
- Volume ion, ukuran ion yang masuk dapat mempengaruhi laju dan jumlah pertukaran ion. Contohnya, ion NH_4^+ mengalami proses pertukaran ion yang cukup lambat karena ukuran molekulnya hampir sama atau setara dengan ukuran rongga zeolit.
- Selektivitas ion, pada umumnya tiap jenis zeolit memiliki ukuran selektivitas ion yang berbeda-beda. Ion dengan selektivitas yang tinggi akan lebih mudah masuk ke dalam rongga zeolit.
- Temperatur, semakin tinggi temperatur akan mempercepat laju pertukaran ion.

2.3.3.2 Zeolit sebagai katalisator

Zeolit merupakan katalis yang cukup efektif untuk proses *hydrocarbon alkylation, isomerization* dan *perengkahan*. Tiga sifat zeolit yang berperan dalam fungsinya sebagai katalis adalah :

- Penyaring molekul. Sifat ini menyeleksi pereaksi, hasil antara dan produk

..

akhir yang terlibat dalam proses katalisis oleh zeolit katalis.

2. Pusat asam. Adanya pusat asam ini memberikan medium yang konduktif (lebih reaktif) untuk proses katalisis.
3. Si/Al yang tinggi menyebabkan keasaman tinggi. Setiap jenis zeolit mempunyai batas Si/Al yang optimum untuk bahan katalis.

Salah satu proses kimia yang menggunakan katalis adalah proses perengkahan hidrokarbon. Katalis yang digunakan adalah katalis yang bersifat asam, yaitu sebuah katalis yang dapat menghasilkan karbokation pada permukaannya. Larutan asam dapat digunakan tetapi dalam operasi mengalami banyak masalah seperti korosi, pemisahan produk dan katalis ada yang hilang.

Zeolit dapat digunakan sebagai katalis untuk reaksi katalitik. Ciri paling khusus dari zeolit adalah adanya ruang kosong yang membentuk saluran didalamnya. Bila zeolit digunakan pada proses katalisis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas antar kristal dan reaksi kimia juga terjadi di permukaan saluran tersebut.

Pada rangka zeolit yang mengandung air, kationnya dapat bergerak dan digantikan oleh kation lain. Sifat ini dapat dimanfaatkan untuk mempertukarkan kation pengotor pada permukaan zeolit.

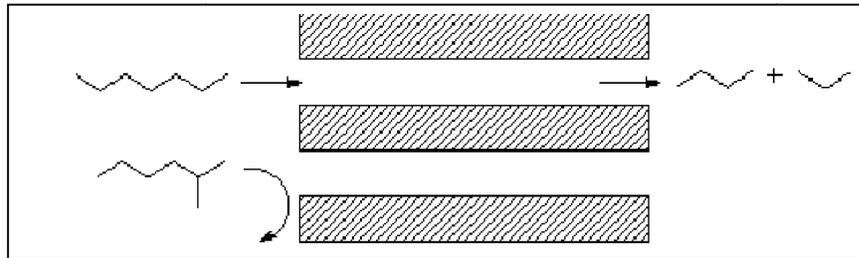
2.3.3.2.1 Zeolit sebagai katalis selektif bentuk

Zeolit dimanfaatkan sebagai katalis karena tersedianya pusat aktif dalam sistem pori katalis dan pori tersusun atas satu atau lebih ukuran yang seragam. Sistem pori ini berhubungan dengan sifat kristal dari zeolit. Ukuran pori yang sesungguhnya terbentuk dari struktur cincin pada prakteknya menjadi lebih kecil (bervariasi dengan adanya kation-kation pada permukaan zeolit). Katalis selektivitas dikelompokkan dalam beberapa kelompok berikut, yaitu :

1. Selektivitas reaktan.

Hal ini berlaku pada umpan yang terdiri dari beberapa molekul, sementara sebagian saja yang selektif reaktan. Contoh yang paling populer adalah reaksi dari umpan yang berisi campuran karbon berantai lurus dan rantai bercabang. Dengan kemampuan selektivitas bentuk dari zeolit, maka hanya rantai lurus saja yang dapat dilewatkan sementara rantai bercabang tidak. Proses ini dapat

dilihat pada Gambar 2.5 berikut.

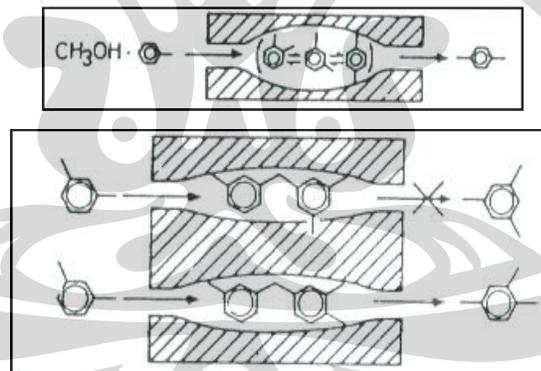


Gambar 2.5 Rongga Selektif Reaktan Zeolit (Bhatia, 2000)

2. Selektivitas Produk.

Fungsi ini bermanfaat manakala produk yang dihasilkan dari suatu reaksi di dalam sistem pori terlalu beragam ukuran molekulnya, sementara hanya molekul dengan ukuran tertentu yang bisa melewati mulut pori, molekul yang tidak dikehendaki akan tersaring. Selanjutnya molekul yang tidak bisa melewati mulut pori tadi akan bereaksi menjadi reaktan yang lebih kecil.

Proses selektivitas produk dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 Rongga Selektif Produk (Bhatia, 2000)

2.3.3.2.2 Zeolit sebagai katalis asam

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

..

Kemampuan zeolit sebagai katalis dikarenakan zeolit memiliki sifat-sifat tertentu, diantaranya yaitu :

1. Keasaman zeolit

Keasaman pada kerangka zeolit dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu **pusat asam Bronsted dan pusat asam Lewis**.

a. Asam Bronsted, yaitu spesies yang dapat memberikan proton H^+ . Bila AlO_4^- mengikat proton maka akan timbul suatu asam Bronsted. Proton ini menempel pada atom-atom oksigen *framework* yang berikatan dengan atom-atom silikon dan aluminium. Asam Bronsted dapat timbul melalui beberapa cara diantaranya adalah:

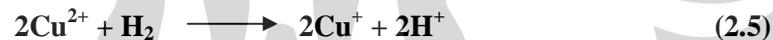
- Ionisasi air oleh kation-kation polivalen



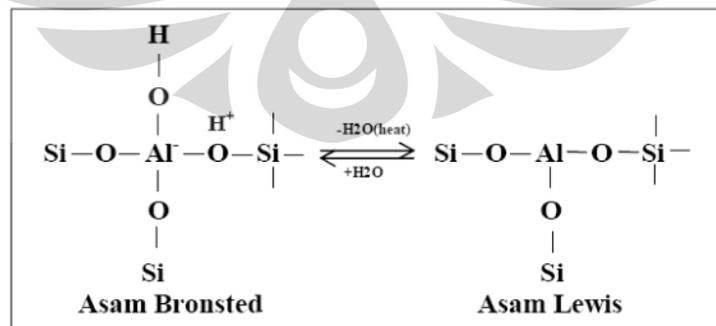
- Perlakuan dengan larutan asam



- Dekomposisi thermal dari zeolit hasil pertukaran ion dengan garam ammonium.
- Reduksi logam dengan hidrogen oleh kation-kation logam transisi dalam zeolit dengan tujuan untuk membentuk H-zeolit.



b. Asam Lewis, yaitu spesies yang dapat menerima sepasang elektron bebas yang dikombinasikan dengan zat kedua yang mempunyai sepasang elektron bebas. Keasaman Bronsted dapat diubah menjadi keasaman Lewis dengan memanaskan pada suhu tinggi.



Gambar 2.7 Perubahan Keasaman Zeolit (Bhatia, 2000)

Pada Gambar 2.7 terlihat bahwa Al mempunyai sisi yang dapat menerima

sepasang elektron bebas sehingga dapat bertindak sebagai asam Lewis. Asam Lewis ini dapat berubah menjadi asam Bronsted dengan hadirnya H₂O pada zeolit dengan disertai pemanasan. Zeolit yang telah melalui tahap pengasaman akan memiliki luas permukaan yang lebih tinggi sehingga perannya sebagai katalis ataupun penyangga dapat lebih baik.

2. Sifat pori mikronya dapat ditentukan

Zeolit yang berbentuk kristal memiliki banyak ruang kosong yang dapat memegang peranan penting dalam proses katalisis.

3. Ukuran kristal dan morfologinya yang dapat diubah-ubah

Secara umum aktivitas zeolit menurun dengan semakin meningkatnya ukuran kristal. Ukuran kristal yang besar menyebabkan distribusi Al pada kristal yang tidak merata terutama pada permukaannya sehingga keasaman dari katalis menurun.

4. Kestabilan termal

Kestabilan termal adalah kemampuan zeolit untuk berfungsi pada temperatur tinggi.

5. Kemampuan penggabungan dengan logam dan logam kompleks

Pertukaran ion logam atau logam kompleks yang diikuti prosedur reduksi yang sesuai dapat menghasilkan zeolit yang mengandung logam sebagai katalis bagi reaksi tertentu. Partikel logam kompleks yang berukuran kecil dan sesuai dengan ukuran pori atau saluran zeolit dapat dipertukarkan ke dalam zeolit dan memberikan sifat selektivitas tertentu pada zeolit.

2.4 ZSM-5

ZSM-5 (Zeolit Socony Mobil-5) merupakan zeolit yang pertama kali ditemukan oleh Robert J. Argauer dan Bob Landolt dari *Applied Research and Development Division, Central Research Division Mobile* pada tahun 1963 (Ramo, 1984). Selanjutnya pada tahun 1972, hasil penelitian tersebut dipatenkan dalam *US Patent*.

ZSM-5 merupakan salah satu dari beberapa jenis zeolit. Zeolit sintesis jenis ZSM-5 dikembangkan oleh peneliti-peneliti *Mobile Oil Corp* sekitar tahun 1960. Material ini biasanya terbuat dari sistem campuran yang terdiri atas kation

logam alkali dalam kation organik atau kompleks. ZSM-5 bermanfaat sebagai katalis untuk berbagai jenis reaksi, sebagai contoh ZSM-5 banyak digunakan sebagai katalis untuk mengkonversi methanol menjadi hidrokarbon.

Zeolit ZSM-5 dikenal sebagai jenis zeolit sintetik yang mempunyai permukaan inti asam dan struktur jaringan pori yang luas serta homogen. Struktur kerangka jenis bahan alumino silikat tersebut terbentuk dari bahan dasar pembangun berupa tetrahedron atom silikon atau aluminium. Kemampuan ZSM-5 untuk mempercepat berbagai jenis reaksi sangat berkait dengan sifat keasamannya dan parameter penting ZSM-5 yang bisa dikontrol dengan rasio Si/Al. Namun beragamnya variasi Si/Al ini sama sekali tidak akan mempengaruhi struktur kerangka ZSM-5 tetapi diharapkan menyebabkan pertukaran dalam asam dan distribusi kekuatan asam (Bhatia, 2000).

Secara umum, ZSM-5 memiliki 2 jenis sisi asam, yaitu sisi asam Bronsted dan sisi asam Lewis. Pembentukannya sendiri dapat dijelaskan sebagai berikut. Saat disintesis secara normal, zeolit biasanya akan memiliki ion Na^+ yang akan menyeimbangkan muatan dalam rangkanya. Ion ini dapat ditukarkan melalui reaksi langsung dengan menggunakan asam sehingga diperoleh gugus hidroksil pada permukaannya, yang dikenal dengan nama sisi asam Bronsted. Selanjutnya, pemanasan yang ekstrim dari sisi asam Bronsted akan menghilangkan air dan menghasilkan ion Al yang memiliki orbital kosong. Inilah yang disebut dengan sisi asam Lewis.

Disamping itu, kemampuan selektivitas ZSM-5 terhadap terbentuknya senyawa hidrokarbon aromatik sangat tinggi berdasarkan ukuran dan struktur pori. Berbagai penelitian menyimpulkan bahwa ZSM-5 mempunyai kemampuan selektivitas yang tinggi berdasarkan bentuk dan ukuran pori (*shape selective catalyst*) ke arah terbentuknya berbagai jenis molekul yang berdiameter kinetik maksimal sekitar 0,6 nm yang sesuai dengan hidrokarbon aromatik (benzena, toluena, xilena).

2.4.1 Penggunaan ZSM-5

Sama halnya dengan zeolit alam, ZSM-5 dapat berfungsi sebagai katalis dan penukar ion (*ion exchanger*). Sebagai penukar ion ZSM-5 dapat membentuk

templating agent (pembangun rangka) dalam rangka jaringan polimer yang bersifat mobile dan sudah dipertukarkan ion lain. Fungsi sebagai penukar ion dalam ZSM-5 adalah pertukaran ion Na^+ dan H^+ karena pengaruh asam pada saat pengaktifan (Chumaidi, 1999). Fungsi lain sebagai katalis adalah mempengaruhi kecepatan reaksi tanpa mempengaruhi kesetimbangan karena mampu menaikkan perbedaan *path* molekuler dari reaksi.

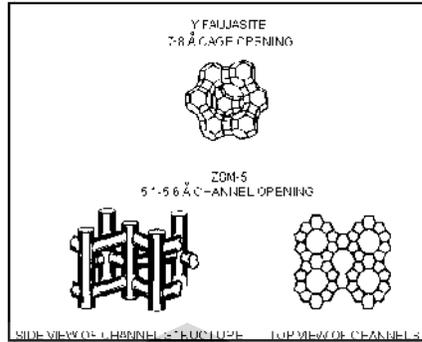
Namun, umumnya katalis jenis zeolit mudah mengalami deaktivasi, tidak terkecuali untuk ZSM-5. Menurut Richardson kemampuan katalis dalam menahan aktivitas dan selektivitas dalam rentang waktu tertentu tergantung dari jenis reaksi, jenis zeolit dan kondisi reaksi. Oleh karenanya Loffer menyarankan agar *durability test* atau *time on stream reaction test* tetap diperhatikan dalam memilih dan menentukan jenis katalis sesuai dengan reaksi dan kondisi operasinya (Setiadi, 2005).

2.4.2 Struktur ZSM-5

Struktur ZSM-5 memiliki kerangka tiga dimensi dari tetrahedral yang sangat berhubungan dengan atom O dan di dalam struktur Si^+ dapat diganti dengan Al^{3+} (Chumaidi, 1999).

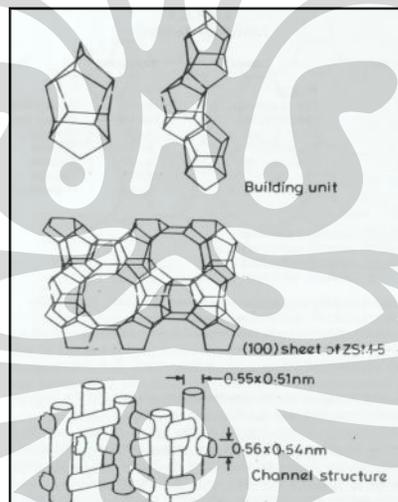
Sifat unik ZSM-5 adalah bersifat asam dan sistem tiga dimensi dari saluran yang berpotongan yaitu saluran lurus yang berbentuk ellips (0,51 x 0,55 nm) dan saluran zig-zag bundar (0,54 x 0,5 nm).

ZSM-5 termasuk kelompok baru dalam katalis dengan struktur yang berbeda dengan pori besar faujasite dan pori kecil zeolit seperti type A dan erionite. ZSM-5 memiliki sifat katalitik yang tidak biasa dan memiliki stabilitas termal yang tinggi. Perbandingan antara ZSM-5 dengan zeolit type faujasite dapat dilihat pada Gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Perbandingan Antara Zeolit Type Faujasite dengan ZSM-5

Kerangka ZSM-5 terdiri atas konfigurasi baru yang berhubungan dengan tetrahedral. Unit ZSM-5 tersebut melewati pinggiran rantai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 dibawah ini. Rantai-rantai dapat dihubungkan ke bentuk lembaran-lembaran dan lembaran-lembaran tersebut memegang peranan penting dalam struktur kerangka tiga dimensi. Struktur ZSM-5 menunjukkan bahwa atom Si dapat tersubstitusi untuk aluminium tanpa dipengaruhi struktur dasar hingga kisi-kisi yang terdiri dari SiO_2 murni (Bhatia, 2000).



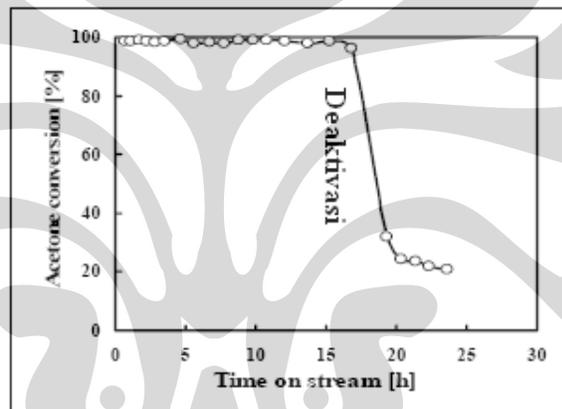
Gambar 2.9 Struktur ZSM-5 (Bhatia, 2000)

Sifat keasaman ZSM-5 dipengaruhi juga oleh rasio Si/Al, biasanya rasio Si/Al bervariasi dari 10-100. Variasi rasio Si/Al dalam zeolit tidak berpengaruh pada struktur, tetapi diharapkan menyebabkan perubahan dalam keasaman, distribusi asam dan akibatnya perubahan dalam sifat katalitik (Bhatia, 2000).

2.5 Deaktivasi

Idealnya, katalis seharusnya berfungsi selamanya. Tetapi pada kenyataannya katalis dapat mati setelah digunakan akibat berbagai macam hal yang dapat menghilangkan kemampuan mereka. Beberapa katalis bertahan hanya beberapa menit sedangkan yang lain bisa mencapai 10 tahun. Perancang katalis dapat membuat katalis berumur lebih panjang, tetapi saat masalah ditemukan untuk memperpanjang umur, masalah lain muncul.

Dalam pengukuran laboratorium, deaktivasi merupakan suatu masalah dan dapat menghasilkan data yang salah jika tidak diidentifikasi. Suatu permukaan katalis yang masih bersih akan mulai terdeaktivasi segera setelah katalis bertemu dengan molekul reaktan.



Gambar 2.10 Grafik Konversi Menunjukkan Penurunan Aktivitas Katalis

Pengurangan (dalam beberapa kasus peningkatan) temperatur, meningkatnya tekanan hidrogen, seringkali cukup untuk menurunkan laju deaktivasi. Pendekatan lain adalah dengan mempertahankan konversi yang konstan dengan cara meningkatkan temperatur secara berkala sejalan dengan turunnya katalis. Tetapi ini dibatasi oleh sensitivitas peralatan proses terhadap temperatur tinggi, kapasitas furnace dan heat exchanger, dan kemungkinan adanya reaksi samping.

Beberapa metode modifikasi katalis yang paling umum digunakan untuk mengatasi deaktivasi yang terjadi adalah sebagai berikut:

1. Mengurangi keaktifan atau mengganti komponen aktif yang berbeda atau support yang lain yang bertujuan untuk memperpanjang umur katalis

walaupun hal ini dapat menurunkan aktivitas.

2. Optimasi kombinasi komponen aktif dengan support. Suatu support yang berbeda dapat digunakan untuk meningkatkan interaksi, yang juga menurunkan *Sintering*. Support dengan keasaman yang lebih kecil dapat digunakan untuk mengurangi pembentukan coke.
3. Penambahan promotor untuk menghambat deaktivasi. Contohnya, stabilitas support yang lebih besar pada alumina dicapai dengan penambahan sedikit silika atau zirkonia, *Sintering* dan coking pada platina dikurangi dengan penambahan rhenium, dan sisi asam dinetralkan dengan kalium.
4. Penambahan promotor untuk menghilangkan deactivating agent. Contohnya pada steam reforming dimana karbon dihilangkan dengan cara reaksi dengan steam, yang dikatalisasi oleh aditif alkali.
5. Penambahan promotor untuk menetralkan racun katalis. Poisoning sulfur terhadap nikel dikurangi dengan menambahkan copper chromite, karena ion copper dan chromium lebih mudah membentuk sulfida.

