



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERENKAHAN KATALITIK CAMPURAN MINYAK JARAK
DAN AIR MENJADI HIDROKARBON SETARA FRAKSI
BENSIN MENGGUNAKAN KATALIS B_2O_3 /ZEOLIT**

SKRIPSI

AHMAD ADLAN

0405060067

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERENKAHAN KATALITIK CAMPURAN MINYAK JARAK
DAN AIR MENJADI HIDROKARBON SETARA FRAKSI
BENSIN MENGGUNAKAN KATALIS B_2O_3 /ZEOLIT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**AHMAD ADLAN
0405060067**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ahmad Adlan

NPM : 0405060067

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ahmad Adlan
NPM : 0405060067
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Perengkahan Katalitik Campuran Minyak Jarak
dan Air Menjadi Hidrokarbon Setara Fraksi Bensin
Menggunakan Katalis B_2O_3 /Zeolit

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 : Ir. Sukirno, M.Eng ()

Penguji : Ir. Dewi Tristantini, MT., PhD ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 15 Juli 2009

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah *Subhanahu wa ta'ala*, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Ir. Setiadi, M.Eng selaku pembimbing skripsi, yang telah memberikan sumbangsih pemikiran dan meluangkan waktu sampai skripsi ini selesai. Dan juga penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada pihak-pihak berikut:

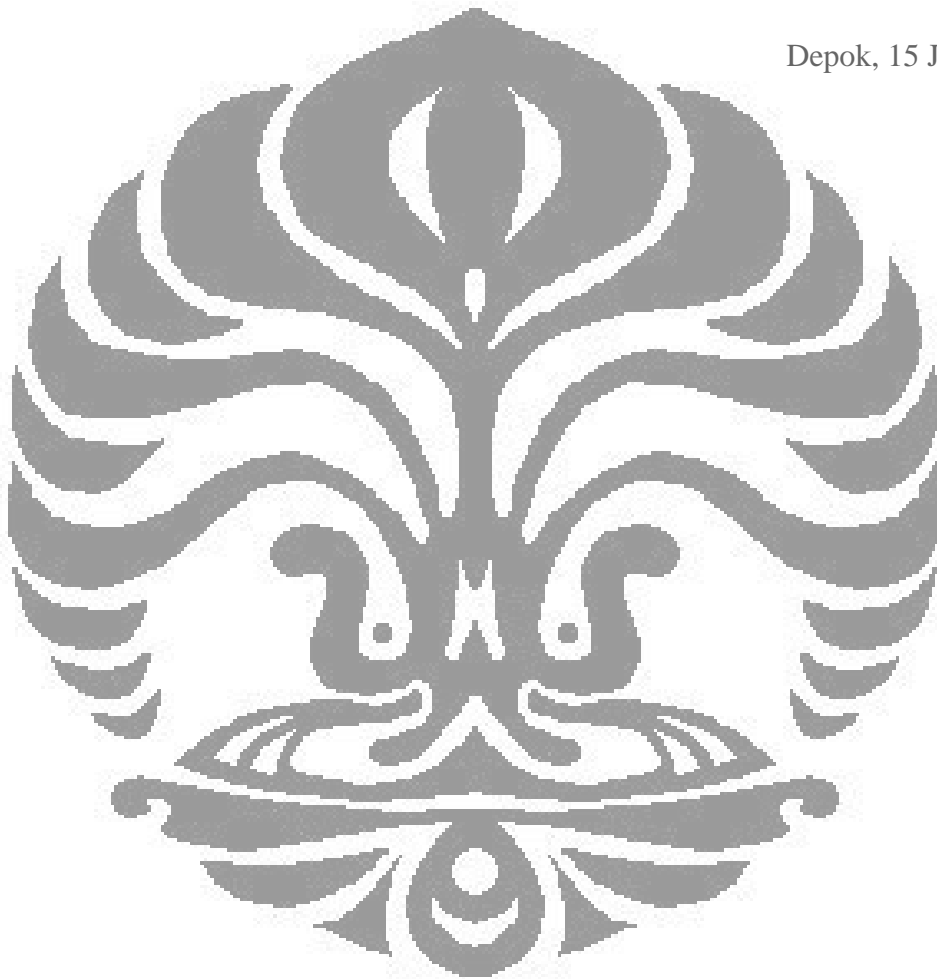
1. Bpk.Prof.Dr.Ir.Widodo W. Purwanto sebagai kepala Departemen Teknik Kimia FTUI.
2. Bpk.Ir.Yuliusman, M.Eng selaku koordinator skripsi
3. Para dosen di departemen yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan.
4. Seluruh karyawan departemen yang telah banyak membantu. Mas Eko, Kang Jajat, Mang Ijal, Mas Haris, Mas Sri, Mas Taufiq, dll.
5. Ibunda serta ayahanda yang telah memenuhi seluruh kebutuhan penulis. Do'a dan dorongan dari keduanya selalu penulis harapkan sepanjang masa.
6. Kakak-kakakku dan adikku tercipta yang telah memberikan motivasi serta do'a mereka yang selalu penulis harapkan.
7. Andres Suranto sebagai partner kerja penelitian dan partner di tempat-tempat lainnya.
8. Seluruh teman-teman Teknik Kimia 2005 yang banyak memberikan motivasi dan inspirasi dalam pembuatan skripsi ini.
9. Safri Saipulloh dan Abdul Latif yang telah memberikan banyak sumbangsih pemikiran dalam penulisan skripsi ini.

10. Seluruh pihak yang tidak dapat dicantumkan namanya satu persatu, atas bantuan dan sumbangsih demi selesainya pembuatan skripsi ini.

Akhirnya, skripsi ini tentu saja belum sempurna dan masih membutuhkan banyak perbaikan. Untuk itu, penulis menerima segala masukan dan kritik membangun demi kesempurnaan dan perbaikan skripsi ini. Semoga keberadaan skripsi ini dapat menambah khazanah ilmu di Indonesia dan khususnya di jurusan Teknik Kimia.

Depok, 15 Juli 2009

Penulis



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

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

Nama : Ahmad Adlan

NPM : 0405060067

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:

”Perengkahan Katalitik Campuran Minyak Jarak dan Air Menjadi Hidrokarbon Setara Fraksi Bensin Menggunakan Katalis B_2O_3 /Zeolit”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Jakarta

Pada tanggal : 15 Juli 2009

Yang menyatakan

(Ahmad Adlan)

ABSTRAK

Nama : Ahmad Adlan
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Perengkahan Katalitik Campuran Minyak Jarak dan Air
Menjadi Hidrokarbon Setara Fraksi Bensin Menggunakan
Katalis B_2O_3 /Zeolit

Perengkahan katalitik minyak jarak menjadi bahan bakar cair telah banyak dilakukan. Keberadaan gugus aktif pada molekul trigliserida minyak jarak dapat menyebabkan terjadinya reaksi polimerisasi dan polikondensasi. Dalam penelitian ini, umpan minyak jarak dicampurkan dengan air. Penambahan air dapat menetralsir atau menstabilkan gugus aktif pada trigliserida dengan jalan hidrolisis. Rasio umpan minyak jarak dan air divariasikan untuk mendapatkan rasio optimum. Reaksi perengkahan dilakukan dalam reaktor *fixed bed* yang beroperasi pada tekanan atmosferik dan rentang suhu 400-500°C. Katalis yang digunakan berupa hidrid katalis B_2O_3 /Zeolit. *Yield gasoline* maksimum diperoleh pada rasio 1:1 (berat air/minyak), temperatur 500°C, dengan katalis 20% B_2O_3 /Zeolit, sebesar 19% dengan selektifitas *gasoline* 40,6%.

Kata kunci:

Minyak Jarak, Perengkahan Katalitik, Hidrolisis, B_2O_3 /Zeolit

ABSTRACT

Name : Ahmad Adlan
Study Program : Chemical Engineering
Title : Catalytical Cracking of a Mixture of Jatropha Oil and Water to Gasoline over B_2O_3 /Zeolite Catalyst.

The Catalytic conversion of Jatropha oil to liquid fuel over various type has been studied. The active groups of Jatropha oil trigliseride giving occasion to polymerisation and polycondensation reaction. In this research, Jatropha oil was mixtured by water to neutralize or stabilize the active group of Jatropha oil. Feed ratio was variated to get optimum ratio. The reaction was conducted in a fixed bed reactor at atmosferic pressure and temperature 400-500°C over B_2O_3 /Zeolite catalyst. The maximum gasoline fraction yield of 19% with gasoline selectivity of 40,6% was obtained with 20% B_2O_3 /Zeolite, at 500°C, and feed ratio 1:1 (weight water/oil).

Key words:

Jatropha oil, Catalytic conversion, Hydrolysis, B_2O_3 /Zeolite Catalyst.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Batasan Masalah	3
I.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Minyak Jarak	5
II.2 Reaksi Hidrolisis	7
II.3 Zeolit	9
II.3.1 Struktur Zeolit	10
II.3.2 Zeolit Sebagai Katalis Asam	10
II.3.3 Zeolit Sebagai Katalis Selektif Bentuk	11
II.3.4 Katalis B ₂ O ₃ /Zeolit	12
II.4 Reaksi Perengkahan Katalitik (<i>Catalytic Cracking</i>)	13
II.5 Bensin	16
II.5.1 Angka Oktan	16
II.5.2 Spesifikasi Bensin	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
III.1 Tahapan Umum Metode Penelitian	20
III.2 Tahapan Rinci Metode Penelitian	21
III.2.1 Preparasi Katalis dan Karakterisasi	21

III.2.2 Percobaan Uji Reaksi/Kinerja Katalis	24
III.2.3 Tahap Analisa Produk Hasil Reaksi	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Persiapan dan Karakterisasi Katalis	30
4.1.1 XRF (X-Ray Fluorescence)	30
4.1.2 XRD (X-Ray Diffraction)	32
4.2 Hasil Uji Aktifitas Katalis	34
4.2.2 Pengaruh Rasio Umpan Terhadap Yield Produk Perengkahan	38
4.2.3 Pengaruh Temperatur Terhadap Yield Produk Perengkahan	39
4.3 Analisa FTIR	41
4.3.1 Minyak Jarak Murni	41
4.3.2 Produk Perengkahan	42
4.3.3 Bensin Komersial	43
4.4 Analisa GC-FID	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR REFERENSI	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Konsumsi Energi Final Per Jenis Energi di Indonesia	1
Gambar 2.1	Minyak Jarak Pagar	5
Gambar 2.2	Reaksi Pembentukan Trigliserida	6
Gambar 2.3	Reaksi Hidrolisis Trigliserida	7
Gambar 2.4	Struktur Zeolit	10
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2	Diagram Alir Tahap Preparasi Katalis	22
Gambar 3.3	Rancangan Reaktor	25
Gambar 3.4	Bagan Diagram Alir-Reaktor	26
Gambar 3.5	Fixed Bed Reactor	27
Gambar 3.6	Analisa Fraksinasi	28
Gambar 4.1	Spektrum Hasil Analisa XRF Zeolit Alam Malang (<i>Fresh</i>)	30
Gambar 4.2	Foto Katalis Zeolit Sebelum dan Sesudah Kalsinasi	32
Gambar 4.3	Spektrum Hasil Analisa XRF 5% B ₂ O ₃ /Zeolit	32
Gambar 4.4	Spektrum Difraksi Sinar X dari Zeolit Malang Murni	32
Gambar 4.5	Spektrum difraksi Sinar X dari 5% B ₂ O ₃ /Zeolit	33
Gambar 4.6	Reaksi Hidrolisis Trigliserida	35
Gambar 4.7	Mekanisme Reaksi Hidrolisis dan Perengkahan	36
Gambar 4.8	Produk Perengkahan Campuran Minyak Jarak dan Air T=400°C	36
Gambar 4.9	Hasil Analisa FTIR Produk Perengkahan T = 400°C	37
Gambar 4.10	Grafik Pengaruh Penambahan B ₂ O ₃ terhadap <i>yield</i> Bensin, pada Temperatur 400°C & umpan rasio umpan 2:1	37
Gambar 4.11	Grafik Pengaruh Rasio Umpan terhadap <i>yield</i> Bensin, pada Temperatur 400°C dan Katalis 20% B ₂ O ₃ /Zeolit	38
Gambar 4.12	Grafik Pengaruh Temperatur terhadap <i>yield</i> Bensin, dengan Katalis 20% B ₂ O ₃ /Zeolit dan rasio umpan 1:1 (w/w)	40
Gambar 4.13	Spektra FTIR Minyak Jarak	42
Gambar 4.14	Spektra FTIR Produk Perengkahan	42
Gambar 4.14	Spektra FTIR Bensin Komersial	43

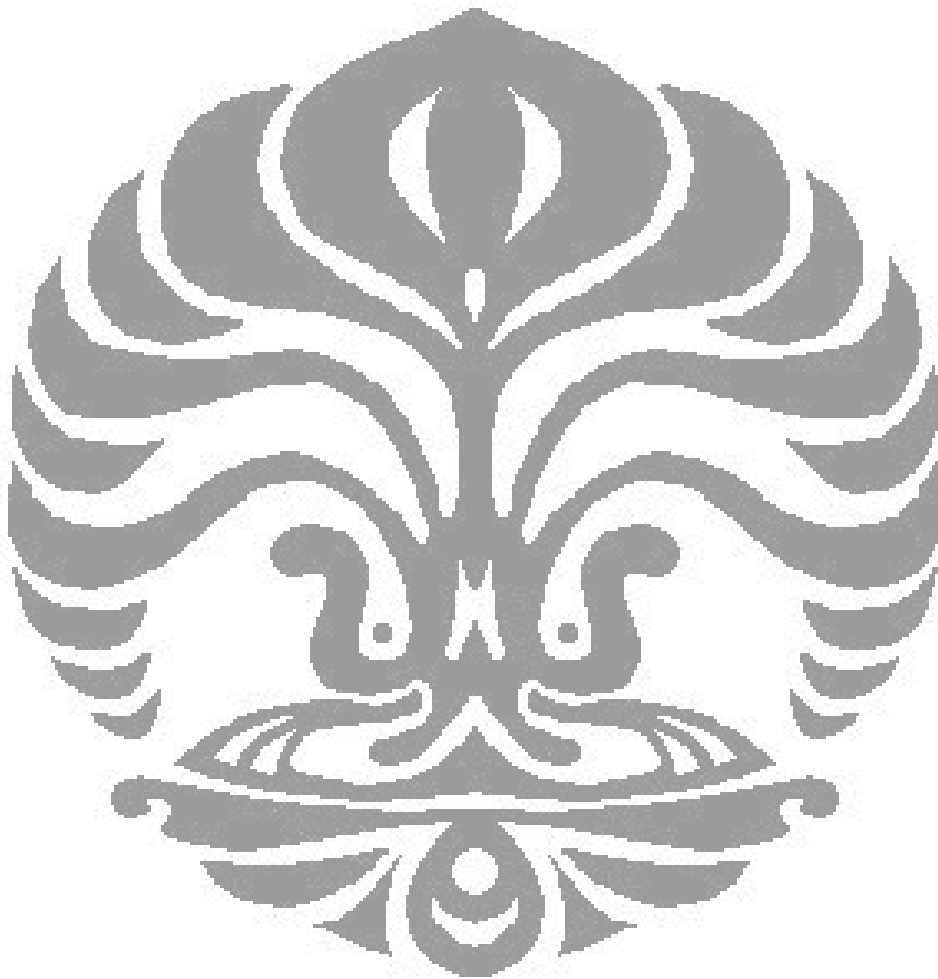
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Asam Lemak pada Minyak Jarak	6
Tabel 2.2	Karakteristik Fisika-Kimia dari Minyak Jarak	7
Tabel 2.3	Sifat Fisika Boron Oksida	13
Tabel 2.4	Karakteristik Produk Distilasi Atmosferik <i>Crude Oil</i>	16
Tabel 2.5	Angka Oktan Hidrokarbon Murni	17
Tabel 3.1	Data Analisa FID	29
Tabel 4.1	Hasil Analisa XRF Zeolit Alam Malang	31
Tabel 4.2	Hasil Analisa XRF 5% B ₂ O ₃ /Zeolit	32
Tabel 4.3	Data Perbandingan Nilai d dari Hasil Analisa XRD untuk Zeolit Malang dengan Zeolit Hasil Modifikasi Bensin Komersial	33
Tabel 4.4	Perbandingan Transmittansi Minyak Jarak, Produk Perengkahan, dan Bensin Komersial	43
Tabel 4.5	Hasil Analisa GC-FID	44



DAFTAR LAMPIRAN

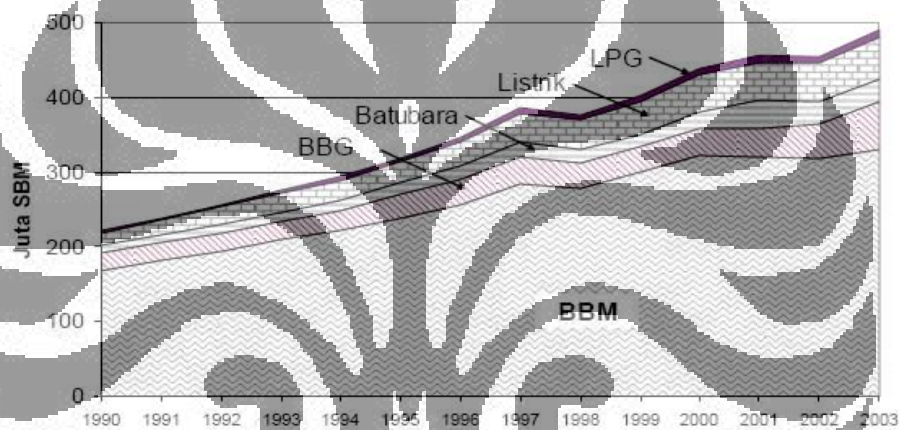
LAMPIRAN A Pengolahan Data.....	50
LAMPIRAN B X-Ray Fluorescence	52
LAMPIRAN C X-Ray Diffraction	53
LAMPIRAN D GC-FID	54
LAMPIRAN E Fourier Transformed Infra Red	55



BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan energi dari sektor minyak bumi memiliki keterkaitan erat dengan kian bertambahnya kegiatan ekonomi dan jumlah penduduk. Di Indonesia, dengan jumlah penduduk yang mengalami peningkatan dari tahun ke tahun dan pertumbuhan ekonomi yang terus berlangsung, maka peningkatan kebutuhan energi adalah suatu hal yang tak bisa dihindari. Gambar 1.1 memperlihatkan konsumsi energi per jenis energi di Indonesia.



