



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN ADITIF BENSIN MELALUI PERENGGAHAN
KATALITIK METIL ESTER MINYAK SAWIT DAN
PENAMBAHAN GUGUS NITRO**

SKRIPSI

RUDY WIJAYA

0706270056

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN ADITIF BENSIN MELALUI PERENGGAHAN
KATALITIK METIL ESTER MINYAK SAWIT DAN
PENAMBAHAN GUGUS NITRO**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

RUDY WIJAYA

0706270056

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JANUARI 2012**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

PEMBUATAN ADITIF MELALUI PERENGGAHAN KATALITIK METIL ESTER MINYAK SAWIT DAN PENAMBAHAN GUGUS NITRO

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 24 Januari 2012



Rudy Wijaya

NPM 0706270056

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Rudy Wijaya
NPM : 0706270056
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pembuatan Aditif Bensin melalui Perengkahan Katalitik Metil Ester Minyak Sawit dan Penambahan Gugus Nitro.

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

DEWAN PENGUJI

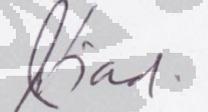
Pembimbing: Dr. Ir. Sukirno, M.Eng

()

Penguji: Bambang Heru Susanto, ST, MT

()

Penguji: Dr. Ir. Setiadi, M.Eng

()

Penguji: Ir. Dijan Supramono, M.Sc

()

Ditetapkan di : Depok

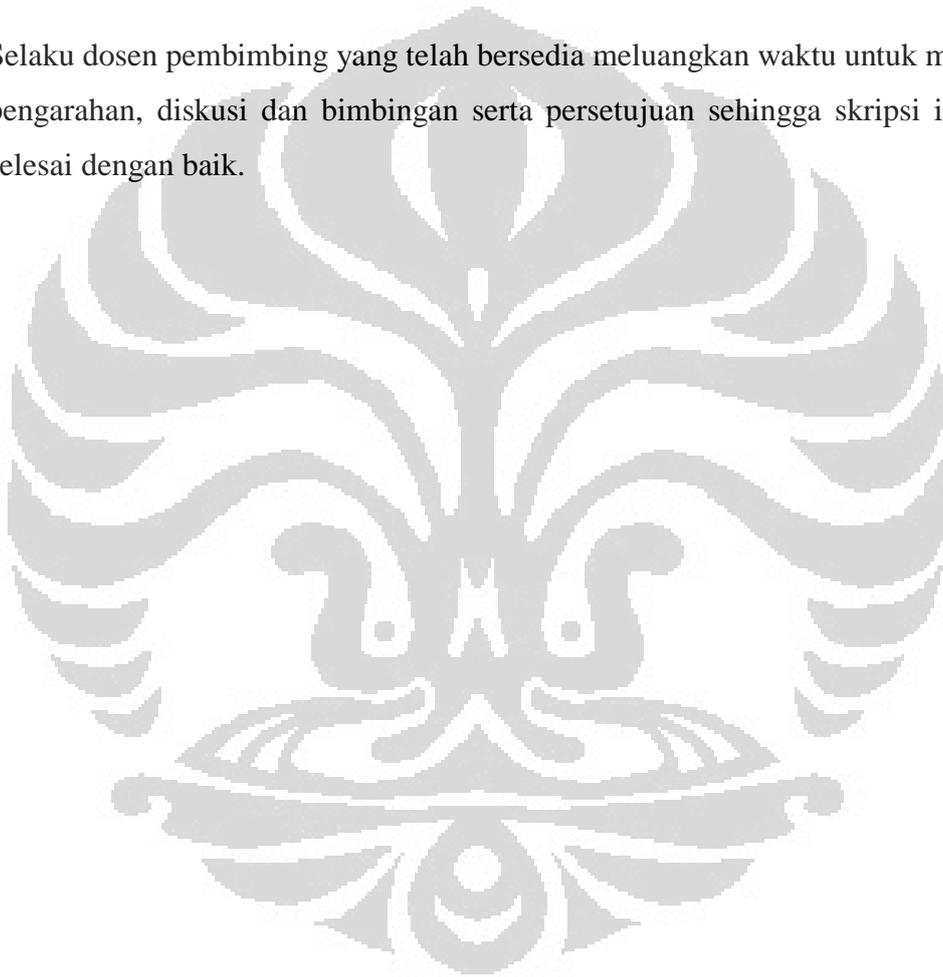
Tanggal : 24 Januari 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Dr. Ir. Sukirno M. Eng

Selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



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

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

Nama : Rudy Wijaya
NPM : 0706270056
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

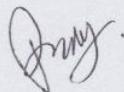
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (Non-exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**PEMBUATAN ADITIF BENSIN MELALUI PERENKKAHAN KATALITIK
METIL ESTER MINYAK SAWIT DAN PENAMBAHAN GUGUS NITRO**

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 memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

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



(Rudy Wijaya)

Rudy Wijaya
NPM 0706270056
Departemen Teknik Kimia

Dosen Pembimbing
Dr.Ir.Sukirno M.Eng

**PEMBUATAN ADITIF BENSIN MELALUI
PERENKAHAN KATALITIK METIL ESTER MINYAK SAWIT
DAN PENAMBAHAN GUGUS NITRO**

ABSTRAK

Aditif bensin seperti TEL ataupun MTBE untuk menaikkan angka oktan mulai dihindari penggunaannya sekarang ini. Adanya logam berat dan senyawa kimia beracun di dalam TEL membuat bahan tersebut berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan. Mengingat masih diperlukannya bensin dengan kualitas yang baik, maka perlu dibuat zat aditif yang dapat menaikkan angka oktan dan aman bagi kesehatan dan lingkungan. Pada penelitian ini, aditif dibuat dengan beberapa proses di antaranya proses transesterifikasi dengan bahan baku minyak sawit. Metil ester yang dihasilkan dari reaksi tersebut selanjutnya mengalami proses perengkahan katalitik dengan katalis H-Zeolit. Produk distilat dari perengkahan ini akan direaksikan dengan HNO_3 untuk ditambahkan gugus nitro.

Berdasarkan hasil penelitian, reaktor *fixed bed* dengan sistem *batch* dibuat dan dapat melakukan perengkahan katalitik dengan laju produksi sebesar 2,95 ml/jam, dan efisiensi energi sebesar 6,44%. Perengkahan terjadi pada suhu 320°C . Perengkahan ditandai dengan penurunan densitas dan bertambahnya gugus C=C, C=O dan C-O dan CH_3 pada spektrum yang dibandingkan terhadap spektrum referensi 2970 cm^{-1} , yaitu gugus CH_2 . Selain itu, juga terlihat pada banyaknya molekul lain dengan rantai karbon yang lebih pendek dari metil ester berdasarkan uji GC-MS. Pada aditif bensin, terjadi proses penambahan gugus nitro yang ditandai dengan adanya spektrum FTIR pada frekuensi $1661\text{-}1499\text{ cm}^{-1}$. Hasil nilai oktan dari pencampuran 5% aditif pada bensin premium 95% membuat oktan bensin campuran naik menjadi 90,2 dan 90,3. Dengan perhitungan persamaan linear, angka oktan aditif 1 dan aditif 2 bernilai 105,4 dan 107,4. Sehingga disimpulkan semakin banyak gugus nitro dalam aditif maka semakin tinggi angka oktannya.

Kata Kunci : Minyak Sawit, Transesterifikasi, Perengkahan Katalitik, Reaktor *Fixed Bed*, Biogasoline, Aditif.

Rudy Wijaya
NPM 0706270056

Departemen Teknik Kimia

Dosen Pembimbing
Dr.Ir.Sukirno M.Eng

**GASOLINE ADDITIVE MADE BY CATALYTIC CRACKING PALM OIL
METHYL ESTER AND NITRO ADDITION**

ABSTRACT

Gasoline additives such as TEL or MTBE to raise the octane number began to preclude use today. The presence of heavy metals and toxic chemical compounds in the TEL making this material harmful to the environment and health. Given the continuing need gasoline with good quality, it needs to be made of additives that can increase the octane number and it's safe for health and the environment. In this study, an additive made by some process of which the process of transesterification with palm oil feedstock. Methyl ester produced from the that reaction will be cracked with H-zeolite catalysts. Distillate products from the cracking will be reacted with HNO_3 to add the nitro group.

Based on this research, fixed bed reactor with a batch system is created and can perform catalytic cracking with a production rate of 2.95 ml/hr, with energy efficiency about 6.44%. Cracking occurs at a temperature of 320 °C. Cracking is characterized by decreased density and increased group C = C, C = O and C-O and CH_3 on the spectrum is compared against a reference spectrum of 2970 cm^{-1} , the CH_2 group. In addition, also seen in many other molecules with shorter carbon chain of the methyl esters by GC-MS test. In the gasoline additive, a process of addition of nitro groups are characterized by FTIR spectrum at a frequency of 1661-1499 cm^{-1} . The results of blending octane value of 5% additive in gasoline octane premium gasoline 95% make the mixture rose to 90.2 and 90.3. With the calculation of linear equations, the octane number additive 1 and additive 2 worth 105.4 and 107.4. As a conclusion a growing number of nitro groups in the additive would raise the octane number.

**Key word : Palm Oil, Transesterification, Catalytic Cracking,
Fixed Bed Reactor, Biogasoline, Additive.**

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I	i
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Biogasoline</i>	5
2.1.1 Bahan Baku	5
2.1.2 Reaksi Transesterifikasi	7
2.1.3 Perengkahan Katalitik untuk Pembuatan <i>Biogasoline</i>	8
2.1.4 Zeolit sebagai Katalis.....	11
2.2 Angka Oktan	16
2.2.1 Pengaruh Angka Oktana Pada Mesin.....	16
2.2.2 Metode Penguji Angka Oktana	17
2.3 Aditif Bensin	20
2.4 Aditif Bensin Peningkat Angka Oktan.....	22
2.4.1 TEL (Tetra-ethyl Lead).....	23
2.4.2 MTBE (Methyl tert-butyl ether)	24
2.4.3 Alkohol	25
2.5 Senyawa Nitrat Sebagai Aditif Bahan Bakar	25
BAB III	28
METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Rancangan Penelitian	28
3.2 Rincian Kegiatan Pembuatan Aditif.....	30
3.2.1 Reaksi Transesterifikasi	30
3.2.2 Preparasi Katalis Zeolit.....	30

3.2.3	Proses Perengkahan Katalitik.....	31
3.2.4	Reaksi Penambahan Gugus Nitro	32
3.3	Analisa Produk	33
3.3.1	Uji Densitas.....	33
3.3.2	Uji FTIR.....	33
3.3.3	Analisa GC-MS.....	34
3.3.4	Pengujian Angka Oktana	34
3.3.5	Uji kelarutan terhadap Bensin.....	34
BAB IV	35
HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Reaktor Perengkahan.....	35
4.1.1	Dimensi dan Foto.....	35
4.1.2	Performa Reaktor	37
4.2	Produk Aditif.....	40
4.2.1	Tahap-tahap Reaksi.....	41
4.2.2	Analisa GC-MS.....	43
4.2.3	Uji Densitas.....	44
4.2.4	Analisa FTIR.....	46
4.2.5	Uji Oktan.....	48
4.2.6	Uji Kelarutan Bensin.....	49
BAB V	50
PENUTUP	50
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tahapan reaksi transesterifikasi.....	8
Gambar 2.2	Reaksi transesterifikasi.....	8
Gambar 2.3	Ikatan Si-O-Al pada katalis zeolit.....	14
Gambar 2.4	Struktur 2,2,4-trimetil pentana.....	16
Gambar 2.5	Pembakaran dalam silinder mesin.....	17
Gambar 2.6	Mesin uji CFR-F1 / CFR-F2.....	18
Gambar 2.7	Struktur TEL.....	23
Gambar 2.8	Struktur MTBE.....	24
Gambar 2.9	Reaksi pembentukan senyawa organik hidrokarbon nitro.....	26
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian.....	28
Gambar 3.2	Mesin penguji angka oktan.....	34
Gambar 4.1	Dimensi reaktor.....	35
Gambar 4.2	Foto bagian-bagian reaktor perengkahan.....	36
Gambar 4.3	Grafik batang laju produksi tiap percobaan.....	37
Gambar 4.4	Diagram heat balance.....	38
Gambar 4.5	Model reaksi perengkahan yang terjadi.....	39
Gambar 4.6	Produk hasil dari beberapa tahap reaksi.....	40
Gambar 4.7	Skema reaksi pengaktifan katalis H_2SO_4 terhadap HNO_3	41
Gambar 4.8	Skema reaksi nitroalkana.....	42
Gambar 4.9	Skema reaksi substitusi nitro terhadap metil ester.....	42
Gambar 4.10	Skema reaksi substitusi nitro terhadap alkena.....	42
Gambar 4.11	Grafik distribusi rantai carbon pada biogasoline.....	43
Gambar 4.12	Distribusi golongan senyawa karbon alifatik pada <i>biogasoline</i>	43
Gambar 4.13	Kandungan asam dalam <i>biogasoline</i>	44
Gambar 4.14	Grafik batang perbandingan densitas terhadap sampel.....	45
Gambar 4.15	Gaya tarik-menarik ikatan sebelum dan sesudah adisi nitro.....	45
Gambar 4.16	Spektrum FTIR pada Biogasoline.....	46
Gambar 4.17	Aditif + gasoline.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kandungan asam lemak pada minyak kelapa sawit	6
Tabel 2.2	Jenis-jenis zeolit alam	12
Tabel 2.3	Tabel urutan selektifitas zeolit	13
Tabel 2.4	Rasio SiO ₂ /Al ₂ O ₃ pada zeolit	14
Tabel 2.5	Perkiraan kekuatan asam dari berbagai katalis padatan.....	15
Tabel 2.6	Sifat fisika MTBE	24
Tabel 2.7	Beberapa jenis alkohol dan harga RON-nya	25
Tabel 4.1	Tabel hasil penelitian untuk laju produksi dari reaktor	37
Tabel 4.2	Tabel efisiensi energi tiap percobaan	39
Tabel 4.3	Hasil uji densitas	44
Tabel 4.4	Absorbansi berbagai ikatan pada semua step produk dengan <i>spektrum reference 2970</i>	47
Tabel 4.5	Tabel hasil uji oktan oleh PT.Catur Bangun Putra	48
Tabel 4.6	Hasil perhitungan angka oktan dari tiap aditif.....	48

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	PERHITUNGAN LAJU UAP DALAM REAKTOR PERENKAHAN	38
LAMPIRAN 2	PERHITUNGAN EFEKTIFITAS ENERGI PADA REAKTOR PERENKAHAN	39
LAMPIRAN 3	HASIL UJI GCMS <i>BIOGASOLINE</i>	44
LAMPIRAN 4	HASIL UJI FTIR BEBERAPA STER PRODUK	46
LAMPIRAN 5	HASIL UJI OKTAN OLEH PT CATUR BANGUN PUTRA..	48
LAMPIRAN 6	PERHITUNGAN ANGKA OKTAN ADITIF.....	48



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Bensin merupakan produk dari minyak bumi yang jumlahnya semakin terbatas. Oleh karena itu, bensin sebaiknya dimanfaatkan seefektif mungkin. Sayangnya, kualitas bensin biasa sekarang ini masih belum baik. Untuk menghasilkan bensin yang berkualitas tinggi, dibutuhkan suatu zat yang dicampur ke dalam bensin biasa sehingga kualitas bensin naik. Pada umumnya, bensin yang dijual di Indonesia memiliki kualitas kurang baik dengan nilai oktan 88 sehingga sebagian orang masih menambahkan bahan campuran aditif ke dalam tangki mesin berbahan bakar bensin untuk meningkatkan kinerja atau performa mesin.

Banyak keuntungan yang bisa didapatkan dari bensin berkualitas, di antaranya pembakaran menjadi lebih sempurna sehingga mengurangi jumlah karbon monoksida yang terbentuk dan meningkatkan efisiensi mesin. Kualitas bensin dinilai berdasarkan angka oktannya. Semakin banyak gugus iso-oktana di dalam bensin, maka semakin tinggi angka oktan bensin tersebut sehingga bensin tersebut semakin baik dipakai untuk mesin berbahan bakar bensin. Bensin yang berangka oktan rendah dapat menyebabkan ketukan pada mesin dan dapat merusak mesin. Oleh karena itu, zat aditif bensin diperlukan untuk meningkatkan angka oktan.