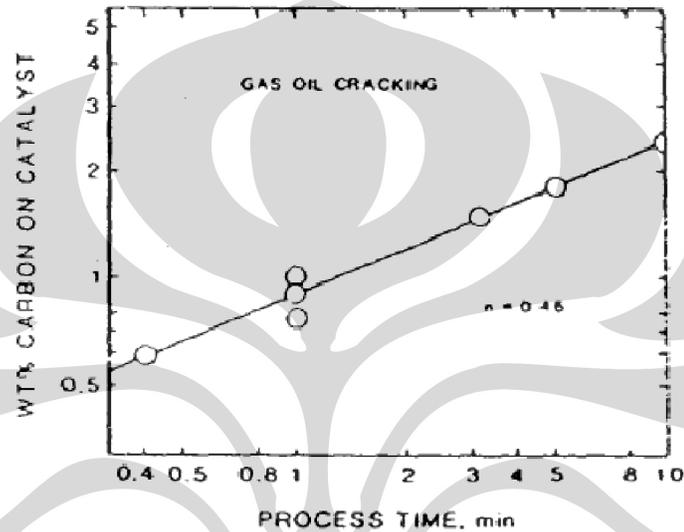
2.5.1 Coking

Istilah *coke* diberikan kepada residu terkarbonasi yang ada pada permukaan katalis. Deposit coke ditemukan dalam jumlah sampai 20% berat katalis. Semua jenis katalis mengalami peristiwa coking ini. Dalam kondisi ekstrim, permukaan katalis tertutupi oleh lapisan deposit coke sehingga menurunkan luas permukaan yang dapat diakses, komponen aktif akan terbungkus dalam karbon, dan pori katalis akan tertutup (blocked). Ketika efek ini sangat signifikan, maka katalis harus segera diganti atau diregenerasi.

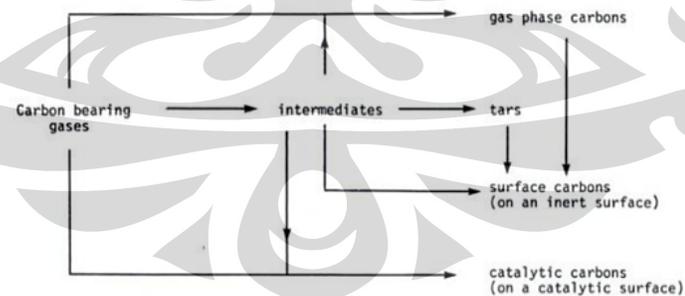
- *Acid Coking*

Acid coke terbentuk pada katalis perengkahan silica-alumina, zeolit, dan pada support yang bersifat asam. Kecenderungan pembentukan coke ini berhubungan langsung dengan keasaman. Ada dua jenis utama struktur karbon sebagai fasa yang terdispersi sangat tinggi pada pori. Sebagian besar coke ada dalam bentuk *pseudografitic* atau *turbostatic* dan *random-layer lattice*, mirip dengan grafit dengan komposisi $CH_{0.4}$ sampai $CH_{0.5}$.

Olefin terbentuk melalui reaksi dehidrogenasi dan bertindak sebagai akseptor hydrogen untuk membentuk ion karbonium. Molekul yang belum jenuh diadsorp sangat kuat dan menaikkan pengurangan hydrogen, yang pada akhirnya membentuk coke melalui pembentukan cincin (siklisasi). Kenaikan kekuatan asam dan densitas membantu pembentukan coke, yang merupakan fakta dalam katalis. Namun, katalis dapat dimodifikasi untuk menunda pembentukan coke.



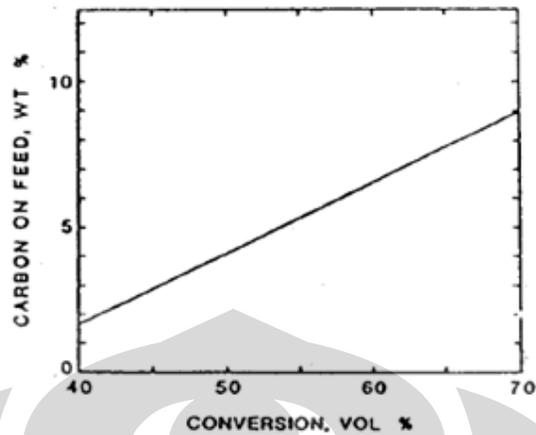
Gambar 2.11 Pertambahan *Coke* Sejalan Dengan Waktu (Richardson, 1989)



Gambar 2.12 Mekanisme Pembentukan *Coke*

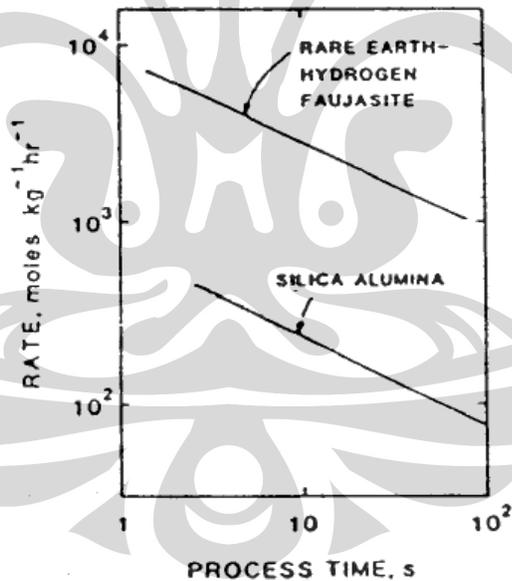
- *Hal yang berpengaruh pada pembentukan coke*

Kandungan karbon juga berhubungan dengan tingkat konversi atau kekuatan operasi, seperti ditunjukkan dalam Gambar berikut:



Gambar 2.13 Hubungan Kandungan Karbon dengan Tingkat Konversi (Richardson, 1989)

Penambahan sejumlah kecil zeolit (5-10%) kedalam katalis dapat memperlambat deaktivasi. Hal ini merupakan konsekuensi dari *shape selectivity*, dimana pembentukan coke dibatasi oleh ukuran rongga zeolit.



Gambar 2.14 Laju Deaktivasi dengan Katalis Silica Alumina dan Faujasite (Richardson, 1989)

Dengan mengetahui pengaruh dari susunan dalam reaksi asam, memungkinkan untuk mengontrol geometri dan mencegah pembentukan spesies dengan molekul besar tanpa menyebabkan pemutusan menjadi molekul yang lebih kecil. Apabila katalis asam tidak diinginkan sementara coke terbentuk pada

support, maka memungkinkan mengontrolnya dengan cara mengganti support asam dengan support yang bersifat non-asam seperti magnesia menggantikan silica atau alumina. Jika ini tidak dilakukan, mungkin saja asam tersebut meracuni dirinya sendiri. Hal ini biasanya diselesaikan dengan sejumlah kecil kalium. Unsur-unsur alkali dan alkali tanah lainnya dapat berfungsi sama, akan tetapi kaliumlah yang paling umum digunakan.

2.5.2 Kerusakan partikel

Partikel katalis jika dipilih dan dipasang dengan benar berdasarkan spesifikasinya, seharusnya cukup kuat untuk menahan kerusakan. Uji ketahanan harus dilakukan pada semua katalis baru. Perubahan selama proses operasi menghasilkan kerusakan yang perlahan terhadap sifat mekanis. Konsekuensi dari hal ini adalah terjadinya plugging, channelling, kenaikan pressure drop dan ketidakteraturan kinerja katalis. Hal ini dapat berlanjut menjadi hot spot yang tergabung dengan efek pemanasan dan coking. Karena itu, kerusakan partikel mengawali deaktivasi yang lebih parah dibandingkan penyebab lainnya.

Hilangnya kekuatan mekanis jarang terjadi, kecuali didorong oleh efek termal dan kimiawi. Contohnya, suatu peningkatan tekanan pada unit steam reforming menyebabkan hilangnya silikat yang volatil. Karena pellet disemen bersama dengan bahan pengikat berjenis kalsium silikat, hilangnya silikat memicu terjadinya pelemahan pellet katalis. Perbaikannya adalah merubah metode preparasi dan formulasi katalis. Contoh lain ditemukan pada pellet yang berbasis alumina. Pengotor sulfat yang tidak dibuang selama preparasi bereaksi dengan aluminium pada kondisi regenerasi membentuk aluminium sulfat yang memperlemah pellet. Hal ini juga terjadi jika logam berat terdeposisi selama desulfurisasi residu minyak.

2.5.3 Fouling

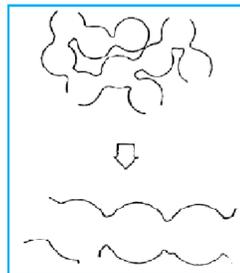
Fouling adalah deposisi kotoran reaktor pada partikel katalis. Kerak, oksida hasil korosi dan produk korosi yang lain, semuanya dapat menyebabkan fouling. Partikel yang dibuang dari reaktor sering mempunyai lapisan besi oksida yang berwarna merah kecoklatan pada bagian luarnya. .

Biasanya, bahan-bahan tersebut menyumbat bagian luar partikel katalis, menutupi pori dan menghalangi permukaan aktif. Tetapi yang lebih parah, partikel-partikel katalis menjadi tergabung yang mengakibatkan hilangnya ruang-ruang antartikel didalam reaktor dan menyebabkan sulitnya pembuangan katalis. Untuk deaktivasi jenis ini tidak ada perbaikan yang dapat dilakukan, katalis hanya dapat diganti, dan melakukan antisipasi.

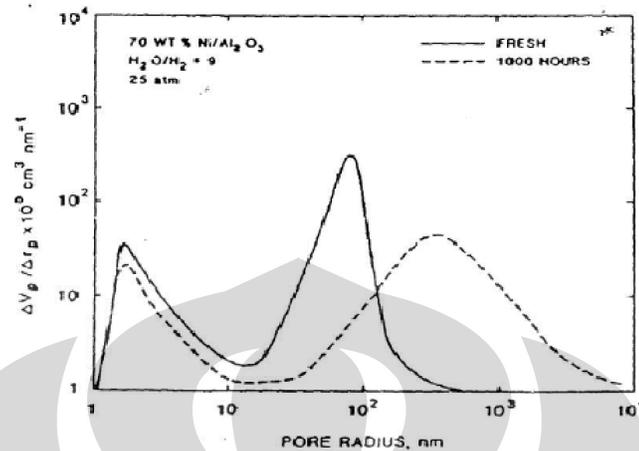
2.5.4 Sintering

Sintering adalah fenomena yang telah diketahui dalam ilmu logam dan keramik. Beberapa dapat diaplikasikan dalam ilmu katalis karena ukuran kristalit yang sangat kecil, support yang berpori, atmosfer yang reaktif, dan temperatur yang relatif rendah. Atom-atom dipermukaan dan di fasa bulk menjadi mudah bergerak pada temperatur diatas sepertiga dan setengah dari titik lelehnya. Karena support biasanya merupakan oksida keramik yang mempunyai titik leleh tingginya sedangkan komponen aktifnya mempunyai titik leleh yang lebih rendah, logam yang terdispersi, oksida, atau sulfida mempunyai mekanisme *Sintering* yang berbeda-beda.

Langkah-langkah dalam *Sintering* dari support ditunjukkan dalam Gambar 2.15. Butiran-butiran kecil (50-500 mikron) dengan mesoporousitas internal yang tinggi dikompres bersama-sama selama pembuatan. Aliran dan penyempitan batas butir adalah bagian dari proses yang mempengaruhi kekuatan partikel. Dari sini *Sintering* telah dimulai. Pada titik ini, partikel lebih baik dideskripsikan dalam hal porositasnya. Difusi material terjadi pertama melewati jembatan antara pori-pori kecil, dimana tegangan permukaan paling besar. Pada mulanya, pori-pori kecil menghilang yang memicu berkurangnya luas permukaan. Contohnya ditunjukkan dalam Gambar 2.16. untuk katalis steam reforming nafta yang digunakan dalam produksi pengganti gas alam.



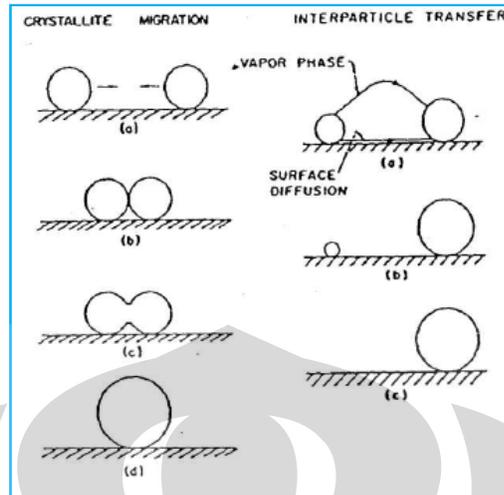
Gambar 2.15 Peningkatan Ukuran Pori Sselama Sintering



Gambar 2.16 Hilangnya Pori Kecil Selama *Sintering*

Konsekuensi dari hilangnya pori-pori di dalam support ada dua hal. Yang pertama, kristalit dari komponen akhir terperangkap dalam pori-pori yang paling kecil dan menjadi tidak dapat diakses. Yang kedua, fungsi dispersi dari support menjadi hilang. Kristal support bergerak saling mendekat, mempercepat hilangnya permukaan aktif begitu mengalami sintering.

Disain katalis yang bagus harusnya mengantisipasi kemungkinan di atas. Kalsinasi dilakukan pada suhu yang lebih tinggi dari temperatur sintering. Support dipilih agar dapat stabil pada range yang diinginkan. Walaupun support tidak terlalu merespon deaktivasi termal, tetapi beberapa ada yang terpengaruh, berdasarkan fakta bahwa setelah penggunaan berbulan-bulan termodinamikanya berubah. Hal yang tidak diinginkan terjadi karena adanya interaksi antar partikel. Kebanyakan penelitian teoritis dan eksperimental pada sintering lebih berfokus pada logam dengan dispersi tinggi, seperti platina dan alumina. Gambar 2.17 menunjukkan dua mekanisme yang dapat diterima untuk pertumbuhan kristal.

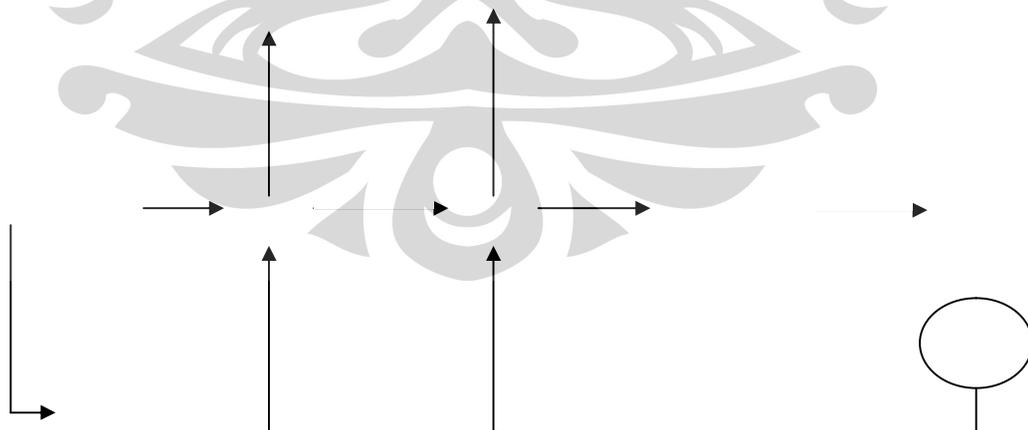


Gambar 2.17 Mekanisme Sintering pada Logam yang Terdispersi

2.5.5 Poisoning

Poisoning pada katalis merupakan sebuah efek kimia, meskipun temperature mungkin mempengaruhi sensitivitas. Sebuah *poison* atau racun pada katalis adalah suatu agen yang bereaksi permanen dengan sisi aktif katalis. Reaksi *poisoning* dapat bersifat *reversible* atau *irreversible*, *regenerable* atau tidak, tergantung pada jenis *poison*, katalis, dan penanganannya.

2.6 Mekanisme Reaksi



Gambar 2.18 Skema Reaksi untuk Konversi dari Aseton Menjadi Hidrokarbon dengan Menggunakan HZSM-5 (Enrique Costa, 1992)

Reaksi konversi katalitik Aseton menjadi hidrokarbon pada penelitian ini melibatkan banyak reaksi, yang meliputi reaksi *perengkahan*, reaksi polimerisasi, siklisasi, hidrogenasi, aromatisasi dan pembentukan *coke*.

Olefin C2-C4 fasa gas yang merupakan produk intermediate akan dihasilkan dari perengkahan aseton. Olefin dengan berat molekul lebih besar akan terbentuk dari reaksi polimerisasi. Setelah itu akan mengalami siklisasi membentuk sikloparafin / sikloolefin kemudian mengalami reaksi aromatisasi sehingga menghasilkan hidrokarbon aromatik dan melepaskan hidrogen. Hidrogen yang dilepaskan ini akan bereaksi dengan olefin membentuk paraffin melalui reaksi hidrogenasi. Hidrogenasi merupakan suatu penambahan senyawa hidrogen, salah satunya terjadi pada olefin sesuai dengan skema reaksi konversi katalitik pada Gambar berikut, dimana olefin akan berubah menjadi *paraffin*.

Pembentukan aromatik hidrokarbon, campuran polisiklik dan polialkilnaphtha dapat menyebabkan *coke*. *Coke* yang terbentuk dapat menyebabkan katalis terdeaktivasi.

2.7 Karakterisasi Katalis

Karakterisasi merupakan rangkaian dari proses preparasi suatu katalis. Parameter-parameter yang diukur memberikan informasi mengenai spesifikasi dari produk yang dihasilkan dan selain itu karakterisasi dapat digunakan untuk memperkirakan kondisi operasi penggunaan suatu katalis. Prosedur preparasi dapat diperkirakan dan dikoreksi hanya jika data sifat-sifat suatu katalis tersedia. Karakterisasi ini juga sebagai acuan langkah selanjutnya seperti disain alat, preparasi, dan manufaktur.

2.7.1 Karakterisasi dengan *Brunauer, Emmert, dan Teller* (BET)

Untuk mengetahui luas permukaan dari sampel katalis digunakan metode BET. Metode ini dikembangkan pada tahun 1938 oleh Brunauer - Emmert-Teller mengacu pada teori kinetika Langmuir untuk pembentukan *multilayer* pada peristiwa *fisorpsi*. BET mengasumsikan terjadi kesetimbangan dinamis antara lapisan molekul adsorbat teradsorpsi dengan uapnya. Lapisan pertama berkesetimbangan dengan uapnya sehinggaterbentuk

lapisan kedua. Lapisan kedua pun demikian, membentuk lapisan ketiga dst. Hingga pada akhirnya terbentuk lapisan-lapisan bertumpuk atau *multilayer*.

Dengan berdasar pada persamaan Langmuir untuk kesetimbangan antara lapisan pertama adsorbat, maka dapat diperoleh persamaan empiris sebagai berikut :

$$\frac{P/P_0}{V \{1 - (P/P_0)\}} = \frac{1}{V_m \cdot C} + \frac{(C-1)P/P_0}{V_m \cdot C} \quad (2.10)$$

dengan :

V = Volume gas saat teradsorpsi pada tekanan P (cm³)

V_m = Volume gas saat teradsorpsi dan membentuk *monolayer* (cm³)

P = Tekanan gas saat teradsorpsi (atm)

P₀ = Tekanan jenuh adsorbat pada temperature percobaan (atm)

C = Konstanta = $e^{(Q_a - Q_p)/RT}$

Q_a = Panas adsorbs pada layer pertama

Q_p = panas pencairan gas pada layer lain

2.7.2 Karakterisasi dengan X-Ray Diffraction (XRD)

Metode difraksi sinar X merupakan metode utama untuk mengidentifikasi dan menggambarkan struktur zeolit. Untuk menguji katalis yang meliputi struktur dan intensitasnya digunakan metode XRD.

Atom-atom dalam zat padat dapat menghamburkan sinar X. Ketika sinar X jatuh pada kristal, akan terjadi hamburan ke segala arah karena pada kristal atom-atom tersusun secara teratur maka sinar X yang terhambur akan bersifat koheren sehingga dapat berinterferensi saling menguatkan atau saling melemahkan. Atom-atom dalam kristal dapat dipandang sebagai unsur yang dapat membentuk susunan bidang datar yang masing-masing susunan mempunyai jarak karakteristik antara bidang-bidang komponennya. Bidang-bidang ini dinamakan bidang *Bragg*. Berdasarkan hal tersebut hukum Bragg menyatakan bahwa:

$$\lambda = nd \sin \theta \quad (2.11)$$

dengan:

λ = panjang gelombang dari berkas sinar X yang tergantung dari tabung anoda pada generator penghasil sinar X yang dipakai.

n =bilangan bulat yang menyatakan fasa dimana difraksi menghasilkan garis terang

d =lebar celah (jarak antara molekul untuk senyawa atau jarak antar atom untuk suatu unsur)

θ = sudut pengukuran

Dari hasil pengukuran XRD ini didapatkan data nilai d (d value) dan intensitas. Setiap unsure atau senyawa akan memiliki nilai dan intensitas yang spesifik.