Gambar 1.1 Konsumsi Energi Final Per Jenis Energi di Indonesia
(Sugiyono, 2005)

Berdasarkan jenis energinya, konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan konsumsi energi final terbesar. Pada tahun 2003, konsumsi BBM mencapai 329 juta SBM (67,6%) (Sugiyono, 2005).

Keadaan ini sangatlah mengkhawatirkan ditengah cadangan energi yang kian menipis, khususnya Bahan Bakar Minyak (BBM). Terbatasnya sumber energi fosil menyebabkan perlunya pengembangan suatu energi alternatif dari tumbuhan (biofuel). Pemanfaatan biofuel, selain dipergunakan untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak (diversifikasi energi), juga mempunyai keuntungan lain terutama dari segi dampak lingkungan, karena biofuel merupakan bahan bakar yang rendah emisi bahan pencemar (polutan), biodegradable dan tidak beracun. Penggunaan biofuel juga mampu mengurangi emisi gas rumah kaca

sampai 90%. Keuntungan lain dari pemanfaatan energi terbarukan yang bersumber dari biomasa tersebut adalah dapat mendorong penciptaan lapangan kerja di pedesaan, sebagai contoh produksi ethanol di Brazil diperkirakan telah menciptakan sekitar 700.000 lapangan pekerjaan, termasuk untuk pekerjaan yang tidak memerlukan *skill* (Suarna, 2005).

Salah satu bahan baku minyak nabati yang memiliki potensi sebagai bahan bakar adalah minyak jarak. Seperti halnya lemak dan minyak lainnya, minyak jarak terdiri atas trigliserida yang merupakan ester dari gliserol dengan tiga molekul asam lemak. Panjang rantai asam lemak pada trigliserida yang terdapat secara alami dapat bervariasi, namun panjang yang paling umum adalah 16, 18, atau 20 atom karbon (*Asam Lemak*, 2008). Dengan merengkah trigliserida ini diharapkan akan mendapatkan hidrokarbon setara fraksi *gasoline* (C_4 - C_{12}) (*Gasoline*, 2009).

Perengkahan katalitik lebih sederhana dan efektif dibandingkan dengan perengkahan termal. Selain juga karena tidak ada limbah cair dan polusi udara yang ditimbulkan (Ma, Hanna, 1999). Penelitian perengkahan katalitik campuran minyak sawit dan metanol menggunakan katalis Zeolit/ B_2O_3 sudah pernah dilakukan oleh Mailisa (2005) dan diperoleh konversi maksimal 38%.

Yean-Sang Ooi (2004) telah berhasil melakukan perengkahan katalitik asam lemak dengan menggunakan katalis zeolit mikroporous HZSM-5 yang dilapisi dengan mesoporous MCM-41/SBA-15. Konversi maksimum asam lemak sebesar 98% berat diperoleh menggunakan katalis zeolit HZSM-5 yang dilapisi dengan 30% berat silika murni SBA-15. Dan fraksi maksimum *gasoline* sebesar 44% berat diperoleh menggunakan katalis zeolit HZSM-15 yang dilapisi dengan 20% berat silika murni MCM-41.

Penggunaan senyawa metanol ataupun alkohol lainnya, akan kurang ekonomis apabila proses tersebut dikembangkan menjadi proses skala industri. Penelitian ini mencari alternatif senyawa lain, dan salah satu alternatif yang menjanjikan adalah penggunaan senyawa air. Penambahan air dapat menetralkan atau menstabilkan molekul atau gugus aktif pada trigliserida dengan jalan hidrolisis menghasilkan asam lemak dan gliserol. Sehingga perengkahan dapat

dilakukan tanpa terjadinya reaksi polimerisasi dan polikondensasi yang sangat mungkin terjadi karena keberadaan gugus aktif tersebut. Selain itu, keberadaan air ini akan membantu dalam pembentukan sisi asam *Bronsted* pada zeolit. (Corma, 2004).

I.2 Rumusan Masalah

Perengkahan molekul trigliserida dengan penambahan air dilakukan dalam upaya peningkatan konversi dan *yield* yang dihasilkan melalui jalur hidrolisis. Beberapa masalah yang perlu dikaji:

- Se jauh mana pengaruh penambahan air terhadap terjadinya reaksi perengkahan minyak jarak?
- Seberapa besar produk hidrokarbon setara fraksi bensin (*gasoline*) yang dapat dihasilkan?
- Bagaimana kondisi reaksi perengkahan untuk mencapai hasil yang setinggi-tingginya?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mengkaji metode perengkahan campuran minyak jarak dan air dengan katalis B_2O_3 /zeolit menjadi hidrokarbon setara fraksi bensin (*gasoline*).
- Mendapatkan produk hidrokarbon setara fraksi *gasoline* dengan *yield* sebesar-besarnya.
- Menentukan variabel penelitian (rasio B_2O_3 dengan zeolit, temperatur, dan rasio umpan) untuk mendapatkan konversi dan *yield* sebesar-besarnya.

I.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi permasalahan ke dalam ruang lingkup:

- Bahan baku yang digunakan adalah campuran minyak jarak pagar dan air.
- Kondisi reaksi dilakukan pada kondisi atmosferik pada rentang temperatur $400^\circ C$ sampai $500^\circ C$ dengan menggunakan *fixed bed reactor* dengan bahan *stainless steel* SS 316.
- Katalis yang digunakan adalah B_2O_3 /zeolit.
- Hasil yang diperoleh akan dianalisa dengan menggunakan FTIR dan GC-FID untuk produk cair.

I.5 Sistematika Penulisan

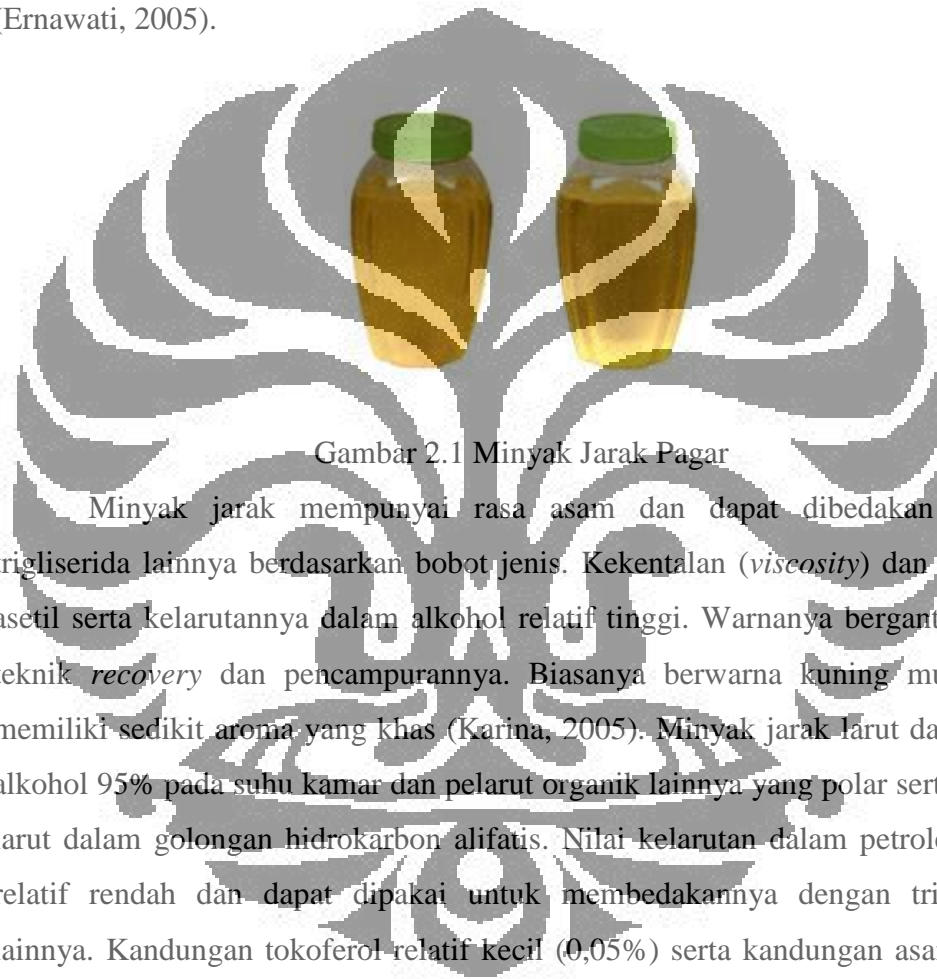
Sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- **BAB I PENDAHULUAN**
Berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan
- **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**
Berisi informasi mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini seperti senyawa yang digunakan dalam penelitian, proses hidrolisis, proses perengkahan katalitik yang dilakukan, dan katalis yang digunakan.
- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**
Berisi tahap-tahap penelitian yang dilakukan dari awal hingga akhir.
- **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**
Berisi hasil dan analisa yang dilakukan dari penelitian.
- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**
Berisi kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya agar lebih baik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Minyak Jarak

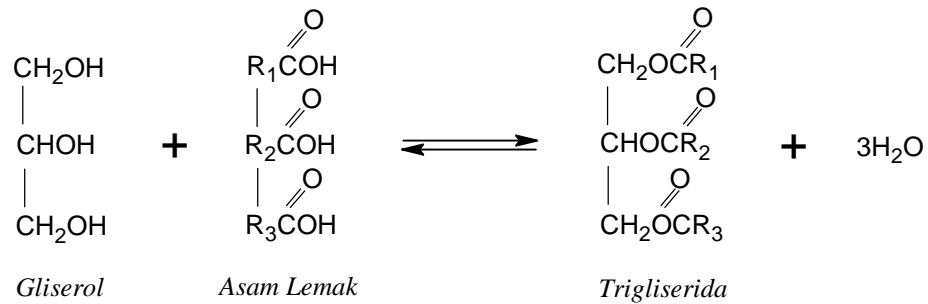
Kandungan terbesar minyak jarak terdapat pada bagian biji. Biji mengandung 40–50% minyak jarak (*oleum ricini, kastrooli*) yang mengandung bermacam-macam trigliserida, asam palmitat, asam risinoleat, asam isorisinoleat, asam oleat, asam linoleat, asam linolenat, asam stearat, dan asam dihidroksistearat (Ernawati, 2005).



Gambar 2.1 Minyak Jarak Pagar

Minyak jarak mempunyai rasa asam dan dapat dibedakan dengan trigliserida lainnya berdasarkan bobot jenis. Kekentalan (*viscosity*) dan bilangan asetil serta kelarutannya dalam alkohol relatif tinggi. Warnanya bergantung dari teknik *recovery* dan pencampurannya. Biasanya berwarna kuning muda, dan memiliki sedikit aroma yang khas (Karina, 2005). Minyak jarak larut dalam etil-alkohol 95% pada suhu kamar dan pelarut organik lainnya yang polar serta sedikit larut dalam golongan hidrokarbon alifatis. Nilai kelarutan dalam petroleum eter relatif rendah dan dapat dipakai untuk membedakannya dengan trigliserida lainnya. Kandungan tokoferol relatif kecil (0,05%) serta kandungan asam lemak esensial yang sangat rendah menyebabkan minyak jarak berbeda dengan minyak nabati lainnya (Ketaren, 1986).

Seperti halnya lemak dan minyak lainnya, minyak jarak terdiri atas trigliserida yang merupakan ester dari gliserol dengan tiga molekul asam lemak menurut reaksi sebagai berikut:



Gambar 2.2 Reaksi Pembentukan Trigliserida

Bila $R_1 = R_2 = R_3$ atau ketiga asam lemak penyusunnya sama maka trigliserida ini disebut trigliserida sederhana, dan apabila salah satu atau lebih asam lemak penyusunnya tidak sama maka disebut trigliserida campuran.

Asam lemak yang pada rantai hidrokarbonnya terdapat ikatan rangkap disebut asam lemak tidak jenuh, dan apabila tidak terdapat ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya disebut asam lemak jenuh.

Makin jenuh molekul asam lemak dalam molekul trigliserida, makin tinggi titik beku atau titik cair minyak tersebut. Sehingga pada suhu kamar biasanya berada pada fase padat. Sebaliknya semakin tidak jenuh asam lemak dalam molekul trigliserida maka makin rendah titik lemak atau titik cair minyak tersebut sehingga pada suhu kamar berada pada fase cair (Pasaribu, 2004). Minyak jarak mengandung 38% asam oleic diikuti dengan asam linoleic sebesar 34,2%.

Tabel 2.1 Komposisi Asam Lemak pada Minyak Jarak

Asam lemak	Rumus Molekul	% Komposisi
Oleic	$\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$	38
Linoleic	$\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$	34.2
Palmitic	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	15.8
Stearic	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	9.8
Palmitoleic	$\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}_2$	1.3
Linolenic	$\text{C}_{18}\text{H}_{30}\text{O}_2$	0.3
Arachnidic	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	0.3
Behenic	$\text{C}_{20}\text{H}_{44}\text{O}_2$	0.2
Mirisdic	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	0.1

(Iskandar, 2007)

Tabel 2.2 menunjukkan karakteristik fisika kimia minyak jarak.

Tabel 2.2 Karakteristik Fisika-Kimia dari Minyak Jarak

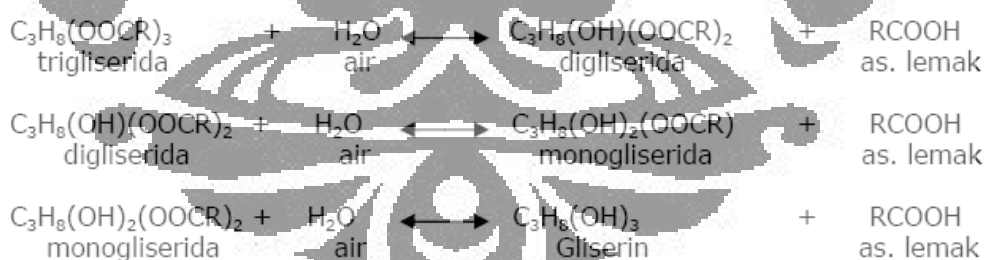
Parameter	Literature (Akintayo, 2003, dan Gubitz, 1999)	ITB-MIRI Assay (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd), Dec 2004
Density at 15 °C (g/cm ³)	0,920	0,9181
Viscosity at 30 °C (cSt)	17,1 – 52	50,8
Flash point (°C)	240	290
Sulphur Content (ppm)	Not measured	< 1
Iodine Value (mg iodine/g)	105,2 ± 0,7	96,5
Acic value (mg KOH/g)	3,5 ± 0,1	3,08
Caloric value (MJ/kg)	40,7	53,58

(Iskandar, 2007)

II.2 Reaksi Hidrolisis

Dalam reaksi hidrolisis, lemak dan minyak akan diubah menjadi asam lemak bebas dan gliserol.

Reaksi hidrolisis pada minyak jarak merupakan reaksi antara molekul trigliserida dengan air dengan keberadaan katalis asam untuk menghasilkan asam lemak dan gliserol. Reaksi hidrolisis ini berlangsung dalam tiga tahapan reaksi.

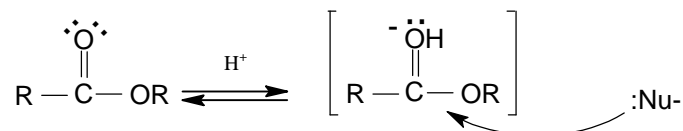


Gambar 2.3 Reaksi Hidrolisis Trigliserida

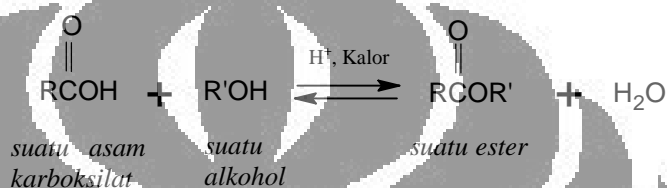
Ketiga tahap reaksi diatas tidak berlangsung 100%, sehingga tetap saja trigliserida, digliserida, monogliserida terdapat pada gliserin yang dihasilkan. Digliserida dan monogliserida membentuk emulsi pada *gliserin water* dan trigliserida sedikit terapung pada bagian atas air gliserin yang dihasilkan.

Proses Hidrolisis Asam

Dalam larutan asam, oksigen karbonil dari suatu ester dapat diprotonkan. Kemudian karbon yang bermuatan positif parsial, dapat diserang oleh nukleofil lemah seperti air.

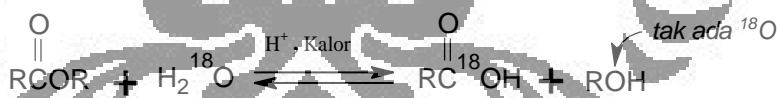


Reaksi esterifikasi merupakan reaksi antara suatu asam karboksilat dan suatu alkohol membentuk senyawa ester. Esterifikasi asam karboksilat dengan suatu alkohol merupakan reaksi reversibel.

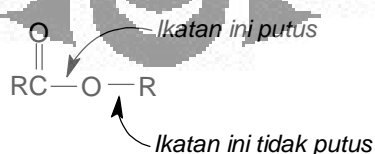


Bila asam karboksilat diesterkan, digunakan alkohol berlebih. Untuk membuat reaksi kebalikannya, yakni hidrolisis berkataliskan asam dari ester menjadi asam karboksilat, digunakan air berlebih. Kelebihan air akan menggeserkan kesetimbangan ke arah sisi asam karboksilat.

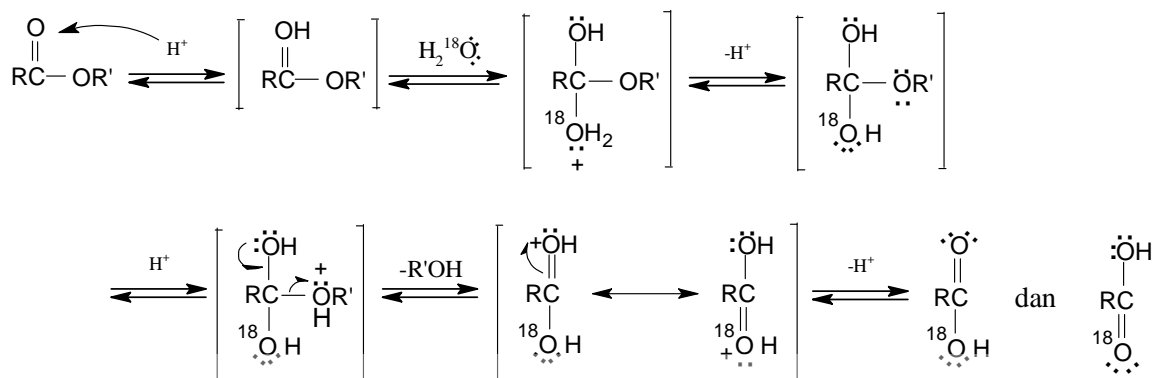
Jika air yang digunakan diberi oksigen bertanda yaitu oksigen ^{18}O dalam hidrolisis itu, oksigen bertanda ini akan berada dalam asam karboksilat.