Aditif bensin seperti Tetraethyl lead (TEL) dan Methyl Tertier Buthyl Eter (MTBE) dapat menaikkan angka oktan yang cukup tinggi, tetapi penggunaan kedua bahan ini sudah tidak diperbolehkan karena berdampak buruk terhadap kesehatan. Timbal bebas, hasil dari proses pembakaran TEL, akan terakumulasi di dalam jaringan tubuh manusia terutama jaringan otak bila terhirup oleh manusia, sedangkan penggunaan MTBE dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan bersifat karsinogenik. Dengan kedua alasan tersebut, suatu zat aditif yang aman bagi makhluk hidup dan lingkungan diperlukan untuk menaikkan angka oktan.

Minyak kelapa sawit mengandung molekul trigliserida berantai hidrokarbon panjang. Molekul trigliserida ini akan dipecah menjadi senyawa *biogasoline* yang kandungan hidrokarbon setaraf bensin. Jika minyak sawit

langsung dipanaskan, minyak sawit akan terkondensasi dan terpolimerisasi. Hal ini terjadi karena minyak sawit memiliki dua gugus yang sangat reaktif, yaitu gugus karbonil dan ikatan rangkap. Oleh karena itu, pada penelitian ini minyak sawit akan diberikan perlakuan awal terlebih dahulu dengan membentuk metil ester melalui reaksi transesterifikasi (Setiadi, 2006). Reaksi transesterifikasi ini akan menggunakan reagen metanol dan katalis NaOH untuk menghasilkan *yield* sebesar 83,2% (Rengga, 2006)

Selanjutnya, *Palm Oil Methyl Ester* (POME) akan di-*cracking*. Dalam penelitian ini, *catalytic cracking* digunakan karena prosesnya efisien dan memiliki *yield* cukup besar. Selain itu, juga menghasilkan hidrokarbon yang setaraf bensin dengan angka oktan tinggi. Katalis yang akan digunakan adalah H-Zeolit dari zeolit alam Lampung yang sudah diaktivasi dan temperatur yang akan digunakan saat perengkahan adalah 320°C.

Produk perengkahan yang dihasilkan, selanjutnya akan dinitrasi dengan tujuan menambah gugus nitro sehingga dapat menaikkan angka oktan bensin. Penelitian dengan penambahan *biogasoline* + *nitrous* pernah diteliti dan hasil yang didapatkan berupa performa mesin yang baik dan emisi yang rendah (Awaliansyah, 2005).

Penelitian ini telah dikembangkan sebelumnya oleh Wijaya (2007) dan terbukti aditif mampu meningkatkan angka oktan. Akan tetapi percobaan ini hanya dilakukan dengan satu perbandingan reaktan pada penambahan gugus nitro sehingga hanya didapatkan satu produk dengan rasio *biogasoline* : HNO₃ sebesar 5:1. Pada penelitian ini, akan dilakukan dua variasi rasio *biogasoline* : HNO₃, yaitu 5:2 dan 5:3. Tujuannya untuk menganalisis kedua hasil dari pengaruh variasi rasio *biogasoline* : HNO₃ terhadap peningkatan angka oktannya. Pada penelitian sebelumnya, proses perengkahan dilakukan dengan reaktor semi-kontinyu pada suhu 320°C dan hasil yang didapatkan kurang efisien karena produk yang dihasilkan sedikit dan prosesnya cukup lama. Oleh karena itu, pada penelitian ini reaktor yang digunakan berbeda, yaitu reaktor *fixed bed* dengan sistem *batch*. Hasil performanya akan dibandingkan dengan reaktor semi-kontinyu sebelumnya.

Senyawa yang dihasilkan dari penelitian ini diperkirakan berupa senyawa oksigenat bercabang banyak dan berstruktur mirip dengan TEL sehingga memiliki kemampuan yang sama seperti TEL dalam meningkatkan angka oktan. Selain itu, juga memiliki kelebihan tidak mengandung timbal sehingga aman terhadap lingkungan dan kesehatan. Hasil penelitian ini nantinya dapat menggantikan penggunaan zat aditif berbahaya seperti TEL dan mengurangi tingkat konsumsi bensin yang tinggi.

1.2 Perumusan masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana performa reaktor perengkahan dengan sistem batch.
2. Bagaimana pengaruh banyaknya gugus nitro dalam aditif terhadap kenaikan angka oktan.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merancang dan membuat reaktor perengkahan yang merupakan *fixed bed* reaktor dengan sistem *batch*.
2. Mengetahui pengaruh gugus nitro dalam aditif terhadap kenaikan angka oktan.

1.4 Batasan Masalah

1. Bahan baku yang akan digunakan adalah metil ester yang dibuat dari minyak kelapa sawit dengan reaksi transesterifikasi.
2. Perengkahan Katalitik untuk menghasilkan produk perengkahan dilakukan pada suhu 320°C dengan katalis H-zeolit
3. Alat yang digunakan untuk reaksi perengkahan katalitik adalah reaktor perengkahan dengan sistem batch dan dengan katalis yang *fixed bed*.
4. Proses reaksi pembentukan aditif bensin yang akan ditempuh dengan metode nitration dengan beberapa variasi perbandingan reaktan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini berisi latar belakang dari penulisan yang akan dilakukan, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang jenis-jenis bahan bakar, definisi angka oktana, pengaruh angka oktan pada mesin, metode pengujian angka oktana, jenis-jenis aditif bensin, *biogasoline*, reaksi transesterifikasi, zeolit sebagai katalis, perengkahan katalitik, senyawa nitro sebagai aditif bahan bakar.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menampilkan gambaran umum mengenai langkah-langkah dan prosedur penelitian yang dilakukan dalam reaksi transesterifikasi, aktivasi zeolit, proses perengkahan katalitik, reaksi adisi nitro, karakterisasi produk dan, pengujian angka oktan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengemukakan hasil penelitian yang telah didapatkan, serta menginformasikan analisa data dari hasil penelitian ini.

BAB V KESIMPULAN

Merupakan kesimpulan dari permasalahan yang telah dirumuskan dan hasil akhir pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Biogasoline*

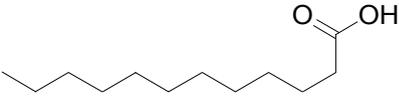
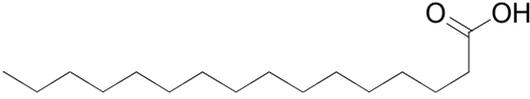
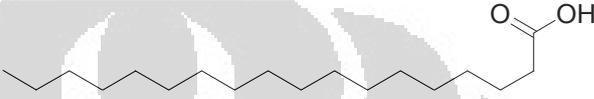
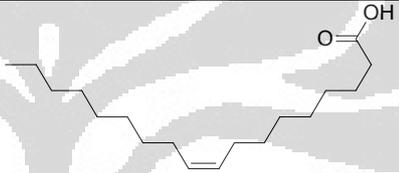
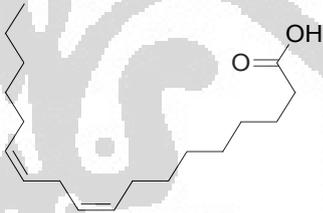
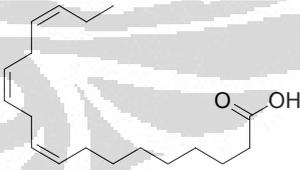
Biogasoline merupakan bahan bakar alternatif yang sedang dikembangkan untuk mengganti bahan bakar *petroleum*. Berbagai sumber energi baru yang dapat diperbaharui dan dapat diandalkan berasal dari berbagai jenis minyak nabati (minyak sawit, minyak jarak pagar, minyak kedelai). Pemilihan minyak sawit sebagai sumber energi alternatif sangat tepat dilakukan di Indonesia karena Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar nomor dua di dunia setelah Malaysia. Di samping ketersediaannya cukup banyak, minyak sawit sangat potensial untuk membuat bahan bakar pengganti *gasoline* karena *gasoline* yang dihasilkan dari minyak sawit telah diteliti lebih ramah lingkungan.

2.1.1 Bahan Baku

Kelapa sawit memiliki dua jenis minyak, yaitu minyak kelapa sawit mentah (*Crude Palm Oil*) yang dihasilkan dari daging buah (*mesocarp*) dan digunakan sebagai bahan dasar pembuatan minyak goreng. Minyak inti kelapa sawit (*Palm Kernel Oil*) dihasilkan dari inti buah kelapa sawit. *Crude Palm Oil* dan *Palm Kernel Oil* didapatkan dengan cara ekstraksi minyak kelapa sawit dan dihasilkan 59% *Crude Palm Oil* dan 4% *Palm Kernel Oil* dari total berat kelapa sawit.

Minyak kelapa sawit memiliki kandungan asam lemak yang terikat pada trigliserida. Kedua jenis minyak kelapa sawit ini memiliki perbedaan pada kandungan asam lemaknya. Minyak kelapa sawit mentah *Crude Palm Oil* memiliki rantai karbon sebanyak 16 – 18 atom karbon, sedangkan minyak inti kelapa sawit *Palm Kernel Oil* memiliki rantai karbon yang lebih pendek sebanyak 12 – 14 atom karbon (Setiawan, 2005). Asam-asam lemak tersebut ada yang memiliki ikatan jenuh (seperti asam laurat, asam palmitat, dan asam stearat) dan ikatan yang tidak jenuh, yaitu ikatan rangkap dua (seperti asam linoleat dan asam linolenat).

Tabel 2.1 Kandungan Asam Lemak Pada Minyak Kelapa Sawit (Iswara, 2006)

Asam Lemak	Struktur	%
Asam Laurat (12:0)	 lauric acid	0
Asam Palmitat (16:0)	 palmitic acid	42.5
Asam Stearat (18:0)	 stearic acid	4.0
Asam Oleat (18:1)	 oleic acid	43.0
Asam Linoleat (18:2)	 Linoleic acid	9.5
Asam Linolenat (18:3)	 Linolenic acid	0

Kebanyakan asam lemak yang dijumpai secara umum pada berbagai macam minyak kelapa sawit ditunjukkan pada Tabel 2.1. Secara singkat asam-asam lemak tersebut dapat diidentifikasi dengan notasi seperti yang tertera setelah penamaan trivial asam lemak dalam tabel tersebut. Ada dua angka yang terdapat di dalam tanda kurung dipisahkan oleh tanda titik dua (:). Angka

pertama menunjukkan jumlah atom karbon sedangkan angka kedua menunjukkan jumlah ikatan rangkap yang terdapat dalam senyawa tersebut.

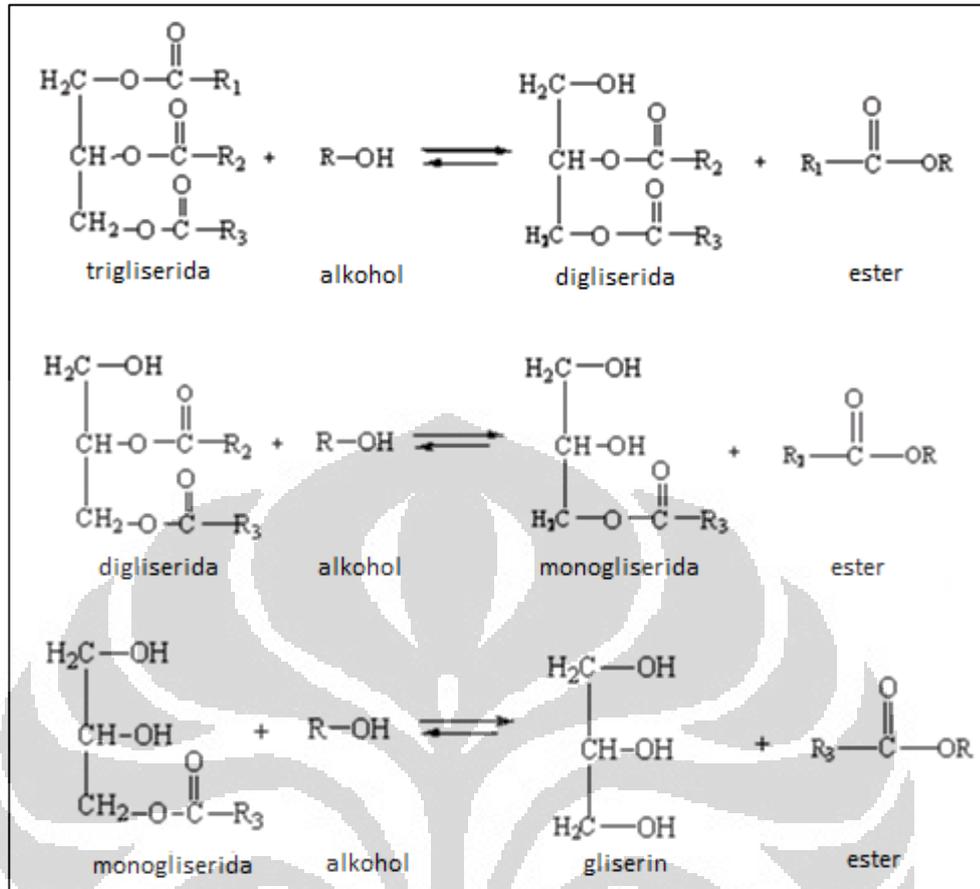
2.1.2 Reaksi Transesterifikasi

Minyak sawit memiliki dua gugus yang sangat reaktif, yaitu gugus karbonil dan ikatan rangkap. Ketika minyak sawit dipanaskan, maka molekulnya akan mengalami polimerisasi dan polikondensasi sehingga perlu dibentuk menjadi metil ester dengan reaksi transesterifikasi. Metil ester tersebut akan digunakan sebagai reaktan reaksi perengkahan katalitik. Reaksi ini dilakukan dengan cara mereaksikan minyak kelapa sawit dengan metanol dan menggunakan katalis NaOH (Makhdiyanti, 2002). Metil ester yang dihasilkan memiliki berbagai jenis ikatan karena banyaknya gugus yang terikat dalam trigliserida.

Metil ester merupakan ester yang biasa diperoleh dari gugus palmitat di dalam trigliserida minyak dan lemak yang berasal dari tumbuhan, sedangkan metil oleat merupakan ester yang diperoleh dari gugus oleat dalam trigliserida (Setiawan, 2005). Transesterifikasi merupakan proses penggantian gugus alkoksi dari ester dengan alkohol lain. Katalis yang biasa digunakan untuk meningkatkan laju dan hasil reaksi antara lain alkali (basa), asam atau enzim.

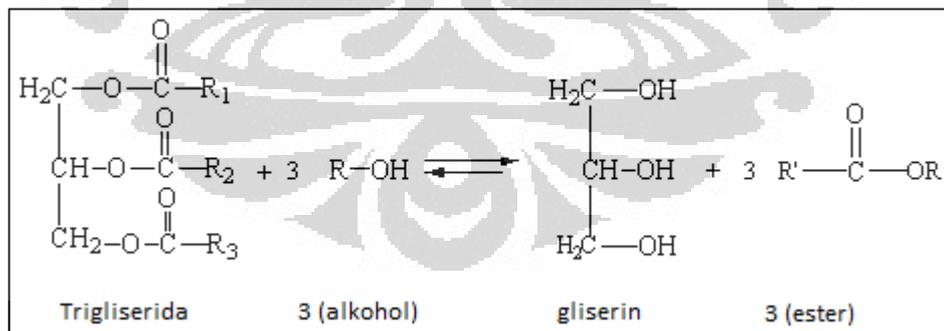
Reaksi transesterifikasi antara minyak (trigliserida) dengan alkohol merupakan suatu reaksi kesetimbangan yang menghasilkan gliserin dan alkil ester yang bermacam-macam jenisnya. Karena reaksinya adalah reaksi kesetimbangan, maka untuk mendapatkan alkil ester yang besar, alkohol yang digunakan harus berlebih atau mengecilkan konsentrasi salah satu produk dari campuran reaksi agar kesetimbangan bergerak ke produk. (Iswara, 2006)

Reaksi transesterifikasi akan menghasilkan alkil ester dengan rumus molekul RCOOCH_3 , dimana R adalah rantai karbon yang terdiri dari C_{16} hingga C_{18} . Trigliserida diubah secara bertahap menjadi digliserida, monogliserida dan akhirnya gliserin. Satu mol ester dihasilkan dalam tiap tahap dengan rincian sebagai berikut:



Gambar 2.1 Tahapan Reaksi Transesterifikasi (Fredman et. al., 1984)

Sehingga secara keseluruhan reaksi transesterifikasi adalah



Gambar 2.2 Reaksi Transesterifikasi (Fredman et. al., 1984)

2.1.3 Perengkahan Katalitik untuk Pembuatan *Biogasoline*

Reaksi perengkahan (*Cracking*) merupakan reaksi yang mengkonversikan rantai hidrokarbon panjang menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek. Perengkahan bisa dilakukan dengan panas tanpa ataupun dengan

katalis. Laju perengkahan sangat bergantung pada suhu dan katalis. Oleh karena itu reaksi perengkahan ini dibedakan menjadi dua, yaitu perengkahan termal dan perengkahan katalitik.