Secara umum hasil yang diperoleh dari metode XRD adalah analisis kualitatif. Pengukuran intensitas dari difraksi sinar X menggunakan skala relatif. Penentuan kristalinitas atau sering diungkapkan 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%. Selanjutnya kristalinitas dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{\text{intensitas tinggi puncak terpilih dari sampel uji}}{\text{intensitas tinggi puncak terpilih dari sampel standar}} \times 100\% \quad (2.12)$$

Karakterisasi katalis dengan menggunakan metode ini adalah untuk melihat struktur serta tingkat kristalinitas dari katalis tersebut. Jangkauan sudut difraksi (2θ) yang digunakan adalah pada rentang 20° - 100° .

2.7.3 Karakterisasi dengan X-Ray Florescence (XRF)

X-ray fluorescence (XRF) adalah emisi dari karakteristik materi yang telah terekspos dengan energi tinggi sinar X. Bila bahan yang terkena panjang gelombang sinar X atau sinar gamma, maka ionisasi dari masing-masing komponen atom dapat dilakukan. Ionisasi terdiri dari tereksitasnya satu atau lebih elektron dari atom dan dapat berlangsung jika atom terkena radiasi dengan energi lebih besar dari potensial ionisasi. Sinar X dan sinar gamma memperoleh energi yang cukup untuk melepaskan elektron dari inti orbital

atom. Sinar X yang dipancarkan dalam proses ini disebut X-Ray Fluorescence atau XRF. Sedangkan proses dalam mendeteksi dan menganalisis pancaran sinar X tersebut disebut X-Ray Fluorescence Analysis (B. Beckhoff, 2006).

Karakterisasi *X-Ray Fluorescence* (XRF) bertujuan untuk melakukan analisis terhadap komposisi kimia zeolit alam dan katalis zeolit alam hasil modifikasinya. Karakterisasi ini juga berguna untuk mengetahui perubahan komposisi kimia zeolit setelah mengalami modifikasi, yaitu rasio Si/Al dari katalis. Selain itu karakterisasi ini juga bertujuan untuk mengetahui komposisi logam-logam pembentuk katalis. Metode XRF digunakan secara luas untuk mengukur komposisi dari bahan tersebut. Metode ini merupakan metode yang dipilih untuk aplikasi lapangan dan produksi industri dalam mengontrol material karena sifatnya yang cepat dan tidak merusak sampel.

2.8 Kinerja Katalis

Pada umumnya kinerja katalis yang banyak digunakan dalam pengujian aktivitas dan stabilitas katalis meliputi konversi umpan serta selektivitas dan yield produk.

2.8.1 Konversi

Konversi adalah fraksi umpan atau beberapa material dalam umpan yang dikonversikan menjadi produk. Oleh karena itu persen konversi didefinisikan sebagai:

$$\% \text{ konversi} = \frac{\text{mol umpan yang bereaksi}}{\text{mol umpan awal}} \times 100 \% \quad (2.13)$$

Basis yang digunakan dalam perhitungan harus jelas agar tidak terjadi kesalahan dalam perhitungan. Konversi berhubungan dengan derajat penyelesaian reaksi, yang umumnya merupakan persentase atau fraksi dari reaktan pembatas yang dikonversikan menjadi produk.

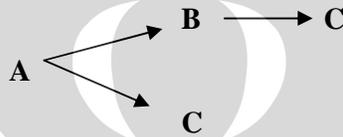
2.8.2 Selektivitas

Selektivitas adalah perbandingan antara jumlah mol suatu produk (umumnya yang diharapkan) dengan jumlah mol produk yang tidak

diharapkan yang diproduksi dalam serangkaian reaksi.

2.8.3 Yield

Yield untuk suatu reaktan dan produk adalah massa atau mol produk dibagi dengan massa atau mol reaktan mula-mula baik yang dipakai maupun yang dikonsumsi. Bila lebih dari satu reaktan yang terlibat, maka reaktan dengan basis yield harus ditentukan dengan jelas. Sebagai contoh adalah reaksi berurutan berikut ini.



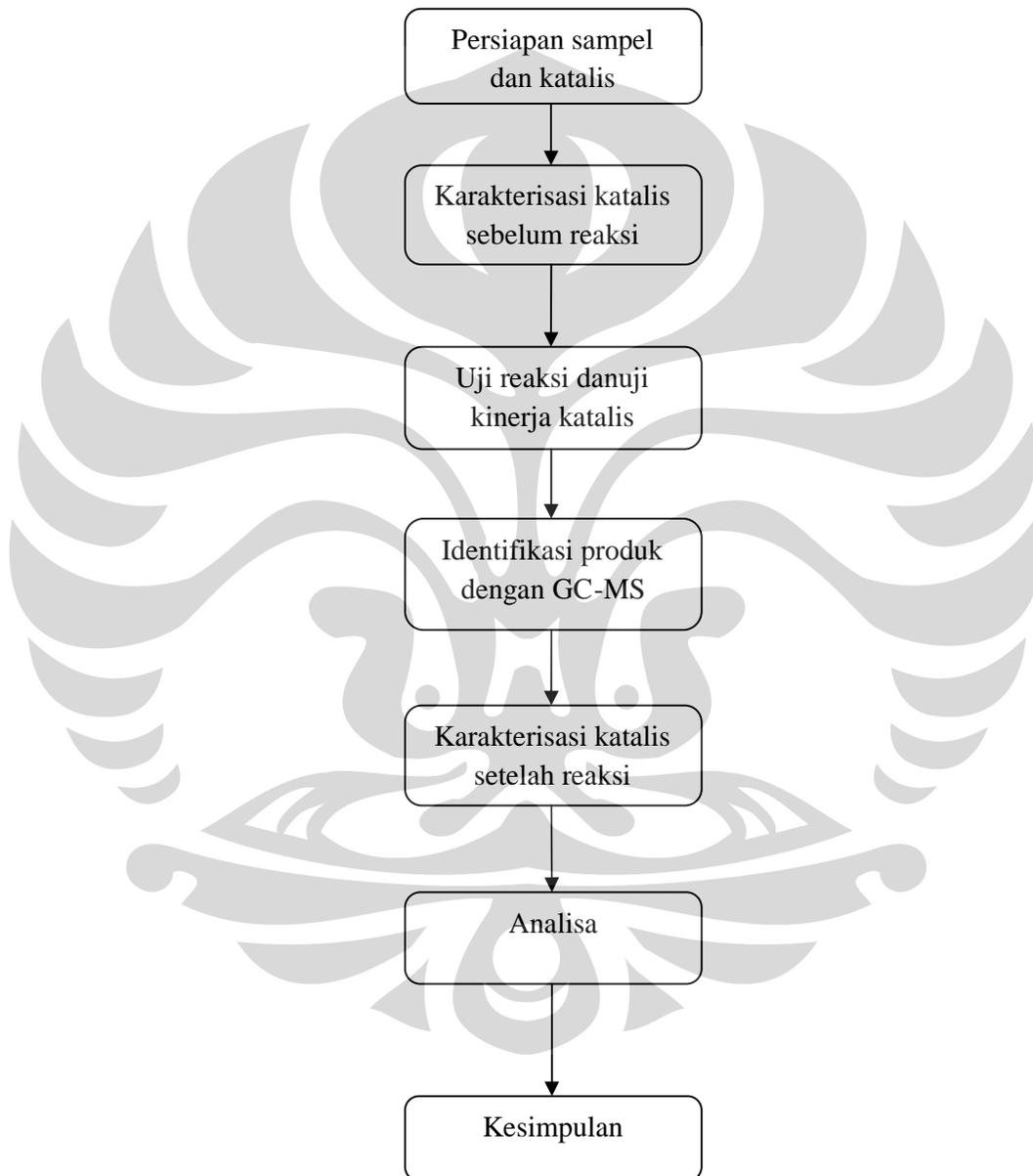
Dengan B sebagai produk yang diharapkan dan C adalah yang tidak diharapkan, yield dari B adalah jumlah mol/massa B yang diproduksi dibagi dengan mol/massa A yang dipakai atau dikonsumsi. Selektivitas dari B adalah jumlah mol B dibagi dengan jumlah mol C yang diproduksi.

Nilai yield dan selektivitas adalah nilai yang mengukur derajat perbandingan antara reaksi yang diinginkan dan yang tidak diinginkan.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Diagram alir penelitian secara umum dapat dilihat pada diagram berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Secara Umum

3.1.1 Persiapan sampel dan katalis

Tahap persiapan sampel terdiri dari penyiapan senyawa aseton murni. Sedangkan untuk persiapan katalis dilakukan pretreatment pada 673 K dalam aliran nitrogen sebesar 50 ml/min selama sedikitnya setengah jam untuk menghilangkan kemungkinan adanya kandungan komponen air akibat penyimpanan maupun penyusunan unggun katalis.

3.1.2 Karakterisasi katalis sebelum dan setelah reaksi

Karakterisasi katalis ini dilakukan untuk mengetahui sifat fisis/ kimia katalis sebelum dan sesudah reaksi. Karakterisasi katalis cukup dilakukan satu kali dan dapat dijadikan data karakterisasi untuk setiap katalis yang digunakan karena katalis yang digunakan adalah sama yaitu katalis komersial HZSM-5. Karakterisasi katalis yang dilakukan adalah XRD, XRF dan FTIR.

3.1.3 Uji reaksi dan kinerja katalis

Pada tahap ini senyawa aseton direaksikan dengan katalis HZSM-5 menggunakan reaktor uji seperti pada Gambar 3.2. Reaksi berlangsung dalam reaktor *fixed bed* dimana laju alir umpan dan temperaturnya diatur pada kondisi tertentu.



Gambar 3.2 Reaktor Uji

Prosedur penelitian tahap reaksi ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan Sampel
 - a. Siapkan Aseton
 - b. Ambil Aseton yang akan direaksikan,
Ambil diambil dengan menggunakan pipet volume, kemudian dimasukkan ke dalam wadah sampel.
 - c. Sampel diletakkan dalam sebuah *heater* yang di set 40°C dan pasangkan pipa penghubungnya (jika ingin memulai reaksi maka valve yang terletak antara aseton dan reaktor dibuka agar aseton dapat mengalir ke dalam reaktor).
2. Persiapan alat
 - a. Pada reaktor, dimasukkan katalis sebanyak 1 gram dan quartz sand sekitar 5 gram.
 - b. *Furnace electric* dinyalakan dan diset pada temperatur reaksi yang diinginkan (misalnya: 400°C).
 - c. Untuk *start up*, N_2 dialirkan terlebih dahulu sedikitnya 1 jam untuk membersihkan reaktor sehingga bebas dari kemungkinan adanya kandungan komponen air akibat selama penyimpanan maupun selama penyusunan unggun katalis.
 - d. Pada saat temperatur reaktor telah tercapai, *valve* yang menghubungkan aseton dan reaktor dibuka agar dan sampel (Aseton) dapat mengalir ke reaktor dan berkontak dengan katalis dalam reaktor.
 - e. Sampel aseton yang menguap dalam ruang aseton akan dibawa oleh *carrier gas* ke dalam reaktor sehingga terjadi reaksi di dalam reaktor.
 - f. Produk yang diperoleh ditampung dalam sebuah wadah yang telah dicelupkan dalam nitrogen cair agar produk yang didapat langsung dapat terkondensasi.
 - g. Analisa produk cair yang diperoleh.
3. Prosedur 1-2 diulangi untuk variasi suhu reaktor 300°C , 375°C dan 425°C .

3.2 LOKASI PENELITIAN

Aktivitas utama penelitian ini uji keasaman dan proses perengkahan aseton menjadi senyawa karbon aromatis yang dilakukan di Laboratorium Dasar Proses Kimia (DPK), Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok. Adapun karakterisasi katalis dilakukan dengan karakterisasi XRD, XRF, dan FTIR dilakukan di laboratorium RCMS Salemba dan Pusat Laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

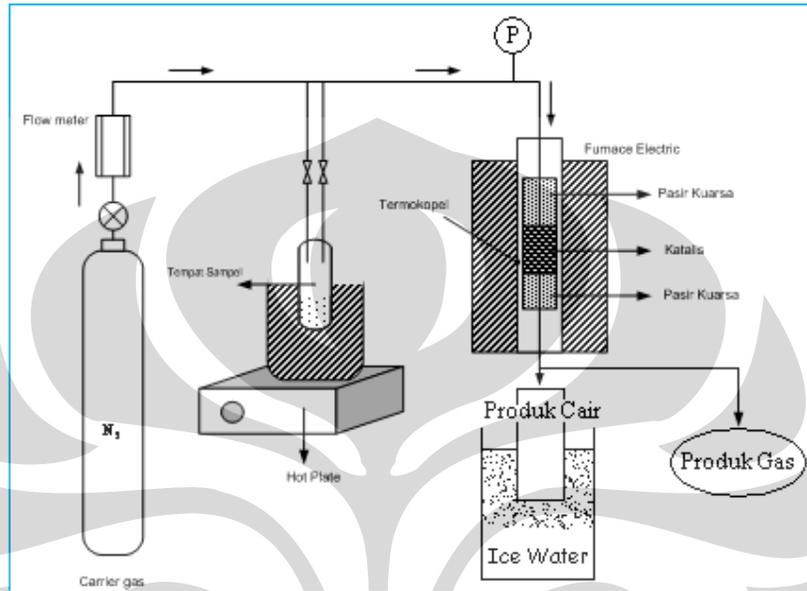
- Termometer
- termokopel
- Spatula
- Kertas Timbang
- Gelas ukur 100 ml
- Labu takar 100 ml
- Pipet volume
- Reaktor *Fixed Bed*
- *Beaker glass* 250 ml
- *Syringe Gas Tight*
- Kantong Urine (*Gas bag*)
- buret

3.3.2 Bahan

- Aseton : sebagai reaktan
- N_2 : sebagai carrier gas bagi aseton yang teruapkan agar dapat masuk ke reaktor
- Air distilat : untuk membuat variasi komposisi aseton, HCl dan NaOH.
- HZSM-5 : sebagai katalis dalam proses konversi aseton menjadi hidrokarbon aromatik
- NH_3OH : sebagai bahan untuk uji keasaman katalis
- HCl : sebagai bahan yang menangkap NH_3OH pada uji keasaman

- NaOH : sebagai bahan penitrasi HCl

3.4 Model Penelitian



Gambar 3.3 Susunan Reaktor Uji Katalis *Fixed Bed Reactor*

Susunan reaktor untuk tahap konversi katalitik adalah :

- Unggun katalis yang berupa katalis HZSM-5 ditahan dengan lapisan *quartz wool* (pasir kuarsa) agar unggun katalis berada pada posisi yang tetap.
- Unggun katalis dibuat dengan cara mencampurkan 1 gram katalis dengan 5 gram quartz sand.
- Tepat di sisi luar unggun katalis, disematkan pipa kecil untuk peletakan ujung termokopel sebagai monitoring suhu katalis selama reaksi.
- Reaktor yang telah disiapkan dengan susunan tersebut diatas kemudian ditempatkan pada sistem aliran uji reaksi seperti terlihat pada Gambar 3.3 di atas.

Kondisi reaksi pada reaktor :

1. Tekanan Operasi : atmosferik
2. Laju alir *carrier gas* : 240-60 ml /min

3. Katalis sampel unggul : 1 gram (variable konstan)
4. Suhu reaksi : 250⁰C - 500⁰C

3.5 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang akan terkait pada tahapan ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas : suhu reactor dan laju alir carrier gas.
2. Variabel terikat : produk hasil konversi aseton

3.6 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data

Pada tahap ini dilakukan identifikasi dan analisis terhadap hasil reaksi yang telah dilakukan. Analisis yang dilakukan adalah untuk mengetahui komposisi produk hidrokarbon aromatik.

3.6.1 Analisis Produk Cair dengan Gas Chromatography/Mass Spectroscopy (GC/MS)

Untuk menganalisa dan mengetahui produk hasil reaksi secara detail dan akurat maka digunakan analisa Gas Chromatography/Mass Spectroscopy (GC/MS). Metode yang dipakai adalah dengan menggunakan aplikasi dari spectroscopic atau detector elektroanalisis untuk memonitor keluaran dari kolom secara kontinyu. Biasanya, prosedur ini memerlukan instrumen terkomputerisasi dan memory computer yang besar untuk menyimpan data spectra dan elektrokimia untuk selanjutnya ditampilkan sebagai spectra dan chromatogram.

Uji GC-MS dilakukan di Corelab Indonesia, Cilandak. Database yang digunakan perusahaan tersebut menggunakan database dari Willey⁷ⁿ yang digunakan untuk data referensi dalam pegujian GC-MS ini. Data yang didapat dari pegujian akan dicocokkan dengan referensi ini.

3.6.2 Karakterisasi katalis

Adapun karakterisasi katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan uji XRD, XRF, dan FTIR.

3.6.2.1 Karakterisasi menggunakan XRD

Prinsip dari XRD adalah difraksi yang disebabkan oleh adanya hubungan fasa tertentu antara dua gerak gelombang atau lebih sehingga

padauan gelombang tersebut dapat saling menguatkan. Pengujian dengan XRD dilakukan di Fakultas Teknik Metalurgi UI, Pusat Laboratorium Terpadu (PLT) UIN Syarif Hidayatullah dan Pasca Sarjana Material Sains (FMIPA UI).

3.6.2.2 Karakterisasi menggunakan XRF

Karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui komposisi logam-logam pembentuk katalis. Karakterisasi *X-Ray Florescence* (XRF) bertujuan untuk melakukan analisis terhadap komposisi kimia HZSM-5 sebelum dan setelah proses konversi dila. Karakterisasi ini juga berguna untuk mengetahui perubahan komposisi kimia zeolit setelah mengalami modifikasi, yaitu rasio Si/Al dari katalis. Selain itu karakterisasi ini juga bertujuan untuk mengetahui komposisi logam-logam pembentuk katalis. Metode XRF digunakan secara luas untuk mengukur komposisi dari bahan tersebut. Karakterisasi *X-Ray Fluorescence* dilakukan di UI Salemba.

3.6.2.3 Karakterisasi menggunakan FTIR

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) digunakan untuk menganalisa secara kualitatif ikatan-ikatan yang terdapat pada katalis yang bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan dari sampel, dalam hal ini katalis HZSM-5. FTIR yang digunakan diuji di Departemen Teknik Kimia UI dan Pusat Laboratorium Terpadu UIN.

Tujuan dari analisis FTIR adalah untuk melihat dengan jelas ikatan-ikatan apa saja yang dimiliki oleh sampel yang dihasilkan dari proses konversi katalitik.

3.6.3 Uji Keasaman

Kekuatan asam HZSM-5 dapat diukur dengan adsorpsi-desorpsi ammonia. Asam Bronsted akan mengadsorb NH_3 membentuk NH_4^+ . Semakin banyak NH_4^+ yang terserap oleh katalis menunjukkan semakin kuat asam dari katalis HZSM-5. Uji keasaman ini dilakukan pada suhu 250°C hingga 490°C dan diambil sampel setiap 20°C .

Dalam penelitian ini, prinsip kerja uji keasaman adalah dengan mengontakkan padatan katalis yang akan diturunkan kekuatan asamnya dengan basa yang berbentuk gas (biasanya gas NH_3). Katalis asam tersebut memiliki proton yang mampu mengikat gas NH_3 . Disinilah terjadi adsorpsi amonia ke dalam katalis asam. Gas amonia yang teradsorpsi secara fisis kemudian dihilangkan. Metode penghilangan amonia yang tidak terabsorb ini disebut dengan *purging*. Tahapan *purging* ini dilakukan dengan mengalirkan gas yang dapat mengabsorb amonia (dalam hal ini gas N_2). Reaktor kemudian kembali dipanaskan. Pada suhu tertentu akan terjadi desorpsi amonia. Desorpsi ini menjadi parameter menurunnya kekuatan asam suatu katalis. Kemudian NH_4^+ yang keluar dari reaktor akan ditangkap dengan sebuah kantong urine yang berisi 200 ml HCl 0.05 M. Setelah di kocok dan didiamkan beberapa saat kemudian campuran NH_4^+ dan HCl dititrasi dengan NaOH 0.05 M.

3.7 Cara Penafsiran dan Penyimpulan Hasil

3.7.1 Identifikasi produk

- Data-data produk yang didapat dari analisis *Gas Chromatography* (GC) pada setiap variasi suhu reaktor dan dipilih dengan kualitas lebih besar dari 90%.
- Dari data-data tersebut dapat dilihat pengaruh suhu terhadap produk apa saja yang terbentuk pada proses konversi aseton ini.
- Dari hasil GC/MS dapat dilihat secara detail produk-produk apa saja yang dihasilkan sehingga rute reaksi dapat diprediksi.