Sebabnya ialah karena air menyerang gugus karbonil. Ikatan RO tidak putus dalam hidrolisis.

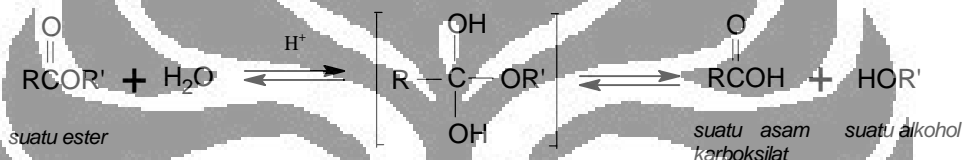


Mekanisme berikut ini menerangkan hasil pengamatan tersebut di atas. Perhatikan bahwa tahap pertama ialah *protonasi* (hanya ditunjukkan satu struktur resonansi), yang diikuti dengan *adisi* H_2O , kemudian eliminasi $\text{R}'\text{OH}$, yang disusul dengan *deprotonasi*.



Struktur resonansi
untuk asam terprotonkan

Mekanisme yang sederhana untuk hidrolisis ester dapat ditulis sebagai berikut:



II.3 Zeolit

Zeolit adalah senyawa zat kimia alumino-silikat berhidrat dengan kation natrium, kalium dan barium. Zeolit juga sering disebut sebagai molecular sieve/molecular mesh (saringan molekuler) karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan/menyaring molekul dengan ukuran tertentu (Zeolite, 2008).

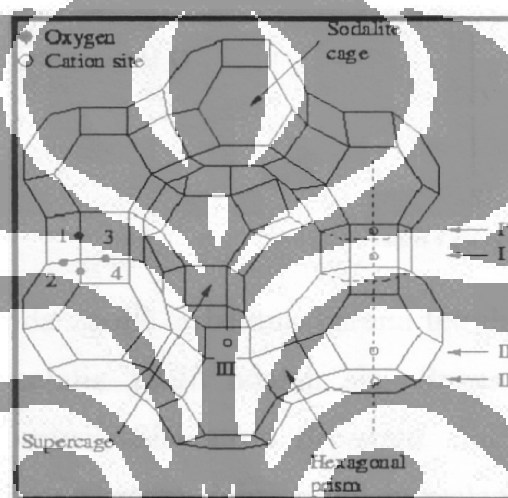
Secara umum ada empat sifat zeolit yang menyebabkan zeolit sangat diminati sebagai salah satu katalis, yaitu (Bhatia, 2000):

1. Zeolit dapat mengalami pertukaran kation yang menyebabkan dapat disisipkannya kation baru sehingga dapat diperoleh berbagai macam sifat katalis.
2. Jika kationnya digantikan dengan ion H^+ maka akan diperoleh suatu sisi asam yang kuat.
3. Diameter porinya kurang dari 10 Angstrom
4. Zeolit memiliki pori dengan ukuran yang sangat besar. Kaya akan rongga-rongga yang dapat ditempati oleh molekul-molekul dengan

bentuk dan ukuran tertentu. Dalam keadaan kosong rongga-rongga ini dapat bertindak sebagai penyangga katalis, maupun katalis.

II.3.1 Struktur Zeolit

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. Zeolit secara keseluruhan memiliki lubang dan saluran secara periodik pada strukturnya yang terbentuk ketika unit TO_4 bergabung dan membentuk *framework*-nya.



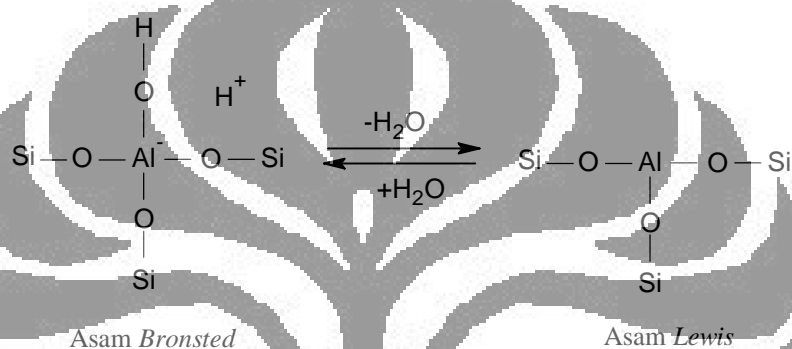
Gambar 2.4 Struktur Zeolit
(Meier, 1992)

II.3.2 Zeolit Sebagai Katalis Asam

Konsep bahwa katalis permukaan mungkin berupa asam muncul karena penelitian bahwa reaksi hidrokarbon, seperti *cracking*, yang dikatalis oleh tanah liat asam atau silika-alumina memiliki distribusi produk berbeda dengan hasil *therml cracking* dan reaksi hidrokarbon yang menggunakan katalis padat akan menghasilkan distribusi produk yang mirip dengan reaksi yang menggunakan mineral asam tersebut. Selain itu, telah ditunjukkan bahwa katalis pada reaksi perengkahan dapat dititrasi dengan basa dan akan mengalami deaktivasi apabila mengabsorpsi komponen dasar nitrogen (Bhatia, 2000). Maka dapat disimpulkan bahwa yang dibutuhkan untuk aktivitas katalis adalah padatan harus bersifat asam

dan memiliki kemampuan untuk membentuk ion karbonium atau karbokation ketika bereaksi dengan hidrokarbon.

Sisi asam mungkin berupa tipe asam *Bronsted* yang mendonorkan proton kepada senyawa hidrokarbon tak jenuh atau tipe asam *Lewis* yang berperan sebagai penerima elektron atau memindahkan ion hidrogen dari suatu hidrokarbon. Sisi asam *Bronsted* dapat berubah menjadi asam *Lewis* apabila dipanaskan karena kandungan airnya lepas. Penambahan air dan pemanasan juga dapat merubah kembali asam *Lewis* menjadi asam *Bronsted* seperti pada persamaan dibawah ini:



Penggunaan katalis zeolit pada penelitian ini sangat tepat mengingat akan terdapat banyaknya kandungan air dalam reaktor. Kandungan air ini akan membantu dalam pembentukan sisi asam *Bronsted* pada zeolit.

Asam *Bronsted* pada zeolit terbentuk karena tetrahedron alumina mengikat proton. Inti aktif pada katalis zeolit adalah sisi *Bronsted* yang dibangun dari pembentukan gugus hidroksil. Sisi asam *Bronsted* ini dapat terbentuk apabila atom silikon diganti dengan atom lain yang bervalensi lebih rendah.

Keasaman suatu zeolit natrium dapat ditambahkan dengan cara pertukaran ion. Ion natrium dalam zeolit dapat ditukar dengan ion ammonium yang diikuti pemanasan maka pada permukaan zeolit dapat diperoleh ion H^+ yang membentuk gugus hidroksil dengan atom oksigen pada zeolit.

II.3.3 Zeolit Sebagai Katalis Selektif Bentuk

Ukuran pori dan bentuk zeolit mempengaruhi selektivitas reaksi dalam tiga cara, yaitu:

1. *Reactant Selectivity* terjadi ketika ukuran pori zeolit hanya mengizinkan molekul berukuran kecil tertentu dan menghambat molekul besar, secara efektif hanya molekul berukuran kecil yang bereaksi.
2. *Product Selectivity* terjadi ketika fasa ruah molekul produk tidak berdifusi keluar sehingga produk terkonversi lagi menjadi molekul yang lebih kecil atau menjadi suatu karbon yang terdeposit dalam pori. Karbon mungkin menyebabkan terjadinya pemblokiran pori.
3. *Spaciospecific selectivity* terjadi karena adanya keterbatasan difusi yang membatasi keadaan transisi.

Sebagai katalis selektif bentuk, zeolit memiliki selektifitas yang baik karena struktur pori yang terbatas hanya dapat dilalui oleh molekul tertentu menuju inti aktif zeolit, menghindari desorpsi produk dan mencegah terjadinya reaksi intermediet. Molekul yang dapat berdifusi pada pori zeolit hanyalah molekul yang berukuran sama atau lebih kecil. Kemampuan molekul berdifusi ke dalam zeolit juga dipengaruhi faktor lainnya seperti temperatur dan ukuran kristal. Selektifitas bentuk dapat ditingkatkan dengan menambahkan hambatan di dekat mulut pori.

II.3.4 Katalis B₂O₃/Zeolit

Salah satu cara untuk meningkatkan keasaman zeolit adalah dengan mengganti atom silikon dengan atom lain yang bervalensi lebih rendah agar terbentuk sisi atom *Bronsted* yang menjadi inti aktif pada katalis zeolit. Salah satu atom yang dapat menggantikan atom silikon adalah atom boron (Bhatia, 2000). Sumber boron ini dapat diperoleh dari boron oksida.

Boron oksida (B₂O₃) memiliki ukuran partikel yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan zeolit, sehingga partikel padatan B₂O₃ dapat terdispersi secara baik pada permukaan padatan zeolit. Keterpaduan tersebut dapat saling mendukung sehingga menjadi katalis yang efektif dan efisien dalam reaksi perengkahan katalitik. Katalis ini merupakan katalis asam yang kuat. Sifat keasaman katalis ini dihasilkan dari asam Bronsted. Aktivitas katalis ini akan berubah dengan variasi kandungan B₂O₃.

Tujuan penambahan boron oksida:

1. Membentuk spesi peroksida (O_2^-) pada permukaan katalis. Spesi peroksida ini merupakan inti aktif yang baik untuk reaksi dehidrogenasi dan oksidasi. Spesi peroksida ini dapat meningkatkan laju reaksi dehidrasi etanol (Sudirman, 2000).
2. Meningkatkan konsentrasi BO_4 sites pada katalis. Peningkatan BO_4 sites akan meningkatkan sisi asam Bronsted pada katalis (Sato, Masakatsu, & Toshiaki, 1995)

Tabel 2.3 menunjukkan sifat fisika dari boron oksida.

Tabel 2.3 Sifat Fisika Boron Oksida

Sifat Fisika	
Warna serbuk	Tidak berwarna
Kelarutan	Larut dalam alkohol dan air panas. Sedikit larut dalam air dingin
Specific gravity	2,46
Titik leleh	450 °C
Titik didih	1500 °C
Kemudahan terbakar	Tidak mudah terbakar

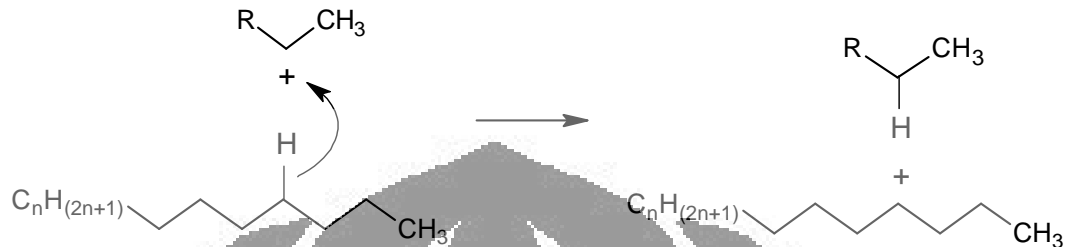
(Puspitaningdyah, 2007)

II.4 Reaksi Perengkahan Katalitik (*Catalytic Cracking*)

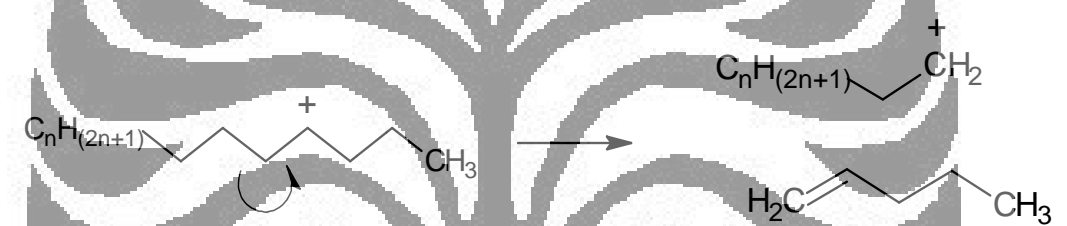
Perengkahan merupakan proses konversi molekul-molekul organik kompleks menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana dengan putusnya ikatan karbon-karbon dalam rantai molekul tersebut (Fessenden & Joan, 1981). Laju perengkahan dan produk akhirnya bergantung terhadap temperatur dan keberadaan katalis (*Cracking*, 2008).

Perengkahan katalitik merupakan proses perengkahan yang mempergunakan katalis. Menurut Pines, perengkahan katalitik merupakan dekomposisi termal suatu hidrokarbon dengan kehadiran katalis. Bensin yang dihasilkan dengan proses perengkahan katalis lebih kaya senyawa isoparafin, aromatik, dan naptenes daripada dengan *thermal cracking* karena katalis memiliki selektifitas terhadap bentuk (Speight, 1991).

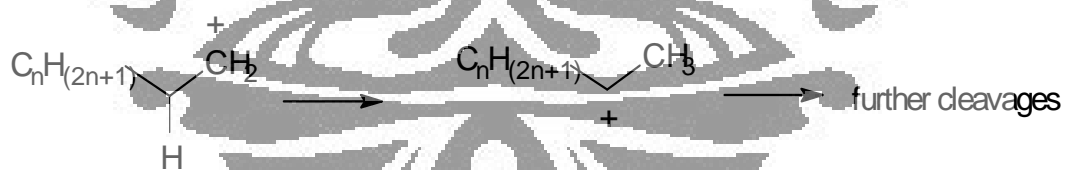
Karbokation yang paling stabil adalah karbokation dengan banyak gugus alkil yang terikat pada atom karbon positif karena hal ini berarti ada lebih banyak atom yang dapat membantu membagi muatan positif itu dan menstabilkan karbokation. Langkah selanjutnya adalah interaksi antara karbokation dengan hidrokarbon lain yang dapat digambarkan sebagai berikut:



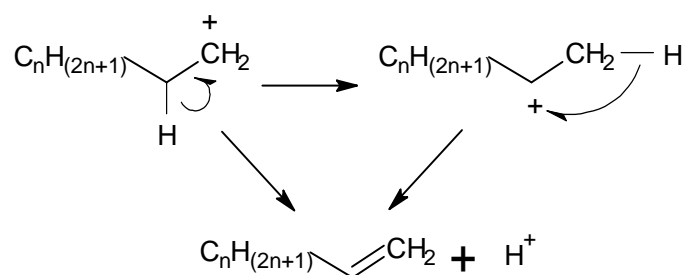
Karbokation dengan rantai yang panjang akan mengalami pemotongan β berdasarkan β -cleavage mechanism yang akan menghasilkan suatu olefin dan karbokation baru.



Karbokation primer akan mengalami isomerisasi dengan pergeseran 1,2-hidrida untuk menghasilkan karbokation sekunder yang lebih stabil, yang selanjutnya dapat mengalami β -cleavages.



Selain mengalami β -cleavages ada juga sebagian karbokation yang membentuk suatu olefin.



Selanjutnya terjadi mekanisme sekunder lainnya yang terjadi dalam proses perengkahan katalitik menjadi produk yang lebih stabil dan akan menghasilkan produk dengan bilangan oktan yang lebih tinggi.

Mekanisme sekunder lainnya yang terjadi dalam proses *catalytic cracking*, adalah:

- (i) Migrasi ikatan rangkap,
- (ii) *The cleavage* of alkyl benzene,
- (iii) Dehidrogenasi pada sikloheksana.

II.5 Bensin

Bensin adalah bahan bakar mesin siklus Otto yang banyak digunakan sebagai bahan bakar alat transportasi darat (mobil). Mulanya bensin adalah produk utama dalam industri minyak bumi yang merupakan campuran kompleks dari ratusan hidrokarbon dan memiliki rentang pendidihan antara 30-200 °C. Dengan rentang titik didih tersebut, maka bensin terdiri dari senyawa karbon C₄ – C₁₂ (Putra, 2005).

Tabel 2.4 Karakteristik Produk Distilasi Atmosferik Minyak Bumi Mentah

No.	Rentang Pendidihan (°C)		Rentang kasar atom C n-parafin	Nama fraksi/produk
	ASTM	TBP		
1	<30	<30	C ₁ - C ₄	Gas kilang
2	30-100	30-90	C ₄ - C ₇	Nafta ringan (<i>straight run gasoline</i>)
3	80-200	85-190	C ₇ - C ₁₁	Nafta
4	165-280	190-270	C ₁₀ - C ₁₆	Kerosin
5	215-340	270-320	C ₁₂ - C ₁₉	Minyak gas ringan (<i>light gas oil</i>)
6	290-440	320-430	C ₁₆ - C ₂₈	Minyak gas atmosferik (<i>heavy gas oil</i>)
7	>400	>430	> C ₂₅	Residu (<i>topped crude</i>)

(Putra, 2005)

II.5.1 Angka Oktan

Angka oktan menunjukkan kemampuan bahan bakar bensin mencegah terjadinya detonasi/ketukan pada proses pembakaran dalam bensin. Angka oktan ini merupakan perbandingan antara iso-oktana dengan n-oktana dalam bensin. Semakin tinggi nilai oktan artinya semakin banyak molekul iso-oktana dalam bensin tersebut. Iso-oktana merupakan rantai karbon bercabang sedangkan n-

oktana merupakan rantai lurus. Semakin banyak percabangan (semakin tinggi nilai iso-oktana), maka semakin ramah pula minyak tersebut terhadap mesin, sehingga tidak menyebabkan *knocking* (Saipulloh, 2007). Knocking adalah peledakan campuran (uap bensin dengan udara) di dalam silinder mesin dengan siklus Otto sebelum busi menyala. Peristiwa knocking ini sangat mengurangi daya mesin (Putra, 2005).

Dalam pengujiannya, terdapat dua jenis bilangan oktan yaitu bilangan oktan riset RON (*Research Octane Number*) dan bilangan oktan motor MON (*Motor Octane Number*). RON diukur pada kondisi pengujian yang mewakili kondisi di dalam kota, kecepatan rendah dan frekuensi percepatan/perlambatan tinggi. Sedangkan MON diukur pada kondisi pengujian yang mewakili kondisi di jalan raya bebas hambatan, kecepatan tinggi dan frekuensi percepatan/perlambatan rendah. Bilangan oktan yang diumumkan adalah rata-rata aritmatik kedua bilangan oktan tersebut yang kemudian disebut sebagai PON (*Posted Octane Number*).