Perengkahan termal memerlukan panas yang relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan perengkahan katalitik karena pada perengkahan katalitik reaksi dibantu oleh katalis. Sehingga proses pembuatan *biogasoline* digunakan perengkahan katalitik untuk mengurangi konsumsi energi.

Produk yang dibentuk didalam perengkahan katalitik adalah hasil dari reaksi utama dan samping. Reaksi utama dapat ditunjukkan sebagai berikut:

Parrafin → paraffin + Olefin.....	2.1
Alkyl Naphthene → Naphtene + Olefin.....	2.2
Alkyl aromatic → Aromatic + Olefin.....	2.3

- *Cracking* pada parafin

Langkah langkahnya adalah:

1. Reaksi inisiasi thermal cracking
2. Perpindahan proton
3. Beta Scission
4. Mengurutkan struktur yang lebih stabil (tersier > sekunder > primer)
5. Transfer ion hydrogen

- *Cracking* untuk Olefin

Laju catalytic cracking pada olefin lebih tinggi daripada parafin, dengan reaksi utamanya:

1. Pemutusan ikatan carbon-carbon
2. Isomerisasi
3. Polimerisasi
4. Penjenuhan, aromatisasi dan pembentukan karbon

- *Cracking* untuk naftenik

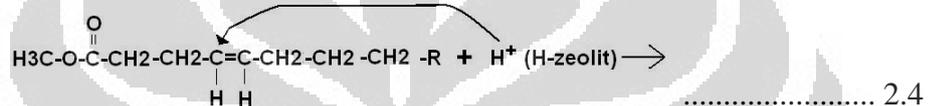
Langkah yang paling penting adalah dehidrogenisasi menjadi aromatik.

- *Cracking* untuk aromatik

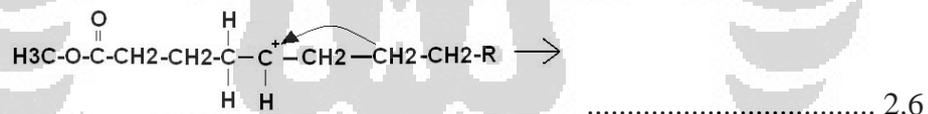
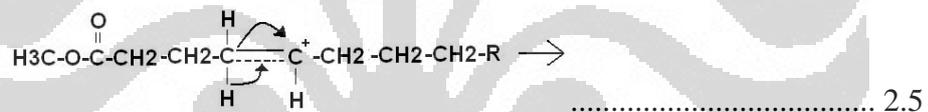
Reaksi cenderung dominan untuk senyawa aromatik dengan rantai alkil yang panjang yang berarti lebih mudah memutuskan ikatan tanpa merusak cincin.

Katalis yang biasa digunakan adalah yang bersifat asam dan semakin tinggi keasaman suatu katalis, semakin banyak ikatan yang akan terengkah. Berikut adalah beberapa tahapan reaksi perengkahan katalitik dengan katalis zeolit yang telah diaktifasi:

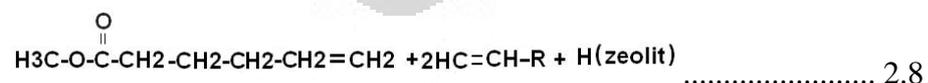
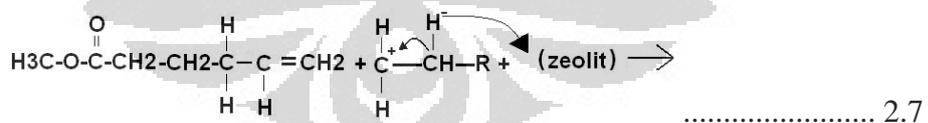
Tahap 1 : inisiasi



Tahap 2 : propagasi



Tahap 3 : terminasi



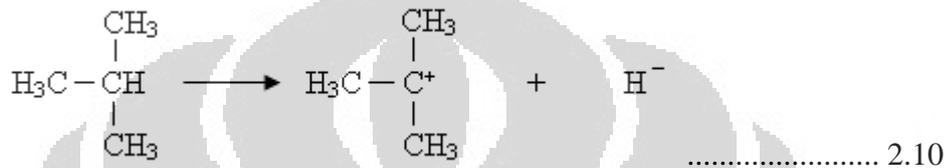
Dalam perengkahan katalitik, reaksi terjadi melalui terbentuknya ion karbonium intermediet yang merupakan karbon bermuatan positif (Sadeghbeigi, 2006). Pembentukan karbonium selama proses perengkahan katalitik dapat terjadi karena:

1. Penambahan proton dari katalis asam, misalnya pada reaksi berikut ini:



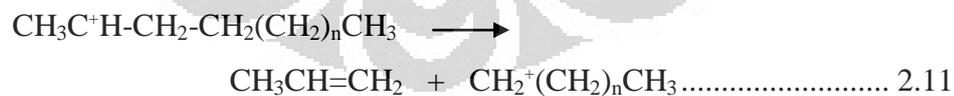
Katalis asam pada reaksi di atas menyumbangkan proton kepada hidrokarbon. Karena itu, katalis asam pada reaksi di atas disebut Asam Bronsted.

2. Penghilangan ion hidrida (H^-) dari hidrokarbon oleh katalis asam, misalnya pada reaksi berikut:



3. Katalis asam pada reaksi di atas menerima elektron dari hidrokarbon, karena itu, katalis asam pada reaksi di atas disebut Asam Lewis.

Struktur ion karbonium merupakan struktur yang tidak stabil dan dengan kekuatan asam yang besar, maka yang terjadi adalah pemutusan rantai karbon menjadi rantai yang lebih pendek. Urutan kestabilan ion karbonium: tersier > sekunder > primer > etil > metil. Pergerakan ion hidrida akan mengubah ion primer menjadi sekunder, sedangkan kelompok metil akan membentuk ion tersier. Ion karbonium berantai panjang lebih tidak stabil dibandingkan dengan yang berantai pendek, kemudian karbon akan dipecah oleh β -scission untuk menghasilkan alkena dan ion karbonium.

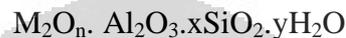


2.1.4 Zeolit sebagai Katalis

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumina silikat terhidrasi yang dalam kerangka tiga dimensinya mengandung kation alkali atau alkali tanah. Ion – ion logam dan molekul air dalam zeolit dapat bergerak bebas sehingga memungkinkan terjadinya pertukaran ion tanpa merusak struktur zeolit, dan penyerapan air oleh zeolit terjadi secara reversibel.

Zeolit termasuk kelompok mineral tektosilikat yang terdiri dari unit-unit tetrahedral $[\text{AlO}_4]^{5-}$ dan $[\text{SiO}_4]^{4-}$ yang saling berhubungan melalui atom O. Atom pusat zeolit dapat berupa Si atau Al. Jika Si yang menjadi atom pusat, maka muatan listrik zeolit akan netral. Tetapi, bila Al yang bervalensi tiga menjadi atom pusat, maka akan menimbulkan muatan negatif pada strukturnya. Muatan negatif ini akan dinetralkan oleh logam alkali atau alkali tanah (Satterfield, 1991).

Rumus empiris zeolit dapat ditulis sebagai berikut:



M : logam alkali atau alkali tanah

Si / Al : sebagai kation struktural

n : valensi logam alkali atau alkali tanah (bilangan bulat positif)

x : bilangan bulat positif (2 – 10)

y : bilangan bulat positif (2 – 7)

Berdasarkan cara pembuatannya, zeolit dapat dibagi dua, yaitu:

1. Zeolit Alam

Tabel 2.2 Jenis-jenis Zeolit Alam (Satterfield, 1991).

Nama Zeolit	Rumus Kimia
Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{16}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Erionit	$(\text{Na}_4\text{Ca}_5\text{K})_9(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
Faujasit	$\text{Na}_{58}(\text{Al}_{58}\text{Si}_{134}\text{O}_{384}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
Ferrierit	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
Kabasit	$(\text{Na}_2\text{Ca}_6)(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$
Klinoptilolit	$(\text{Na}_4\text{K}_5)(\text{Al}_8\text{Si}_4\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$

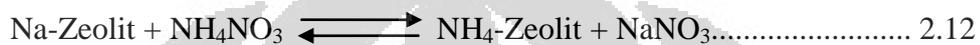
2. Zeolit sintesis

HZSM-5-USY, HZSM-5-zeolit β hybrid

Zeolit memiliki muatan negatif yang berasal dari $[\text{AlO}_4]^-$ sehingga zeolit membutuhkan penambahan muatan positif yang biasanya berasal dari logam alkali atau alkali tanah agar terjadi keseimbangan muatan listrik. Kation-kation

yang berasal dari logam alkali atau alkali tanah itu tidak terikat pada posisi tetap, tetapi bergerak bebas dalam rongga-rongga zeolit dan bertindak sebagai *Courier ion* yang dapat dipertukarkan dengan kation lainnya (Satterfield, 1991). Oleh karena itu, zeolit dapat berfungsi sebagai katalis asam. Jika *courier ion* bertukar tempat dengan H^+ , maka akan terbentuk H-Zeolit. H-zeolit memiliki muatan positif yang berasal dari hidrogen. Ion hidrogen ini dapat menyumbangkan muatan positifnya kepada senyawa lain, sehingga H-Zeolit dikatakan juga sebagai asam Bronsted.

Untuk membuat katalis asam dari zeolit, dilakukan proses pertukaran ion.



Setiap spesi / jenis zeolit memiliki urutan selektifitas pertukaran ion yang berlainan. Selektifitas ion dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Struktur terbentuknya zeolit mempengaruhi besarnya rongga yang terjadi.
2. Mobilitas ion yang dipertukarkan.
3. Pengaruh difusi ion kedalam larutan dan energi hidrasi.
4. Jari-jari ion yang dipertukarkan

Tabel 2.3 Tabel Urutan Selektifitas Zeolit (Bhatia, 1998)

Jenis Zeolit	Urutan selektifitas	Peneliti
Analsim	$K < Li < Na < Ag$	Barrer (1950)
Khabazit	$Li < Na < K < Cs$	Sherry (1969)
Klinoptilolit	$Mg < Ca < Na < NH_4 < K$	Ames (1961)
Heulandit	$Ca < Ba < Si < Li < Na < Rb < K$	Filizova (1974)
Mordernit	$Li < Na < Rb < K < Cs$	Ames (1961)

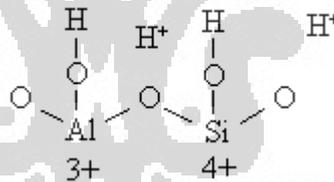
Tabel 2.3 adalah urutan selektifitas menurut kenaikan kemudahan pertukaran ion pada beberapa jenis zeolit. Semakin besar nilai koefisien selektifitas suatu ion maka semakin besar kecenderungannya untuk diserap oleh permukaan ion. Jadi jika penukar ion mempunyai kation maka kation itu akan cenderung dilepaskan jika penukar ionnya adalah kation yang berbeda di sebelah kanannya.

Kemudian akan dilakukan kalsinasi yang merupakan pemanasan untuk menguapkan air yang terperangkap pada pori-pori kristal zeolit, sehingga luas permukaan zeolit bertambah serta untuk menguapkan NH_3 dari NH_4 -Zeolit dan membentuk H-Zeolit, seperti reaksi di bawah ini:



Reaksi pertukaran ion di atas tidak akan berlangsung sempurna jika konsentrasi larutan NH_4NO_3 tidak sangat besar atau jika suhu sistem tidak dinaikkan. Tingginya konsentrasi pelarut NH_4NO_3 dan suhu sistem akan menggeser reaksi berjalan ke kanan.

Tingkat keasaman katalis zeolit ditemukan dari rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dari zeolit tersebut. Semakin tinggi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dari suatu zeolit, maka semakin tinggi pula tingkat keasamannya. Pada gambar 2.3 terlihat bahwa atom Si memiliki muatan yang lebih positif daripada Al. Muatan Si yang lebih bersifat elektropositif akan melemahkan ikatan O-H, sehingga nilai keasaman katalis menjadi meningkat.



Gambar 2.3 Ikatan Si-O-Al pada Katalis Zeolit (Satterfield, 1991)

Semakin tinggi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dari suatu zeolit, maka semakin tinggi pula tingkat keasamannya. Pada tabel 2.4 ditunjukkan beberapa jenis zeolit berdasarkan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$:

Tabel 2.4 Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada Zeolit (Satterfield, 1991)

Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Jenis Zeolit
Rendah (1 – 1.5)	Zeolit Y, A dan X
Sedang (2 – 50)	Zeolit alam (Erionit, Kabasit, Klinoptilolit, Modernit), Zeolit L, Zeolit Ω
Tinggi (10 – 100)	Modifikasi Zeolit Y, Modernit, Erionit ZSM-5

Katalis dengan keasaman yang tinggi dapat menyebabkan reaksi perengkahan parafin, katalis dengan keasaman yang sedang dapat merengkahkan ikatan tak jenuh pada senyawa olefin, sedangkan katalis dengan keasaman yang rendah dapat mengkatalis reaksi dehidrasi alkohol.

Tabel 2.5 Perkiraan Kekuatan Asam dari berbagai Katalis Padatan (Satterfield, 1991)

Clays	Ho
Original kaolinite	-3.0 to -5.6
Hydrogen kaolinite	-5.6 to -8.2
Original montmorillonite	+1.5 to -3.0
Hydrogen montmorillonite	-5.6 to -8.2
Oxides	Ho
Silica-alumina	< -8.2
Al ₂ O ₃ .B ₂ O ₃	< -8.2
Silica-magnesia	+1.5 to -3.0
ZnS heat treated (500°C)	+6.8 to +3.3
ZnO heat treated (300°C)	+6.8 to +3.3
TiO ₂ heat treated (400°C)	+6.8 to +1.5
Mounted Acids	Ho
1.0 mmol/g H ₃ BO ₃ .SiO ₂	+1.5 to -3.0
1.0 mmol/g H ₃ PO ₄ .SiO ₂	-5.6 to -8.2
1.0 mmol/g H ₂ SO ₄ .SiO ₂	< -8.2
SbF ₅ /Al ₂ O ₃	< -13.16
Phosphates	Ho
Cr-phosphate	+1.5 to -8.2
Zr-phosphate	+3.3 to -3.0
NH ₄ -phosphate	+1.5 to -5.6

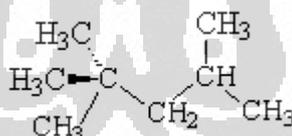
Telah dibuktikan bahwa H-Zeolit yang dipreparasi dari Zeolit Alam jenis Klinoptilolit mampu merengkahkan metil ester menjadi senyawa yang lebih kecil, yaitu senyawa C₁ hingga C₁₈ (Iswara,2006). Jadi katalis H-Zeolit ini dapat digunakan sebagai katalis untuk reaksi perengkahan katalitik.

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa, semakin tinggi nilai H_0 , semakin besar kekuatan asam yang dimiliki oleh katalis tersebut. Katalis zeolit yang tersusun atas silica – alumina memiliki tingkat keasaman yang sedang sehingga sangat sesuai untuk digunakan di dalam reaksi perengkahan katalitik.

Jika katalis yang dipakai terlalu asam maka molekul yang diperoleh menjadi terlalu kecil dan tidak setaraf fraksi bensin sehingga tidak dapat dipakai sebagai *biogasoline*.