3.7.2 Karakterisasi katalis

3.7.2.1 XRD

Karakterisasi katalis dengan menggunakan metode ini adalah untuk melihat struktur serta tingkat kristalinitas dari katalis tersebut. Jangkauan sudut difraksi (2θ) yang digunakan adalah pada rentang 20° - 100° .

Metode Scherrer digunakan untuk menghitung ukuran Kristal dari data yang didapat dari grafik XRD, dengan rumus:

$$L = \frac{K\lambda}{(\beta \cos\theta)} \quad (3.1)$$

dengan :

L = ukuran kristal (nm)

= panjang gelombang radiasi sinar X-Ray (Cu K = 0.154118 nm)

K = 0.89

= lebar dari setengah puncak gelombang tertinggi

= sudut pengukuran (sudut difraksi)

Didapatkan ukuran kristal dengan cara:

1. Nilai θ dan nilai β didapat dari data yang dihasilkan dari analisis XRD.
2. Nilai β yang berasal dari data masih dalam bentuk derajat ($^{\circ}$), selanjutnya diubah dalam bentuk radian, dengan cara:

$$\beta \text{ (rad)} = \frac{2 \times 3.14 \times \text{peak width}}{360^{\circ}} \quad (4.2)$$

3. Selanjutnya dimasukkan dalam persamaan, sehingga diperoleh data ukuran partikel komponen.

3.7.2.2 XRF

Dari uji XRF ini akan diperoleh grafik dan dapat diolah menjadi data berupa kandungan apa saja yang terdapat pada katalis sesudah dan sebelum proses serta berapa besar kandungannya (dalam % berat maupun % mol). Selain itu, dapat dihitung pula rasio Si/Al pada kedua katalis.

3.7.2.3 FTIR

Grafik hasil FTIR yang terbentuk ini kemudian dianalisa dengan memperkirakan ikatan apa yang terbentuk pada suatu *peak* yang mengacu pada referensi. Kemudian dibandingkan ikatan apa saja yang ada pada katalis sebelum dan setelah operasi.

3.7.3 Uji keasaman katalis

Dari grafik yang dibuat, akan terlihat keasaman katalis. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya NH_3 yang terdesorpsi pada katalis. Semakin banyak katalis yang terdesorpsi semakin tinggi tingkat keasaman katalis tersebut yang menunjukkan semakin tinggi pula kereaktifannya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Katalis

4.1.1 Karakterisasi dengan XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Untuk mengetahui komposisi perubahan komposisi unsur-unsur logam yang terkandung didalam katalis HZSM-5 sebelum dan setelah reaksi, maka dilakukan pengujian terhadap kedua sampel katalis HZSM-5 tersebut dengan menggunakan metode *X-Ray Fluorescence*(XRF).

4.1.1.1 XRF HZSM-5 sebelum reaksi

Karakterisasi dengan XRF ini dilakukan untuk mengetahui komponen senyawa kimiawi yang terkandung dalam HZSM-5 sebelum proses konversi aseton menjadi hidrokarbon aromatis ini dilakukan serta untuk menentukan rasio Si/Al katalis HZSM-5 yang digunakan pada proses ini. Dari hasil karakterisasi XRF yang disajikan dalam Gambar 4.1 nampak adanya puncak-puncak dari komponen senyawa katalis HZSM-5. Nilai kandungan unsur-unsurnya dapat digunakan untuk menghitung rasio Si/Al katalis HZSM-5 yang digunakan.

Berikut adalah hasil perhitungan hasil XRF. Dapat dibuat data pengolahan hasil XRF untuk katalis baru yang dimuat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Pengolahan Data *X-Ray Fluorescence* untuk Katalis HZSM-5 Baru.

no.	no. atom	Unsure kimia	wt(%)	at/mole(%)	K-ratio	Integral Int.	Standard dev.
1	13	Al	1.7734	1.8484	0.0130763	1152	0.3942
2	14	Si	97.7978	97.9264	1.0192945	110237	0.241
3	22	Ti	0.135	0.0792	0.0009329	248	0.2116
4	26	Fe	0.2437	1.2227	0.0026302	1020	0.1127
5	28	Ni	0.0282	0.0135	0.0004043	163	0.0906
6	29	Cu	0.022	0.0097	0.0003446	140	0.0869

Berdasarkan Tabel 4.1 didapat rasio mol Si/Al untuk HZSM-5 yang akan

digunakan adalah sebesar 53. Dari hasil XRF terlihat bahwa masih ada kandungan selain komponen Si dan Al yakni adanya unsur Al, Si, Ti, Fe, Ni, dan Cu walaupun nilai kandungan unsur-unsur tersebut sangat kecil (total kandungan < 1 %). Hal ini menunjukkan bahwa kemurnian HZSM-5 tersebut sangat tinggi.

4.1.1.2 XRF HZSM-5 sesudah reaksi

Karakterisasi dengan XRF ini dilakukan untuk mengetahui komponen senyawa kimiawi yang terkandung dalam HZSM-5 setelah proses konversi aseton menjadi hidrokarbon aromatis ini dilakukan serta untuk menentukan rasio Si/Al katalis HZSM-5 yang digunakan pada proses ini. Dari hasil karakterisasi XRF yang disajikan dalam Gambar 4.2 nampak adanya puncak-puncak dari komponen senyawa katalis HZSM-5. Nilai kandungan unsur-unsurnya dapat digunakan untuk menghitung rasio Si/Al untuk katalis HZSM-5 bekas.

Berikut adalah hasil perhitungan hasil XRF. Dapat dibuat data pengolahan hasil XRF untuk katalis bekas yang dimuat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Pengolahan Data *X-Ray Fluorescence* untuk Katalis HZSM-5 bekas

no.	no. atom	Unsur kimia	wt(%)	at/mole(%)	K-ratio	Integral Int.	Standard dev.
1	13	Al	3.3267	3.1569	0.0088611	1829	0.1431
2	14	Si	94.0461	95.5164	0.352074	89190	0.0881
3	16	S	0.2346	0.2087	0.0003289	216	0.104
4	26	Fe	0.5363	0.2739	0.0021965	1995	0.039
5	29	Cu	0.4459	0.2001	0.0025929	2468	0.0307
6	30	Zn	0.3004	0.1311	0.00196	1858	0.0288
7	82	Pb	1.1101	0.1528	0.0171513	5137	0.0764

Berdasarkan Tabel 4.2 didapat rasio mol Si/Al untuk HZSM-5 bekas adalah sebesar 30. Dari hasil XRF terlihat bahwa masih ada kandungan selain komponen Si dan Al yakni adanya unsur Al, Si, Ti, S, Fe, Cu, Zn, dan Pb walaupun nilai kandungan unsur-unsur tersebut sangat kecil (total kandungan hanya 1.32 %). Hal ini menunjukkan bahwa HZSM-5 setelah dipakai dalam reaksi

kemurniannya masih tinggi.

Apabila diperbandingkan antara hasil XRF sebelum dan setelah reaksi disajikan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Tabel Perbandingan Data XRF Sebelum dan Setelah reaksi

no.	no. atom	chem. Formula	mol(%)	
			sebelum	sesudah
1	13	Al	1.8484	3.1569
2	14	Si	97.9264	95.5164
3	16	S	-	0.2087
4	22	Ti	0.0792	-
5	26	Fe	0.2437	0.2739
6	28	Ni	0.0135	-
7	29	Cu	0.0097	0.2001
8	30	Zn	-	0.1311
9	82	Pb	-	0.1528

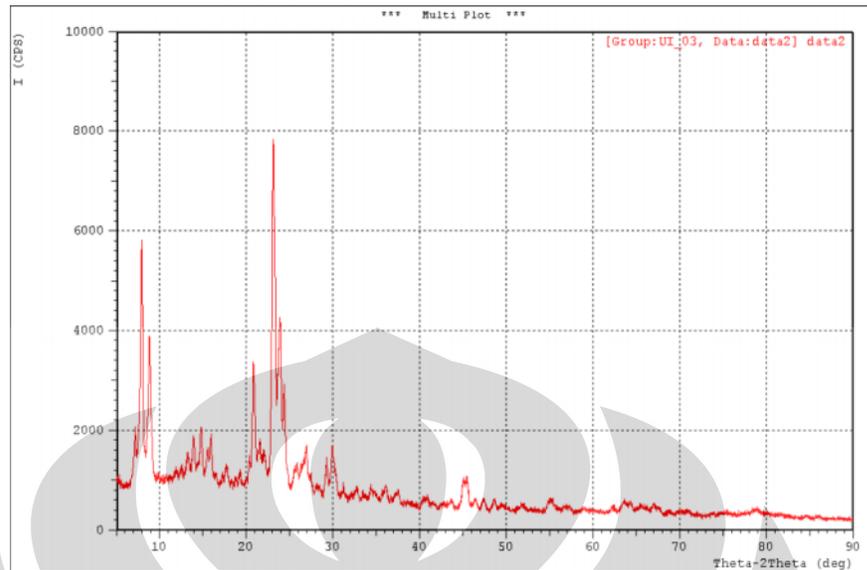
Dari Tabel 4.3 terlihat adanya perbedaan kandungan komposisi unsur yang bukan merupakan pembangun katalis HZSM-5, yakni adanya kandungan unsur S, Fe, Cu, Zn, Pb yang meningkat. Perubahan komposisi logam kemungkinan dikarenakan terjadi pelucutan logam-logam pada dinding reaktor yang dipergunakan.

4.1.2 Karakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*)

Karakterisasi dengan difraksi sinar X (XRD) merupakan karakterisasi yang esensial dalam mengidentifikasi dan mengkarakterisasi HZSM-5 untuk melihat kemungkinan terjadinya kerusakan kristal dan melihat ukuran kristal sebelum dan sesudah reaksi.

4.1.2.1 XRD HZSM-5 sebelum proses

Karakterisasi XRD ini dilakukan untuk mengetahui kristalinitas dari katalis HZSM-5 dan kemungkinan terjadinya kerusakan struktur kristal serta mengetahui ukuran kristal. Berikut adalah hasil XRD dari katalis baru (Gambar 4.3).



Gambar 4.1 X-Ray Diffraction HZSM-5 Sebelum Reaksi

Jangkauan sudut difraksi 2θ yang digunakan pada uji karakteristik XRD ini berkisar antara 10° - 90° . *Tube anode* yang digunakan pada karakterisasi XRD ini adalah Cu-k dengan panjang gelombang 1.54056 Å. Untuk material yang amorf maka struktur XRD akan datar (tidak terbentuk *peak*). Dari Gambar 4.2 terlihat bahwa HZSM-5 merupakan suatu katalis berbentuk kristalin dimana *peak-peak* dominan muncul pada daerah sudut 2θ antara 20 - 30° . Kristalinitas HZSM-5 tertinggi berada pada kisaran tersebut, tepatnya pada daerah sudut 2θ dengan nilai 23 - 24 derajat.

Berdasarkan grafik XRD ini dapat dipilih tiga *peak* terkuat, yaitu:

Tabel 4.4 Tabel 3 *Peak* Terkuat XRD Sebelum Reaksi

<i>Peak</i>	2θ	intensitas
A	23.125	2627
B	7.903	1625
C	23.84	1309

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan persamaan *Scherrer*, maka diperoleh ukuran kristal untuk setiap komponen katalis pada 3 *peak* terkuat sebagai berikut

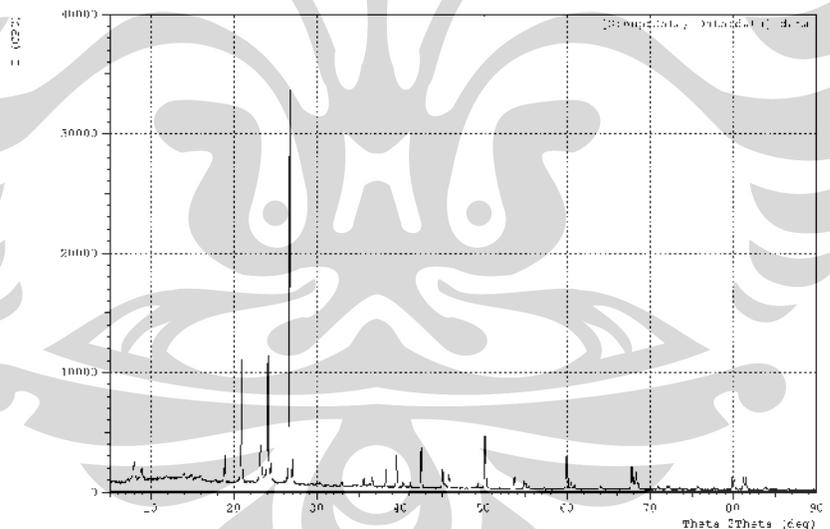
Tabel 4.5 Tabel Ukuran Kristal untuk 3 *Peak* Terkuat XRD Sebelum Reaksi

<i>Peak</i>	L (nm)
A	40.129
B	52.546
C	32.146

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa ukuran kristal katalis HZSM-5 baru pada *peak* pada sudut 2θ 23.125 dan 23.84 adalah sekitar 40 nm dan 32 nm.

4.1.2.2 XRD HZSM-5 sesudah reaksi

Karakterisasi XRD juga dilakukan pada katalis yang telah digunakan pada proses konversi aseton ini. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi kristal katalis setelah katalis digunakan, seperti ukuran kristalnya. Sehingga dapat dilihat perubahan dari kondisi kristal tersebut. Berikut adalah hasil XRD dari katalis (Gambar 4.4).

**Gambar 4.2** X-Ray Diffraction HZSM-5 Setelah Reaksi

Perbedaan spektrum XRD sebelum dan sesudah reaksi, terutama terlihat pada *peak* yang muncul pada sudut 2θ sebesar 26.65 derajat. *Peak* tersebut merupakan *peak* yang dipunyai oleh SiO_2 . SiO_2 ini sengaja dicampur dengan katalis HZSM-5 untuk mengurangi kepadatan padatan katalis HZSM-5 yang sangat lembut ($<200\mu\text{m}$). Hal ini bertujuan agar aliran gas umpan dapat berkontak

lebih sempurna dengan katalis dan juga berguna untuk mengatasi tingginya *pressure drop* dalam aliran.

Berdasarkan grafik XRD pada Gambar 4.4 dapat dipilih tiga *peak* terkuat, yaitu:

Tabel 4.6 Tabel 3 *Peak* Terkuat XRD Sebelum Proses

<i>Peak</i>	2	Intensitas
A	26.65	11596
B	24.02	4476
C	20.88	4274

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan metode *Scherrer*, maka diperoleh ukuran kristal partikel untuk setiap komponen katalis pada 3 *peak* terkuat sebagai berikut.

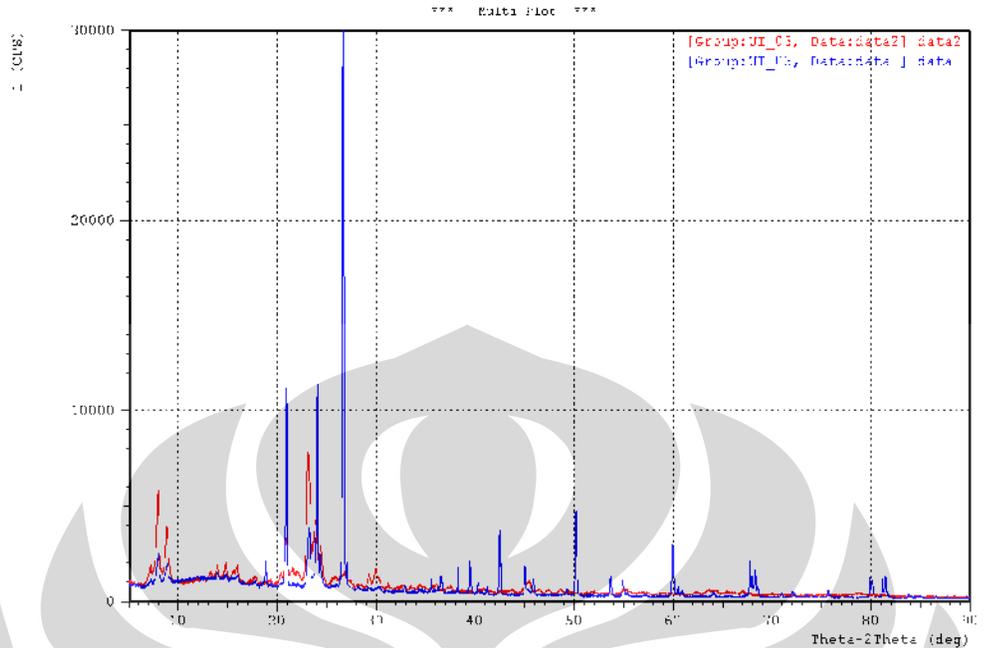
Tabel 4.7 Tabel Ukuran Kristal untuk 3 *Peak* Terkuat XRD Sebelum Reaksi

<i>Peak</i>	L (nm)
A	58.635
B	68.898
C	84.186

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa ukuran partikel katalis HZSM-5 pada *peak* pada sudut 2 yaitu 24.02 adalah sekitar 69 nm.

Dari kedua pengujian XRD dapat diketahui ukuran partikel HZSM-5 setelah proses konversi aseton ini mengalami perubahan dari 32 nm pada saat sebelum reaksi menjadi 69 nm pada setelah reaksi. Kemungkinan ukuran kristal katalis ini berubah dikarenakan katalis mengalami pengembangan akibat pemanasan pada suhu reaksi yang mencapai 425 °C.

Berikut adalah gambar dari kedua pengujian XRD baik sebelum reaksi maupun setelah reaksi.



Gambar 4.3 gambar XRD gabung

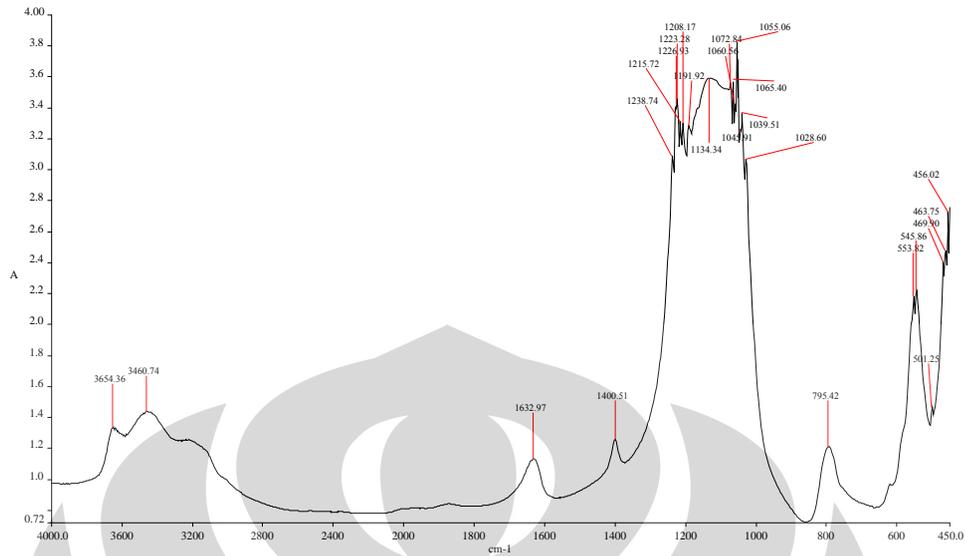
Dari gambar tersebut terlihat perbedaan yaitu pada sudut 2θ yaitu 26.65 ditemukan *peak* yang merupakan *peak* yang dipunyai oleh SiO_2

4.1.3 Karakterisasi dengan FTIR

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) digunakan untuk menganalisa secara kualitatif ikatan-ikatan yang terdapat pada katalis yang bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan dari sampel, dalam hal ini katalis HZSM-5.

4.1.3.1 FTIR HZSM-5 baru

Hasil pengujian FTIR untuk katalis HZSM-5 baru sebelum proses ditunjukkan pada Gambar 4.5.