Penambahan senyawa-senyawa organik logam berat dapat meningkatkan bilangan oktan bensin. Senyawa yang paling efektif dalam meningkatkan bilangan oktan adalah TEL (Tetra Ethyl Lead, $Pb(C_2H_5)_4$). Senyawa ini larut dalam bensin dan dapat mengakibatkan kenaikan yang besar pada bilangan oktan bensin yang ditambahkan. Kenaikan bilangan oktan karena penambahan TEL semakin kecil jika bilangan oktan semula semakin besar. Tetapi, penambahan TEL atau senyawa-senyawa logam berat lainnya dapat mencemari atmosfer dan menjadi racun bagi orang yang menghirupnya, maka digunakanlah senyawa-senyawa pengganti logam berat tersebut yaitu senyawa alkohol dan eter seperti metanol (CH_3OH), etanol (C_2H_5OH), Metil Tersier Butil Eter (MTBE), Etil Tersier Butil Eter (ETBE) dan Tersier Amil Metil Eter (TAME) (Putra, 2005).

Tabel 2.5 Angka Oktan Hidrokarbon Murni

Hidrokarbon	RON	MON
Normal Parafin		

Pentana	61,7	61,9
Heksana	24,8	26
Heptana	0	0
Oktana	-19	-15
Nonana	-17	-20
Isoparafin		
2-Metilbutana (Isopentana)	92,3	90,3
2-Metilheksana (Isoheptana)	42,4	46,4
2-Metilheptana (Isooktana)	21,7	23,8
2,4-Dimetilheksana	65,2	69,9
2,2,4-Trimetilpentana ("isooktana")	100	100
Olefin		
1-Pentena	90,9	77,1
1-Oktana	28,7	34,7
3-Oktana	72,5	68,1
4-Metil-1-Pentena	95,7	80,9
Aromatik		
Benzena		114,8
Toluena	120,1	103,5

(Arifianto, 2006)

II.5.2 Spesifikasi Bensin

Untuk memenuhi kinerja suatu motor kendaraan yang tinggi, bensin yang dihasilkan harus memenuhi persyaratan spesifikasi. Yang dimaksud spesifikasi adalah ketentuan yang menetapkan batas-batas kualitas suatu produk atau dapat juga diartikan sebagai ketentuan optimal yang harus mengkompromikan kebutuhan ideal para pemakai serta kemampuan teknis dan ekonomis pihak pemasok. Selain itu, segi keselamatan masyarakat umum yang mungkin dipengaruhi oleh dampak penggunaan dan penanganan produk tersebut juga harus diperhitungkan.

Spesifikasi bensin yang ditetapkan oleh pemerintah biasanya mencakup pertimbangan mengenai kebutuhan ideal kendaraan motor di negara yang

bersangkutan, kemampuan produksi dan ekonomi negara bersangkutan, serta kebijaksanaan umum mengenai lingkungan dan keselamatan masyarakat. Untuk mengurangi emisi yang ada sekarang ini, telah dibuat peraturan yang membatasi kandungan-kandungan yang ada didalam bensin.

Agar bensin dapat memenuhi proses kerja yang diinginkan maka bensin harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Harus dapat terbakar di semua silinder secara merata dan tanpa gangguan seperti ketukan pada mesin atau pembakaran yang tidak sempurna.
2. Harus dapat menguap dengan mudah sehingga dapat membuat campuran uap bensin dan udara yang dapat menyela dengan baik walaupun mesin berada dalam keadaan dingin.
3. Tidak boleh terlalu mudah menguap sehingga mengalami pendidihan dalam pompa dan atau saluran bahan bakar pada saat mesin atau udara berada dalam keadaan panas sehingga menimbulkan gangguan aliran seperti sumbatan uap yang dapat menghambat kerja mesin.
4. Harus dapat mudah menguap sehingga pada waktu mesin berada dalam keadaan panas dan bekerja dengan normal bagian yang menguap pada manifold pemasuk cukup banyak.
5. Tidak boleh mengandung komponen yang volatilitasnya terlalu rendah yang tidak mudah menguap atau tidak terbakar sempurna di dalam silinder.
6. Tidak meninggalkan sisa dan getah-getah pada sistem penyimpanan, penyaluran, dan pemasukan bahan bakar.
7. Harus dapat tahan disimpan untuk waktu cukup lama tanpa mengalami perubahan kimia dan pembentukan getah.
8. Harus cukup bersih dan tidak menimbulkan korosi pada logam yang bersentuhan dengan bahan bakar.

BAB III METODE PENELITIAN

III.1 Tahapan Umum Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan target utama pembentukan hidrokarbon setara fraksi bensin dengan *yield* yang setinggi-tingginya dari reaksi perengkahan katalitik minyak jarak. Penelitian ini terdiri dari 3 tahapan utama, yaitu:

1. Tahap Preparasi Katalis dan Karakterisasi

Dalam tahapan ini, katalis yang akan digunakan untuk reaksi dipersiapkan terlebih dahulu. Katalis dipersiapkan dengan metode impregnasi basah. Komposisi B_2O_3 dalam katalis dibuat bervariasi dengan persentase berat sebesar 5%, 10%, 15% dan 20%.

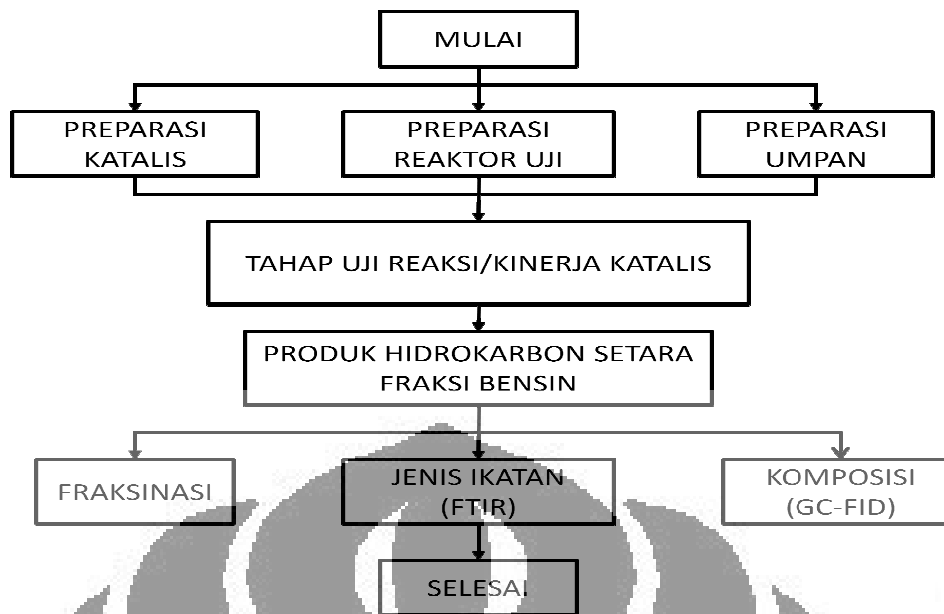
2. Tahap uji reaksi/ kinerja katalis

Tahap ini merupakan tahap utama dalam penelitian. Umpan berupa minyak jarak dan air akan direaksikan didalam *fixed bed reactor* dengan menggunakan katalis B_2O_3 /zeolit.

3. Tahap analisa produk hasil reaksi

Pada tahap ini akan dilakukan berbagai analisa terhadap hasil reaksi perengkahan katalitik yang telah dilakukan. Analisanya meliputi penggunaan GC-FID dan FTIR untuk produk cair. Analisa dengan GC-FID dilakukan untuk menentukan komposisi dari produk cair yang diperoleh dan analisa FTIR digunakan untuk melihat apakah terjadi perengkahan dengan cara membandingkan jumlah gugus tertentu.

Secara keseluruhan tahapan penelitian ini dapat dijelaskan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

III.2 Tahapan Rinci Metode Penelitian

Tahapan penelitian ini diuraikan secara terperinci sesuai yang telah dilakukan untuk melihat tingkat keberhasilan kinerja katalis B_2O_3 /Zeolit serta tingkat keberhasilan reaksi konversi minyak jarak menjadi bensin.

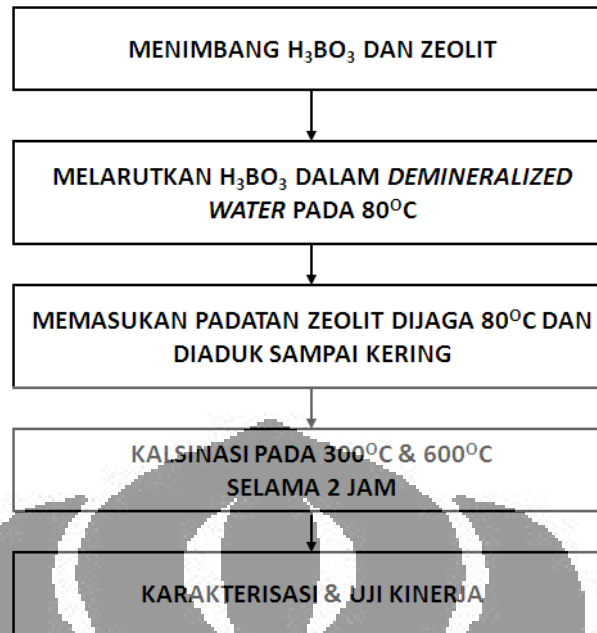
III.2.1 Preparasi Katalis dan Karakterisasi

III.2.1.1 Preparasi katalis

Preparasi katalis dilakukan dengan penambahan B_2O_3 ke dalam permukaan katalis untuk meningkatkan keasaman katalis. Sistem katalis tersebut dipreparasi dengan metode impregnasi.

Komposisi B_2O_3 dalam katalis akan dibuat bervariasi yaitu 5% B_2O_3 , 10% B_2O_3 , 15% B_2O_3 , dan 20% B_2O_3 .

Diagram alir untuk preparasi katalis dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Preparasi Katalis

Prosedur untuk preparasi katalis adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Menimbang H_3BO_3 yang dibutuhkan:
 Massa H_3BO_3 yang diperlukan

$$= \frac{2}{1} \times \frac{Mr. H_3BO_3}{Mr. B_2O_3} \times (\% B_2O_3 \times \text{Basis Massa Katalis})$$
3. Memasukkan H_3BO_3 ke dalam *beaker glass* yang berisi *demineralized water* sebanyak 50 ml.
4. Memanaskan larutan H_3BO_3 pada *hot plate* yang dilengkapi *stirrer*, dijaga pada suhu $80^\circ C$ sampai padatan larut (bening).
5. Memasukkan Zeolit kedalam larutan diatas.

$$\text{Massa Zeolit} = \text{Basis Massa Katalis} - \text{Massa } H_3BO_3$$

6. Memanaskan dengan *hot plate* dan *stirrer*, dijaga pada suhu $80^\circ C$ sampai kering.
7. Melakukan kalsinasi pada padatan yang telah diimpregnasi pada temperatur $300^\circ C$ selama 2 jam dan $600^\circ C$ selama 2 jam.
8. Selanjutnya katalis akan dilakukan karakterisasi dengan menggunakan XRD.

Alat dan bahan yang digunakan pada tahapan ini:

1. *Beaker glass* 300 ml.
2. *Hot Plate* dan *Stirrer*.
3. Termometer.
4. Timbangan dan kertas timbangan.
5. Botol 5 buah.
6. Cawan 5 buah.
7. Spatula.
8. *Demineralized water*.
9. Katalis Zeolit.
10. Padatan asam borat.

III.2.1.2 Karakterisasi Katalis

III.2.1.2.1 XRD (X-Ray Diffraction)

Tujuan karakterisasi XRD ini adalah untuk mengetahui derajat kekristalan katalis. Prinsip dari XRD adalah difraksi yang disebabkan oleh adanya hubungan fasa tertentu antara dua gerak gelombang atau lebih sehingga paduan gelombang tersebut dapat saling menguatkan. Berdasarkan pengukuran XRD ini didapatkan *d-value* dari Hukum *Bragg* dan intensitas (counts). Setiap unsur atau senyawa akan memiliki nilai *d* dan intensitas yang spesifik. Selanjutnya kristalinitas dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{\sum \text{intensitas tinggi puncak terpilih dari sampel uji}}{\sum \text{intensitas tinggi puncak terpilih dari sampel standar}} \times 100\%$$

Karakterisasi katalis pada penelitian ini menggunakan metode X-Ray Diffraction yang dilakukan di Fakultas Metalurgi Universitas Indonesia. Jangkauan sudut difraksi 2θ yang digunakan berkisar antara $20^\circ - 100^\circ$.

Hal-hal yang dilakukan pada saat menggunakan alat XRD sebagai berikut:

- 1) Sampel dibuat sedemikian rupa sehingga sesuai dengan tabung Cu yang digunakan. Sebelum melakukan percobaan, analis harus memeriksa terlebih dahulu seluruh peralatan yang hendak digunakan apakah sudah sesuai dengan pedoman keamanan secara umum. Hal ini sangat penting untuk diperhatikan guna menghindari efek-efek yang tidak diinginkan.

- 2) Setelah semua hal ini sesuai dengan ketentuannya, pengujian katalis dapat dilakukan berdasarkan spesifikasi peralatan yang sudah diterapkan.
- 3) Data hasil pengujian tersebut kemudian dianalisa.

III.2.2 Percobaan Uji Reaksi/Kinerja Katalis

Alat yang digunakan dalam uji reaksi adalah:

- 1) Reaktor *fixed bed system*
- 2) *Syringe* 10 ml dan 3 ml
- 3) Botol gelas
- 4) *Glass beaker* 100 ml
- 5) Cawan petri
- 6) Timbangan
- 7) Spatula

Bahan yang digunakan dalam uji reaksi adalah:

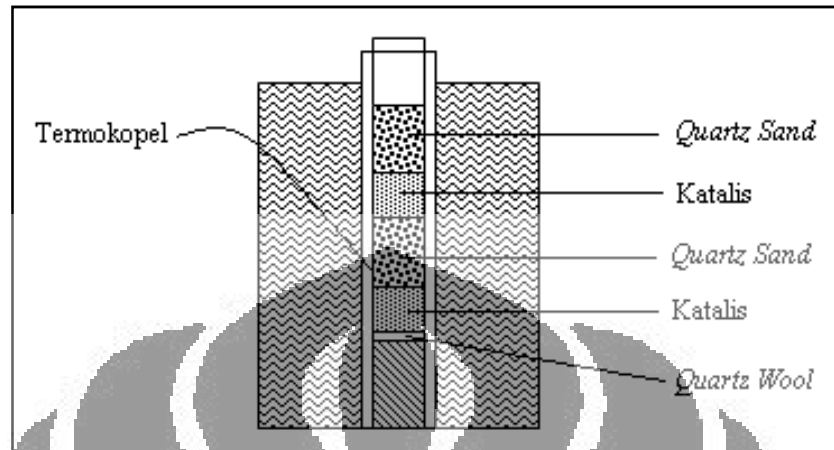
- 1) Katalis B_2O_3 /Zeolit
- 2) Minyak jarak
- 3) Aquades
- 4) Gas Nitrogen
- 5) Quartz wool
- 6) Quartz Sand

Reaktor yang digunakan terbuat dari *stainless steel* SS-316 dengan ukuran diameter 6 mm dan panjang 550 mm. Reaktor untuk melangsungkan reaksi perengkahan disusun sebagai berikut:

- 1) Mengisi reaktor dengan prosedur sebagai berikut:
 - Masukkan *glass wool* sebanyak 0,2 gr ke dalam reaktor. Pastikan tidak ada lubang untuk mencegah katalis tumpah.
 - Masukkan katalis yang akan digunakan sebanyak 2 gram.
 - Masukkan *quartz sand* sebanyak 3 gr sebagai media pemanas bagi umpan, sehingga umpan terjaga dalam fasa uap pada saat berkontak dengan katalis, yaitu pada suhu 400-500°C. *Quartz sand* juga berfungsi untuk mencegah terjadinya *pressure drop* yang tinggi .

- Masukkan kembali katalis sebanyak 2 gram.
- Masukkan kembali *quartz sand* sebanyak 3 gr.

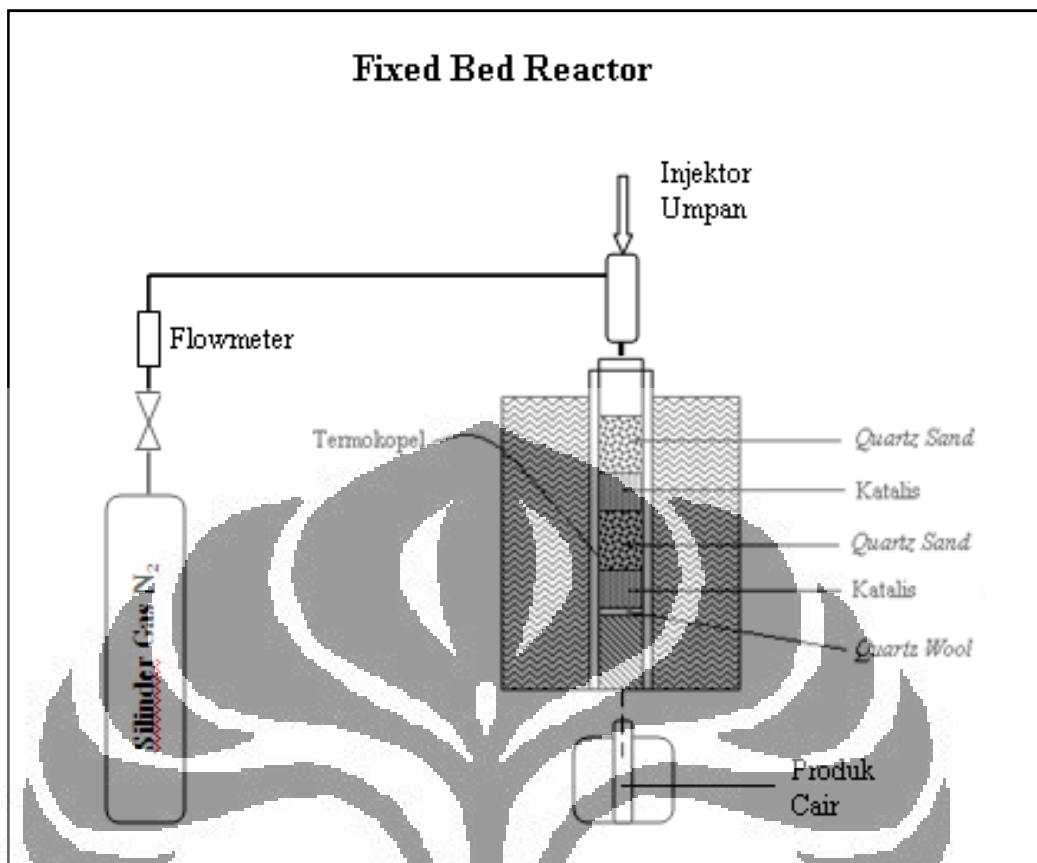
Deskripsi rancangan reaktor yang digunakan seperti pada Gambar 3.3:



Gambar 3.3 Rancangan Reaktor

- 2) Tutup reaktor dan kencangkan baut-bautnya.
- 3) Sambungkan pipa nitrogen ke reaktor. Pastikan sambungan telah pas dan lakukan tes kebocoran.
- 4) Pasang tabung reaksi sebagai wadah untuk menampung produk cair reaksi.