2.2 Angka Oktan

Angka oktan adalah satuan yang digunakan untuk mengukur kualitas dari suatu bensin. Angka oktana diukur dari campuran referensi antara iso-oktana dan n-heptana. Bensin yang memiliki angka oktan 88, maka bensin tersebut merupakan campuran 88% iso-oktana dan 12% n-heptana. Iso-oktana memiliki sifat kompresi yang bagus, maka secara pengakuan internasional iso-oktana dianggap sebagai bahan referensi penentu *Oktan Number* (O.N.) Contoh senyawa iso-oktana adalah 2,2,4-trimethylpentane yang memiliki 8 atom karbon dan merupakan isomer dari oktana dan sering disebut iso-oktana saja karena cabangnya berada pada posisi iso-. Berikut adalah struktur kimia iso-oktana:

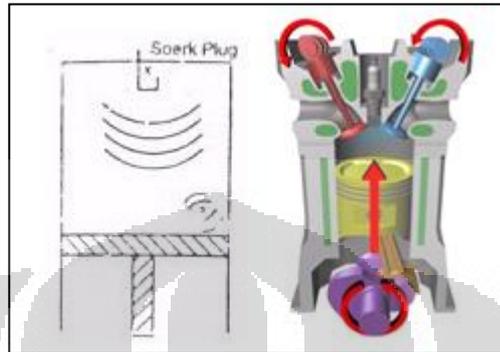


Gambar 2.4 Struktur 2,2,4-trimetil pentana (Fessenden, 1986)

2.2.1 Pengaruh Angka Oktana Pada Mesin

Di dalam mesin, campuran udara dan bensin (dalam bentuk gas) ditekan oleh piston sampai dengan volume yang sangat kecil dan kemudian dibakar oleh percikan api yang dihasilkan busi. Pembakaran yang diinginkan harusnya terjadi akibat percikan api dari busi, tetapi karena besarnya tekanan, campuran udara dan bensin juga bisa terbakar secara spontan sebelum percikan api dari busi keluar. Jika campuran gas ini terbakar karena tekanan yang tinggi (bukan karena percikan api dari busi), maka akan terjadi *knocking* atau ketukan di dalam mesin (Fogler, 1999). *Knocking* ini akan menyebabkan

mesin cepat rusak, sehingga sebisa mungkin harus kita hindari. Gambar di bawah ini memperlihatkan pembakaran yang baik dilambangkan dengan kurva terbalik dan pembakaran spontan dilambangkan dengan kurva pada daerah kanan bawah.



Gambar 2.5 Pembakaran dalam silinder mesin (Gupta, 2006)

Semakin rendah angka oktana semakin besar terjadinya ketukan pada mesin. Jadi untuk menghindari ketukan pada mesin maka dibutuhkan bensin yang memiliki angka oktan yang tinggi.

2.2.2 Metode Penguji Angka Oktan

Angka oktan bisa diuji dengan menggunakan 2 metode:

1. *Research Method*

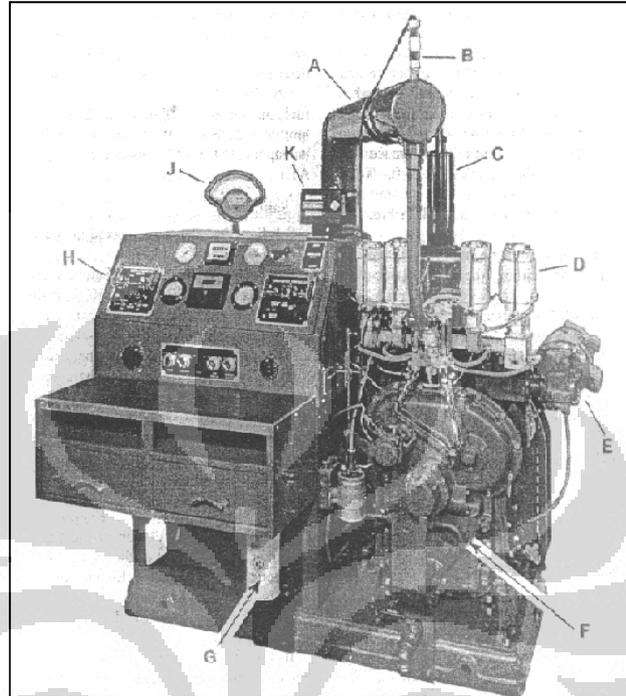
Adalah metode pengukuran angka oktana dari bensin pada kecepatan mesin 600 rpm. Angka oktana yang diperoleh dari metode ini dinamakan RON (*Research Octane Number*). Pengujian RON dilakukan menggunakan mesin uji CFR-F1 (Cooperative Fuel Research F1) yang menggunakan metode ASTM D 2699. Maksimum angka oktana yang dapat diukur oleh mesin uji CFR-F1 adalah sekitar 110 (ASTM D2699)

2. *Motor Method*

Adalah metode pengukuran angka oktan dari bensin pada kecepatan mesin 900 rpm. Angka oktana yang diperoleh dari metode ini dinamakan MON (*Motor Octane Number*) Pengujian RON dilakukan menggunakan mesin uji CFR-F2 (Cooperative Fuel Research F2) yang menggunakan

metode ASTM D 2700. Maksimum angka oktana yang dapat diukur oleh mesin uji CFR-F2 adalah sekitar 120.

Di bawah ini adalah gambar mesin uji CFR-F1 maupun CFR-F2:



Gambar 2.6 Mesin Uji CFR-F1 / CFR-F2 (ASTM D2699)

Dimana:

A =	<i>Air humidifier tube</i>	F =	<i>CFR-48 crankcase</i>
B =	<i>Intake air heater</i>	G =	<i>Oil Filter</i>
C =	<i>Coolant condenser</i>	H =	<i>Ignition Detonation meter</i>
D =	<i>Four bowl carburetor</i>	J =	<i>Knock meter</i>
E =	<i>C.R. change motor</i>	K =	<i>C.R. digital counter</i>

Pengujian angka oktana bahan bakar yang menggunakan mesin uji CFR diperoleh dengan (ASTM 2699):

1. Prosedur Kurung (*Bracketing*) :

Pembacaan knock meter untuk sampel dibandingkan dengan dua campuran bahan bakar acuan ASTM (*ASTM reference fuel*) yang diketahui angka oktana-nya (yang mengurung sampel), pada kompresi tetap dan kondisi operasi standar.

2. Prosedur Perbandingan Kompresi (*Compression Ratio*):

Perbandingan kompresi diatur untuk satu campuran bahan acuan dan sampel serta dioperasikan pada tekanan kompresi agar memberikan intensitas ketukan standar yang sama pada knock meter.

Sensitivitas berhubungan dengan performa mesin di jalan raya, karena *research method* melambangkan performa mesin pada putaran rendah seperti berjalan di dalam kota dimana kecepatan biasanya rendah dan lebih sering mengalami akselerasi. Sedangkan *motor method* melambangkan performa mesin pada putaran tinggi seperti berjalan di jalan bebas hambatan dimana mesin lebih sering dipacu pada kecepatan tinggi (ACEA, 2002).

Umumnya skala bensin di dunia menggunakan RON (*Research Octane Number*). RON berhubungan dengan performa *antiknock* mesin pada pengapian mesin kendaraan komersial di bawah kondisi operasi standar. RON digunakan oleh pabrik, pengilangan minyak dan SPBU, dan juga dalam perdagangan sebagai spesifikasi pengukuran utama untuk bahan bakar dan mesin.

Korelasi empiris yang digunakan untuk menghitung performa *antiknock* mesin kendaraan didasarkan atas persamaan umum:

$$\text{Road ON} = (k_1 \times \text{RON}) + (k_2 \times \text{MON}) + k_3 \dots\dots\dots 2.14$$

Nilai k_1 , k_2 , dan k_3 berbeda-beda tergantung dari jenis kendaraan, jumlah populasi kendaraan dan semuanya itu digunakan untuk penentuan *Road ON*.

RON dengan MON dapat digunakan untuk menghitung indeks *antiknock* mesin pada pengapian mesin kendaraan yang sesuai dengan spesifikasi D 4814. Indeks *antiknock* bahan bakar mendekati angka oktana yang sebenarnya di jalan raya (*Road ON*). Jadi persamaan untuk indeks *antiknock*:

$$\text{Indeks Antiknock} = 0.5 \text{ RON} + 0.5 \text{ MON} + 0 \dots\dots\dots 2.15$$

Atau sering ditulis sebagai

$$\text{Indeks Antiknock} = \frac{(R+M)}{2} \dots\dots\dots 2.16$$

RON juga dapat digunakan sendiri saja atau dengan korelasi faktor lain untuk menentukan *Road ON* untuk kendaraan di seluruh dunia.

2.3 Aditif Bensin

Aditif bensin adalah zat yang ditambahkan ke dalam bensin. Tujuannya untuk meningkatkan angka oktan bensin yang berdampak pada performa mesin. Oleh karena itu, zat aditif sudah seharusnya memiliki angka oktan yang lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan angka oktan campurannya.

Senyawa yang dapat digunakan sebagai zat aditif harus memiliki beberapa syarat seperti:

1. Dapat menaikkan angka oktan dari campuran bensin secara keseluruhan
2. *Anti-oxidants* (menghambat pembentukan gum atau kerak yang dapat merusak nosel bensin, memperbaiki stabilitas pembakaran).
3. *Metal deactivators*.
4. *Deposit modifiers* (mereduksi kerak, kegagalan percikan api busi dan ketukkan).
5. *Surfactants* (mencegah pembekuan, menaikkan pengabutan, mengurangi kerak, mereduksi emisi NOx).
6. Mengecilkan titik beku (mencegah pembekuan).
7. Pencegah perkaratan (mencegah bensin untuk mengkarati tangki penyimpanan minyak).
8. Pewarnaan (untuk faktor keselamatan dan tujuan pengaturan seperti premium berwarna kuning dan pertamax berwarna biru).
9. Harus dapat tahan disimpan untuk waktu cukup lama tanpa mengalami perubahan kimia dan pengendapan.

Ada beberapa jenis aditif yang dapat ditambahkan ke dalam bensin untuk mendapatkan efek tertentu dari aditif tersebut. Selain aditif peningkat angka oktana, ada aditif lain yang dapat memberikan efek menguntungkan lainnya, seperti di bawah ini:

1. Combustion deposit modifier

Deposit yang terdapat pada bagian dalam silinder mesin terbentuk sebagai hasil sampingan pembakaran bahan bakar dan minyak pelumas yang digunakan. Deposit ini biasanya terbentuk setelah kendaraan dijalankan sejauh 8000-24000 km dan dapat menyebabkan kenaikan rasio kompresi pada mesin. Tetapi efek utama yang ditimbulkan adalah penyimpangan panas dari siklus ke siklus dan bertindak sebagai penghambat aliran panas melalui dinding ruang bakar ke pendingin.

Sebagai akibat kenaikan rasio kompresi, simpanan panas, dan efek isolasi tersebut kecenderungan terjadinya ketukan pada mesin meningkat. Untuk mencegah terjadinya deposit maka dapat digunakan *combustion deposit modifier*. Senyawa yang digunakan untuk aditif jenis ini adalah senyawa-senyawa organofosforus.

2. Deaktivator metal

Bensin mengandung beberapa unsur logam seperti copper, nikel, mangan. Logam tersebut dapat bertindak sebagai katalis oksidasi senyawa hidrokarbon tak jenuh. Untuk mencegah hal ini maka ditambahkan aditif deaktivator metal seperti N,N'-disalicylidene-1,2-propanediamine sebanyak 10 ppm.

3. Inhibitor karat

Bensin yang digunakan sering kali masih mengandung air yang dapat menyebabkan karat di sepanjang sistem distribusi bensin dan mesin. Untuk mencegahnya maka ditambahkan aditif surfaktan sebanyak 5 ppm ke dalam bensin. Jenis aditif yang dapat digunakan untuk tujuan ini adalah asam-asam organik, garam-garam amina, dan derivatif asam fosforik. Jenis yang sering digunakan adalah asam dimerized linoleik.

4. Aditif anti-es

Aditif ini dapat mencegah terbentuknya es pada saluran bahan bakar yang dapat membuat mesin berjalan tersendat-sendat akibat bensin tidak tersalurkan secara normal. Aditif yang digunakan adalah derivatif asam-asam karboksilik dan fosforik yang memiliki sifat-sifat permukaan aktif dan berfungsi sebagai penurun titik beku seperti alkohol dan glikol.

2.4 Aditif Bensin Peningkat Angka Oktan

Senyawa yang dapat digunakan sebagai aditif harus memiliki beberapa syarat seperti:

1. Merupakan senyawa oksigenat (Reynolds, 1999).

Senyawa oksigenat merupakan senyawa yang mengandung atom oksigen di dalam ikatan jenuhnya dengan atom karbon lainnya. Senyawa oksigenat dapat menambah kadar oksigen di dalam bahan bakar sehingga dapat memperbesar rasio pembakaran udara dengan bahan bakar yang digunakan. Jika pembakaran yang terjadi semakin sempurna maka hal ini dapat meminimalkan terjadinya pembakaran spontan di dalam silinder sehingga tidak terjadi ketukan. Selain itu, pembakaran yang sempurna menyebabkan semua bahan bakar terbakar semua sehingga tidak ada hidrokarbon yang terbang ke knalpot.

Atom oksigen juga memiliki polaritas yang tinggi sehingga memberikan ikatan yang kuat terhadap molekul disekitarnya. Dengan adanya ikatan kuat inilah maka senyawa oksigenat tidak mudah terbakar dengan adanya tekanan tinggi sehingga meminimalkan terjadinya pembakaran spontan.

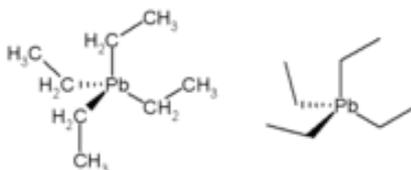
Sebagian besar senyawa oksigenat juga memiliki rentang titik didih yang berada di dalam rentang titik didih bensin sehingga ketika dicampur ke dalam bensin senyawa oksigenat ini tidak akan menguap terlebih dulu.

2. Memiliki struktur yang kompak (senyawa yang bercabang banyak) (Marchionna, et. al.,2001)

Semakin kompak struktur suatu senyawa, semakin besar pula rintangan steriknya dan semakin meminimalkan terjadinya pembakaran spontan sehingga dapat meningkatkan angka oktana.

Ada berbagai macam aditif yang telah digunakan untuk meningkatkan angka oktan dari bensin dan memiliki kriteria seperti pada poin – poin di atas, seperti:

2.4.1 TEL (Tetra-ethyl Lead)



Gambar 2.7 Struktur TEL (Michael, 2000)

TEL merupakan senyawa organologam yang beracun dengan rumus kimia $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4\text{Pb}$. TEL tidak berwarna, larut dalam bensin dan bersifat lipofilik. TEL juga banyak digunakan di Amerika Serikat sebagai aditif bensin karena kemampuannya untuk meningkatkan angka oktana dan dapat mencegah terjadinya pembakaran spontan (*knocking*) di dalam mesin.

TEL dibuat dari ethyl chloride dengan sodium-lead alloy dengan reaksi:



TEL memiliki 4 ikatan C-Pb yang lemah sehingga pada saat pembakaran di dalam silinder mesin $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4\text{Pb}$ dapat terdekomposisi menjadi Pb dan 4 molekul radikal etil dengan mudah. Radikal-radikal etil yang terbentuk dapat meningkatkan reaksi pembakaran. Reaksi lengkapnya:

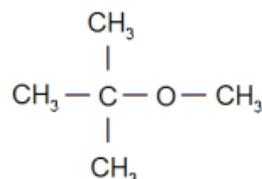


Pb yang terbentuk dapat teroksidasi lebih lanjut menjadi Pb oksida:



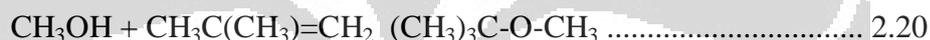
Pb dan PbO yang terbentuk akan dibuang melalui asap knalpot kendaraan. Pb bebas yang dibuang ke udara ini sangat berbahaya bagi manusia dan organisme lainnya, karena Pb termasuk logam berat yang dapat terakumulasi di dalam tubuh dan sangat sulit untuk dikeluarkan. Efek yang dapat ditimbulkan Pb di dalam tubuh seperti kerusakan otak permanen dan kanker.

2.4.2 MTBE (Methyl tert-butyl ether)



Gambar 2.8 Struktur MTBE (Michael, 2000)

MTBE merupakan senyawa oksigenat yang banyak digunakan sebagai zat aditif peningkat angka oktana bensin dan digunakan sebagai pengganti TEL. MTBE banyak digunakan di Amerika Serikat sejak 1979 dan memiliki sifat mudah menguap, mudah terbakar, tidak berwarna dan larut dalam air. Oksigen yang terkandung di dalam MTBE menambahkan kadar oksigen di dalam bahan bakar sehingga dapat meningkatkan pembakaran di dalam mesin yang menghasilkan pembakaran dan oksidasi yang lebih sempurna. MTBE dibuat dari metanol dan isobutilena dengan reaksi sebagai berikut:



Selain merupakan senyawa oksigenat, MTBE juga mempunyai struktur yang kompak sehingga memiliki angka oktana yang cukup tinggi sebesar 116 (RON) dan 107 (MON).