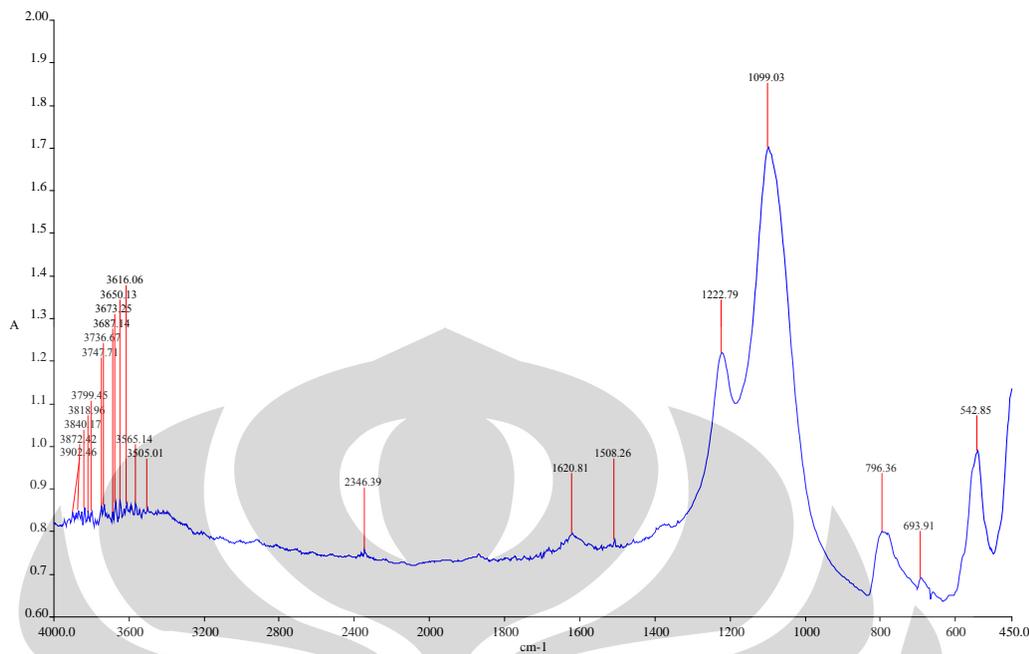


Gambar 4.4 Hasil FTIR untuk Katalis HZSM-5 Baru

Dari hasil pengujian FTIR pada katalis HZSM-5 sebelum proses konversi ini spectra yang diperoleh pada bilangan gelombang $1000\text{-}1130\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan ikatan Si-H, ikatan Si-O maupun ikatan kimia dengan Si lainnya yang merupakan senyawa penyusun HZSM-5. Selain itu juga terdapat *peak* pada 1400 yang merupakan *peak* dari ikatan H-Si sedangkan untuk *peak* 1630 merupakan *peak* dari ikatan Al.

4.1.3.2 FTIR HZSM-5 bekas

Hasil pengujian FTIR untuk katalis HZSM-5 bekas setelah digunakan dalam reaksi ditunjukkan pada Gambar 4.6



Gambar 4.5 Hasil FTIR untuk Katalis HZSM-5 Bekas

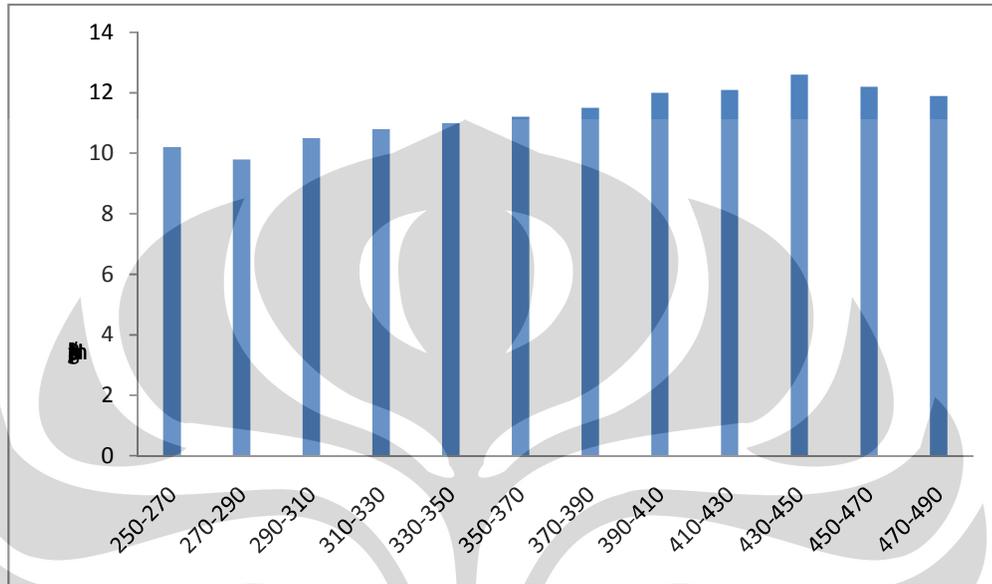
Dari hasil pengujian FTIR pada katalis HZSM-5 setelah proses konversi ini spektra yang diperoleh pada panjang gelombang 1000 -1130 cm^{-1} menunjukkan keberadaan ikatan Si-H, Si-O maupun ikatan Si dengan senyawa lainnya. Pada hasil pengujian untuk katalis yang telah digunakan pada proses konversi aseton ini banyak sekali *peak* pada panjang lainnya yang tidak ditemukan pada pengujian pada katalis baru. Berdasarkan data-data FTIR, pada rentang bilangan gelombang 3500-3900 cm^{-1} mengindikasikan adanya senyawa alkohol aromatik dan senyawa asam karboksilat dan ikatan C-H pada panjang gelombang 2300. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan kokas didalam katalis didominasi oleh ikatan alkohol aromatik dan asam karboksilat.

Dari kedua hasil pengujian FTIR terdapat sebuah perbedaan. Yaitu pada hasil pengujian kokas terdapat *peak* pada bilangan gelombang 3500-3900 yang cukup banyak, dimana *peak* tersebut diperkirakan merupakan *peak* dari ikatan alkohol aromatik dan asam karboksilat yang banyak ditemukan pada identifikasi produk pada subbab berikutnya.

4.2 Uji keasaman

Uji keasaman katalis bertujuan untuk mengetahui tingkat keasaman katalis

pada rentang suhu yang digunakan pada proses konversi aseton ini. Keasaman suatu katalis berkaitan dengan kereaktifan suatu katalis asam. Dimana katalis asam akan meningkat kereaktifannya apabila keasamannya meningkat. Berikut ini adalah grafik hasil uji keasaman.



Gambar 4.6 Grafik Uji Keasaman

Grafik ini menunjukkan banyaknya NH_3 yang teradsorpsi pada katalis yang kemudian terdesorpsi dan tertangkap dalam HCl . Semakin tinggi NH_3 yang keluar dari reaktor menunjukkan semakin tinggi pula tingkat keasaman. Dari grafik diatas terlihat bahwa pada rentang suhu mencapai 450°C makin tinggi suhu maka akan semakin tinggi pula tingkat keasaman dari katalis ini. Terlihat bahwa katalis HZSM-5 memiliki puncak keasaman pada rentang suhu $430-450^\circ\text{C}$ yang merupakan suhu optimum untuk melakukan reaksi.

4.3 Identifikasi produk

Untuk menganalisa dan mengetahui produk hasil reaksi secara detail maka digunakan metode analisa Gas Chromatography/Mass Spectroscopy (GC/MS). Metode yang dipakai adalah dengan menggunakan aplikasi dari spectroscopic atau detector elektroanalisis untuk memonitor keluaran dari kolom secara kontinyu. Biasanya, prosedur ini memerlukan instrumen terkomputerisasi dan memory komputer yang besar untuk menyimpan data spectra dan elektrokimia untuk

selanjutnya ditampilkan sebagai spectra dan chromatogram.

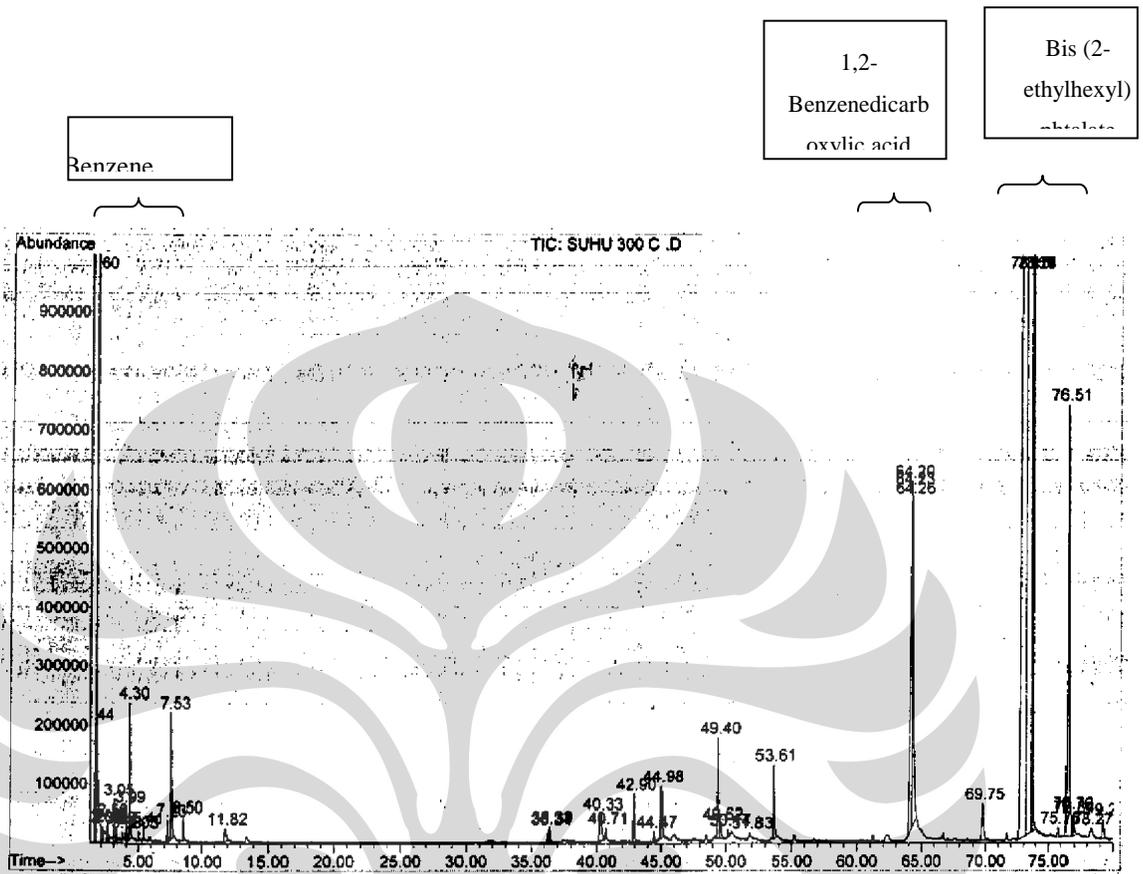
Data yang didapatkan kemudian diolah dengan memilih hasil pembacaan dengan kualitas diatas 90% sedangkan untuk senyawa dengan kualitas dibawah 90 akan dieliminir. Kemudian dipilih senyawa apa pada suatu *peak* yang memiliki kualitas diatas 90 karena dalam satu *peak* GC-MS dapat ditemukan beberapa senyawa.

Hasil yang didapat pada GC-MS adalah % area yang merupakan perbandingan % volume dari sampel yang disuntikkan kedalam GC-MS tersebut. Menurut hukum Avogadro, pada tekanan dan suhu yang sama maka volume senyawa tersebut akan berbanding lurus dengan mol senyawa dari sampel yang diuji. Oleh karena itu, dapat dinyatakan luas area merupakan perbandingan dari besar konsentrasi senyawa tersebut. Oleh karena total %area tidak mencapai 100% dikarenakan pemilihan berdasarkan kualitas, maka % mol dilakukan normalisasi.

Subbab berikut adalah identifikasi data produk hasil konversi aseton yang telah diperoleh menggunakan GC-MS pada berbagai suhu reaksi yang telah dilakukan.

4.3.1 Identifikasi produk cair hasil reaksi suhu 300 °C

Gambar spectrum chromatogram hasil GC-MS produk cair pada suhu 300°C dapat dilihat dalam Gambar 4.7.

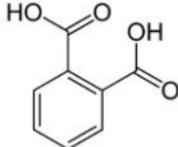
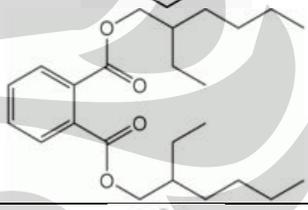


Gambar 4.7 Gambar Spektrum Chromatogram Suhu 300⁰ C

Dari Gambar 4.7 dapat terlihat ada beberapa kelompok *peak* yang cukup tinggi. Berdasarkan database GC-MS diperoleh bahwa pada *peak* antara *Retention Time* 4-8 menit merupakan *peak* dari senyawa benzena, kemudian *peak* antara *retention time* 69-73 menit merupakan *peak* dari 1,2-Benzenedicarboxylic acid yang cukup besar dan terakhir adalah *peak* disekitar *retention time* 73 menit yang merupakan *peak* dari Bis (2-ethylhexyl) phthalate.

Berikut ini adalah tabel struktur kimia dan komposisi dari senyawa yang terbentuk pada suhu 300⁰C (Tabel 4.8).

Tabel 4.8 Struktur Kimia dan Komposisi Produk Pada Suhu 300°C

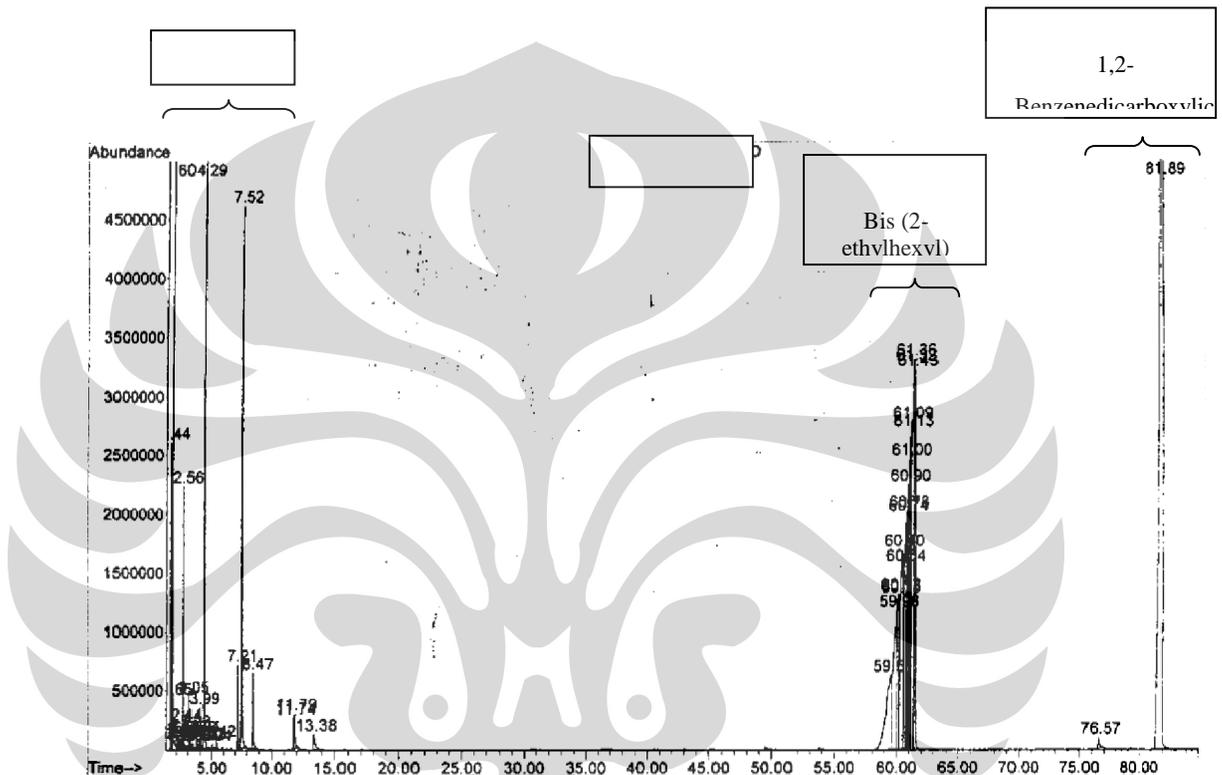
no.	ID	% mol	struktur kimia
1	1,2-Benzenedicarboxylic acid	50.17	
2	1,3-Pentadiene	0.04	
3	Benzene	0.45	
4	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	48.79	
5	Cyclohexene	0.02	
6	Heptadecane	0.18	
7	Hexadecane	0.11	
8	Octadecane	0.14	
9	Pentadecane	0.11	

Dari Tabel 4.8 terlihat bahwa senyawa hidrokarbon aromatik yang didapat masih sangat kecil yaitu sebanyak 0.45 %. Sedangkan produk selain hidrokarbon seperti 1,2-Benzenedicarboxylic acid sebanyak 56.17% dan Bis (2-ethylhexyl)

phthalate terbentuk sebanyak 48.78%. Hal ini menunjukkan suhu reaksi yang masih dibawah suhu pembentukan senyawa hidrokarbon aromati k.

4.3.2 Identifikasi produk cair hasil reaksi suhu 375 °C

Gambar spectrum chromatogram hasil GC-MS produk cair pada suhu 300°C dapat dilihat dalam Gambar 4.8.

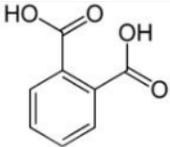
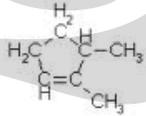
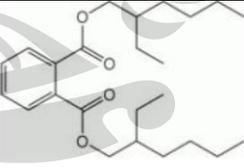


Gambar 4.8 Gambar Spektrum Chromatogram Suhu 375° C

Dari Gambar 4.8 dapat terlihat ada beberapa kelompok *peak* yang cukup tinggi. Berdasarkan database GC-MS diperoleh bahwa pada *peak* antara *Retention Time* 4-8 menit merupakan *peak* dari senyawa benzena, kemudian *peak* antara *retention time* 69-73 menit merupakan *peak* dari 1,2-Benzenedicarboxylic acid yang cukup tinggi dan terakhir adalah *peak* disekitar *retention time* 73 menit yang merupakan *peak* dari Bis (2-ethylhexyl) phthalate.

Berikut ini adalah tabel struktur kimia dan komposisi produk dari senyawa yang terbentuk pada suhu 375°C (Tabel 4.9).

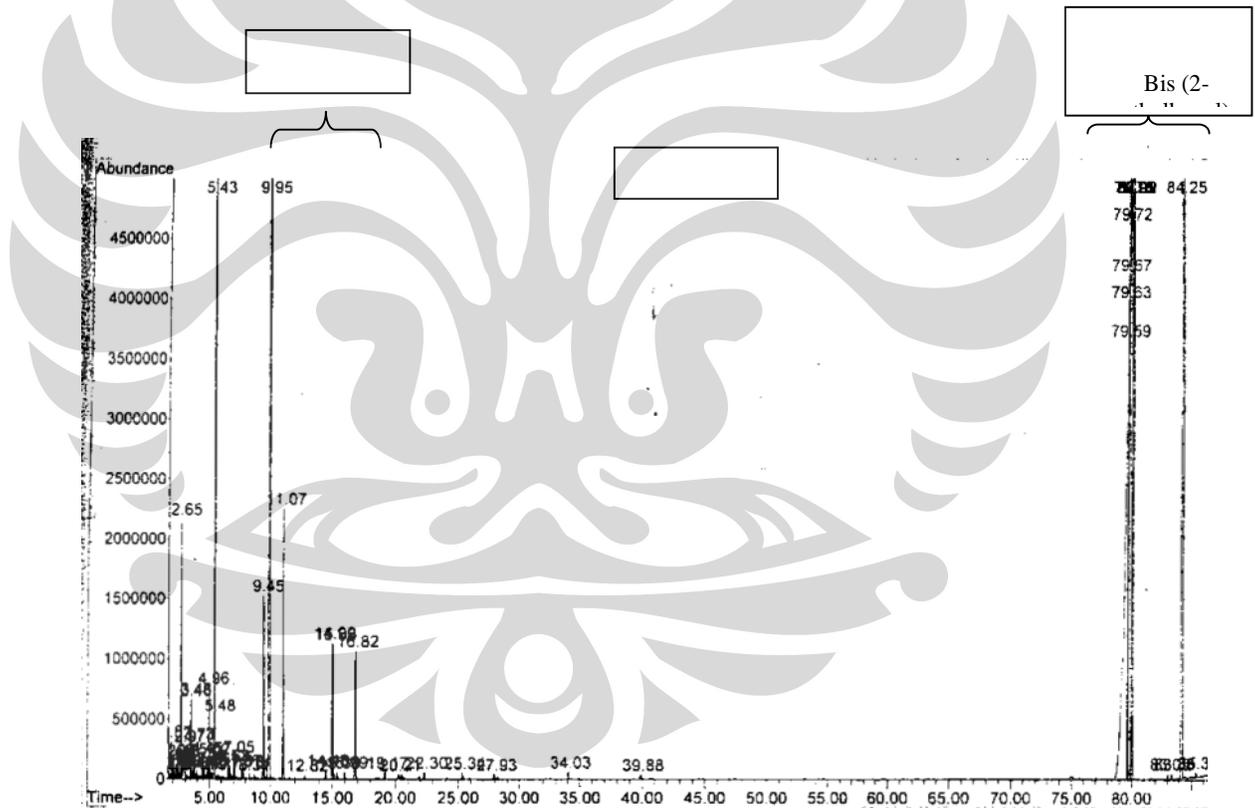
Tabel 4.9. Struktur Kimia dan Komposisi Produk pada Suhu 375⁰C

no.	ID	% mol	struktur kimia
1	1,2-Benzenedicarboxylic acid	31.89	
2	1,3,5-Hexatriene	0.05	
3	1,4-Cyclohexadiene	0.03	
4	3,5-Dimethylcyclopentene	0.11	
5	5,5-Dimethyl-1,3-hexadiene	0.06	
6	Benzene	11.93	
7	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	55.19	
8	Cyclohexene	0.07	
9	Cyclopentane	0.09	
10	Methylaurate	0.59	

Dari Tabel 4.9 terlihat bahwa senyawa hidrokarbon aromatik hanya berupa benzena dan jumlahnya sedikit walaupun lebih banyak dibandingkan jumlah produk pada suhu 300⁰C yaitu sebanyak 11.93%. Pada suhu ini juga masih terbentuk terbentuk produk selain hidrokarbon yakni 1,2-Benzenedicarboxylic acid sebanyak 31.89% dan Bis (2-ethylhexyl) phthalate sebanyak 55.19%. Hal ini menunjukkan suhu reaksi sudah lebih tinggi dan sudah mulai terbentuk senyawa hidrokarbon aromatik.