Pada bagian sisi luar unggun katalis, disematkan pipa kecil untuk peletakkan 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 3.4.



Gambar 3.4 Bagan Diagram Alir Reaktor

Prosedur percobaan perengkahan katalitik dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan
- 2) Set suhu di reaktor pada 400°C, tunggu ± 20 menit sampai suhu di reaktor stabil.
- 3) Selanjutnya, gas pembawa (nitrogen) dialirkan kedalam sistem rangkaian aliran pada tekanan 1,5 kgf/cm².
- 4) Memasukkan umpan minyak jarak dan air dengan menggunakan metode injeksi. Penginjeksian minyak dan air dilakukan berselang-seling dan bertahap setiap 5 menit.
- 5) Mengulangi prosedur (2) sampai (4) untuk katalis yang berbeda dengan rasio umpan yang terbaik.
- 6) Mengulangi prosedur (2) dan (4) untuk temperatur yang berbeda dengan rasio umpan dan katalis yang terbaik.



Gambar 3.5 Fixed Bed Reactor

III.2.3 Tahap Analisa Produk Hasil Reaksi

Tahap yang terakhir adalah identifikasi hasil reaksi dan analisa sampel yang diperoleh dengan menggunakan analisa fraksinasi, *Gas Chromatography* (GC-FID), dan FTIR.

III.2.3.1 Analisa Fraksinasi

Objektif dari penelitian ini adalah menghasilkan atau memproduksi hidrokarbon setara fraksi bensin. Hasil reaksi perengkahan katalitik pada penelitian ini masih berupa hidrokarbon yang belum spesifik, dengan kata lain, belum dapat diketahui secara pasti tergolong dalam fraksi apa produk yang dihasilkan tersebut. Secara teori, produk yang dihasilkan tersebut setara dengan *crude oil* dalam hal kandungan senyawa, sehingga terdiri dari beberapa fraksi hidrokarbon. Untuk mengetahui kuantitas dari produk fraksi bensin yang dihasilkan, maka dilakukan analisa fraksinasi.

Dalam analisa fraksinasi ini, produk hidrokarbon hasil reaksi perengkahan akan dipanaskan sampai titik didih maksimum fraksi bensin. Dalam penelitian ini, pemanasan dilakukan pada suhu 120°C selama 90 menit. Dengan perlakuan tersebut, diharapkan kandungan fraksi bensin dalam produk hidrokarbon cair yang

dihasilkan akan menguap. Dengan demikian, dapat dihitung massa dari produk fraksi bensin yang dihasilkan untuk masing-masing reaksi yang dilakukan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$m_g = m_1 - m_2$$

dengan: m_g = massa fraksi gasoline

m_1 = massa sebelum fraksinasi

m_2 = massa setelah fraksinasi

Dengan prinsip yang sama seperti persamaan (1) diatas, dapat dihitung konversi dan *yield* dari reaksi yang dilakukan. Persamaan untuk menghitung konversi dan *yield* sebagai berikut:

$$\% \text{ fraksi} = \frac{m_1 - m_2}{m_1}$$

$$\% \text{ yield} = \frac{m_0 - m_2}{m_0}$$

dengan: m_0 = massa umpan



Gambar 3.6 Analisa Fraksinasi

Contoh perhitungan fraksi dan yield

Diketahui massa produk reaksi sebelum fraksinasi adalah 1,4882 gr dengan kondisi operasi tertentu. Sedangkan massa setelah fraksinasi sebesar 0,8842 gr dan massa umpan 3,24 gr.

Dengan demikian dapat dihitung konversi dan yield dari produk tersebut, sebagai berikut:

$$\% \text{ fraksi} = \frac{1,4882 - 0,8842}{3,24} = 40,59\%$$

$$\% \text{ yield} = \frac{1,4882 - 0,8842}{3,24} = 18,64\%$$

Analisa fraksinasi ini juga dapat menentukan kondisi reaksi yang menghasilkan *yield* terbesar. Kondisi terbaik reaksi ini mencakup temperatur, komposisi katalis, dan rasio umpan. Dalam menentukan kondisi terbaik, ada tiga parameter umum yang dapat digunakan, yakni *yield*, fraksi, dan selektifitas. Namun, untuk menyederhanakan pekerjaan ini, *yield* dipilih karena sudah mewakili dua parameter yang lain.

III.2.3.2 Analisa FTIR

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui jenis ikatan-ikatan yang dimiliki oleh sampel yang dihasilkan dari proses konversi katalitik. Prosedur analisa FTIR adalah sebagai berikut:

1. Aktifkan *software winfirst*, dan lakukan *scanning* pada keadaan FTIR belum terisi sampel,
2. Oleskan sampel yang akan diuji pada wadah kaca didalam FTIR,
3. Lakukan *scanning* sampel menggunakan *software*,
4. Hasil *scanning* dapat dilihat pada tampilan layar komputer.

III.2.3.3 Analisa GC-FID

Produk cair dianalisa dengan menggunakan instrumen kromatografi gas jenis FID dari Shimazu GC 6890 dengan kromatogram RC26 dan kolom yang digunakan adalah SE-30 sepanjang 3m. Kondisi GC FID dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Analisa FID

Column	SE-30
Carrier	Nitrogen dengan laju 40 ml/min
Oven	40°C selama 3 min; 40-130 °C dengan laju pemanasan 8°C/min dengan suhu 130°C selama 25 menit
Injector	150°C
Detector	FID 150°C. Nitrogen make up gas sebesar 30 ml/min

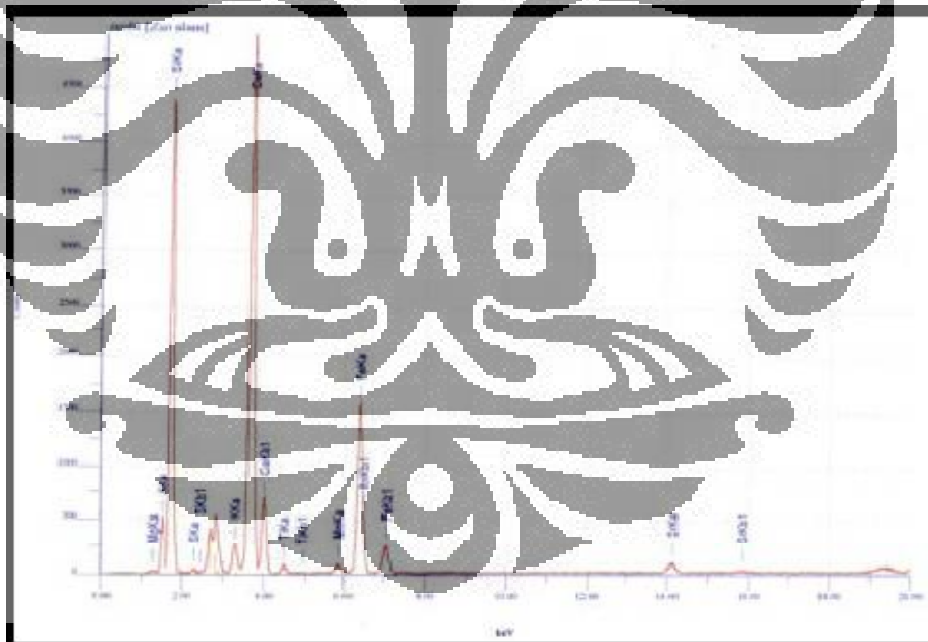
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini akan dibahas kedalam dua bagian, yaitu persiapan katalis (preparasi) yang selanjutnya dilakukan karakterisasi dengan metode XRF dan XRD serta uji aktivitas katalis. Dimana uji aktivitas katalis ini dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan katalis B_2O_3 /Zeolit dapat mengkonversi campuran minyak jarak dan air menjadi senyawa hidrokarbon setara fraksi bensin.

4.1 Persiapan dan Karakterisasi Katalis

4.1.1 XRF (X-Ray Fluorescence)

Metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) digunakan untuk mengetahui komposisi senyawa kimia dalam katalis secara semikuantitatif. Spektrum hasil analisa menggunakan XRF ditunjukkan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Spektrum Hasil Analisa XRF Zeolit Alam Malang (*fresh*)
(Astri, 2004)

Pada Tabel 4.1 disajikan kandungan senyawa kimia dalam zeolit alam Malang baik dalam bentuk oksidanya maupun dalam bentuk murninya. Kandungan Alumina (Al_2O_3) dan Silika (SiO_2) yang merupakan komponen utama

pembentuk rangka (*framework*) dari zeolit alam yaitu sebesar 10,2816% (wt) untuk alumina dan 53,2322% (wt) untuk silica. Sehingga perbandingan rasio Si/Al yang dimiliki oleh zeolit alam ini adalah sebesar 5,17, menunjukkan kerapatan atom Al cukup tinggi didalam struktur kerangka kristal zeolit.

Tabel 4.1 Hasil Analisa XRF Zeolit Alam Malang

Chemical Formula	Wt (%)	Chemical Formula	Wt (%)
Mg	1,3434	MgO	1,5965
Al	7,9040	Al ₂ O ₃	10,2816
Si	38,9490	SiO ₂	53,2322
S	0,2282	S	0,1267
K	2,3985	K ₂ O	1,5275
Ca	39,9281	CaO	27,6908
Ti	0,5278	TiO ₂	0,3802
Mn	0,3461	MnO	0,1886
Fe	8,0806	Fe ₂ O ₃	4,8386
Sr	0,2944	SrO	0,1374

(Atsri, 2004)

Berdasarkan Tabel 4.1, kandungan Kalsium oksida (CaO) dalam zeolit alam ini cukup tinggi (27,6908%) dan dapat dikatakan sebagai *original cations*.

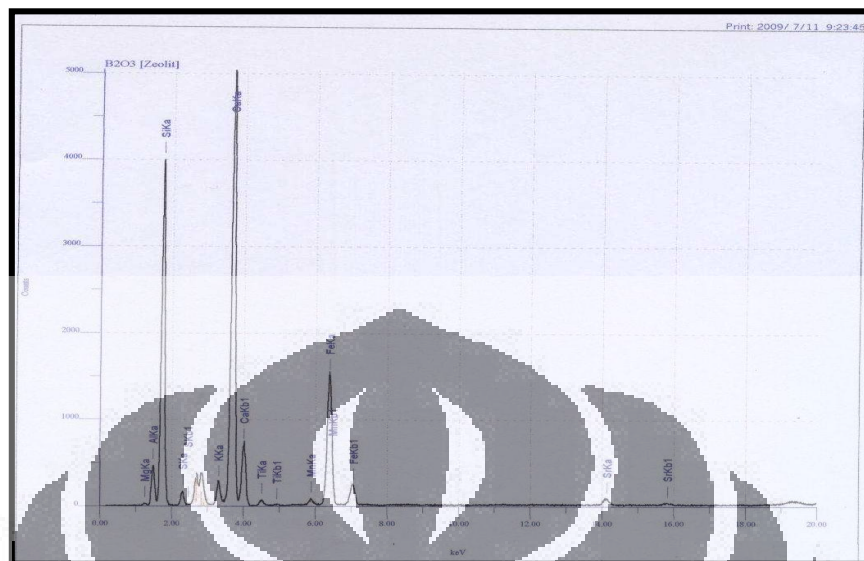
Selain itu terdapat juga komponen-komponen pengotor, seperti K₂O, MgO, TiO₂, MnO, SrO serta kandungan besi oksida (Fe₂O₃) yang cukup tinggi sebesar 4,8386% (wt). Keberadaan besi ini mengganggu proses kalsinasi, karena akan teroksidasi lebih lanjut oleh pemanasan tinggi dan zeolit yang telah dikalsinasi mengalami perubahan warna menjadi coklat kemerahan.

Gambar 4.2 menunjukkan perubahan warna katalis sebelum dan sesudah dilakukan kalsinasi.



Gambar 4.2 Foto Katalis Zeolit Sebelum dan Sesudah Kalsinasi

Gambar 4.3 menunjukkan hasil spektra XRF untuk katalis Zeolit Alam Malang setelah dimodifikasi dengan penambahan B_2O_3 .



Gambar 4.3 Spektrum Hasil Analisa XRF 5% B_2O_3 /Zeolit

Pada Tabel 4.2 disajikan kandungan senyawa kimia dalam zeolit alam Malang setelah dimodifikasi baik dalam bentuk oksidanya maupun dalam bentuk murninya.

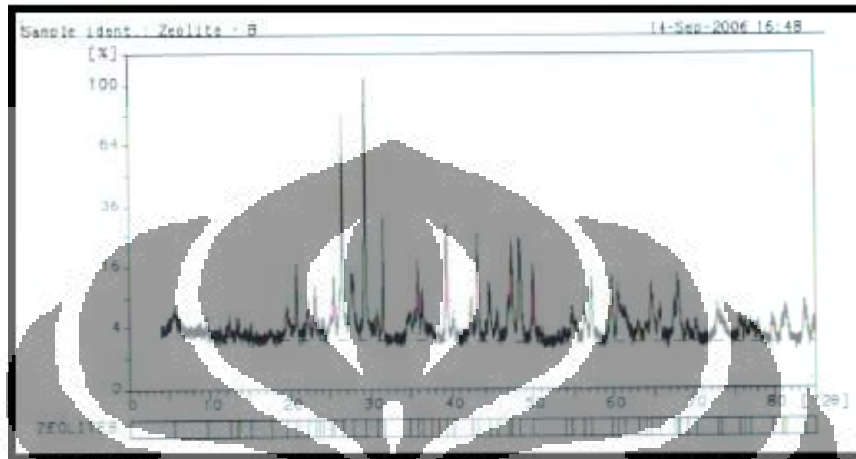
Tabel 4.2 Hasil Analisa XRF 5% B_2O_3 /Zeolit

Chemical Formula	Wt (%)	Chemical Formula	Wt (%)
Mg	1,5238	MgO	1,8257
Al	7,8191	Al_2O_3	10,2664
Si	36,6375	SiO_2	50,7692
S	0,8778	S	0,4984
K	2,3969	K_2O	1,5582
Ca	41,2046	CaO	29,1762
Ti	0,5633	TiO_2	0,4154
Mn	0,3819	MnO	0,2613
Fe	8,2722	Fe_2O_3	5,0746
Sr	0,3228	SrO	0,1546

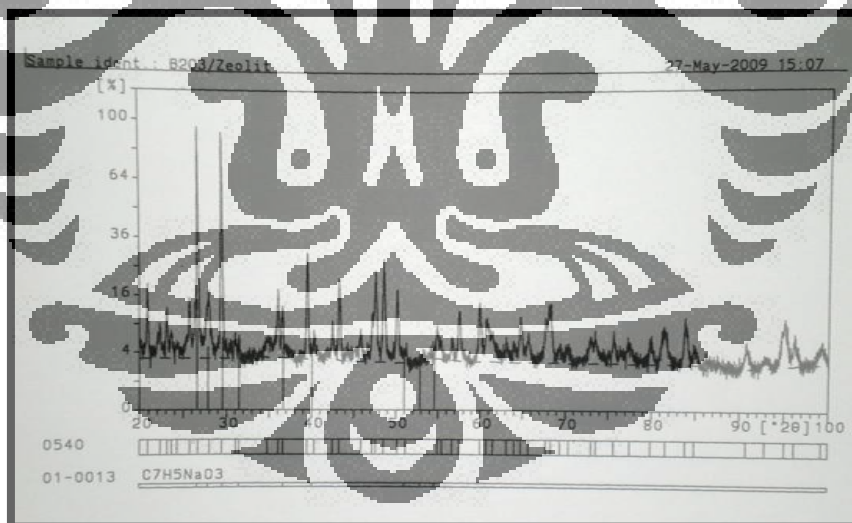
Berdasarkan Tabel 4.2, penambahan B_2O_3 kedalam zeolit tidak menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap kandungan senyawa kimia dalam zeolit. Rasio Si/Al zeolit setelah dilakukan penambahan B_2O_3 adalah sebesar 4,95, tidak jauh berbeda dengan zeolit sebelum dilakukan penambahan B_2O_3 , yaitu sebesar 5,17.

4.1.2 XRD (X-Ray Diffraction)

Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui derajat kekristalan katalis. Selain itu juga untuk mengetahui apakah kristalinitas zeolit dipengaruhi oleh adanya penambahan B_2O_3 . Hasil spektra XRD untuk katalis Zeolit Alam Malang murni (*fresh*) dan katalis 5% B_2O_3 /Zeolit dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.4 Spektrum Difraksi Sinar X dari Zeolit Alam Malang Murni (Atsri, 2004)



Gambar 4.5 Spektrum difraksi Sinar X dari 5% B_2O_3 /Zeolit

Berdasarkan Gambar 4.4 dan 4.5 dapat diketahui posisi puncak-puncak yang dimiliki zeolit sebelum dan sesudah dimodifikasi berada disekitar sudut difraksi 20-45 ($^{\circ}2\theta$). Hal ini memperlihatkan bahwa puncak-puncak dari zeolit yang telah mengalami modifikasi dengan penambahan B_2O_3 sebanyak 5% tidak

mengalami perubahan yang besar, yang dapat diartikan bahwa zeolit tidak kehilangan kristalinitasnya dengan penambahan B_2O_3 . Lebih jelasnya lagi dapat dilihat dari Tabel 4.3 dimana dapat dilihat kesamaan dari nilai d dengan zeolit *fresh* (asli)

Tabel 4.3 Data Perbandingan Nilai d dari Hasil Analisa XRD untuk Zeolit Malang dengan Zeolit Hasil Modifikasi

No	d -value untuk Zeolit <i>Fresh</i> (Asli)		d -value untuk Zeolit Modifikasi 5% B_2O_3	
	α_1 [$^\circ A$]	α_2 [$^\circ A$]	α_1 [$^\circ A$]	α_2 [$^\circ A$]
1	2,2903	2,2958	2,2823	2,2879
2	2,0982	2,1034	2,0904	2,0956
3	1,9857	1,9906	1,9773	1,9822
4	1,9168	1,9215	1,9086	1,9133
5	1,8795	1,8841	1,8736	1,8783
6	1,8228	1,8273	1,8170	1,8215
7	1,6071	1,6111	1,6015	1,6054
8	1,5444	1,5483	1,5416	1,5454
9	1,5272	1,531	1,5237	1,5275

Penambahan B_2O_3 tidak menyebabkan terbentuk fasa baru karena tidak adanya puncak-puncak baru, hal ini menunjukkan bahwa Boron oksida yang ditambahkan pada preparasi zeolit diperkirakan mengalami dispersi dan pencampuran yang merata diseluruh permukaan. Kristal Boron oksida akan membentuk spesi peroksida (O^{2-}) yang terbentuk dari ikatan oksigen yang berasal dari Boron oksida dengan oksida dari ikatan tetrahedron silikat. Spesi ini akan terbentuk pada temperatur sekitar $600^\circ C$ sesuai dengan suhu kalsinasi yang dilakukan dan pada temperatur ini kristal B_2O_3 tersebar dan berinteraksi dengan permukaan zeolit secara eksternal maupun internal dalam bentuk partikel kristal berukuran mikron.