Sekarang ini di beberapa negara penggunaan MTBE sebagai zat aditif bensin sudah dilarang, karena bersifat karsinogen dan berbahaya bagi organisme lainnya. MTBE mudah terlarut di dalam air tetapi sangat sulit terdegradasi sehingga dapat mencemari biota air jika bensin yang mengandung MTBE masuk ke dalam air.

Tabel 2.6 Sifat fisika MTBE (Michael, 2000)

Sifat	Nilai
Rumus	$\text{CH}_3\text{OC}_4\text{H}_9$
Berat molekul	88
Titik didih (°C)	55
Titik beku (°C)	-108
Specific gravity	0,746
Kelarutan dalam air (%)	4,8
RON	116
MON	98
Angka Oktan	107

2.4.3 Alkohol

Alkohol memiliki berbagai macam struktur dan merupakan senyawa oksigenat sehingga hampir sebagian besar alkohol dapat dipakai sebagai zat aditif bensin.

Tabel 2.7 Beberapa jenis alkohol dan harga RON-nya (Michael, 2000)

Jenis	Struktur	RON
Metanol	$\text{CH}_3 - \text{OH}$	122
Etanol	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$	121
Isopropanol	$\text{CH}_3 - \text{CH}(\text{OH}) \text{CH}_3$	117
Tersier Butil Alkohol	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} $	115

2.5 Senyawa Nitrat Sebagai Aditif Bahan Bakar

Ada dua macam cara untuk mendapatkan cabang nitrogen dioksida yaitu :

1. Mereaksikan pada fase cair.

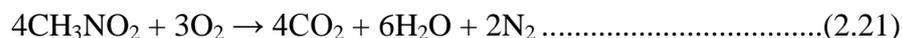
Pada fase cair, bahan reaksi dicampur dengan senyawa asam nitrat dengan bantuan katalis asam sulfat dan dijaga pada suhu $55\text{ }^\circ\text{C}$ seperti penelitian yang dilakukan oleh Ade Makhdiyanti (2002). Fungsi asam sulfat adalah untuk menyerap air yang dihasilkan pada proses nitrasi. Dengan demikian, reaksi balik dapat dihindari. Nitrasi akan berlangsung lambat tanpa bantuan asam sulfat.

2. Mereaksikan pada fase gas.

Pada fase gas, bahan reaksi dicampur dengan asam nitrat dan *nitronium hexafluorophosphate* sebagai katalis dengan pemanasan sampai $65\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 hari atau $400\text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 hari dan dijaga pada tekanan 1500-1600 psi. Semua bahan gas diinjeksikan pada tempat bernama *autoclave*, lalu *autoclave* dimasukkan ke dalam *furnace* untuk dipanaskan (Olah et.al., 1997)

Kegunaan dari senyawa organik nitroalkana adalah sebagai bahan bakar untuk beradu balap atau *drag racing* (Olah et.al.,1997). Oksigen di dalam struktur molekular dari nitroalkana dapat terbakar pada jumlah oksigen yang sedikit sehingga dapat menyediakan tenaga lebih.

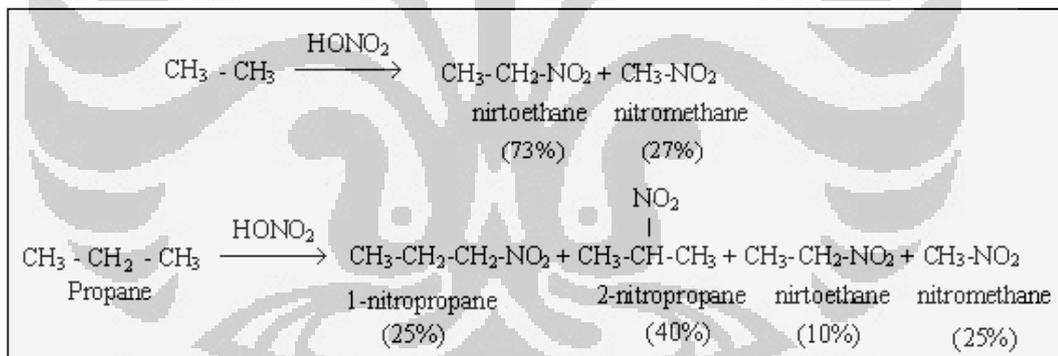
Dengan reaksi pembakaran :



Senyawa nitrometana mempunyai kecepatan pembakaran lebih tinggi dari bensin sehingga mesin mobil dapat lari pada kecepatan sangat tinggi. Beberapa pesawat jet dan roket menggunakan bahan bakar ini.

Reaksi ini hanya terjadi dengan cara mencampurkan antara alkana dengan asam nitrat. Hidrokarbon alkana selain metana akan bereaksi menghasilkan banyak isomer dan gugus yang lebih kecil serta isomer gugus kecil tersebut.

Alur reaksinya adalah sebagai berikut:

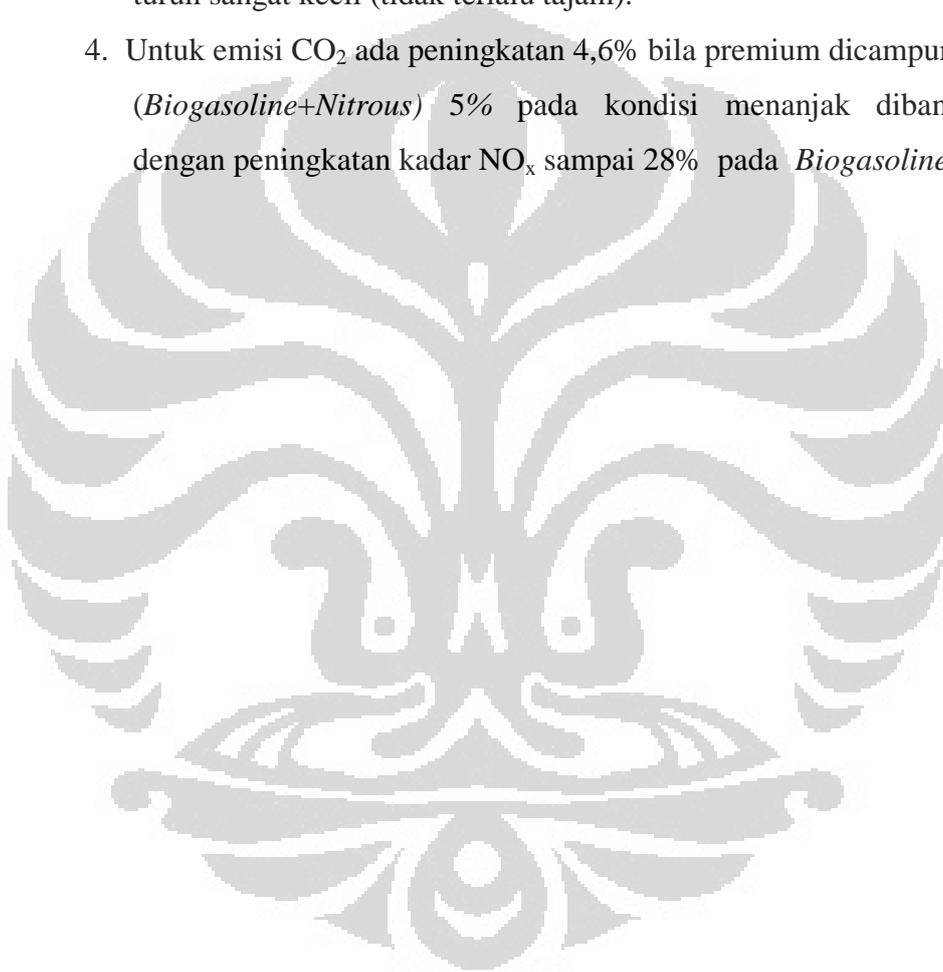


Gambar 2.9 Reaksi pembentukan senyawa organik hidrokarbon nitro (Olah et.al., 1997).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Gilar Awaliansyah membuktikan bahwa dengan penambahan *biogasoline* + *nitrous* sebanyak 5% yang dicampur dengan premium 95% dengan diuji pada mesin otto pada kondisi menengah yaitu pada putaran 1700 rpm secara tetap, didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Terjadi peningkatan BHP (*Brake Horse Power*) untuk *biogasoline* + *nitrous* sebanyak 5% dibanding *biogasoline* dan premium. Tetapi pada bukaan valve 30% hingga 40% mengalami penurunan yang tidak terlalu tajam.

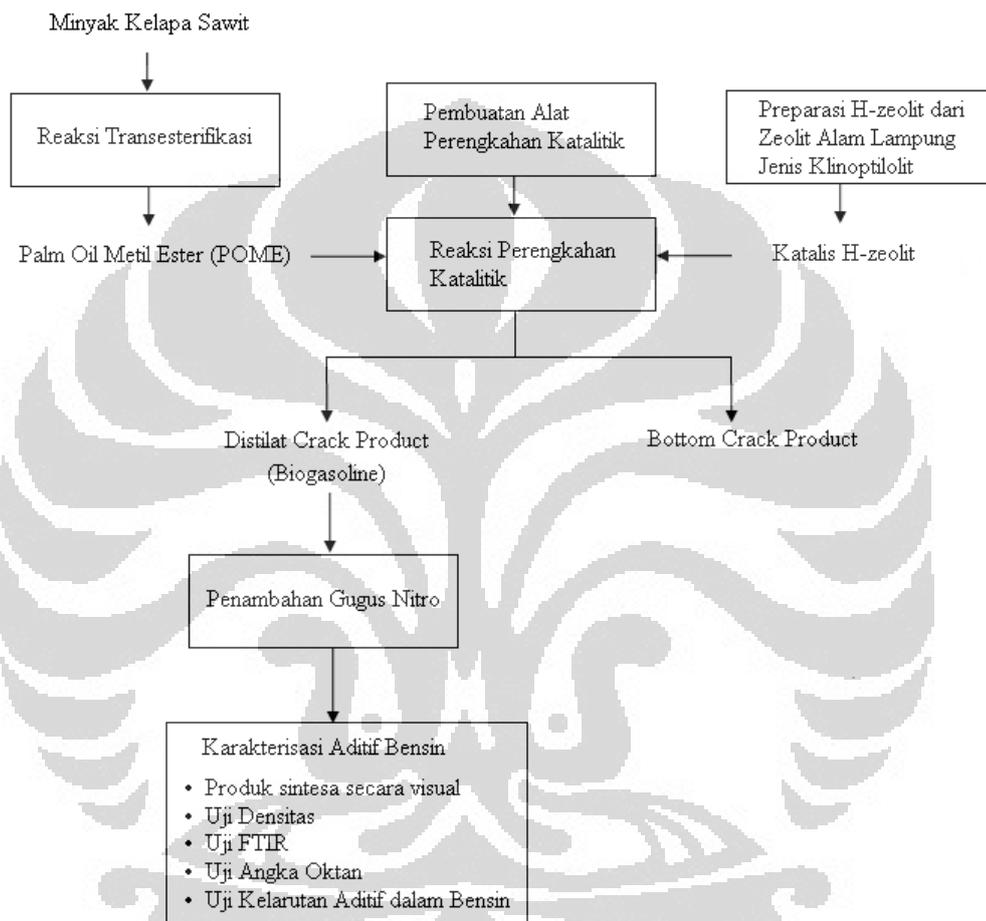
2. Pada pencampuran *biogasoline* + *nitrous* 5% menunjukkan hasil yang konsumsi bahan bakar yang rendah dibanding dengan premium dan *biogasoline* pada hampir tiap bukaan *throttle*. Tetapi pada bukaan *valve* 30 hingga 40% mengalami penurunan dan masih lebih baik dari bensin premium murni.
3. Efisiensi thermal yang dihasilkan dari pencampuran *biogasoline* + *nitrous* 5%, memberikan peningkatan hingga 30 % dan setelah itu turun sangat kecil (tidak terlalu tajam).
4. Untuk emisi CO₂ ada peningkatan 4,6% bila premium dicampur dengan (*Biogasoline+Nitrous*) 5% pada kondisi menanjak dibandingkan dengan peningkatan kadar NO_x sampai 28% pada *Biogasoline* 5%.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini terdiri dari 5 tahap utama yaitu:

1. Tahap pertama reaksi transesterifikasi

Minyak sawit direaksikan dengan metanol dan menggunakan katalis basa (NaOH), kemudian akan terbentuk metil ester yang bercampur dengan gliserin dan didiamkan mengendap selama 3 hari agar terpisah antara metil ester, gliserin dan sabun.

2. Tahap kedua preparasi katalis H-zeolit

Katalis zeolit yang digunakan dalam penelitian ini merupakan katalis zeolit alam dari Lampung. Pada tahap ini H-zeolit akan dipreparasi yang kemudian akan digunakan sebagai katalis H-Zeolit dengan menggunakan metode pertukaran ion dan kalsinasi.

3. Tahap ketiga perengkahan metil ester

Pada langkah ini, reaksi perengkahan dilakukan dengan menggunakan suatu *fixed bed* reaktor dengan katalis H-zeolit dan dilakukan secara *batch*. Reaktor merupakan *fix bed* reaktor yang dirancang agar mampu mengeluarkan produk atas perengkahan dari tutup reaktor.

4. Tahap keempat sintesis aditif bensin

Produk intermediat dari hasil reaksi perengkahan katalitik metil ester kemudian direaksikan dengan HNO_3 dan katalis H_2SO_4 (Makhdiyanti, 2002; Olah. et.al., 1997) untuk mendapatkan tambahan gugus nitro. Produk yang dihasilkan dari tahap ini merupakan zat aditif bensin yang diinginkan.

5. Tahap terakhir adalah analisa zat aditif bensin

Pada tahap ini dilakukan analisa densitas, dan jenis-jenis komponen yang terdapat di dalam zat aditif bensin dengan menggunakan alat FTIR serta untuk mengetahui angka oktan aditif.

3.2 Rincian Kegiatan Pembuatan Aditif

3.2.1 Reaksi Transesterifikasi

Pada penelitian ini reaksi transesterifikasi prosedur pelaksanaannya menggunakan prosedur yang telah dilakukan oleh Rengga (2006) dan Nasikin. M dkk (2002). Prosedurnya sebagai berikut:

1. Pertama-tama melarutkan katalis NaOH ke dalam Metanol dengan tujuan untuk mempermudah reaksi karena NaOH yang digunakan berbentuk padatan. Proses pelarutan dibantu dengan pemanasan menggunakan *hot plate* pada temperatur 65°C agar NaOH lebih cepat larut ke dalam metanol. Perbandingan mol metanol dan mol minyak goreng kelapa sawit yang digunakan adalah sebesar 6:1. Katalis NaOH yang digunakan adalah sebanyak 0.8% berat minyak kelapa sawit.
2. Memasukkan 5 liter minyak goreng kelapa sawit ke dalam bak penampung, lalu menyalakan pengaduk dengan kecepatan rendah. Suhu reaksi 65°C dijaga konstan selama 1 jam.
3. Memasukkan larutan Metanol + NaOH secara cepat ke dalam minyak dan pengadukan tetap dilakukan agar larutan tersebut terdispersi secara merata dalam minyak kelapa sawit.
4. Setelah reaksi dilakukan produk yang dihasilkan akan didiamkan untuk diendapkan selama 3 hari. Setelah didiamkan selama 3 hari produk akan terpisah menjadi 3 fase yaitu metil ester, sabun dan gliserin. Gliserin akan mengendap di tengah-tengah (berwarna oranye) dan di atasnya terdapat metil ester yang berwarna kuning keemasan serta sabun yang berwarna kuning tua akan mengendap paling dasar.

3.2.2 Preparasi Katalis Zeolit

Pada penelitian ini katalis H-zeolit. Prosedur pelaksanaannya seperti yang telah dilakukan oleh Nasikin. M dkk (2002). Prosedurnya sebagai berikut:

1. Menyiapkan sebanyak 500 gr zeolit alam Lampung ke dalam wadah.

2. Melarutkan *ion exchange* sebagai sumber atom H(digunakan larutan amonium klorida). Larutan ini disiapkan sebanyak 5 L dengan konsentrasi 1 N.
3. Memasukkan zeolit ke dalam larutan pada prosedur 2 dan diaduk dengan pengaduk listrik selama 50 jam.
4. Setelah 50 jam, proses pengadukan dihentikan kemudian campuran didiamkan hingga serbuk zeolit tertukar ionnya (ion terendapkan di bagian dasar). Kemudian endapan dipisahkan dengan dekantasi.
5. Menyaring zeolit yang telah diproses pada prosedur di atas dan dicuci menggunakan *aquadest* untuk menghilangkan pereaksi sisa.
6. Mengeringkan Zeolit yang telah dicuci dengan oven pada suhu 110°C.
7. Melakukan kalsinasi zeolit dalam furnace pada suhu 420 °C selama 2 jam.
8. Percontoh yang telah mengalami proses kalsinasi selanjutnya dilakukan proses dealuminasi. Sampel direndam dalam larutan HF 3 % selama 20 menit. Selanjutnya sampel dicuci dengan air suling dan dikeringkan dalam tungku selama 2 jam pada temperatur 110 °C.