4.3.3 Identifikasi produk cair hasil reaksi suhu 400⁰C

Gambar spectrum chromatogram hasil GC-MS produk cair pada suhu 300⁰C dapat dilihat dalam Gambar 4.9.



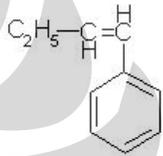
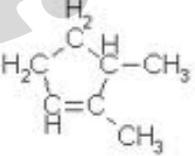
Gambar 4.9 Gambar Spektrum Chromatogram Suhu 400⁰ C

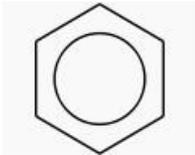
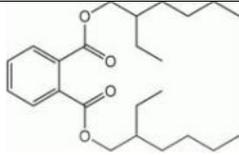
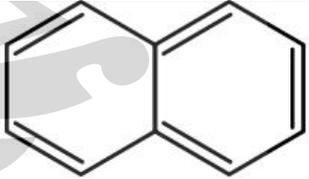
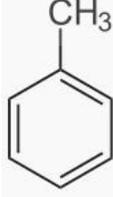
Dari Gambar 4.9 dapat terlihat ada beberapa kelompok *peak* yang cukup tinggi. Berdasarkan database GC-MS diperoleh bahwa pada *peak* antara

Retention Time 4-8 merupakan *peak* dari senyawa benzena, kemudian *peak* antara *retention time* 73 yang merupakan *peak* dari Bis (2-ethylhexyl) phthalate. Pada spectrum ini sudah tidak ditemukan lagi *peak* untuk senyawa 1,2-Benzenedicarboxylic acid yang ditemukan pada suhu -suhu sebelumnya.

Berikut ini adalah tabel struktur kimia dan komposisi dari senyawa yang terbentuk pada suhu 400⁰C.

Tabel 4.10 Struktur Kimia dan Komposisi Produk pada Suhu 400⁰C

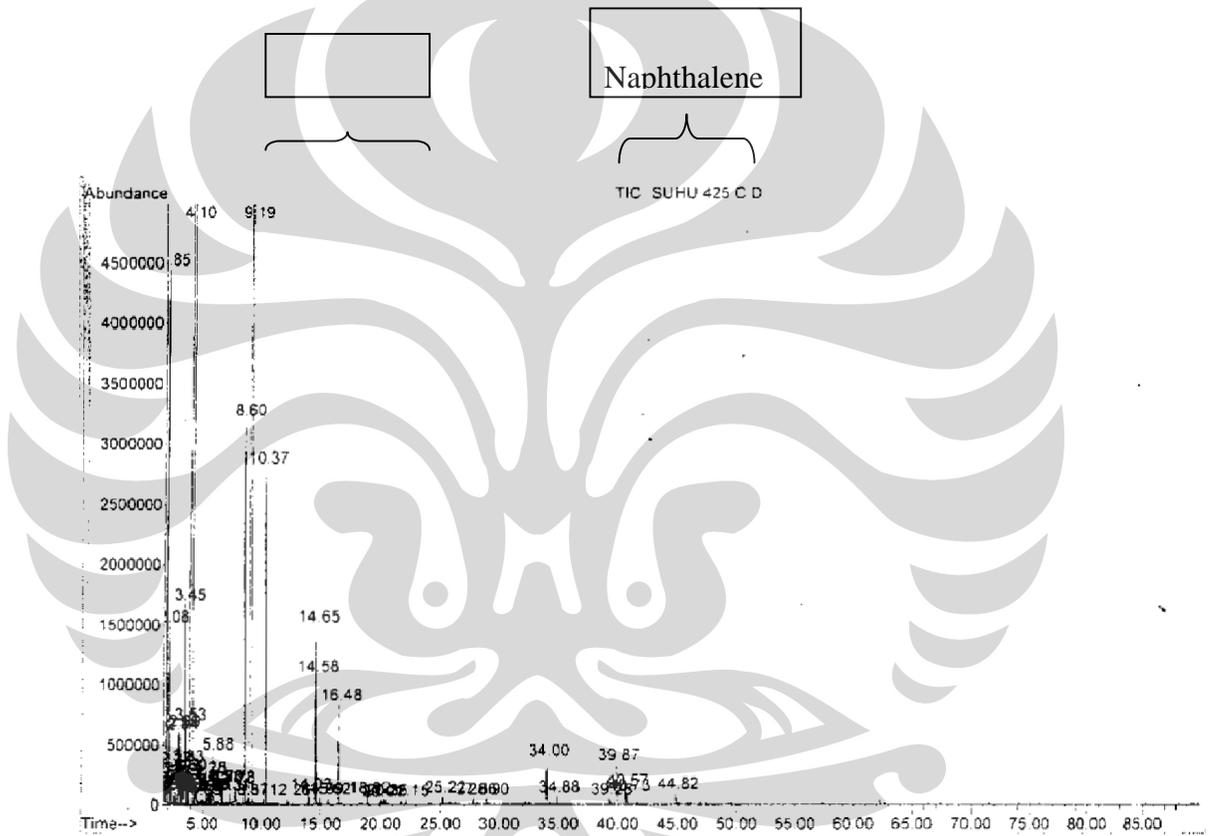
no.	ID	%mol	struktur kimia
1	(E)-1-Phenyl-1-butene	0.051792003	
2	1,4-Cyclohexadiene	0.113942407	
3	1H-Indene	0.041433603	
4	1-Pentene	0.010358401	
5	3,5-Dimethylcyclopentene	0.279676818	
6	3-Penten-2-one	0.093225606	

7	Benzene	14.66749534	
8	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	73.23389269	
9	Cyclohexene	0.393619225	
10	Cyclopentane	0.041433603	
11	Cyclopentene	1.346592086	
12	Methylaurate	1.025481666	
13	Naphtalene	0.113942407	
14	Toluene	8.58711415	

Dari Tabel 4.10 terlihat bahwa senyawa hidrokarbon aromatik yang didapat masih sangat kecil. Senyawa 1,2-Benzenedicarboxylic acid sudah tidak ditemukan namun senyawa Bis (2-ethylhexyl) phthalate masih terbentuk cukup banyak. Hal ini dikarenakan suhu reaksi yang masih dibawah suhu pembentukan senyawa hidrokarbon aromatis.

4.3.4 Identifikasi produk cair hasil reaksi suhu 425 °C

Gambar spectrum chromatogram hasil GC-MS produk cair pada suhu 425⁰C.

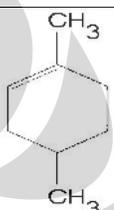
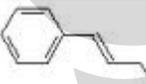
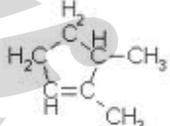
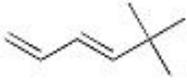
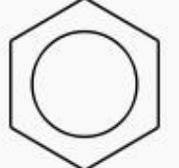


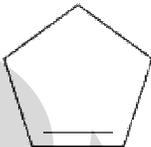
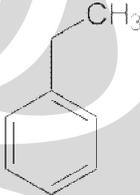
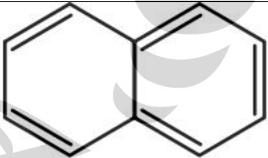
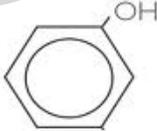
Gambar 4.10 Gambar Spektrum Chromatogram Suhu 425⁰ C

Dari Gambar diatas terlihat bahwa mayoritas *peak* yang terbentuk adalah *peak* benzene dan naphtalena. Sudah tidak terlihat lagi *peak* dari senyawa 1,2-Benzenedicarboxylic acid dan Bis (2-ethylhexyl) phthalate.

Berikut ini adalah tabel struktur kimia dan komposisi dari senyawa yang terbentuk pada suhu 425⁰C (Tabel 4.11).

Tabel 4.11. Struktur Kimia dan Komposisi Produk pada Suhu 425⁰C

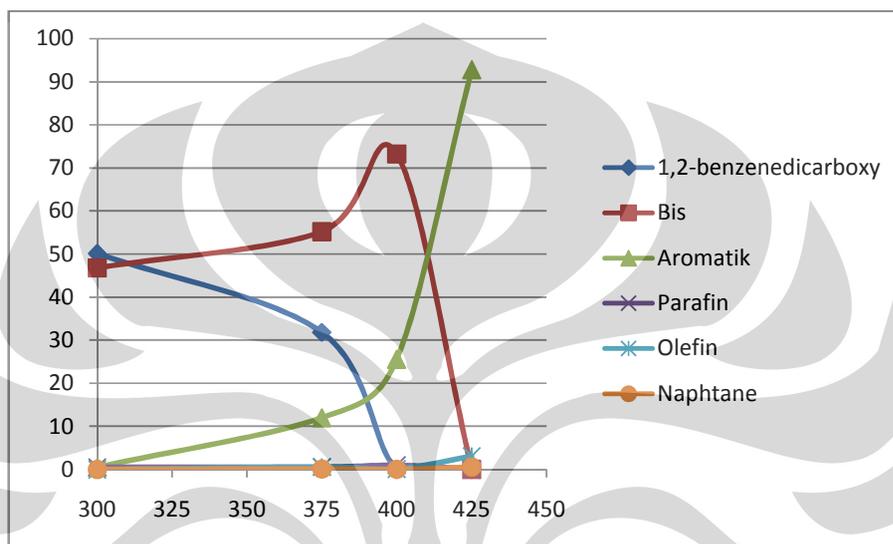
no.	ID	% mol	struktur kimia
1	1,3,5-Hexatriene	0.97	
2	1,4-Cyclohexadiene	0.09	
3	1,4-Dimethyl-1-cyclohexene	0.13	
4	1H-Indene	0.08	
5	1-Phenyl-1-butene	0.09	
6	2,4-Hexadiene	1.42	
7	3,5-Dimethylcyclopentene	4.75	
8	5,5-Dimethyl-1,3-hexadiene	0.71	
9	Benzene	83.92	

10	Bicyclo [3.1.0] hexane	0.16	
11	Cyclohexene	0.62	
12	Cyclopentane	0.55	
13	Cyclopentene	1.32	
14	Ethylbenzene	3.3	
15	Methyl ethyl cyclopentene	0.08	
16	Naphthalene	1.62	
17	Octa-2,4,6-triene	0.1	
18	Phenol	0.08	 Fenol

Dari Tabel 4.11 terlihat bahwa senyawa hidrokarbon aromatis yang dihasilkan sudah cukup besar yaitu sebesar 92 %. Pada tabel tersebut juga sudah tidak terlihat senyawa 1,2-Benzenedicarboxylic acid dan Bis (2-ethylhexyl) phthalat.

4.5 Pergeseran Komposisi pada Berbagai Suhu Reaksi

Setelah dikelompokkan ke dalam kelompok hidrokarbon, yaitu aromatik, paraffin, olefin dan naphtanik selanjutnya akan dibuat grafik untuk melihat rute reaksi dari konversi aseton ini. Namun 2 senyawa yaitu 1,2 -Benzenedicarboxylic acid dan Bis (2-ethylhexyl) phthalate bukanlah termasuk kelompok senyawa hidrokarbon. Berikut adalah grafik dari produk hasil konversi aseton:



Gambar 4.11 Grafik Mol dengan Suhu

Dari grafik terlihat bahwa senyawa paraffin, olefin dan naphtane yang terbentuk dari konversi aseton sangat sedikit. Hal ini dikarenakan memang senyawa-senyawa tersebut merupakan produk samping dari reaksi konversi aseton menggunakan HZSM-5 dengan produk utama adalah senyawa aromatik. Dari grafik 4.12 pada suhu lebih kecil dari 400⁰C diperkirakan senyawa aromatik diperoleh dari senyawa 1,2-Benzenedicarboxylic acid. Hal ini terlihat dari penurunan senyawa 1,2-Benzenedicarboxylic acid simetris dengan kenaikan dari produksi aseton. Dari grafik 4.12 juga dapat terlihat pada suhu lebih dari 400⁰C kenaikan dari produk senyawa aromatik simetris dengan penurunan senyawa Bis (2-ethylhexyl) phthalate. Hal ini mengindikasikan bahwa setelah suhu 400⁰C senyawa aromatik terbentuk dari senyawa Bis (2-ethylhexyl) phthalate.

Tingginya senyawa aromatik pada suhu 425⁰ C ini sesuai dengan hasil uji keasaman, dimana semakin tinggi suhu sampai rentang suhu 430-450⁰C kereaktifan akan meningkat dan suhu optimanya adalah mendekati suhu 430⁰ C.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Senyawa hidrokarbon aromatis dapat diproduksi dari aseton dalam reaktor unggun tetap (*fixed bed*) bertekanan atmosferik dengan katalis HZSM-5.
2. Produk senyawa hidrokarbon aromatis meningkat sesuai dengan kenaikan suhu reaksi pada suhu 300⁰C, 375⁰C, 400⁰C dan 425⁰C. hal ini sesuai dengan hasil uji keasaman yaitu kereaktifan HZSM-5 meningkat sesuai dengan kenaikan suhu sampai mencapai rentang suhu 430-450⁰C, dimana rentang suhu tersebut merupakan rentang suhu optimum
3. Produk dari konversi aseton dapat diidentifikasi dengan menggunakan GC-MS. Didapatkan dua produk non-hidrokarbon yaitu 1,2-Benzenedicarboxylic acid dan Bis (2-ethylhexyl) phthalate yang cukup banyak pada suhu 300-375⁰C.
4. Karakterisasi katalis HZSM-5 sesudah dan sebelum reaksi menggunakan XRF menunjukkan kemurnian yang cukup tinggi dan terjadi perubahan komposisi logam dalam kedua katalis tersebut. Katalis yang telah digunakan dalam reaksi memiliki kandungan logam yg lebih tinggi dibanding katalis baru yang kemungkinan terjadi karena pelucutan *alloy* dari dinding reaktor.
5. Karakterisasi katalis HZSM-5 menggunakan XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal katalis HZSM-5 terjadi perubahan dari 40nm pada saat sebelum reaksi menjadi 69nm setelah reaksi. Perubahan diperkirakan terjadi akibat tingginya suhu reaksi yang mencapai 425⁰C.
6. Karakterisasi katalis HZSM-5 menggunakan FTIR terlihat ditemukannya ikatan yang dimiliki oleh senyawa aromatik alkohol dan senyawa asam karboksilat pada katalis setelah reaksi yang tidak ditemukan pada katalis sebelum reaksi. Senyawa-senyawa ini diduga sebagai senyawa pembentuk kokas.

5.2 Saran

1. Pada uji keasaman, diketahui bahwa rentang suhu optimum untuk melakukan reaksi adalah pada rentang suhu 430-450⁰C. Namun, pada penelitian ini hanya dilakukan sampai suhu 425⁰C disebabkan diatas suhu tersebut cukup membahayakan karena aseton bersifat *flammable*. Oleh karena itu perlu desain reaktor yang mampu mengakomodir sampai suhu optimum kereaktifanya agar selektif itanyas meningkat

2. Pada pengujian XRF, diketahui adanya peningkatan komposisi logam setelah reaksi yang diduga karena pelucutan *alloy* dinding reaktor. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan dinding kaca sebagai dinding reaktor agar tidak mempengaruhi komposisi logam pada katalis.
3. Teknik uji keasaman katalis perlu dilakukan lebih baik, terutamateknik absorpsi dari gas ammonia dengan menggunakan peralatan yang lebih presisi sehingga gas ammonia dapat dihitung secara akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- Alamanar, M. 1997. Skripsi : *Preparasi dan Karakterisasi H-Zeolit dari Zeolit Alam Lampung dengan Metode Pertukaran Ion*. Jurusan Teknik Gas dan Petrokimia UI : Depok.
- Bhatia, S. 2000. *Zeolite Catalysis : Principles and Applications*. CRC Press, inc, Boca Raton : Florida.
- Chang, C. D., Lang, W. H., dan Bell W.K. 1981. *Molecular Shape-Selective Catalysis in Zeolite, in Catalysis of Organic Reactions*, edited by William R. Moser, Marcel Dekker Inc., hal. 73-94
- Chemical Division Manufacturing Industries Bureau. 2004. *Forecast of Global Supply And Demand Trends for Petrochemical Products*.
- Dariyus. 2005. Seminar : *Konversi Katalitik Hasil Biologi fermentasi Biomassa (Aseton-Butanol-Etanol) menjad Hidrokarbon Setaraf LPG dengan Menggunakan Katalis B_2O_3 /Zeolit Alam*. Jurusan Teknik Gas dan Petrokimia UI : Depok.
- Dharmawan, Y. 1998. Skripsi : *Preparasi, Karakterisasi dan Kinerja Katalis $CuO/ZnO/ZSM-5$ untuk Reaksi Hidrogenasi CO_2* . Jurusan Teknik Gas dan Petrokimia UI : Depok.
- Husin, H. 2009. Studi Deaktivasi pada Katalis Besi Molibdat (Fe/ Mo/ O).
- Lucas, A., Canizares, P., Duran, A. 2001. *Improving deactivation behaviour of HZSM-5 catalysts. App.Catal. A : General*, 206, hal. 87-93
- Lucas, A., Canizares, P., Duran, A., and Carrero, A. 1997. *Coke Formation, Location, nature and regeneration on Dealuminated HZSM-5 type Zeolites. Applied Catalysis A : General*, 156, hal. 299-317
- Meier, W.M and D.H. Olson. 1992. *Atlas of Zeolite Structure Types*. Third Revised Ed. Butterworth-Heinemann: London.