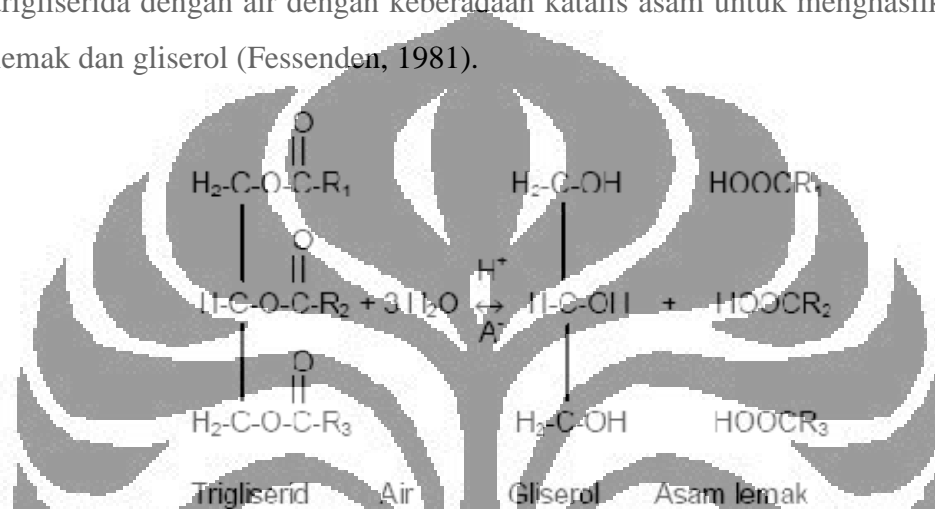
4.2 Hasil Uji Aktifitas Katalis

Minyak nabati merupakan senyawa yang reaktif, apabila mengalami pemanasan sampai pada temperatur diatas $350^\circ C$, minyak akan mengalami

polikondensasi dan polimerisasi (Ma, 1999). Kereaktifan suatu minyak terletak pada gugus ester dan ikatan rangkap yang dimilikinya.

Sesuai dengan proposal penelitian yang telah diajukan oleh peneliti, untuk mencegah atau mengurangi kereaktifan minyak, dilakukan pencampuran air pada umpan minyak. Penambahan air akan mengurangi kereaktifan minyak melalui jalur hidrolisis.

Reaksi hidrolisis pada minyak jarak merupakan reaksi antara molekul trigliserida dengan air dengan keberadaan katalis asam untuk menghasilkan asam lemak dan gliserol (Fessenden, 1981).

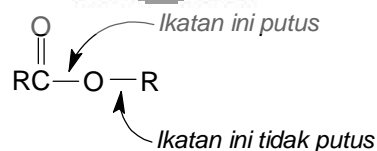


Gambar 4.6. Reaksi Hidrolisis Trigliserida

Jika air yang digunakan diberi oksigen bertanda yaitu oksigen 18 dalam hidrolisis itu, oksigen bertanda ini akan berada dalam asam karboksilat.

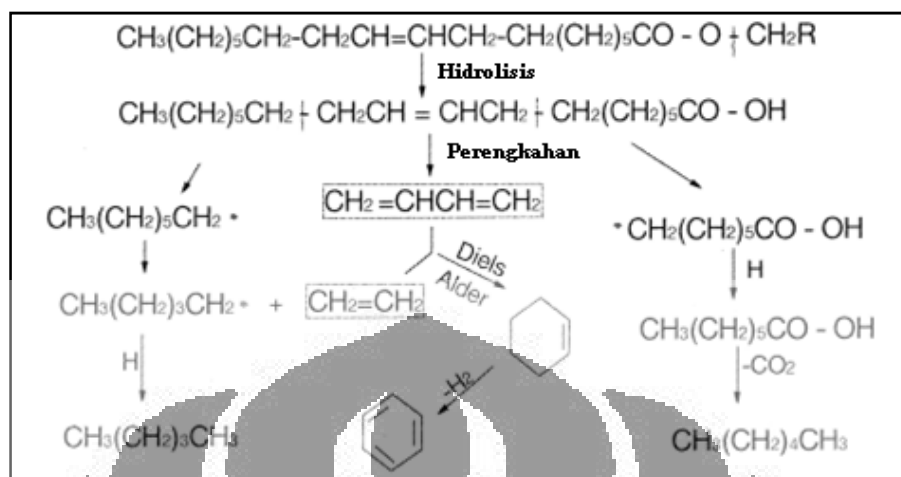


Sebabnya ialah karena air menyerang gugus karbonil. Sedangkan ikatan RO tidak putus dalam hidrolisis.



Minyak jarak yang telah terhidrolisis, selanjutnya mengalami reaksi perengkahan. Perengkahan merupakan proses konversi molekul-molekul organik

kompleks menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana dengan putusnya ikatan karbon-karbon dalam rantai molekul tersebut (Fessenden & Joan, 1981).



Gambar 4.7 Mekanisme Reaksi Hidrolisis dan Perengkahan (Fangrui Ma, 1999)

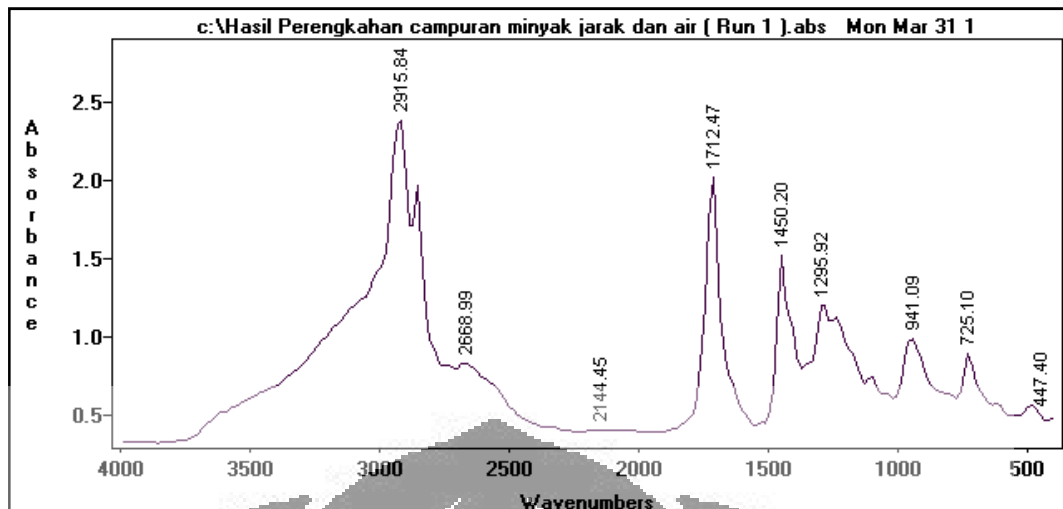
Produk yang dihasilkan pada temperatur 400-450°C umumnya mengendap pada suhu ruang, disebabkan karena masih adanya produk hasil hidrolisis (asam lemak) yang belum terengkah. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi hidrolisis minyak jarak telah terjadi.



Gambar 4.8 Produk Perengkahan Campuran Minyak Jarak dan Air pada T=400°C

Hal ini juga diperkuat oleh hasil analisa FTIR pada produk tersebut.

Gambar 4.9 Menunjukkan hasil analisa FTIR produk perengkahan pada T=400°C.



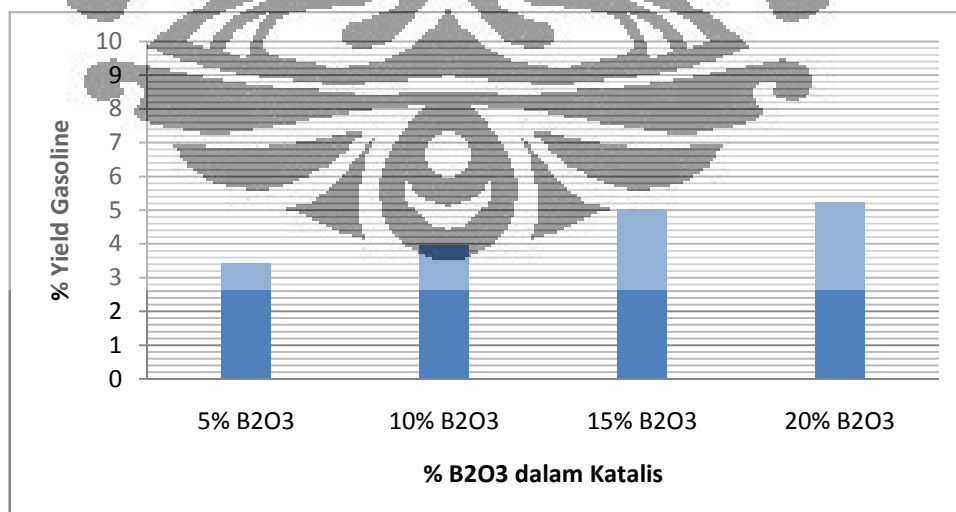
Gambar 4.9 Hasil Analisa FTIR Produk Perengkahan $T = 400^{\circ}\text{C}$

Keberadaan gugus ikatan $\text{C}=\text{O}$ ester pada bilangan gelombang 1730-1750 dan gugus ikatan $\text{O}-\text{H}$ alkohol pada bilangan gelombang 3200-3610, menunjukkan terdapatnya asam lemak sebagai hasil reaksi hidrolisis minyak jarak yang tidak terengkah.

4.2.1 Pengaruh Penambahan B_2O_3 Terhadap Yield Produk Perengkahan

Katalis ini divariasikan dengan tujuan untuk memperoleh katalis optimum. Pengaruh katalis diamati ketika rasio umpan yang digunakan adalah 2:1 (rasio berat air/minyak) dan temperatur 400°C .

Pengaruh penambahan B_2O_3 terhadap *yield* bensin yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.10.

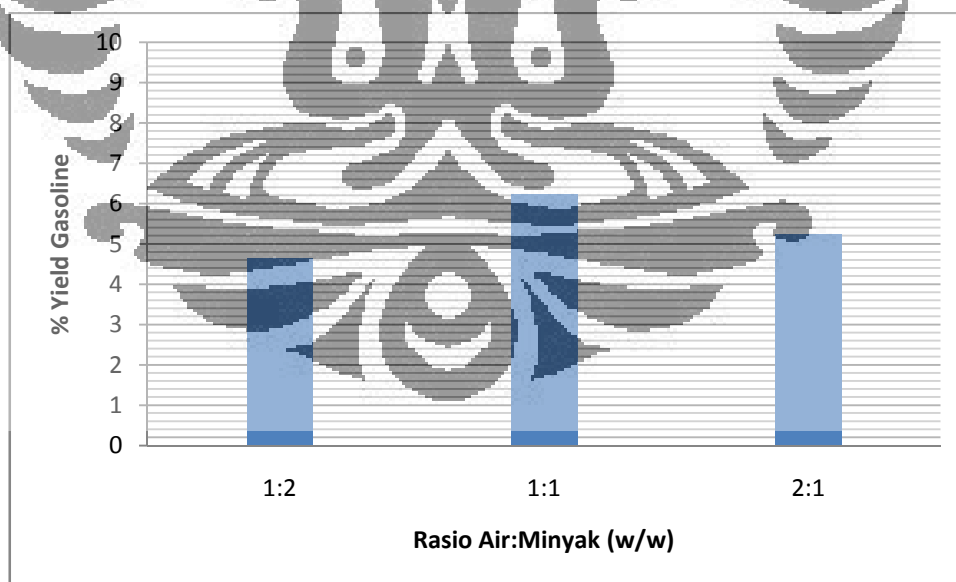


Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Penambahan B_2O_3 terhadap *yield* Bensin, pada Temperatur 400°C dan umpan rasio umpan 2:1 (w.air : w.minyak)

Dari Gambar 4.10 diatas dapat dilihat kecenderungan *yield* yang dihasilkan terhadap % B_2O_3 . Yakni, semakin besar % B_2O_3 , semakin besar persentase *yield* yang dihasilkan. Penambahan B_2O_3 ke dalam katalis dimaksudkan untuk membentuk spesi peroksida pada permukaan katalis. Dengan kata lain, penambahan ini akan menyebabkan penambahan keasaman katalis yang diakibatkan pertambahan Bronsted sites dari katalis tersebut. Dan reaksi perengkahan merupakan reaksi yang dikatalisasi dengan katalis asam dan berjalan dengan lebih baik jika keasaman meningkat sampai kadar asam tertentu (Mailisa, 2006). Dan dari hasil data yang diperoleh, katalis yang memberikan *yield* fraksi bensin paling tinggi adalah 20% B_2O_3 /Zeolit.

4.2.2 Pengaruh Rasio Umpan Terhadap Yield Produk Perengkahan

Umpan yang digunakan pada penelitian ini berupa campuran minyak jarak dan air. Rasio berat minyak jarak dan air divariasikan untuk memperoleh rasio umpan yang menghasilkan *yield* terbesar. Variasi rasio umpan ini terdiri dari 1:2 ; 1:1 ; dan 2:1 (w.minyak jarak : w.air). Pengaruh rasio umpan diamati ketika katalis yang digunakan adalah 20% B_2O_3 /Zeolit dan temperatur 400°C. Pengaruh rasio terhadap *yield* bensin yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.11.



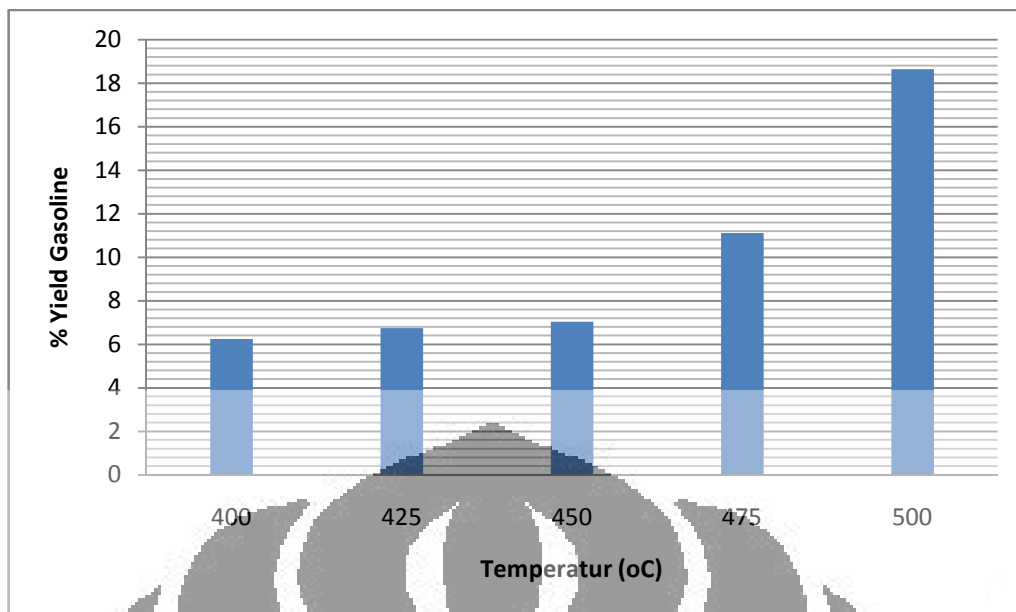
Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Rasio Umpan terhadap *yield* Bensin, pada Temperatur 400°C dan Katalis 20% B_2O_3 /Zeolit

Tujuan awal dari pencampuran air dengan umpan minyak jarak adalah untuk menghindari terjadinya reaksi polimerisasi dan polikondensasi senyawa trigliserida minyak jarak melalui pretreatment hidrolisis. Sehingga besar kecilnya *yield* gasoline yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh seberapa besar konversi reaksi hidrolisis minyak jarak. Semakin besar konversi hidrolisis minyak jarak, semakin sedikit senyawa trigliserida yang tersisa, sehingga *yield* gasoline yang dihasilkan akan semakin besar.

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa rasio umpan yang memberikan %*yield* terbesar adalah 1:1. Pada rasio 1:1 (w/w), sebagian besar trigliserida telah dikonversi menjadi senyawa asam lemak dan gliserol, sehingga reaksi perengkahan dapat lebih mudah terjadi. Hal ini sesuai dengan Ambrose (2006) yang telah berhasil melakukan reaksi hidrolisis minyak sawit dengan katalis campuran LABS (Linear Alkyl Benzene Sulfonate) dan asam sulfat. Konversi maksimum sebesar 70% diperoleh dengan rasio umpan 1:1 (w/w). Dengan demikian, rasio umpan yang terbaik pada penelitian ini adalah 1:1 (w/w).

4.2.3 Pengaruh Temperatur Terhadap Yield Produk Perengkahan

Pada bagian ini akan diselidiki pengaruh temperatur terhadap *yield* bensin yang dihasilkan. Temperatur ini divariasikan dengan tujuan untuk memperoleh temperatur optimum yang terjadi dalam reaksi perengkahan. Pengaruh temperatur diselidiki ketika katalis yang digunakan 20% B_2O_3 /Zeolit dan rasio umpan (1:1). Pengaruh temperatur terhadap *yield* bensin yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap *yield* Bensin, dengan Katalis 20% B_2O_3 /Zeolit dan rasio umpan 1:1 (w/w)

Temperatur memiliki pengaruh cukup besar pada reaksi perengkahan. Pada temperatur 400°C *yield* bensin yang dihasilkan hanya ±6%, sedangkan pada temperatur 500°C *yield* bensin yang dihasilkan ±19%. Kenaikkan *yield* bensin dapat diartikan sebagai meningkatnya reaksi perengkahan yang terjadi.