3.2.3 Proses Perengkahan Katalitik

Prosedur kerja alat perengkahan:

1. Memasukkan metil ester dari atas reaktor sebanyak 2 liter.
2. Memasukkan katalis H-Zeolit diatas kawat kasa sebanyak 100 gram. Kawat kasa digunakan agar katalis tidak terkena pemanas secara langsung.
3. Langkah ketiga menutup reaktor lalu memasang kondenser dan menguncinya dengan baut.
4. Memasang termokopel, dan menghubungkannya ke *controller*.
5. Memasang kabel pemanas, dan menghunbungkannya ke *controller*.
6. Memberikan aliran pendingin ke kondenser.
7. Memasang selang untuk menampung hasil perengkahan, dan menutupnya dengan *plastic wrap*
8. Mengatur suhu di controller, yaitu pada 320°C
9. Pemanasan dihentikan setelah didapat cukup banyak produk distilat yang dihasilkan sekitar 40% dari volume reaktan.

3.2.4 Reaksi Penambahan Gugus Nitro

Prosedurnya penambahan gugus nitro:

1. Memasukkan HNO_3 pekat (65%) kedalam labu bulat 100 ml sebanyak 12 ml. Menambahkan H_2SO_4 pekat (98%) sesuai dengan jumlah HNO_3 yaitu 12 ml. Masukkan sedikit demi sedikit sambil dikocok. Selama penambahan H_2SO_4 pekat, labu dimasukkan ke dalam air dingin agar campuran tetap dingin.
2. Menambahkan produk atas perengkahan 30 ml sedikit demi sedikit dan setiap kali sesudah penambahan produk atas perengkahan, mengocok labu agar terbentuk campuran yang baik. Suhu campuran dijaga agar $T \leq 55^\circ\text{C}$. Maka dari itu dipasang *hot plate* dan termometer.
3. Setelah menambahkan semua produk atas perengkahan, memasang pendingin refluks pada labu dan memanaskan labu dalam pemanas air selama 40-45 menit dengan $T \leq 60^\circ\text{C}$. Agar tercampur dengan baik, labu sering diangkat dan dikocok.
4. Menuang isi labu ke dalam *beaker glass* yang berisi 250 ml air *aquadest* dingin. Mengaduk campuran tersebut untuk membersihkan asam dari produk akhir sebanyak mungkin.
5. Setelah produk akhir dan air benar-benar terpisah, produk akhir dituangkan ke dalam labu erlenmeyer. Produk akhir yang masih tersisa dipisahkan dengan menggunakan corong pisah.
6. Menuangkan kembali produk akhir ke dalam corong pisah dan dikocok kuat-kuat dengan 25 ml air.
7. Memisahkan air dan produk akhir sesempurna mungkin dengan corong pisah dan memasukkannya ke dalam labu erlenmeyer yang mengandung 2,5 gr CaCl_2 anhidris. Setelah itu menyaring CaCl_2 tersebut kedalam kertas saring.
8. Hasil yang berupa cairan inilah yang berguna sebagai zat aditif bensin.
9. Mengulang prosedur 1-8 dengan reaktan HNO_3 sebanyak 18 ml.

3.3 Analisa Produk

Setelah diperoleh zat aditif bensin, maka akan dilakukan serangkaian analisa untuk mengetahui propertinya seperti analisa densitas, analisa GC-MS, analisa FTIR dan perhitungan angka oktan.

3.3.1 Uji Densitas

Analisa densitas dilakukan menggunakan alat bernama *piknometer* dengan prosedur sebagai berikut: (Byron et. Al., 1994)

1. Menimbang berat kosong *piknometer* serta mencatat nilainya.
2. Mengambil percontoh sebanyak 10 ml dan memasukkan percontoh ke dalam *piknometer*.
3. Menimbang berat *piknometer* yang berisi percontoh sebanyak 10 ml dan mencatat nilainya.
4. Menghitung densitas dengan rumus sebagai berikut :

$$Densitas = \frac{\text{berat piknometer berisi percontoh} - \text{berat piknometer kosong}}{\text{volume percontoh}} \quad ..(3.1)$$

3.3.2 Uji FTIR

Analisa ini dilakukan untuk melihat jenis ikatan-ikatan yang terdapat di dalam zat aditif bensin yang diperoleh. Uji FTIR dilakukan di Lab Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam (RPKA), Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia. Prosedurnya sebagai berikut:

1. Menyalakan Komputer dan FTIR.
2. Mengaktifkan *software winfirst* dan melakukan *scanning* pada keadaan FTIR belum terisi percontoh.
3. Membersihkan wadah percontoh dengan aseton, untuk menghilangkan pengotor.
4. Meletakkan percontoh pada tempat percontoh dan siap untuk dilakukan *scanning*.
5. Hasil *scanning* percontoh akan terlihat pada layar monitor lalu disimpan hasilnya dan dicetak.

3.3.3 Analisa GC-MS

Analisa ini dilakukan untuk melihat macam macam senyawa yang terdapat di dalam produk distilat perengkahan yang diperoleh. Uji GC-MS dilakukan di Pusat Laboratorium Forensik (PusLabFor), Jakarta.

3.3.4 Pengujian Angka Oktana

Pengujian angka oktana dilakukan dengan menggunakan alat uji oktan merek Zeltex ZX-101 milik PT. Catur Bangun Putra, Jakarta.



Gambar 3.2 Mesin pengujian angka oktan

3.3.5 Uji kelarutan terhadap Bensin

Percobaan ini dilakukan untuk menguji tingkat kelarutan aditif yang didapatkan. Kemudian diamati perubahan warna yang terjadi dan bau yang ditimbulkan serta terjadinya pengendapan.

BAB IV

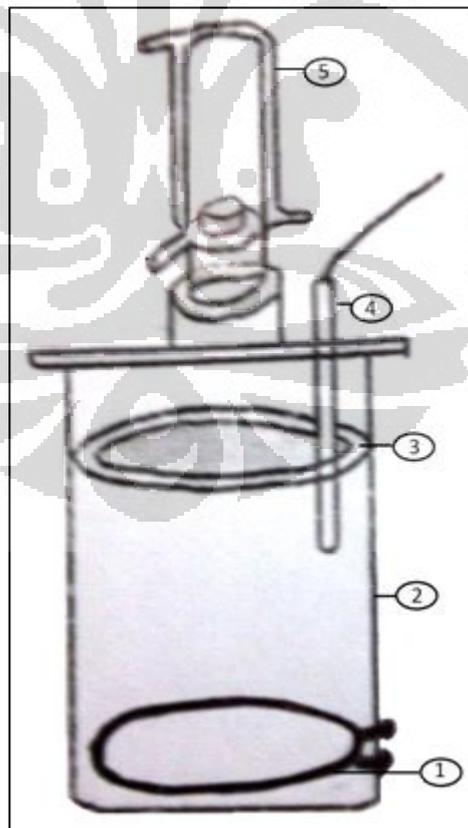
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini adalah sebuah reaktor *fixed bed* dengan sistem *batch* untuk melakukan reaksi perengkahan katalitik. Hasil yang lain berupa aditif bensin yang dibuat dari penambahan gugus nitro pada *biogasoline* hasil perengkahan. Bab ini membahas secara terperinci hasil dari penelitian ini ditinjau dari performa reaktor, hasil uji kelarutan aditif, pengukuran oktan aditif, dan uji densitas dan FTIR pada setiap tahapnya.

4.1 Reaktor Perengkahan

4.1.1 Dimensi dan Foto

Penelitian ini dimulai dengan merancang dan membuat alat perengkahan katalitik dengan sistem batch yang sederhana.



Gambar 4.1 Dimensi Reaktor

Berikut adalah foto beberapa bagian dari reaktor diatas:



Gambar 4.2 Foto bagian-bagian reaktor perengkahan

Keterangan gambar:

1. Pemanas, mempunyai daya sebesar 800 watt. Berbahan *nickel chromalog* dan diselubungi dengan stainless steel 316, berbentuk lingkaran. Pemanas ini akan bertemu langsung dengan fluida yang akan dipanaskan. Pemanas juga terhubung dengan controller.
2. Reaktor, terbuat dari stainless steel 316, dengan diameter 16 cm dan ketebalan 3ml.
3. Penyanggah katalis, terbuat dari kawat kasa, yang berpori 0.5 mm, digunakan untuk menaruh katalis, agar katalis tidak mengalami kontak langsung dengan pemanas.
4. Termokopel, berfungsi untuk mengukur suhu di dalam sistem, controller yang terhubung dengan termokopel ini akan membaca suhunya, dan controller yang juga terhubung dengan pemanas akan mengatur agar suhu sistem tetap, sesuai dengan setting suhu di controller. Termokopel ini terbuat dari kawat alumel.
5. Kondenser, telah dirancang agar mampu mengkondensasi uap yang naik, dan menahannya agar tidak kembali ke sistem.
 - a : aliran air pendingin masuk
 - b : aliran air pendingin keluar
 - c : tempat keluarnya distilat

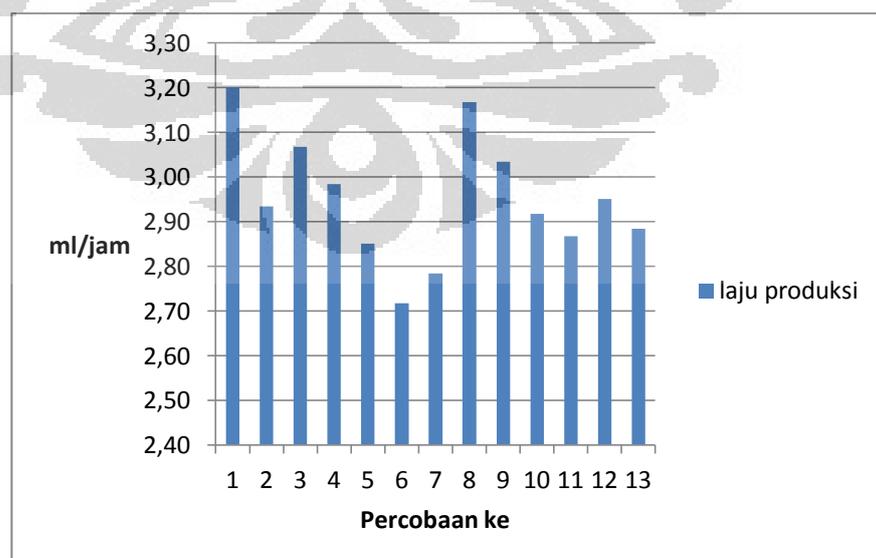
4.1.2 Performa Reaktor

- Laju Produksi

Performa reaktor dapat dilihat dari jumlah produk yang dihasilkan. Tabel berikut adalah data hasil penelitian yang telah dilakukan sebanyak 13 kali percobaan dengan waktu dan suhu reaksi yang sama.

Tabel 4.1 Tabel hasil penelitian untuk laju produksi dari reaktor.

Percobaan ke	Waktu (jam)	Suhu reaksi	Volume produk (ml)	Laju produksi (ml/jam)
1	6	320 °C	19.2	3.20
2	6	320 °C	17.6	2.93
3	6	320 °C	18.4	3.07
4	6	320 °C	17.9	2.98
5	6	320 °C	17.1	2.85
6	6	320 °C	17.1	2.85
7	6	320 °C	17.0	2.83
8	6	320 °C	19.0	3.17
9	6	320 °C	18.2	3.03
10	6	320 °C	17.2	2.87
11	6	320 °C	17.2	2.87
12	6	320 °C	17.2	2.87
13	6	320 °C	17.0	2.83
TOTAL	78 jam		230.1	



Gambar 4.3 Grafik batang laju produksi tiap percobaan

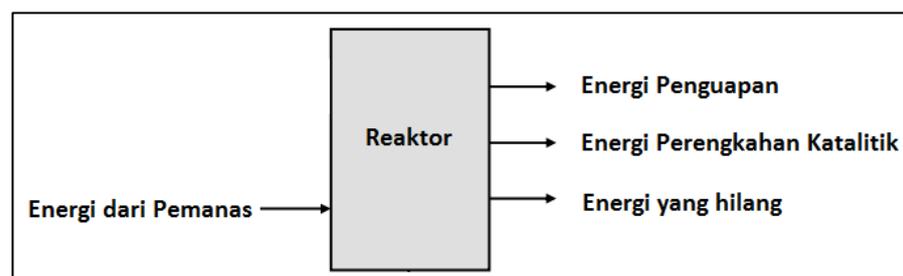
Reaktor perengkahan ini menghasilkan jumlah produk sebanyak 230,1 ml dalam waktu 78 jam sehingga rata-rata laju produksi sebesar 2,95 ml/jam. Jika dibandingkan dengan reaktor semi-kontinyu (Wijaya, 2007), penurunan performa terjadi yang mana reaktor semi-kontinyu menghasilkan 100 ml dalam waktu 13 jam sehingga dihasilkan laju produksi 7,7 ml/ jam. Penurunan ini disebabkan kurang besarnya luas lubang pengeluaran uap pada bagian atas reaktor yang diameternya hanya berukuran 1,6 cm. Banyak metil ester yang menguap dan tidak tertampung sehingga mengembun kembali ke sistem.

Pada grafik batang terlihat bahwa terdapat perbedaan laju produksi reaktor perengkahan pada setiap percobaannya. Hal ini disebabkan suhu lingkungan yang berbeda pada setiap percobaan. Suhu lingkungan sangat berpengaruh karena reaktor ini berhubungan langsung dengan lingkungan. Pada percobaan ke-8 dilakukan pergantian katalis dan juga reaktan sehingga terdapat kenaikan laju produksi.

Dengan memodifikasi bagian tutup reaktor, debit yang besar dapat dihasilkan. Modifikasi dilakukan dengan memaksimalkan seluruh bagian atas reaktor sebagai wadah pengkondensasian. Dengan luas maksimal dan asumsi persamaan linear, kemungkinan didapat debit keluaran sebesar 295 ml/jam. Perhitungan yang lebih lengkap terdapat pada lampiran 1.

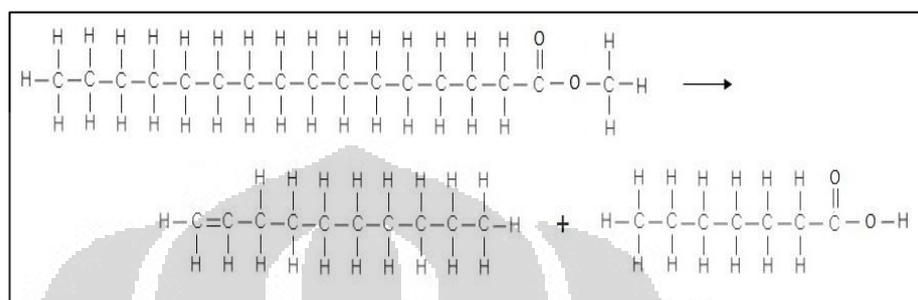
- Efektifitas energi

Berikut adalah diagram energi balance dari reaktor



Gambar 4.4 Diagram heat balance

Energi untuk perengkahan bisa dihitung dengan cara menghitung ΔH reaksi dari perengkahan dikali dengan mol produk. Dengan asumsi hanya terjadi 1 kali perengkahan dan perengkahan yang terjadi berlangsung dengan reaksi seperti pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Model reaksi perengkahan yang terjadi.

Dari data energi ikatan maka, dapat dihitung ΔH reaksi. Tabel 4.2 adalah hasil perhitungan efisiensi energi tiap percobaan. Perhitungan lebih lengkapnya terdapat pada Lampiran 2.