- Poerdjono, F. 1997. Seminar : *Aktivasi H-Zeolit dari ZAI Granular (Perbandingan Kapasitas Pertukaran Kation dan Kualitatif Inti Aktif)*. Jurusan Teknik Gas dan Petrokimia UI : Depok.
- Richardson, James T. 1989. *Principles of Catalyst Development*. Plenum Press, New York.
- Setiadi, S., Tsutsui, T., Kojima, T. 2003. *Conversion of Acetone to Aromatic Compound with HZSM-5*. The journal of Japan Institute of Energy , 82 (12), hal. 926-932.
- Setiadi. 2005. *Uji Kinerja Katalis ZSM-5 dalam Konversi Aseton menjadi Hidrokarbon Aromatik*. Prosiding Simposium dan Kongres Masyarakat Katalisis Indonesia, Gedung Widya Bhakti , Serpong.
- Subekti, A. 2007. *Deaktivasi Katalis Konverter-Hidrogen Di Pabrik Urea Kaltim-3*. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 2(2-3), hal. 52-55.
- Sunarti, M dan Minta R. 1994. *Zeolit Tinjauan Literatur*. Pusat Dokumentasi dan Formasi Ilmiah, LIPI : Jakarta.
- Tanabe, Kozo, Makoto Misono, et al. 1989. *New Solid Acids and Bases. Their Catalytic Properties*. Kondansha LTD and Elsevier Science Publisher : Tokyo.
- Toni. 2008. *Produksi Minyak 2009 Turun 17 Ribu Barel/ Hari*. [Online] Available from : <http://indonesiaenergywatch.com> [Accessed 17:05:09]

LAMPIRAN A
DATA GCMS Produk

A.1 Data GCMS produk cair hasil reaksi konversi aseton pada suhu 300⁰ C

Pk	RT	Area %	ID	Ref	Qual
7	3.06	0.04	1,3-Pentadiene	6517	93
9	3.68	0.01	Cyclohexene	6468	92
1	4.3	0.13	Benzene	5536	91
	4.3	0.13	Toluene	5538	91
	4.3	0.13	Benzene	5534	91
4	7.23	0.03	Benzene	10717	94
	7.23	0.03	Ethylbenzene	10714	91
	7.23	0.03	Methylaurate	10790	91
5	7.54	0.19	Benzene	10733	97
	7.54	0.19	Benzene	10740	97
	7.54	0.19	Xylene	10747	97
6	8.5	0.03	Benzene	10744	94
	8.5	0.03	p-Xylene	10758	93
	8.5	0.03	Benzene	10740	91
7	11.82	0.04	Benzene	18925	91
1	40.33	0.1	Pentadecane	134049	95
	40.33	0.1	Pentadecane	134045	93
	40.33	0.1	Pentadecane	134012	93
5	44.97	0.1	Hexadecane	154909	97
	44.97	0.1	Hexadecane	154915	96
	44.97	0.1	Hexadecane	154907	96
6	49.4	0.17	Heptadecane	174553	97
	49.4	0.17	Heptadecane	174546	97
	49.4	0.17	Heptadecane	174551	95
1	53.61	0.13	Octadecane	193184	98
	53.61	0.13	Octadecane	193176	95
	53.61	0.13	Octadecane	193185	93
5	69.75	0.11	1,2-Benzenedicarboxylic acid	326902	90
6	73.14	19.62	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91
	73.14	19.62	Di-(2-ethylhexyl) phtalate	326940	91
	73.14	19.62	1,2-Benzenedicarboxylic acid	326902	91
7	73.6	46.46	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326901	93

	73.6	46.46	1,2-Benzenedicarboxylic acid	326899	92
	73.6	46.46	1,2-Benzenedicarboxylic acid	326918	91
8	73.71	19.29	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91
	73.71	19.29	Di-(2-ethylhexyl) phtalate	326940	90
	73.71	19.29	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326913	90
9	73.74	6.38	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91
	73.74	6.38	Di-(2-ethylhexyl) phtalate	326940	90
	73.74	6.38	1,2-Benzenedicarboxylic acid	326920	90

Pk	RT	Area %	ID	Ref	Qual	%mol peak	%mol
35	69.75	0.11	1,2-Benzenedicarboxylic acid	326902	90	0.118496176	50.16697
37	73.6	46.46	1,2-Benzenedicarboxylic acid	326899	92	50.04847571	
7	3.06	0.04	1,3-Pentadiene	6517	93	0.043089518	0.04309
11	4.3	0.13	Benzene	5536	91	0.140040935	0.45244
14	7.23	0.03	Benzene	10717	94	0.032317139	
15	7.54	0.19	Benzene	10733	97	0.204675213	
16	8.5	0.03	Benzene	10744	94	0.032317139	
17	11.82	0.04	Benzene	18925	91	0.043089518	
36	73.14	19.62	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	21.13540881	48.78811
38	73.71	19.29	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	20.77992028	
39	73.74	6.38	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	6.872778197	
9	3.68	0.01	Cyclohexene	6468	92	0.01077238	0.010772
26	49.4	0.17	Heptadecane	174553	97	0.183130454	0.18313
25	44.97	0.1	Hexadecane	154909	97	0.107723796	0.107724
31	53.61	0.13	Octadecane	193184	98	0.140040935	0.140041
21	40.33	0.1	Pentadecane	134049	95	0.107723796	0.107724
Total		92.83					

A.2 Data GCMS produk cair hasil reaksi konversi aseton pada suhu 375 °C

Pk	RT	Area %	ID	Ref	Qual
1	1.76	0.01	1-Pentene	3440	90
6	2.08	0.04	Cyclopentane	3529	91
	2.08	0.04	Cyclopentane	3524	90
	2.08	0.04	Cyclopentane	3528	90
9	2.42	0.08	Cyclopentene	2908	90
	2.42	0.08	3-Methyl-1-Cyclopentene	2946	90
	2.42	0.08	2,4-Hexadiene	2949	90
10	2.65	0.77	Benzene	2484	91
	2.65	0.77	Benzene	2488	91
	2.65	0.77	Benzene	2491	91
12	3.46	0.27	3,5-Dimethylcyclopentene	6509	90
13	3.48	0.34	Cyclopentene	6443	90
	3.48	0.34	3,5-Dimethylcyclopentene	6509	90
14	3.73	0.18	3,5-Dimethylcyclopentene	6509	91
	3.73	0.18	Cyclopentene	6444	90
	3.73	0.18	Cyclopentene	6443	90
16	4.45	0.12	Cyclohexene	6468	94
	4.45	0.12	Cyclohexene	6467	91
17	4.57	0.07	1,4-Cyclohexadiene	5906	94
	4.57	0.07	1,3,5-Hexatriene	5894	91
	4.57	0.07	1,4-Cyclohexadiene	5907	91
19	4.86	0.04	1,3,5-Hexatriene	5893	93
	4.86	0.04	1,4-Cyclohexadiene	5906	93
	4.86	0.04	1-Hexen-3-yne	5887	90
20	4.96	0.41	2,4-Hexadiene	6416	91
	4.96	0.41	Cyclobutane	6431	91
	4.96	0.41	Cyclopentene	6443	91
21	5.02	0.09	Cyclopentene	6436	94
	5.02	0.09	Cyclopentane	6449	91
	5.02	0.09	Cyclopentene	6435	90
23	5.44	8.29	Toluene	5538	91
	5.44	8.29	Toluene	5542	91
	5.44	8.29	Toluene	5541	91
24	5.49	0.21	Cyclohexene	6458	93
	5.49	0.21	2,4-Hexadiene	6417	92
25	6.53	0.07	Cyclopentene	12576	94
	6.53	0.07	5,5-Dimethyl-1,3-hexadiene	12568	93

	6.53	0.07	5,5-Dimethyl-1,3-hexadiene	12570	91
26	6.69	0.09	3-Penten-2-one	7022	91
	6.69	0.09	3-Penten-2-one	7016	90
	6.69	0.09	3-Penten-2-one	7012	90
27	7.05	0.13	Cyclopentene	12576	94
28	7.67	0.05	Cyclohexene	12597	97
	7.67	0.05	trans-3	12578	94
	7.67	0.05	2,4-Hexadiene	12432	90
31	9.45	0.99	Methylaurate	10790	95
	9.45	0.99	p-Xylene	10751	91
	9.45	0.99	Benzene	10719	91
32	9.95	9.44	Xylene	10747	97
	9.95	9.44	Benzene	10745	97
	9.95	9.44	Benzene	10733	97
33	11.07	1.43	Benzene	10744	97
	11.07	1.43	Benzene	10740	97
	11.07	1.43	p-Xylene	10751	97
35	14.48	0.06	Benzene	18897	93
	14.48	0.06	Benzene	18892	90
	14.48	0.06	Benzene	18896	90
36	14.99	0.87	Benzene	18941	95
	14.99	0.87	Benzene	18921	94
	14.99	0.87	Benzene	18937	94
37	15.06	0.68	Benzene	18918	95
	15.06	0.68	Benzene	18923	94
	15.06	0.68	Benzene	18919	94
38	15.38	0.04	Benzene	18958	93
	15.38	0.04	Benzene	18966	93
	15.38	0.04	Benzene	18972	90
39	15.99	0.04	Benzene	18941	95
	15.99	0.04	Benzene	18925	94
	15.99	0.04	Benzene	18942	91
40	16.82	0.76	Benzene	18958	95
	16.82	0.76	Benzene	18953	95
	16.82	0.76	Benzene	18956	94
42	20.21	0.02	Benzene	29907	96
	20.21	0.02	Benzene	29901	95
	20.21	0.02	Benzene	29916	94
43	22.3	0.05	Benzene	29929	97
	22.3	0.05	Benzene	29943	96

	22.3	0.05	Benzene	29925	96
44	25.33	0.05	(E)-1-Phenyl-1-butene	28431	93
	25.33	0.05	1-Phenyl-1-butene	28448	91
	25.33	0.05	1H-Indene	28361	91
45	27.93	0.04	1H-Indene	42828	94
	27.93	0.04	2,2-Dimethylindan	42944	90
46	34.03	0.06	Naphtalene	38917	95
	34.03	0.06	Naphtalene	38912	95
	34.03	0.06	Naphtalene	38910	95
47	39.88	0.05	Naphtalene	56358	98
	39.88	0.05	Naphtalene	56351	97
	39.88	0.05	Naphtalene	56363	97
48	79.59	10.82	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	90
	79.59	10.82	Di-(2-ethylhexyl) phthalate	326940	90
49	79.63	2.21	Di-(2-ethylhexyl) phthalate	326940	90
	79.63	2.21	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	90
50	79.67	1.62	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326908	91
52	79.78	6.07	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326908	91
	79.78	6.07	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	90
	79.78	6.07	Di-(2-ethylhexyl) phthalate	326940	90
53	79.95	7.74	Di-(2-ethylhexyl) phthalate	326940	90
	79.95	7.74	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	90
54	79.99	3.69	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326908	91
	79.99	3.69	Di-(2-ethylhexyl) phthalate	326940	90
	79.99	3.69	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	90
55	80.03	2.44	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	90
	80.03	2.44	Di-(2-ethylhexyl) phthalate	326940	90
56	80.09	9.56	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326908	91
	80.09	9.56	Di-(2-ethylhexyl) phthalate	326940	90
	80.09	9.56	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	90
59	84.25	26.55	1,2-Benzenedicarboxylic acid	326920	91
	84.25	26.55	Di-(2-ethylhexyl) phthalate	326940	91
	84.25	26.55	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	91

Peak	RT	Area	ID	Ref #	qual	% mol peak	% mol
49	81.89	28.35	1,2-Benzenedicarboxylic acid	131213	91	31.82889862	31.8289
19	3.74	0.04	1,3,5-Hexatriene	5893	94	0.044908499	0.044908
20	3.93	0.03	1,4-Cyclohexadiene	5906	92	0.033681374	0.033681
16	3.22	0.1	3,5-Dimethylcyclopentene	6509	91	0.112271247	0.112271
26	5.41	0.05	5,5-Dimethyl-1,3-hexadiene	12570	93	0.056135624	0.056136
13	2.55	0.83	Benzene	2493	91	0.931851353	11.90075
23	4.29	4.44	Benzene	5539	91	4.984843382	
28	7.52	3.84	Benzene	10740	97	4.311215898	
29	8.47	0.63	Benzene	10744	97	0.707308858	
30	11.74	0.16	Benzene	18932	97	0.179633996	
31	11.79	0.43	Benzene	18919	95	0.482766364	
32	13.38	0.27	Benzene	18953	97	0.303132368	
33	59.51	4.19	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	4.704165263	55.06905
34	59.98	2.4	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	2.694509936	
35	60.12	2.4	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326909	91	2.694509936	
36	60.15	1.36	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	1.526888964	
37	60.4	5.41	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	6.073874481	
38	60.54	1.22	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	1.369709217	
39	60.74	4.5	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	5.05220613	
40	60.79	1.48	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	1.661614461	
41	60.9	3.42	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	3.839676659	
42	61	3.06	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	3.435500168	
43	61.1	3.02	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	3.390591669	
44	61.13	1.82	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	2.043336701	
45	61.31	6.77	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	7.600763444	
46	61.37	3.24	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	3.637588414	
47	61.43	4.76	Bis (2-ethylhexyl) phtalate	326908	91	5.344111373	
18	3.69	0.06	Cyclohexene	6468	97	0.067362748	0.067363
22	4.04	0.08	Cyclopentane	6449	91	0.089816998	0.303132
15	3.06	0.04	Cyclopentene	6443	90	0.044908499	
21	3.99	0.15	Cyclopentene	6444	90	0.168406871	
27	7.21	0.52	Methylaurate	10790	95	0.583810486	0.58381
total		89.07					

A.3 Data GCMS produk cair hasil reaksi konversi aseton pada suhu 400⁰ C

Peak	RT	Area	ID	Ref #	qual
13	2.55	0.83	Benzene	2493	91
			Benzene	2484	91
			Benzene	2491	91
15	3.06	0.04	siklobutana	6431	90
			siklopentana	6443	90
			3,5-dimetilsiklopentana	6509	90
16	3.22	0.1	3,5-dimetilsiklopentana	6509	91
			siklopentana	6444	90
			siklopentana	6443	90
18	3.69	0.06	sikloheksana	6468	97
			sikloheksana	6472	90
19	3.74	0.04	1,3,5-hexatriene	5893	94
			1,4-sikloheksadiena	5906	93
			1,3,5-hexatriene	5892	93
20	3.93	0.03	1,4-sikloheksadiena	5906	92
21	3.99	0.15	1,4-siklopentana	6444	90
			siklobutana	6431	90
			siklopentana	6443	90
22	4.04	0.08	siklopentana	6449	91
			siklopentana	6434	91
			siklopentana	6448	90
23	4.29	4.44	toluena	5541	91
			benzena	5534	91
			benzena	5539	91
26	5.41	0.05	5,5-dimetilheksadiena	12570	93
			5,5-dimetilheksadiena	12569	93
			siklopentana	12463	91
27	7.21	0.52	metillaurat	10790	95
			etilbenzena	10714	94
			benzena	10715	94
28	7.52	3.84	benzena	10740	97
			benzena	10755	97
			benzena	10730	97
29	8.47	0.63	benzena	10744	97
			xilene	10747	97
			benzena	10730	97

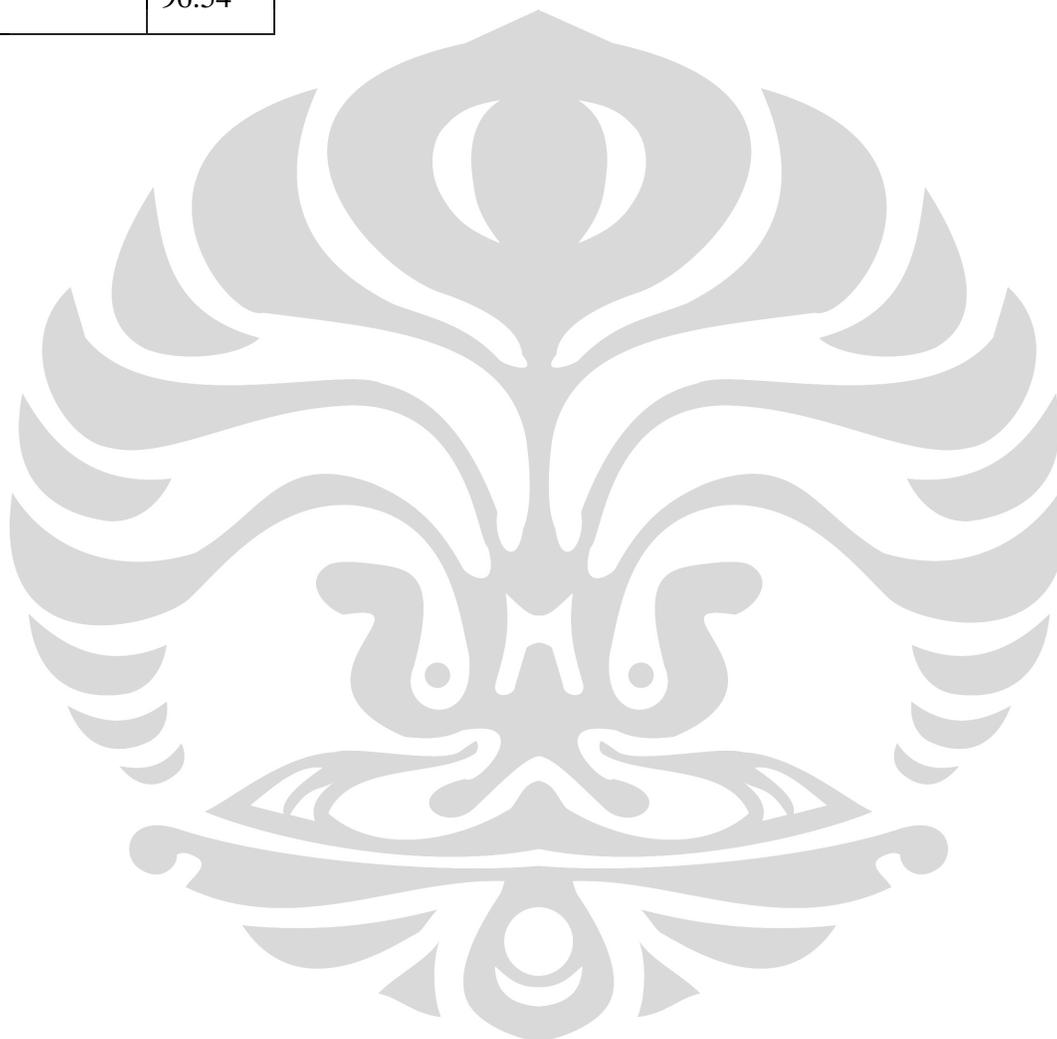
30	11.74	0.16	benzena	18932	97
			benzena	18924	95
			benzena	18929	95
31	11.79	0.43	benzena	18919	95
			benzena	18924	95
			benzena	18936	95
32	13.38	0.27	benzena	18953	97
			benzena	18956	95
			benzena	18958	95
33	59.51	4.19	2-etilheksilftalat	326908	91
			2-etilheksilftalat	326909	91
			2-etilheksilftalat	326913	90
34	59.98	2.4	2-etilheksilftalat	326908	91
			2-etilheksilftalat	326913	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
35	60.12	2.4	2-etilheksilftalat	326909	91
			1,2-benzenadikarboxylic acid	131213	91
			2-etilheksilftalat	326909	91
36	60.15	1.36	2-etilheksilftalat	326908	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
			2-etilheksilftalat	326913	91
37	60.4	5.41	2-etilheksilftalat	326908	91
			2-etilheksilftalat	326913	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
38	60.54	1.22	2-etilheksilftalat	326908	91
			2-etilheksilftalat	326913	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
39	60.74	4.5	1,2-benzenadikarboxylic acid	131213	91
			2-etilheksilftalat	326908	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
40	60.79	1.48	2-etilheksilftalat	326908	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
			2-etilheksilftalat	326913	91
41	60.9	3.42	1,2-benzenadikarboxylic acid	131213	91
			2-etilheksilftalat	326908	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
42	61	3.06	2-etilheksilftalat	326908	91
			2-etilheksilftalat	326913	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
43	61.1	3.02	2-etilheksilftalat	326908	91

			2-etilheksilftalat	326913	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
44	61.13	1.82	2-etilheksilftalat	326908	91
			1,2-benzenadikarboxylic acid	131213	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
45	61.31	6.77	2-etilheksilftalat	326908	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
			2-etilheksilftalat	326913	91
46	61.37	3.24	2-etilheksilftalat	326908	91
			2-etilheksilftalat	326913	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
47	61.43	4.76	2-etilheksilftalat	326908	91
			2-etilheksilftalat	326940	91
			2-etilheksilftalat	326913	91
49	81.89	28.35	1,2-benzenadikarboxylic acid	131213	91
			2-etilheksilftalat	326908	91
			1,2-benzenadikarboxylic acid	326902	91



Pk	RT	Area %	ID	Ref	Qual	%mol peak	%mol	
44	25.33	0.05	(E)-1-Phenyl-1-butene	28431	93	0.051792	0.051792	
17	4.57	0.07	1,4-Cyclohexadiene	5906	94	0.0725088	0.1139424	
19	4.86	0.04	1,4-Cyclohexadiene	5906	93	0.0414336		
45	27.93	0.04	1H-Indene	42828	94	0.0414336	0.0414336	
1	1.76	0.01	1-Pentene	3440	90	0.0103584	0.0103584	
12	3.46	0.27	3,5-Dimethylcyclopentene	6509	90	0.2796768	0.2796768	
26	6.69	0.09	3-Penten-2-one	7022	91	0.0932256	0.0932256	
10	2.65	0.77	Benzene	2484	91	0.7975969	14.667495	
32	9.95	9.44	Benzene	10745	97	9.7783302		
33	11.07	1.43	Benzene	10744	97	1.4812513		
35	14.48	0.06	Benzene	18897	93	0.0621504		
36	14.99	0.87	Benzene	18941	95	0.9011809		
37	15.06	0.68	Benzene	18918	95	0.7043712		
38	15.38	0.04	Benzene	18958	93	0.0414336		
39	15.99	0.04	Benzene	18941	95	0.0414336		
40	16.82	0.76	Benzene	18958	95	0.7872385		
42	20.21	0.02	Benzene	29907	96	0.0207168		
43	22.3	0.05	Benzene	29929	97	0.051792		
48	79.59	10.82	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	90	11.20779		73.233893
49	79.63	2.21	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	90	2.2892065		
50	79.67	1.62	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326908	91	1.6780609		
52	79.78	6.07	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326908	91	6.2875492		
53	79.95	7.74	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	90	8.0174021		
54	79.99	3.69	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326908	91	3.8222498		
55	80.03	2.44	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	90	2.5274498		
56	80.09	9.56	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326908	91	9.902631		
59	84.25	26.55	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	326913	91	27.501554		
16	4.45	0.12	Cyclohexene	6468	94	0.1243008	0.3936192	
24	5.49	0.21	Cyclohexene	6458	93	0.2175264		
28	7.67	0.05	Cyclohexene	12597	97	0.051792		
6	2.08	0.04	Cyclopentane	3529	91	0.0414336	0.0414336	
9	2.42	0.08	Cyclopentene	2908	90	0.0828672	1.3465921	
13	3.48	0.34	Cyclopentene	6443	90	0.3521856		
14	3.73	0.18	Cyclopentene	6443	90	0.1864512		
20	4.96	0.41	Cyclopentene	6443	91	0.4246944		
21	5.02	0.09	Cyclopentene	6436	94	0.0932256		