Suatu reaksi perengkahan adalah reaksi endotermis dimana reaksi ini melibatkan proses pemutusan ikatan, dan untuk dapat memutuskan suatu ikatan diperlukan energi panas yang besar. Pada temperatur yang tinggi, difusi reaktan ke dalam katalis juga akan lebih baik karena temperatur tinggi akan meningkatkan laju kinetika molekul. Jika difusi lebih baik, maka reaktan yang dapat masuk ke pori zeolit lebih banyak sehingga reaktan yang terengkahkan juga lebih banyak dan produknya lebih variatif (Mailisa, 2004). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa temperatur terbaik pada penelitian ini adalah 500°C.

Yield bensin dari hasil perengkahan katalitik campuran minyak jarak dan air umumnya menghasilkan %*yield* dibawah 20%. Hal ini karena, selain memberikkan efek positif, keberadaan air juga dapat memberikan efek negatif terhadap sifat katalis *fresh*. Air dapat menyebabkan terjadinya dealuminasi zeolit, sehingga akan menurunkan luas permukaan dan berpengaruh terhadap penurunan aktifitas katalis. Selain itu, sifat polar pada air dapat menyebabkan air akan

bersaing dengan umpan untuk teradsorpsi kedalam katalis sehingga aktifitas dan selektifitas katalis akan menurun (Corma, 2004).

Setelah mengetahui kombinasi parameter-parameter penentu reaksi yang paling baik (temperatur, komposisi katalis, dan rasio umpan), maka dilakukan satu reaksi perengkahan dengan kombinasi parameter tersebut. Produk reaksi ini akan dianalisa dengan instrumen yang lain, yakni FTIR, dan GC-FID.

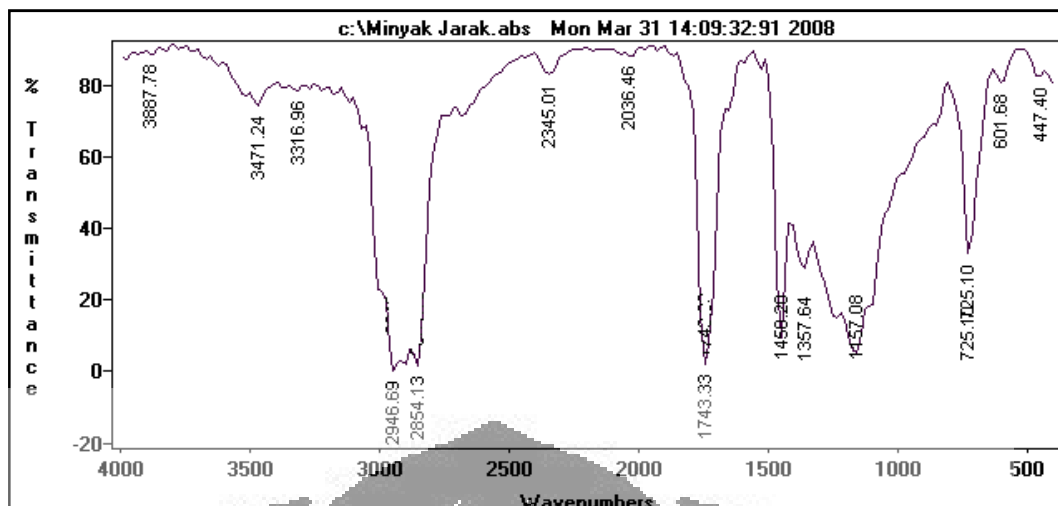
4.3 Analisa FTIR

Analisa FTIR akan dilakukan untuk tiga jenis sampel, minyak jarak murni, produk terbaik, dan bensin komersial. Tujuan analisa ini adalah untuk melihat perubahan gugus atau ikatan yang terjadi setelah reaksi perengkahan. Selain itu, analisa ini bertujuan juga untuk melihat sejauh mana produk yang dihasilkan bersesuaian dengan bensin komersial sebagai target dari penelitian ini.

Sifat yang dilakukan adalah secara kualitatif dengan melihat gugus yang terdapat pada produk hasil reaksi yang kemudian dibandingkan dengan banyaknya gugus yang terdapat pada umpan berdasarkan absorbansinya. Absorbansi spektrum FTIR dapat menunjukkan secara khusus pada panjang gelombang yang spesifik.

4.3.1 Minyak Jarak Murni

Gambar 4.13 menunjukkan spektra dari minyak jarak. Pada gambar tersebut terlihat, ikatan-ikatan yang dominan adalah C-H berupa alkana dengan tampilan kuat yang terdeteksi pada bilangan gelombang $2946,69\text{ cm}^{-1}$ dan $2854,13\text{ cm}^{-1}$, ester (C=O) yang terdeteksi pada bilangan gelombang $1743,33\text{ cm}^{-1}$, ikatan C-H berupa alkil pada bilangan gelombang $1450,20\text{ cm}^{-1}$, ikatan C-O pada bilangan gelombang $1157,08\text{ cm}^{-1}$.

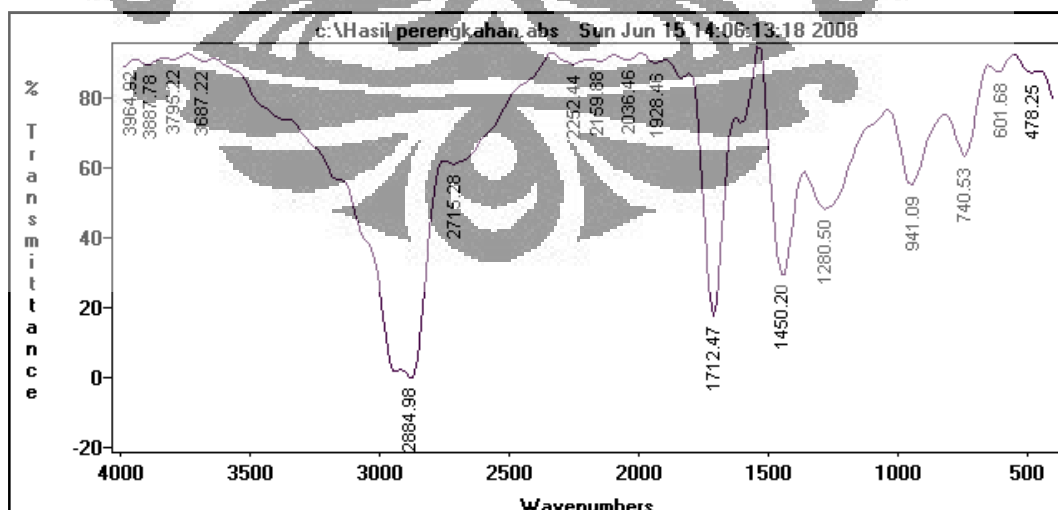


Gambar 4.13 Spektra FTIR Minyak Jarak

4.3.2 Produk Perengkahan

Gambar 4.14 menunjukkan spektra FTIR hasil reaksi perengkahan campuran minyak jarak dengan air pada suhu 500°C dengan katalis 20% B₂O₃/Zeolit dan rasio umpan 1:1 (berat air/minyak).

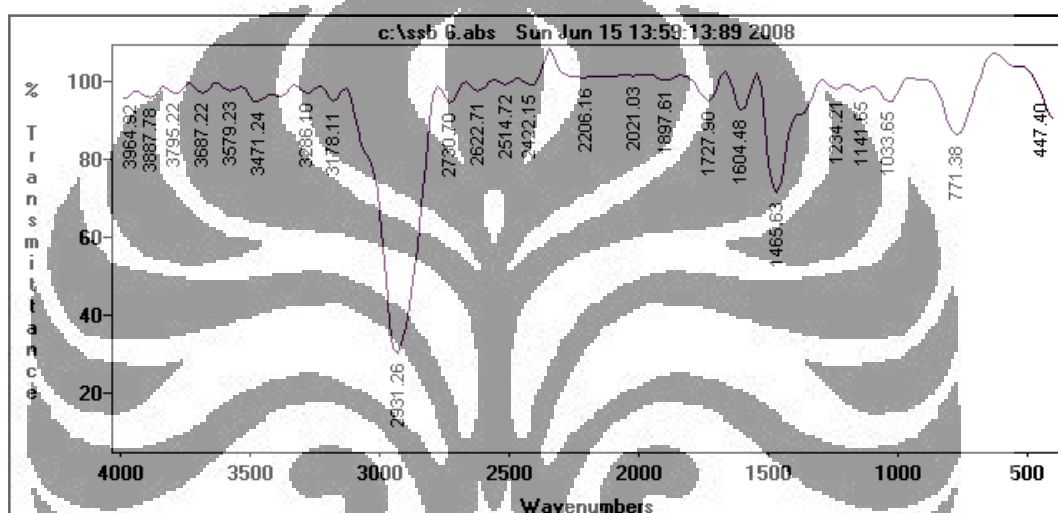
Spektra yang ditunjukkan pada gambar tersebut memperlihatkan bahwa ikatan yang dominan adalah ikatan C-H pada alkana yang terdeteksi pada bilangan gelombang 2882,98 cm⁻¹. Selain itu, terdapat ikatan C=O keton pada bilangan gelombang 1712,47 cm⁻¹ dan ikatan C-H pada alkil yang terdeteksi pada bilangan gelombang 1450,20 cm⁻¹.



Gambar 4.14 Spektra FTIR Produk Perengkahan

4.3.3 Bensin Komersial

Sebagai pembandingan, berikut ini disajikan spektra dari bensin komersial yang disajikan pada Gambar 4.15. Dari gambar tersebut dapat dilihat ikatan yang dominan adalah C-H alkana pada bilangan gelombang 2931,26 cm^{-1} . Selain itu, ikatan yang terdeteksi lainnya adalah ikatan C-H pada alkil yang terdeteksi pada bilangan gelombang 1465,63 cm^{-1} . Sehingga secara keseluruhan ikatan yang dominan pada bensin komersial adalah C-H baik dalam bentuk alkana maupun dalam bentuk alkil (cabang).



Gambar 4.15 Spektra FTIR Bensin Komersial

Perbandingan peak-peak yang muncul untuk berbagai jenis hasil FTIR yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan Transmittansi Minyak Jarak, Produk Perengkahan, dan Bensin Komersial

Jenis Ikatan	Gugus	Bil. Gelombang (cm^{-1})	Transmittansi		
			Minyak Jarak	Produk Perengkahan	Bensin Komersial
C-H	Alkana	2850-2965	0	0	29,89
C=O	Keton	1705-1725	-	17,37	-
C=O	Ester	1730-1750	2,01	-	-
RCH ₃	Alkil	1450-1475	9,5	29,43	71,51
C-H	CH ₂ -	1350-1380	29,11	-	-
RC(CH ₃) ₃	Alkil	1235-1255	-	-	-
C-C	Alkana	700-1200	33,16	55,16	86,19

O-H	Alkohol	3200-3610	-	-	-
C=C	Alkena	1450-1600	-	-	-

Perubahan data transmitansi menunjukkan bahwa minyak jarak, sebagai bahan baku utama, telah mengalami perubahan struktur. Pada data transmitansi telah terjadi pemutusan ikatan ester yang ditandai dengan berkurangnya gugus ester. Pengurangan jumlah ikatan C-O (ester) secara cukup drastis dari transmitansi 5,19 menjadi 48,19 menunjukkan bahwa reaksi ini menghasilkan senyawa hidrokarbon.

4.4 Analisa GC-FID

GC (*Gas Chromatography*) digunakan untuk menganalisa sampel baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif. Analisa secara kualitatif bertujuan untuk mengetahui komponen hidrokarbon apa saja yang mungkin terdapat dalam sampel yang dianalisa. Sedangkan analisa kuantitatif bertujuan untuk mengetahui dengan terperinci persen berat komponen hidrokarbon dalam sampel yang dianalisa.

Hasil analisa GC-FID ini dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Analisa GC-FID

Komponen	%Berat
Heptana (C7)	3.34
Oktana (C8)	6.74
Nonana (C9)	6.36
Dekana (C10)	5.71
Undekana (C11)	5.91
Dodekana (C12)	8.29
Tridekana (C13)	9.32
Tetradekana (C14)	7.63
Pentadekana (C15)	7.81
Heksadekana (C16)	5.67
Heptadekana (C17)	6.97

Oktadekana (C18)	7.84
Nonadekana (C19)	3.59
Eikosana (C20)	4.54
Henekosana (C21)	3.75
Dokosana (C22)	1.69
Trikosana (C23)	2.90
Tetrakosana (C24)	1.96

Dari tabel 4.5 di atas dapat terlihat bahwa produk yang dihasilkan mengandung hidrokarbon fraksi bensin. Fraksi bensin yang dimaksud adalah senyawa yang mengandung C₄-C₁₂. Maka %berat fraksi bensin dalam produk adalah 36,35%. Dengan berat umpan 3,24 gram dan berat produk cair 1,4882 gram, maka dapat dihitung besar *yield* bensin:

Berat Produk Bensin = %Berat fraksi bensin × berat produk cair

Berat Produk Bensin = 36,35% × 1,4882 gram

Berat Produk Bensin = 0,541 gram

$$\%yield \text{ Bensin} = \left(\frac{\text{Berat Produk Bensin}}{\text{Berat Umpan}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Maka } \%yield \text{ bensin} = \frac{0,541}{3,24} \times 100\% = 16,7\%$$

$$\%Selektifitas \text{ Bensin} = \frac{\text{Berat Produk Bensin}}{\text{Berat Total Produk Hidrokarbon}} \times 100\%$$

$$\%Selektifitas \text{ Bensin} = \frac{0,51}{1,4882} \times 100\% = 34,3\%$$

Hasil yang diperoleh dari analisa GC-FID tidak terlalu berbeda dengan hasil yang diperoleh dengan analisa fraksinasi. Dari hasil analisa GC-FID diperoleh %*yield* bensin sebesar 16,7% dengan selektifitas bensin sebesar 34,3%.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan serta pembahasannya, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Produk hidrokarbon setara fraksi bensin dapat dihasilkan dengan metode perengkahan campuran minyak jarak dan air.
2. Penambahan Boron oksida sebesar 5% pada zeolit tidak menyebabkan terbentuknya fasa baru yang menandakan bahwa partikel B_2O_3 terdispersi secara merata di seluruh permukaan zeolit.
3. % yield bensin maksimum perengkahan campuran minyak jarak dan air diperoleh pada kondisi temperatur $500^{\circ}C$, katalis 20% B_2O_3 /Zeolit, dengan rasio umpan 1:1 (berat minyak/air).
4. % yield bensin maksimum sebesar 19% dengan %selektifitas sebesar 40,6%.

5.2 Saran

1. Melakukan tahapan reaksi hidrolisis dan perengkahan secara terpisah.
2. Melakukan analisa terhadap produk gas yang terbentuk
3. Variasi katalis, temperatur, dan umpan diperbanyak
4. Melakukan uji keasaman terhadap katalis untuk mengetahui tingkat keasaman katalis yang diperlukan untuk reaksi ini.

DAFTAR REFERENSI

- Adlan, Ahmad. (2007). *Perengkahan Campuran Minyak Jarak dan Air Menjadi Hidrokarbon Setara Fraksi Bensin Menggunakan Katalis B_2O_3 /Zeolit*. Seminar. Depok: Teknik Kimia Universitas Indonesia
- Anozie, Ambrose N., & Dzobo, Joselin M. (2006). *Kinetics of Hydrolysis of Palm Oil and Palm Kernel Oil*. *Journal of Ind. Eng. Chem. Res.* 45. Halaman: 1604-1612
- Arifianto, Bayu. (2006). *Proses Perengkahan Minyak Sawit Menjadi Hidrokarbon Setaraf Fraksi Gasolin Menggunakan Katalis B_2O_3 /Alumina*. Skripsi. Depok: Teknik Kimia Universitas Indonesia
- Bhatia S. (2000). *Zeolit Catalyst: Principles and Application*. Florida: CRC Press, Inc
- Corma A., Marie O., & Ortega F.J. (2004). *Interaction of water with the surface of a Zeolite catalyst during catalytic cracking: a spectroscopy and kinetic study*. *Journal of Catalysis* 222. Halaman: 338-347
- Ernawati. (2005). *Ricinus Communis Linn.* Publikasi Ilmiah. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tumbuhan Obat. Jakarta
- Fessenden, R.J., & Joan S.F. (1981). *Organic Chemistry*. USA: Wadsworth Asian Student Edition.
- Iskandar, Utomo Pratama. (2007). *Konversi Katalitik Minyak Jarak dan Senyawa ABE Menjadi Bahan Bakar Setaraf Fraksi Bensin (C_5 - C_{10}) Menggunakan Katalis Hibrida YSZ/H-ZSM-5*. Skripsi. Depok: Teknik Kimia Universitas Indonesia
- Karina, Rona Malam. (2005). *Stabilisasi Oksidasi Castor Oil Sebagai Minyak Pelumas Dasar*. Tesis. Depok: Pascasarjana Teknik Kimia Universitas Indonesia
- Ketaren, S. (1986). *Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Universitas Indonesia, Depok
- Ma, Fangrui, & Milford A. Hanna. (1999). *Biodiesel Production: a review*. *Journal of Bioresource Technology* 70. Halaman: 1-15.