Tabel 4.2 Tabel efisiensi energi tiap percobaan

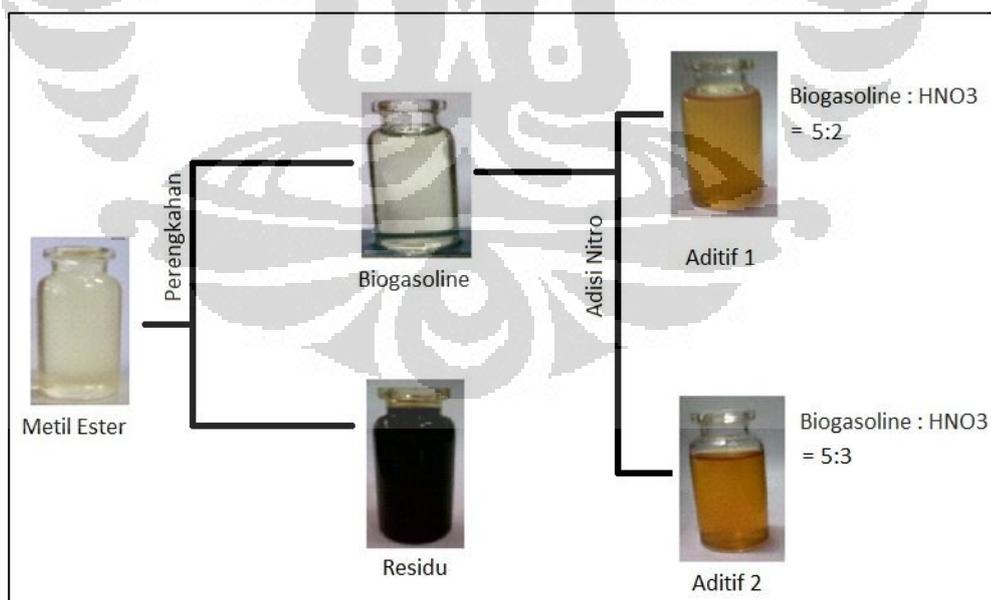
Trial Ke	Volume (ml)	Energi yang diberikan (kJ)	Energi untuk penguapan (kJ)	Energi untuk perengkahan (kJ)	Energi yang hilang (kJ)	Efisiensi percobaan (%)
1	19.2	17280	1070	165	16045	7.15
2	17.6	17280	981	151	16148	6.55
3	18.4	17280	1026	158	16097	6.85
4	17.9	17280	998	154	16129	6.66
5	17.1	17280	953	147	16180	6.36
6	17.1	17280	953	147	16180	6.36
7	17.0	17280	948	146	16187	6.33
8	19.0	17280	1059	163	16058	7.07
9	18.2	17280	1014	156	16109	6.77
10	17.2	17280	959	148	16174	6.40
11	17.2	17280	959	148	16174	6.40
12	17.2	17280	959	148	16174	6.40
13	17.0	17280	948	146	16187	6.33

Hasil perhitungan menunjukkan angka efektifitas energi rendah dengan rata-rata sebesar 6,44%. Hal ini disebabkan beberapa faktor, di antaranya:

1. Tidak adanya *Thermal Jacket* yang mana jaket tersebut sangat penting pada reaktor untuk mencegah perpindahan panas tidak terjadi secara langsung dari reaktor ke udara sekitar.
2. Lubang pengeluaran yang kecil sehingga banyak uap tidak keluar, dan kemungkinan mengembun kembali setelah beberapa kali panas uap berpindah saat menabrak dinding reaktor yang tidak dilengkapi jaket dan hal ini terjadi secara terus menerus.
3. Saat uap di dalam reaktor mengenai katalis, perubahan fase dari uap kembali menjadi cair mungkin terjadi. Hal ini disebabkan proses perengkahan membutuhkan energi yang besar sehingga energi dari uap berkurang dan menyebabkan uap yang terengkah mengembun dan kembali menyatu dengan sistem.

4.2 Produk Aditif

Berikut adalah gambar produk hasil dari berbagai tahapan reaksi:

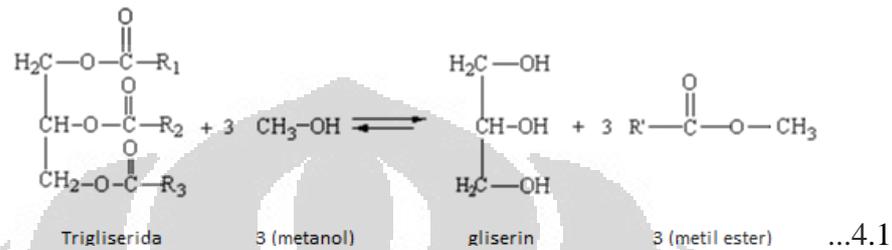


Gambar 4.6 Produk hasil dari beberapa tahap reaksi

4.2.1 Tahap-tahap Reaksi

1. Reaksi Transesterifikasi

Reaksi ini berlangsung sesuai dengan literatur dimana umpan yang dimasukkan adalah trigliserida dengan reaktan metano. Reaksi ini menghasilkan metil ester dan gliserin, dengan mekanisme reaksi sebagai berikut:



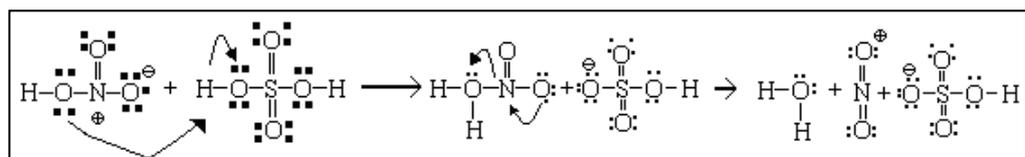
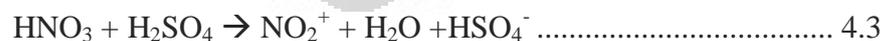
2. Reaksi Perengkahan

Pada penelitian ini, reaksi perengkahan sulit untuk digambarkan reaksinya secara keseluruhan. Hal itu disebabkan selain terjadi reaksi perengkahan, dalam reaktor juga mungkin terjadi reaksi alkilasi, polimerisasi, isomerisasi dan juga reaksi siklisasi. Dari data uji Gas Chromatography – Mass Spectrometri (GC-MS) pada *biogasoline* didapat bahwa kandungan oktana dan asam heptanoat tinggi, dapat diasumsikan reaksi perengkahan yang terjadi adalah sebagai berikut:



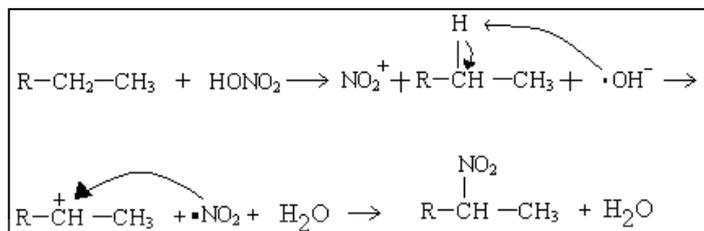
3. Reaksi adisi Nitro

Mereaksikan asam nitrat dengan asam sulfat, sehingga membentuk ion (NO_2^+) yang sangat reaktif seperti pada reaksi berikut:



Gambar 4.7 Skema reaksi pengaktifan katalis H₂SO₄ terhadap HNO₃ (Fessenden, 1986)

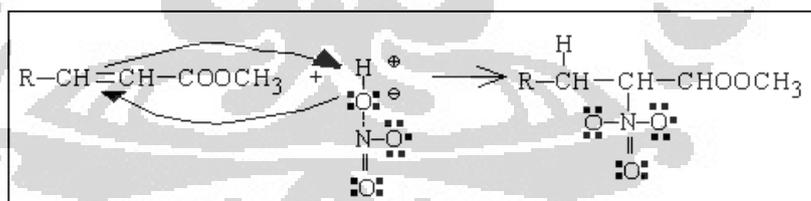
Pada penelitian ini, alkana dan ester tanpa ikatan rangkap tidak akan terjadi reaksi langsung dengan asam nitrat menjadi nitroalkana karena pembentukan senyawa ini hanya berlangsung lebih dari suhu 400⁰C



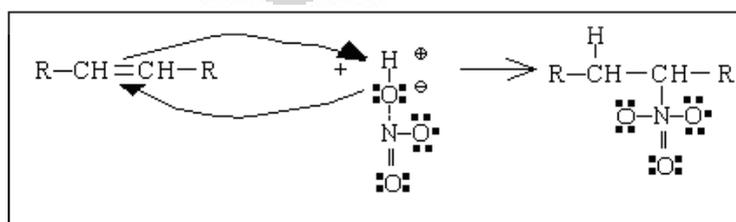
Gambar 4.8 Skema reaksi nitroalkana (Fessenden, 1986).

Pada metil ester yang memiliki ikatan rangkap direaksikan menggunakan asam nitrat (HNO₃) yang mempunyai fungsi sebagai senyawa penghasil elektrofil NO₂⁺. Karbon yang berikatan akan diserang oleh elektrofil karena ikatan rangkap ini lebih mudah diserang dibandingkan ikatan jenuh. Kemudian ikatan yang terjadi akan terlepas dari rantai karbon ikatannya dan disubstitusi oleh elektrofil NO₂⁺ (atau NO₃⁺) dan H⁺ pada tetangganya. Hasil dari reaksi ini diharapkan terjadinya hidrokarbon yang mempunyai cabang NO₃ dan H.

Skema reaksi untuk metil ester yang memiliki ikatan rangkap :



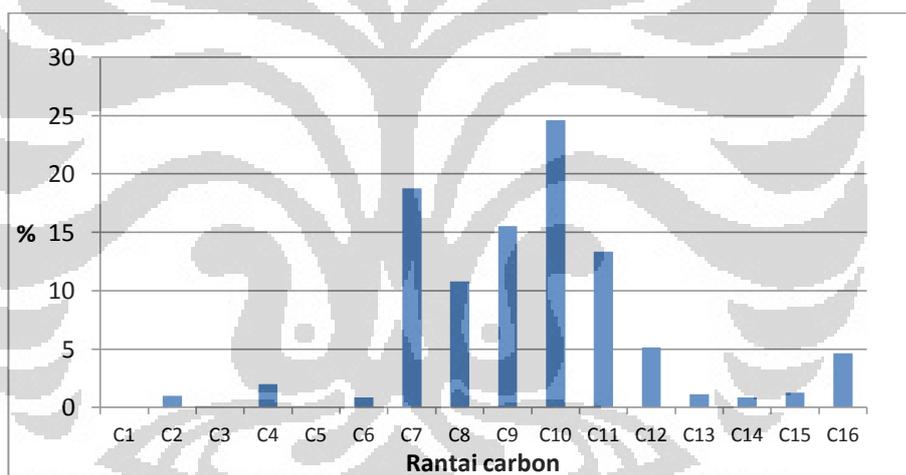
Gambar 4.9 Skema reaksi substitusi nitro terhadap metil ester (Wijaya, 2007)



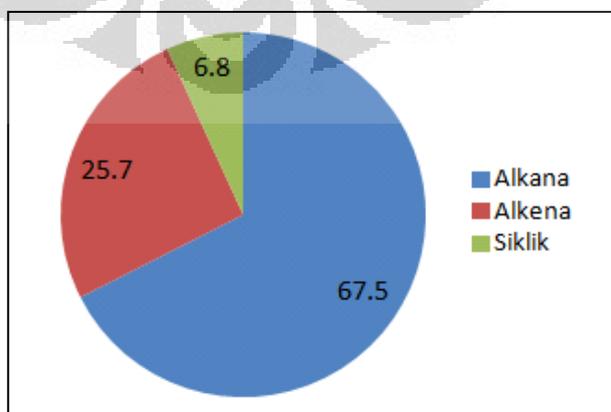
Gambar 4.10 Skema reaksi substitusi nitro terhadap alkana (Wijaya, 2007)

4.2.2 Analisa GC-MS

GC-MS digunakan untuk mengetahui kualitatif dan kuantitatif campuran yang mengandung banyak komponen. Untuk uji GC-MS pada penelitian ini hanya dilakukan pada produk atas perengkahan yaitu biogasoline, untuk menunjukkan bahwa terjadinya perengkahan, selain itu juga agar dapat melihat senyawa apa saja yang terdapat didalamnya. Hasil Perengkahan bervariasi dimulai dari C2 sampai dengan C16 yang bervariasi. Data GC-MS yang terdeteksi adalah C2 s.d C18. Analisis GC-MS produk hasil perengkahan bervariasi, berupa senyawa alkana, alkena, asam karboksilat, senyawa sikloalkana (C5 dan C6). Pada gambar 4.7 terlihat bahwa distribusi biogasoline yang dihasilkan ini setaraf dengan bensin, dengan komposisi rantai carbon C6 sampai C12 mencapai 89.1%.



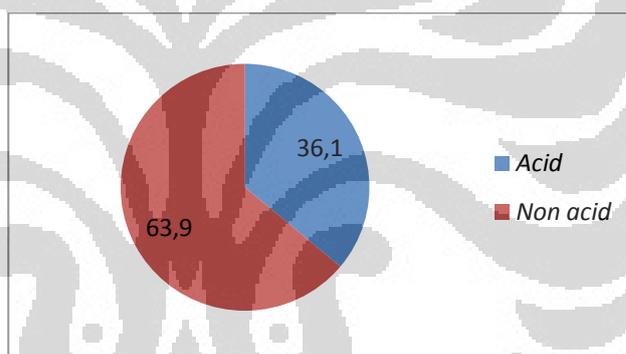
Gambar 4.11 Grafik distribusi rantai carbon pada biogasoline.



Gambar 4.12 Distribusi golongan senyawa karbon alifatik pada *biogasoline*

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa terdapat 25.7% olefin dalam biogasoline tersebut. Hal ini membuktikan bahwa telah terjadi perengkahan katalitik. Selain terengkah, ternyata juga terdapat senyawa hidrokarbon yang membentuk siklik, sebanyak 6,8%. Terdapatnya senyawa olefin dan siklik sangat diperlukan, karena kedua golongan tersebut memiliki angka oktan yang tinggi.

Biogasoline yang dihasilkan berwarna kuning jernih, namun berbau asam. Karena memang 36% komposisi biogasoline berupa asam dalam bentuk asam karboksilat. Hal ini disebabkan karena pada saat cracking, ester kebanyakan berubah menjadi asam karboksilat karena adanya oksigen. Adanya oksigen dikarenakan reaktor yang bersifat atmosferik. Hasil uji GC-MS secara lengkap terdapat pada lampiran 3.



Gambar 4.13 Kandungan asam dalam biogasoline

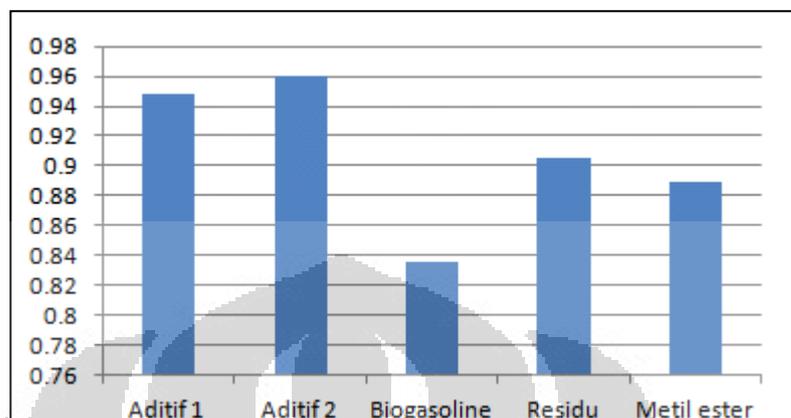
4.2.3 Uji Densitas

Tabel 4.3 berikut adalah data hasil uji densitas:

Tabel 4.3 Hasil uji densitas

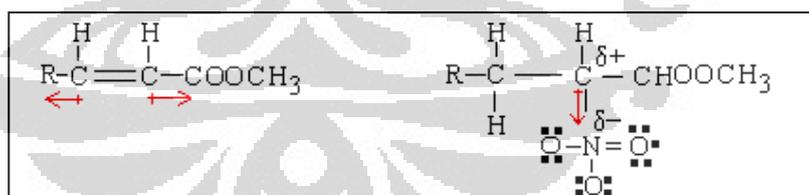
Sampel	Densitas
Aditif 1	0.948
Aditif 2	0.960
Biogasoline	0.836
Residu	0.905
Metil ester	0.889

Uji densitas dilakukan untuk mengetahui besar densitas dari masing masing step produk. Mulai dari metil ester, *biogasoline*, residu, hingga produk aditif yang dihasilkan.