25	6.53	0.07	Cyclopentene	12576	94	0.0725088	
27	7.05	0.13	Cyclopentene	12576	94	0.1346592	
31	9.45	0.99	Methylaurate	10790	95	1.0254817	1.0254817
46	34.03	0.06	Naphtalene	38917	95	0.0621504	0.1139424
47	39.88	0.05	Naphtalene	56358	98	0.051792	
23	5.44	8.29	Toluene	5538	91	8.5871141	8.5871141
Total :		96.54					



A.4 Data GCMS produk cair hasil reaksi konversi aseton pada suhu 425

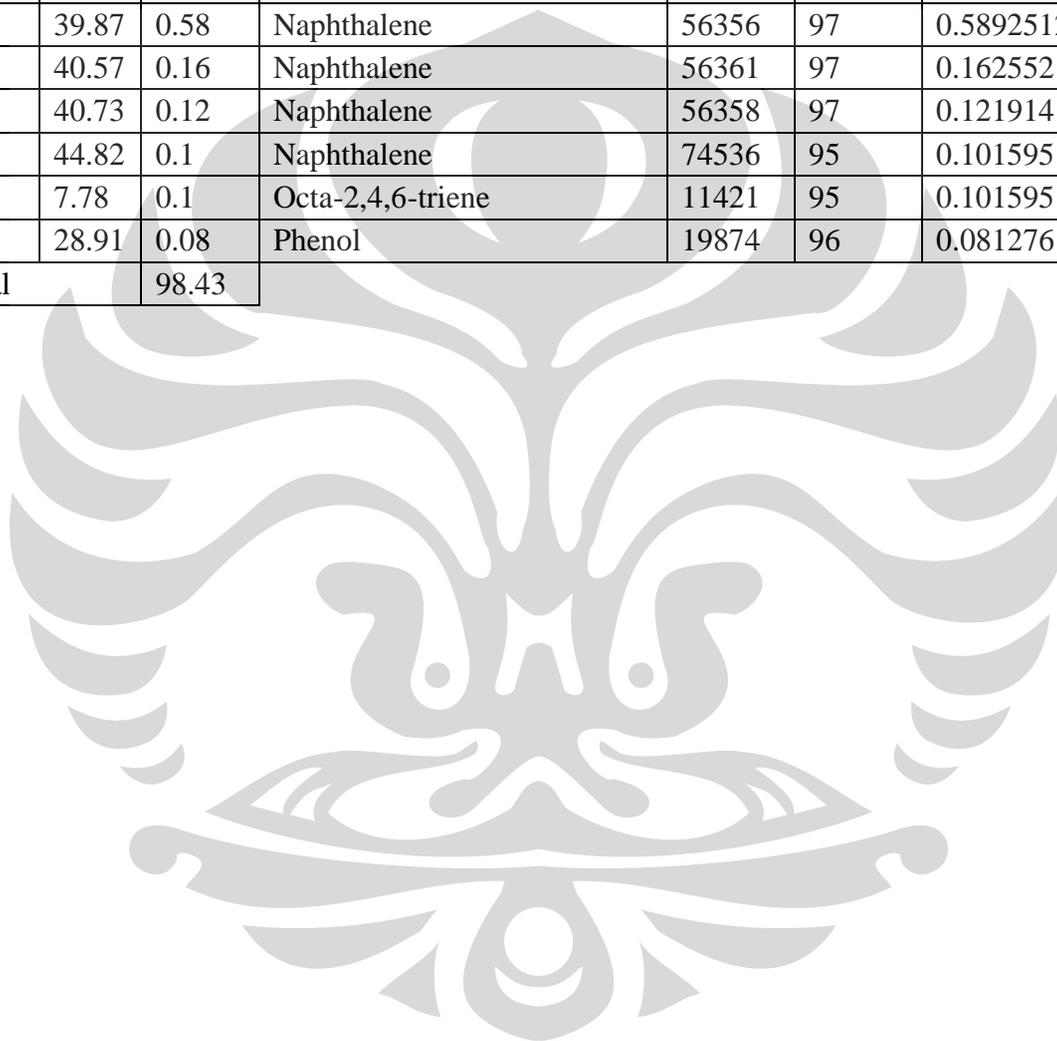
Pk	RT	Area %	ID	Ref	Qual
4	1.84	4.68	3,5-Dimethylcyclopentene	6509	90
	1.84	4.68	Cyclopentene	6444	90
6	2.07	1.05	Cyclopentene	6444	90
	2.07	1.05	3,5-Dimethylcyclopentene	6509	90
	1.07	1.05	Cyclopentene	6443	90
10	2.54	0.04	5,5-Dimethyl-1,3-hexadiene	12569	90
12	2.84	0.61	Cyclohexene	6468	94
	2.84	0.61	2-Heptyne	6371	91
13	2.99	0.51	1,3,5-Hexatriene	5893	95
	2.99	0.51	1,3,5-Hexatriene	5892	94
	2.99	0.51	1,3-Cyclopentadiene	5904	91
14	3.06	0.05	1,4-Cyclohexadiene	5906	90
15	3.13	0.17	1,3,5-Hexatriene	5893	94
	3.13	0.17	1,3,5-Hexatriene	5894	91
	3.13	0.17	2-Methyl-Cyclohexa-1,3-Diene	5961	91
17	3.33	0.27	1,3-Cyclopentadiene	5904	90
	3.33	0.27	1,3,5-Hexatriene	5892	90
	3.33	0.27	1,3,5-Hexatriene	5893	90
18	3.45	1.4	2,4-Hexadiene	6416	91
	3.45	1.4	Cyclopentene	6443	90
	3.45	1.4	Cyclobutane	6431	90
19	3.52	0.54	Cyclopentane	6449	95
	3.52	0.54	Cyclopentene	6436	94
	3.52	0.54	Cyclopentene	6435	91
22	4.09	49.4	Benzene	5534	94
	4.09	49.4	Toluene	5537	91
	4.09	49.4	Benzene	5536	91
23	4.28	0.06	1,3-Cycloheptadiene	5912	90
	4.28	0.06	Cyclopentene	5954	90
	4.28	0.06	2-Methyl-Cyclohexa-1,3-Diene	5961	90
24	4.39	0.19	Cyclopentene	6436	91
	4.39	0.19	Cyclopentane	6447	91
	4.39	0.19	Cyclopentane	6449	91
26	5.28	0.2	Cyclopentene	12576	94
	5.28	0.2	5,5-Dimethyl-1,3-hexadiene	12569	94
	5.28	0.2	5,5-Dimethyl-1,3-hexadiene	12570	91
30	5.88	0.46	5,5-Dimethyl-1,3-hexadiene	12569	91

	5.88	0.46	Cyclobutene	12463	91
	5.88	0.46	2-Isopropylfuran	12169	91
31	6.58	0.16	Bicyclo [3.1.0] hexane	12588	90
32	6.7	0.13	1,4-Dimethyl-1-cyclohexene	12584	93
33	7.31	0.08	Methyl ethyl cyclopentene	12583	95
	7.31	0.08	2-Ethyl-3-methylcyclopentene	12566	94
34	7.78	0.1	Octa-2,4,6-triene	11421	95
	7.78	0.1	Cyclopentene	11444	93
	7.78	0.1	1,4-Dimethyl-cyclohexa-1,3-diene	11606	93
35	8.6	3.25	Methylaurate	10790	95
	8.6	3.25	Ethylbenzene	10714	95
	8.6	3.25	Ethylbenzene	10712	91
36	8.87	0.04	1,4-Cyclohexadiene	11579	97
	8.87	0.04	1,5-Dimethyl-1,4-cyclohexadiene	11578	95
	8.87	0.04	1,4-Dimethyl-cyclohexa-1,3-diene	11606	93
37	9.19	26.49	Benzene	10755	97
	9.19	26.49	Benzene	10745	97
	9.19	26.49	Benzene	10741	97
38	10.38	2.74	Benzene	10730	97
	10.38	2.74	Benzene	10740	97
	10.38	2.74	p-Xylene	10751	97
39	12.26	0.06	Benzene	18910	95
	12.26	0.06	Benzene	18915	93
40	14.02	0.1	Benzene	18896	90
41	14.58	1.22	Benzene	18923	95
	14.58	1.22	Benzene	18941	95
	14.58	1.22	Benzene	18919	94
42	14.65	1.38	Benzene	18918	95
	14.65	1.38	Benzene	18940	94
	14.65	1.38	Benzene	18924	94
43	14.99	0.07	Benzene	18966	95
	14.99	0.07	Benzene	18948	95
	14.99	0.07	Benzene	18952	94
44	15.62	0.06	Benzene	18941	97
	15.62	0.06	Benzene	18933	93
	15.62	0.06	Benzene	18967	91
45	16.48	0.84	Benzene	18953	94
	16.48	0.84	Benzene	18942	94
	16.48	0.84	Benzene	18967	94
46	18.92	0.08	1H-Indene	18096	90

47	20.01	0.02	Benzene	29898	94
	20.01	0.02	Benzene	29904	94
	20.01	0.02	Benzene	29900	94
48	20.34	0.08	Benzene	29896	96
	20.34	0.08	o-Diethyl benzene	29749	93
	20.34	0.08	Benzene	29908	92
49	22.15	0.06	Benzene	29925	95
	22.15	0.06	Benzene	29936	95
	22.15	0.06	Benzene	29943	94
50	25.22	0.09	3-Phenylbut-1-ene	28429	91
	25.22	0.09	1-Phenyl-1-butene	28448	91
	25.22	0.09	1H-Indene	28363	91
51	27.86	0.08	Benzene	42770	91
	27.86	0.08	Naphthalene	42837	90
	27.86	0.08	2,2-Dimethylindene	42925	90
52	28.91	0.08	Phenol	19874	96
	28.91	0.08	Phenol	19867	95
	28.91	0.08	Phenol	19865	95
53	34	0.47	Naphthalene	38919	95
	34	0.47	Naphthalene	38930	94
	34	0.47	Naphthalene	38933	94
54	34.88	0.09	Naphthalene	38917	97
	34.88	0.09	Naphthalene	38912	96
	34.88	0.09	Naphthalene	38926	96
55	39.28	0.07	Naphthalene	56292	93
	39.28	0.07	Naphthalene	56299	93
	39.28	0.07	Naphthalene	56291	93
56	39.87	0.58	Naphthalene	56356	97
	39.87	0.58	Naphthalene	56344	96
	39.87	0.58	Naphthalene	56323	96
57	40.57	0.16	Naphthalene	56361	97
	40.57	0.16	Naphthalene	56366	97
	40.57	0.16	Naphthalene	56355	96
58	40.73	0.12	Naphthalene	56358	97
	40.73	0.12	Naphthalene	56366	97
	40.73	0.12	Naphthalene	56344	96
59	44.82	0.1	Naphthalene	74536	95
	44.82	0.1	3-(2-Methyl-propenyl)-1H-indene	74535	94
	44.82	0.1	Naphthalene	74495	93

Pk	RT	Area %	ID	Ref	Qual	%mol peak	%mol
13	2.99	0.51	1,3,5-Hexatriene	5893	95	0.5181347	0.96515
15	3.13	0.17	1,3,5-Hexatriene	5893	94	0.1727116	
17	3.33	0.27	1,3,5-Hexatriene	5893	90	0.2743066	
14	3.06	0.05	1,4-Cyclohexadiene	5906	90	0.0507975	0.09144
36	8.87	0.04	1,4-Cyclohexadiene	11579	97	0.040638	
32	6.7	0.13	1,4-Dimethyl-1-cyclohexene	12584	93	0.1320736	0.13207
46	18.92	0.08	1H-Indene	18096	90	0.081276	0.08128
50	25.22	0.09	1-Phenyl-1-butene	28448	91	0.0914355	0.09144
18	3.45	1.4	2,4-Hexadiene	6416	91	1.4223306	1.42233
4	1.84	4.68	3,5-Dimethylcyclopentene	6509	90	4.754648	4.75465
10	2.54	0.04	5,5-Dimethyl-1,3-hexadiene	12569	90	0.040638	0.71117
26	5.28	0.2	5,5-Dimethyl-1,3-hexadiene	12569	94	0.2031901	
30	5.88	0.46	5,5-Dimethyl-1,3-hexadiene	12569	91	0.4673372	
22	4.09	49.4	Benzene	5534	94	50.187951	83.9175
37	9.19	26.49	Benzene	10755	97	26.912527	
38	10.38	2.74	Benzene	10730	97	2.7837042	
39	12.26	0.06	Benzene	18910	95	0.060957	
40	14.02	0.1	Benzene	18896	90	0.101595	
41	14.58	1.22	Benzene	18923	95	1.2394595	
42	14.65	1.38	Benzene	18918	95	1.4020116	
43	14.99	0.07	Benzene	18966	95	0.0711165	
44	15.62	0.06	Benzene	18941	97	0.060957	
45	16.48	0.84	Benzene	18953	94	0.8533984	
47	20.01	0.02	Benzene	29898	94	0.020319	
48	20.34	0.08	Benzene	29896	96	0.081276	
49	22.15	0.06	Benzene	29925	95	0.060957	
51	27.86	0.08	Benzene	42770	91	0.081276	
31	6.58	0.16	Bicyclo [3.1.0] hexane	12588	90	0.1625521	
12	2.84	0.61	Cyclohexene	6468	94	0.6197298	0.61973
19	3.52	0.54	Cyclopentane	6449	95	0.5486132	0.54861
6	2.07	1.05	Cyclopentene	6444	90	1.0667479	1.32074

23	4.28	0.06	Cyclopentene	5954	90	0.060957	
24	4.39	0.19	Cyclopentene	6436	91	0.1930306	
35	8.6	3.25	Ethylbenzene	10714	95	3.3018389	3.30184
33	7.31	0.08	Methyl ethyl cyclopentene	12583	95	0.081276	0.08128
53	34	0.47	Naphthalene	38919	95	0.4774967	
54	34.88	0.09	Naphthalene	38917	97	0.0914355	
55	39.28	0.07	Naphthalene	56292	93	0.0711165	
56	39.87	0.58	Naphthalene	56356	97	0.5892512	1.61536
57	40.57	0.16	Naphthalene	56361	97	0.1625521	
58	40.73	0.12	Naphthalene	56358	97	0.1219141	
59	44.82	0.1	Naphthalene	74536	95	0.101595	
34	7.78	0.1	Octa-2,4,6-triene	11421	95	0.101595	0.1016
52	28.91	0.08	Phenol	19874	96	0.081276	0.08128
Total		98.43					



LAMPIRAN B

Tabel Data dan Pengolahan Data Uji Keasaman

HCl 200 ml / Bag 0.05 M

NaOH 0.05 M

12 sampel

Tabel data uji keasaman

suhu	HCl (ml)	NaOH (ml)
250-270	200	98
270-290	200	102
290-310	200	95
310-330	200	92
330-350	200	90
350-370	200	88
370-390	200	85
390-410	200	80
410-430	200	79
430-450	200	74
450-470	200	78
470-490	200	81

Pengolahan data

- HCL awal

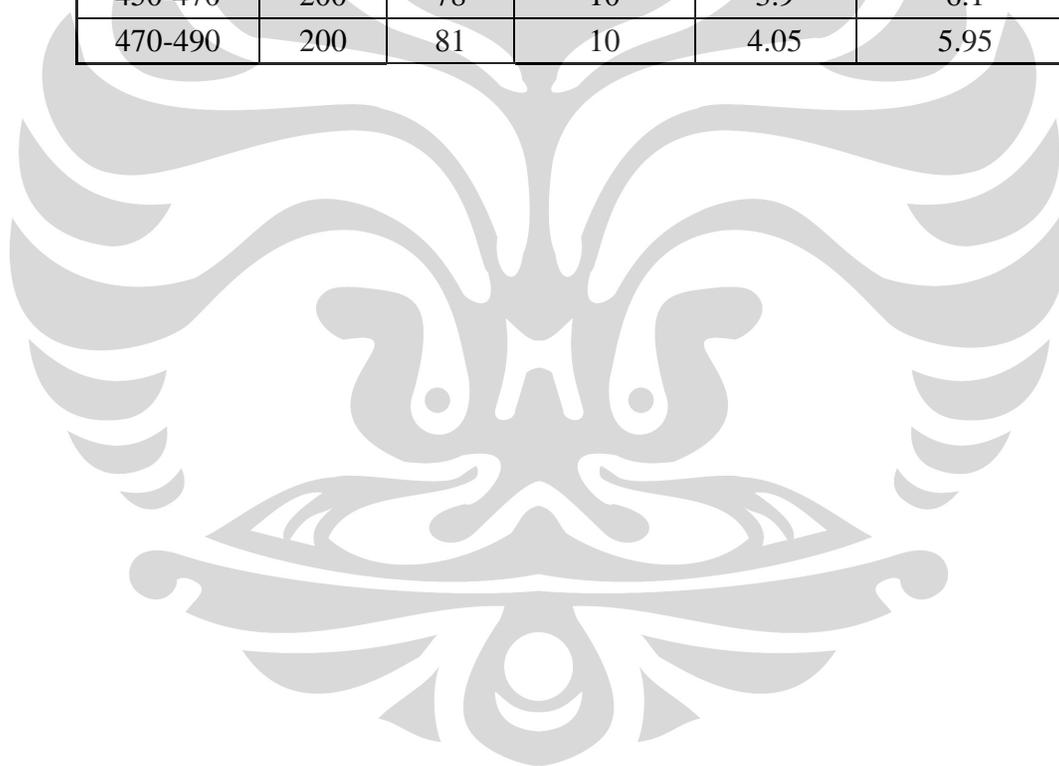
$$\text{Mol HCl awal} = v \text{ HCl} \times C \text{ HCl}$$

- NaOH untuk titrasi

$$\text{Mol NaOH} = v \text{ NaOH} \times C \text{ NaOH}$$

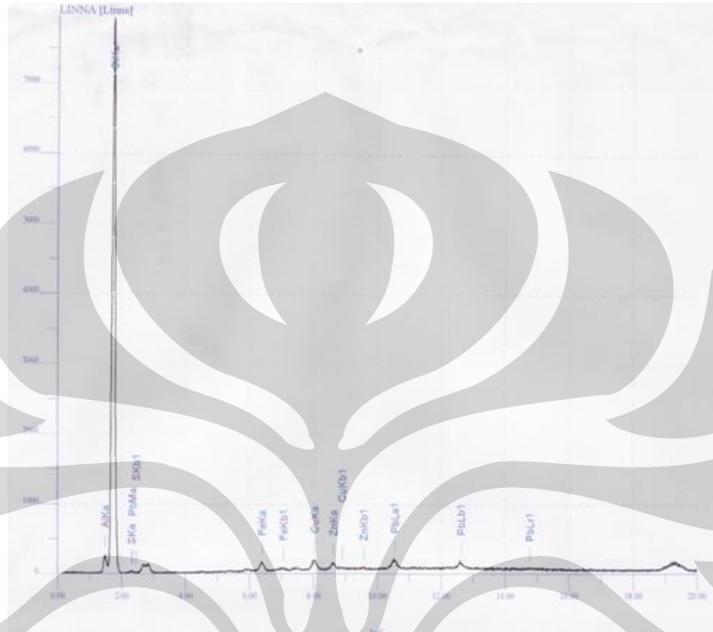
- Mol NaOH = mol HCl – mol NH₃
- Mol NH₃ = mol HCl – mol NaOH

suhu	HCl	NaOh	mol HCl awal (mmol)	mol NaOH (mmol)	mol NH ₃ oh(mmol)
250-270	200	98	10	4.9	5.1
270-290	200	102	10	5.1	4.9
290-310	200	95	10	4.75	5.25
310-330	200	92	10	4.6	5.4
330-350	200	90	10	4.5	5.5
350-370	200	88	10	4.4	5.6
370-390	200	85	10	4.25	5.75
390-410	200	80	10	4	6
410-430	200	79	10	3.95	6.05
430-450	200	74	10	3.7	6.3
450-470	200	78	10	3.9	6.1
470-490	200	81	10	4.05	5.95



LAMPIRAN C
Grafik XRF

A. Sebelum reaksi



B. Setelah reaksi