- Mailisa, R. F. (2006). *Konversi Katalitik Dalam Sintesa Senyawa Hidrokarbon Setaraf Fraksi Gasolin dengan Katalis B_2O_3 /Zeolit*. Skripsi. Depok: Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Meier, W.M. (1992). *Atlas of Zeolit Structure Types Third Revised Edition*. London: Butterworth-Heinemann
- Pasaribu, Nurhida. (2004). *Minyak Buah Kelapa Sawit*. Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara
- Pertiwi, Astri. (2007). *Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam Malang serta Aplikasinya dalam Mengkatalisis Senyawa ABE (Aseton-Butanol-Etanol) Menjadi Hidrokarbon*. Skripsi. Depok: Teknik Kimia Universitas Indonesia
- Puspitaningdyah, Lusi. (2007). *Sintesis YSZ (Yitria Stabilized Zirconia) Serta Efek Penambahan B_2O_3 untuk Katalis dalam Reaksi Konversi ABE Menjadi Hidrokarbon*. Skripsi. Depok: Teknik Kimia Universitas Indonesia
- Putra, Zulfan Adi. (2005). *Buku Pintar Migas*. Kuala Lumpur: Universitas Teknologi Petronas
- Saipulloh, Safri. (2007). *Produksi Hidrokarbon Setaraf Gasolin dari Minyak Sawit Melalui Perengkahan Katalitik Menggunakan B_2O_3/Al_2O_3 dan Penambahan Senyawa Basa*. Seminar. Depok: Teknik Kimia Universitas Indonesia
- Sang Ooi, Yean, et.al. (2005). *Catalytic Conversion of Fatty Acid Mixture to Liquid Fuel and Chemical over Composite Microporous/Mesoporous Catalysts*, *Journal of Energy & Fuel*, 9. Halaman: 736-743
- Sato, S, Masakatsu K dan Toshiaki S. (1995). *Surface Structure and Acidity of Alumina Boria Catalyst* *Journal of Molecular Catalysis*. Halaman 171-177
- Sudriman. (2000). *Pengaruh Rasio B/(B+A) terhadap Aktivitas Katalis Alumina-Alumina Borat pada Reaksi Dehidrasi Etanol*. Skripsi. Depok: Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Sugiyono, Agus. (2005). *Pemanfaatan Biofuel dalam Penyediaan Energi Nasional Jangka Panjang*. Seminar. Jakarta: PTPSE-BPPT
- Speight, J. G. (1991). *The Chemistry and Technology of Petroleum*. New York: Marcel Dekker, Inc

Asam Lemak. (2008). 27 Maret 2008. <http://www.wikipedia.org>

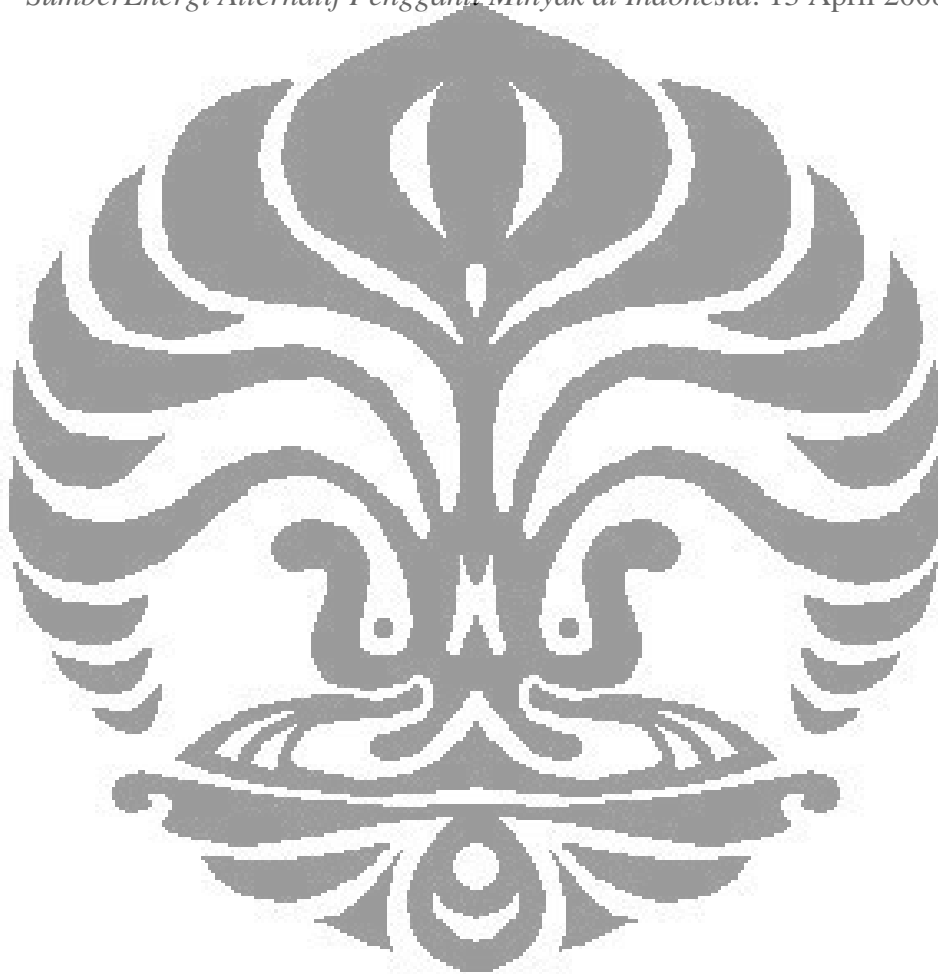
Cracking. (2008). 27 Maret 2008. <http://www.wikipedia.org>

Zeolit. (2008). 27 Maret 2008. <http://www.wikipedia.org>

Clark J, *Cracking Alkanes*. (2008). 18 Mei 2008. <http://www.chemguide.co.uk>

Lusby, Paul. *Industrial Chemistry Organic*. (2008). 26 Mei 2008
<http://www.chemguide.co.uk>

Suarna, Endang. (2005). *Prospek dan Tantangan Pemanfaatan Biofuel Sebagai Sumber Energi Alternatif Pengganti Minyak di Indonesia*. 13 April 2008. <http://>



LAMPIRAN A
DATA PENELITIAN

Tabel A.1 Pengaruh Penambahan B₂O₃ Terhadap Yield Produk Perengkahan

Katalis	Umpan	Produk Cair	Fraksinasi 120 C			%Recovery	% Yield Gasoline	% Selektifitas Gasoline
			Berat Awal	Berat Akhir	Teruapkan			
5% B ₂ O ₃	3.24	0.9695	13.5948	13.4839	0.1109	29.92%	3.42%	11.44%
10% B ₂ O ₃	3.24	1.3035	13.5968	13.4685	0.1283	40.23%	3.96%	9.84%
15% B ₂ O ₃	3.24	2.1561	14.5604	14.3979	0.1625	66.55%	5.02%	7.54%
20% B ₂ O ₃	3.24	2.0567	14.2265	14.0568	0.1697	63.48%	5.24%	8.25%

Variabel tetap:

Temperatur reaksi : 400°C

Rasio umpan : 1:2 (w.minyak : w. air)

Tabel A.2 Pengaruh Rasio Umpan Terhadap Yield Produk Perengkahan

Air:Minyak (w/w)	Umpan	Produk cair	Fraksinasi (120 C)			%Recovery	% Yield Gasoline	% Selektifitas Gasoline
			Berat Awal	Berat Akhir	Teruapkan			
1:2	3.24	2.2125	15.0056	14.8554	0.1502	68.29%	4.64%	6.79%
1:1	3.24	1.6725	23.7287	23.5264	0.2023	51.62%	6.24%	12.10%
2:1	3.24	2.0567	14.2265	14.0568	0.1697	63.48%	5.24%	8.25%

Variabel tetap:

Temperatur reaksi : 400°C

Katalis : 20% B₂O₃/Zeolit

Tabel A.3 Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Yield Produk Perengkahan

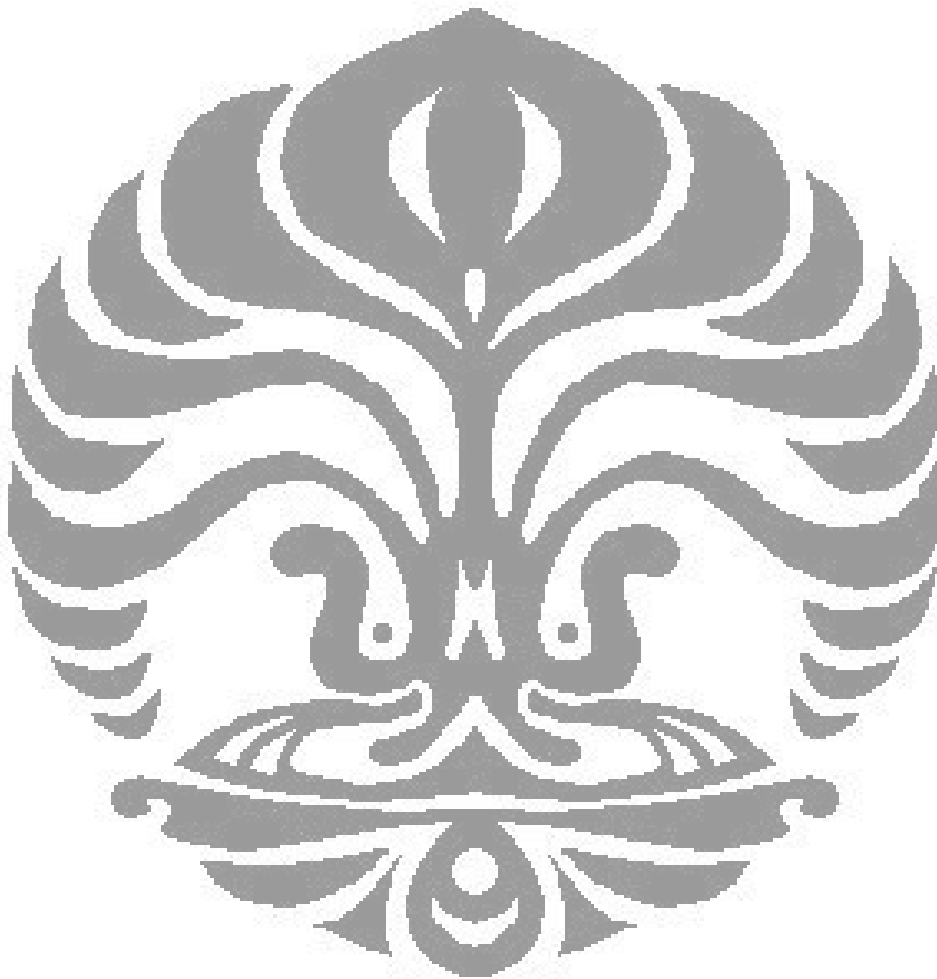
Temperatur	Umpan	Produk Cair	Fraksinasi 120 C			%Recovery	% Yield Gasoline	% Fraksi Gasoline
			Berat Awal	Berat Akhir	Teruapkan			
400	3.24	1.6725	23.7287	23.5264	0.2023	51.62%	6.24%	12.10%
425	3.24	2.3764	15.0131	14.7945	0.2186	73.35%	6.75%	9.20%

450	3.24	2.0079	14.8316	14.6032	0.2284	61.97%	7.05%	11.38%
475	3.24	1.4738	13.7495	13.3893	0.3602	45.49%	11.12%	24.44%
500	3.24	1.4882	14.2844	13.6804	0.604	45.93%	18.64%	40.59%

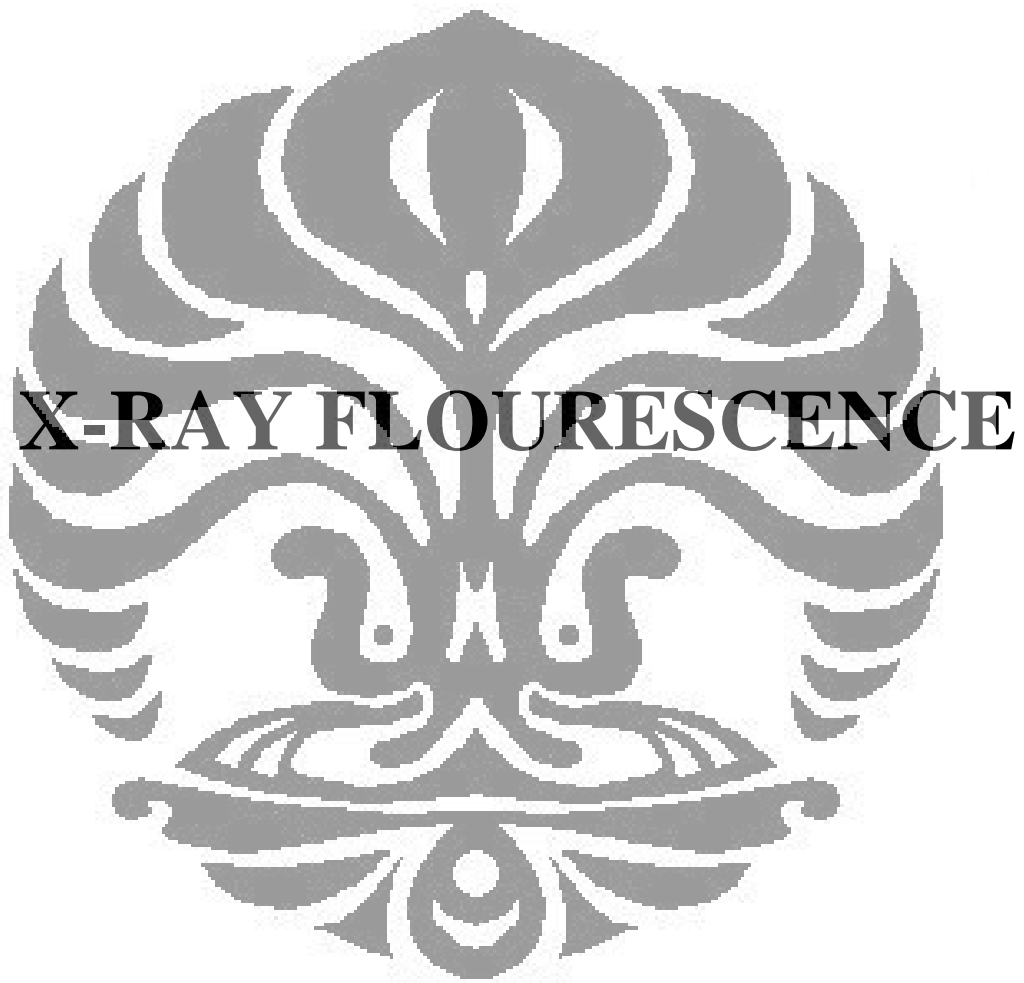
Variabel tetap:

Katalis : 20% B_2O_3 /Zeolit

Umpan : 1 : 1



LAMPIRAN B



LAMPIRAN C



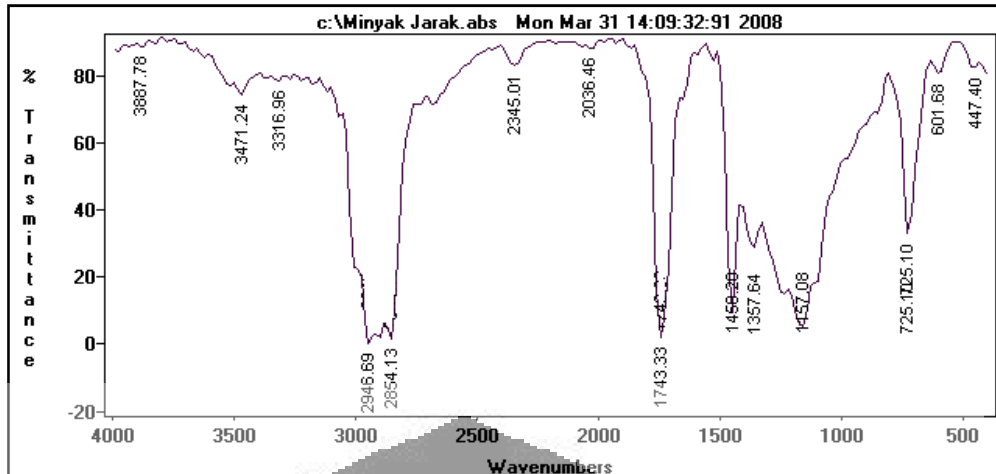
X-RAY DIFFRACTION

LAMPIRAN D

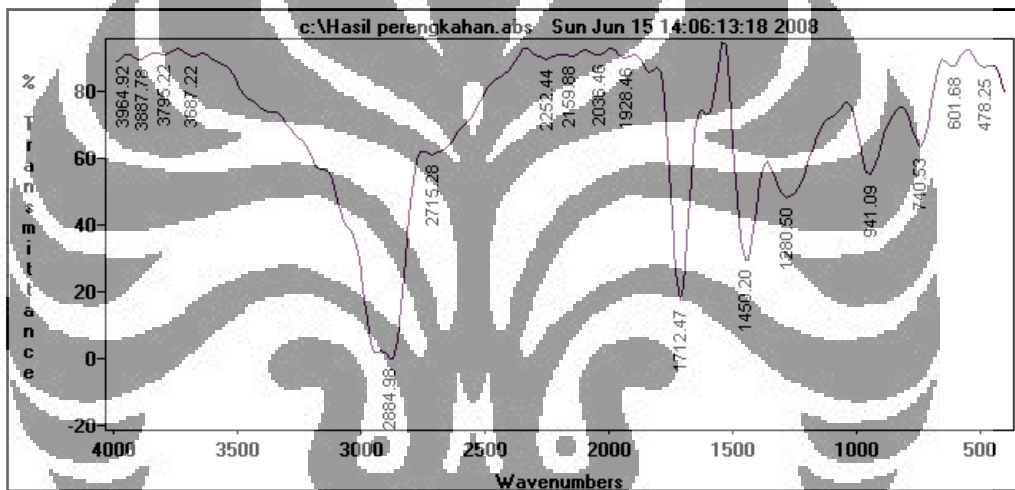


LAMPIRAN E

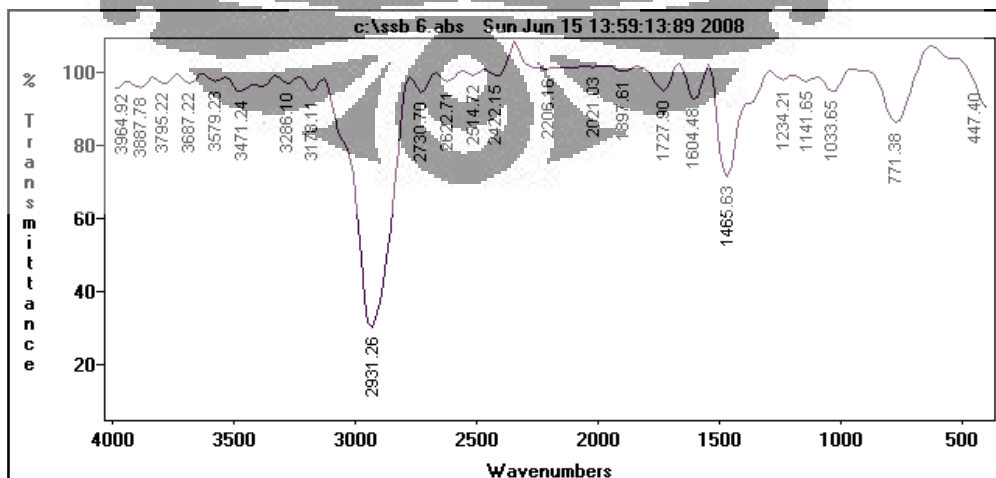




Spektra FTIR Minyak Jarak



Spektra FTIR Produk Perengkahan



Spektra FTIR Bensin Komersial