Gambar 4.14 Grafik batang perbandingan densitas terhadap sampel

Dari grafik batang terlihat bahwa terjadi penurunan densitas dari metil ester setelah menjadi *biogasoline*. Ini merupakan salah satu parameter bahwa telah terjadi perengkahan yang mengakibatkan rantai karbon menjadi lebih pendek, sehingga terjadi penurunan densitas. Dari tabel juga terlihat bahwa produk aditif mempunyai densitas yang lebih tinggi dari *biogasoline*. Hal ini disebabkan adisi gugus nitro yang membuat terjadinya perbedaan keelektronegatifan, sehingga terjadi gaya tarik menarik antar molekul.



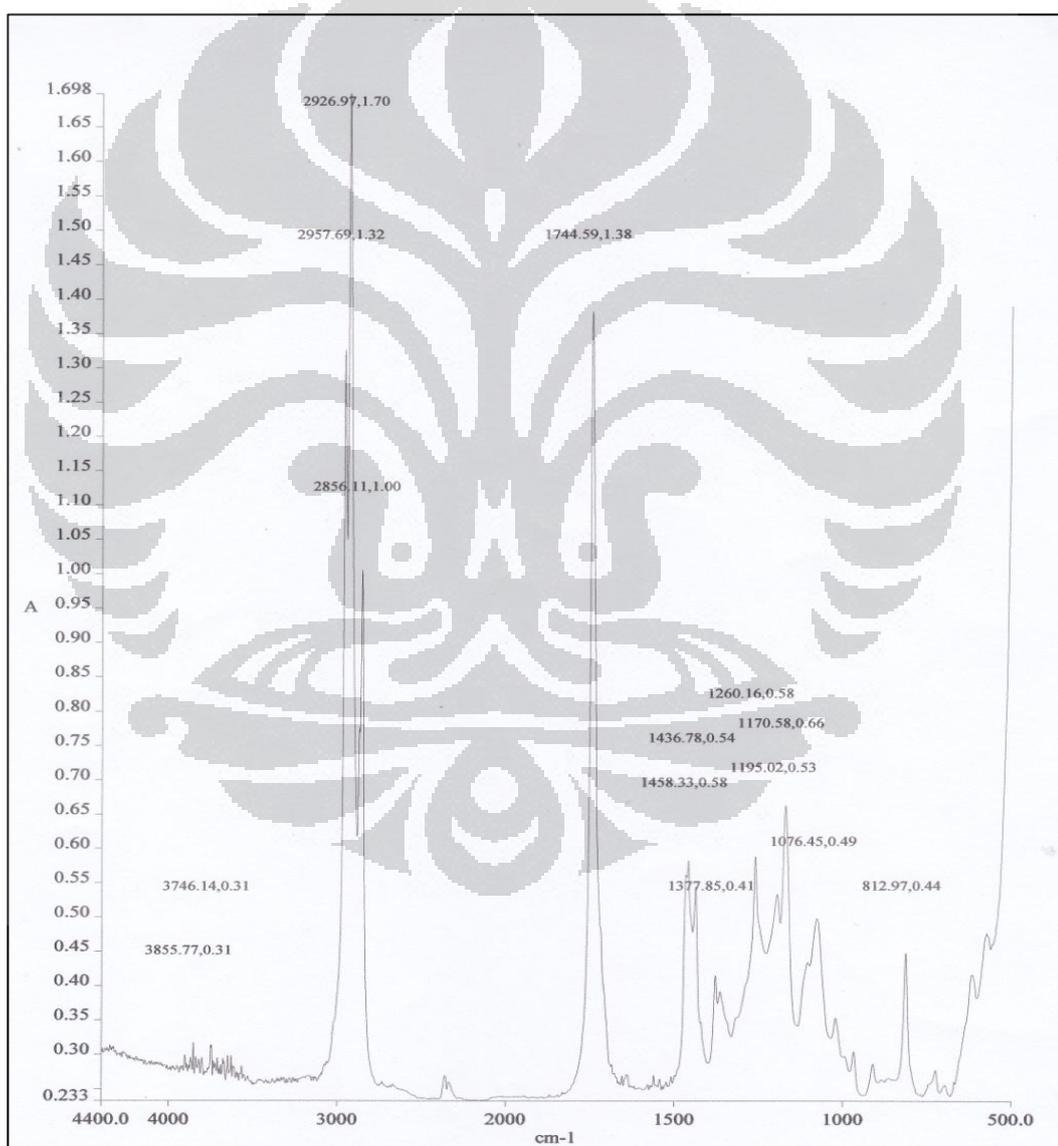
Gambar 4.15 Gaya tarik-menarik ikatan sebelum dan sesudah adisi nitro.

Sehingga senyawa yang mengalami adisi nitro akan menjadi lebih polar sehingga menaikkan titik didih, titik cair, densitas dan viskositas dari senyawa tersebut. (Fessenden, 1986).

Aditif ke dua mempunyai densitas lebih besar dari produk aditif pertama hal ini disebabkan karena pada aditif ke dua terdapat lebih banyaknya gugus nitro yang masuk ke dalam aditif.

4.2.4 Analisa FTIR

Analisa FTIR digunakan untuk mengamati gugus-gugus apa saja yang terdapat dalam suatu zat. Sehingga FTIR juga bisa digunakan untuk mengidentifikasi terjadinya perengkahan, dengan cara melihat perbedaan spektrum yang dihasilkan sebelum dan sesudah reaksi perengkahan. Selain itu juga dapat menunjukkan adanya gugus nitro dalam aditif yang dihasilkan. Berikut akan ditampilkan spektrum FTIR dari *biogaoline* hasil perengkahan.. Untuk spektrum semua step produk dapat dilihat pada lampiran 4.



Gambar 4.16 Spektrum FTIR pada *biogaoline*

Dengan melihat spektrum pada FTIR tiap sampel, dan dengan tabel frekuensi beberapa gugus fungsi, maka dapat dibuat ringkasan sebagai berikut:

Tabel 4.4 Absorbansi berbagai ikatan pada semua step produk dengan *spectrum reference 2927*

Jenis Ikatan	λ^{-1} (cm ⁻¹)	Absorbansi			
		Metil Ester	Biogasoline	Aditif 1	Aditif 2
-CH ₃	2957	-	0.78	0.86	0.87
-CH ₂	2927	1	1	1	1
- C=C	1458	0.42	0.66	0.51	0.60
-C=O	1750	0.79	0.81	0.73	0.75
- C-O	1171, 1076	0.42	0.64	0.88	1.18
-Nitro pada nitroalkana	1557	-	-	0.89	1
-Nitrat pada nitrat organik	1260	-	-	0.50	0.58
-Nitrit pada nitrit organik	1680	-	-	-	-

Terlihat bahwa pada spektrum 2927 cm⁻¹ masih terdapat gugus CH₂ sehingga CH₂ yang dianggap sedikit terjadi perubahan digunakan sebagai *spectrum reference*. Reaksi perengkahan terjadi pada metil ester ditandai dengan naiknya absorbansi CH₃, C=O, C-O dan C=C pada produk *biogasoline*. C=O dan C-O banyak terdapat pada *biogasoline*. Hal ini menunjukkan asam karboksilat banyak dihasilkan dari reaksi perengkahan C=C absorbansinya menurun pada aditif karena reaksi adisi nitro terjadi pada ikatan rangkap karbon tersebut.

Pada sampel aditif 1 dan aditif 2 terutama pada frekuensi 1661 sampai 1499 cm⁻¹ dan juga dalam frekuensi antara 1389-1259 cm⁻¹ terdapat gugus ikatan nitrogen-oksigen hasil proses reaksi adisi nitro. Dengan penjelasan sebagai berikut (Fessenden, 1987):

1. Senyawa Nitro, dalam nitro alkana pita muncul dekat 1550 cm⁻¹ dan dekat 1372 cm⁻¹.
2. Senyawa Nitrat, dalam nitrat organik pita muncul antara 1300 sampai 1255 cm⁻¹.
3. Senyawa Nitrit, dalam nitrit organik pita muncul antara 1680 sampai 1650 cm⁻¹.

4.2.5 Uji Oktan

Uji Angka Oktan dilakukan dengan alat uji oktan merek Zeltex ZX-101 milik PT. Catur Bangun Putra (CBP), konsultan perlengkapan SPBU di daerah Rawamangun, Jaktim. Alat ini mengukur angka oktan dengan cara membandingkan hasil pencitraan cahaya yang ditembakkan pada gelas ukur dengan bank data kualitas bahan bakar yang beredar di seluruh dunia.

Perhitungan angka oktan ini hanya dipakai R.O.N. dan tidak M.O.N. karena keakuratan dari RON yang diperkirakan berkisar 80 sampai 105 sedangkan perkiraan angka oktan bensin ditambah aditif (95% bensin premium + 5 % aditif) hanya bertambah masih dalam range bensin itu sendiri yaitu sekitar 88 O.N.-nya. Tabel 4.5 berikut ini adalah hasil ujinya:

Tabel 4.5 Tabel hasil uji Oktan oleh PT.Catur Bangun Putra. (Lampiran 5)

Bahan	RON
Base Premium	89.4
Premium + Aditif 1	90.2
Premium + Aditif 2	90.3

Untuk menghitung angka oktan dari produk aditif bensin itu sendiri dapat dilakukan dengan cara menghitung berdasarkan perbandingan lurus hasil uji oktan dari PT Catur Bangun Putra. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.6 Hasil perhitungan angka oktan dari tiap aditif (Lampiran 6)

Nama	RON
Aditif	105.4
Aditif 2	107.4

Angka oktan yang tinggi dari aditif ini dikarenakan sumbangan gugus NO_2 dan NO_3 yang dapat mendistribusikan oksigen yang berlebih pada saat pembakaran dan juga mencegah *knocking* dikarenakan senyawa baru hasil nitrasi ini memiliki rintangan simterik yang lebih baik

dibandingkan dengan n-heptan. Saat terjadi pembakaran diruang pembakaran, maka senyawa bergugus nitro akan terbakar merata sehingga tidak akan terjadi pembakaran terlalu dini atau terlambat yang sering terjadi pada mesin (Wijaya, 2007). Penambahan bahan aditif hasil nitrasi didapat emisi yang lebih baik karena hasil pembakarannya akan lebih merata yang ditandai oleh penurunan emisi CO dan NO_x yang berbahaya (Gilar, 2005).

4.2.6 Uji Kelarutan Bensin

Sebanyak 5% aditif dan 95% bensin dicampurkan, terjadi kelarutan sempurna saat awal pencampuran. Perubahan warna terjadi dari kuning bening menjadi coklat disertai dengan berkurang bau asam dari aditif. Pengendapan tidak terjadi setelah didiamkan selama 1 hari.



Gambar 4.17 Campuran Aditif 1 + bensin (kiri) dan Campuran Aditif 2 + bensin (kanan)

BAB V

PENUTUP

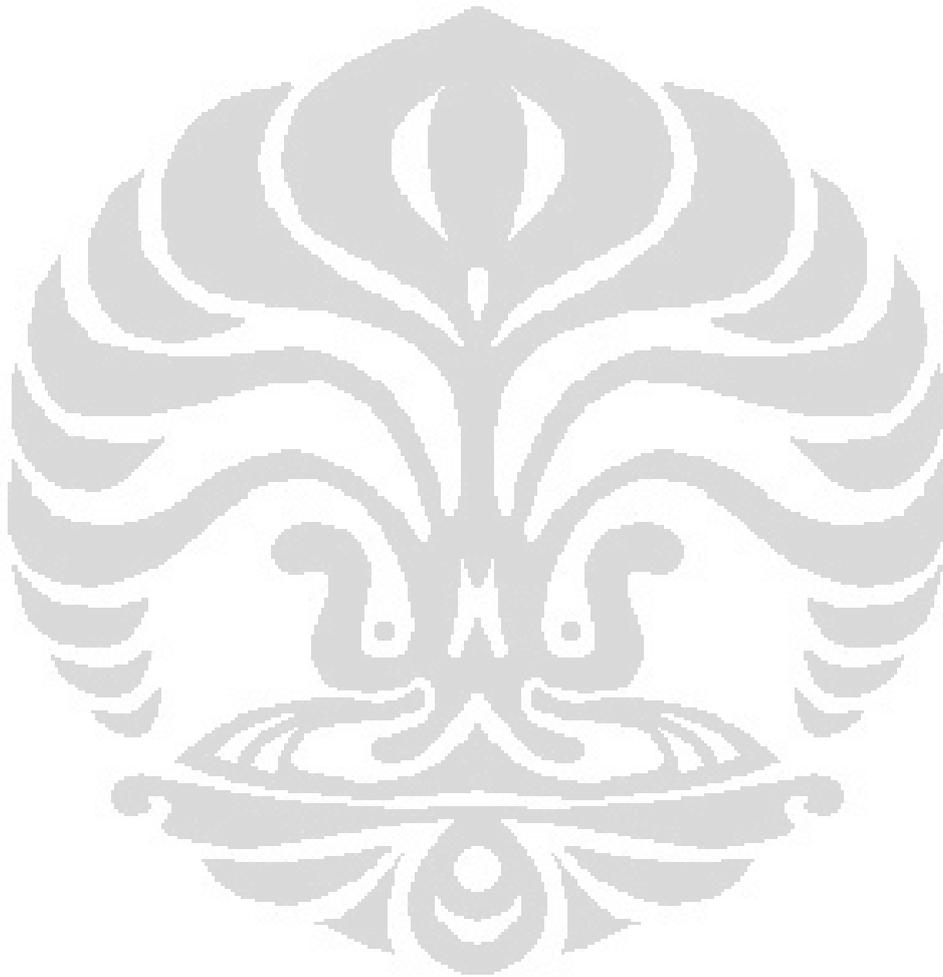
5.1 Kesimpulan

Dari uraian pada bab 1 hingga bab 4 maka dapat diambil kesimpulan:

1. Reaktor perengkahan dengan sistem batch dapat menghasilkan 230 ml dalam waktu 78 jam. Dengan laju produksi = 2.95 ml /jam. Efektifitas energi dari reaktor sebesar 6.44 %.
2. Kondisi operasi untuk perengkahan metil ester adalah pada suhu 320 °C. Berdasarkan hasil penelitian, reaksi perengkahan berlangsung pada suhu tersebut, ditandai dengan berkurangnya densitas, penambahan gugus C=C, C=O dan C-O dan CH₃ pada spektrum yang dibandingkan terhadap spektrum referensi 2970 cm⁻¹ yaitu gugus CH₂. Selain itu juga terlihat pada banyaknya molekul molekul lain dengan rantai karbon yang lebih pendek dari metil ester berdasarkan uji GC-MS.
3. Pada aditif bensin terjadi proses adisi gugus nitro yang ditandai dengan adanya spektrum FTIR antara 1661 sampai 1499 cm⁻¹ dan serapan simetrik muncul di dalam daerah antara 1389-1259 cm⁻¹ terdapat gugus ikatan nitrogen-oksigen.
4. Hasil uji R.O.N. oleh PT. Catur Bangun Putra pada campuran 5% produk aditif terhadap 95 % bensin premium (R.O.N 88) memberikan nilai R.O.N 90.2 untuk aditif 1 dan 90.3 untuk aditif 2, yang berarti terdapat kenaikan angka oktan sebesar 0.8 dan 0.9 poin. Dengan persamaan linier dari oktan campuran tersebut didapatkan angka oktan untuk aditif sebesar 105.4 untuk aditif 1 dan 107.4 untuk aditif 2.
5. Semakin banyak gugus nitro pada aditif, maka semakin tinggi angka oktannya, terbukti dari angka oktan aditif 2 pada lebih tinggi dibanding dengan aditif 1.

5.2 Saran

Selama penelitian ini, reaktor memiliki laju produksi yang rendah sehingga peneliti menyarankan untuk memodifikasi bagian tutup reaktor agar seluruhnya digunakan sebagai wadah pengkondensasian, sehingga produk yang didapatkan menjadi lebih banyak. Selain itu juga dipasangkan jaket termal pada reaktor untuk mengurangi energi loss, sehingga efisiensi akan meningkat.



DAFTAR PUSTAKA

- Awaliansyah, Gilar. (2005), "Kinerja Mesin *Otto* Berbahan Bakar Dasar Premium Dengan Penambahan *Biogasoline* 5 % dan (*Biogasoline* + *Nitrous*) 5 %", Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Bhatia, Subhash. (1998), "Zeolite Catalysis: Principles and Applications", Florida: CRC Press, Inc.
- Fogler, H.S. (1999), "Elements of Chemical Reaction Engineering 3rd ed.", USA: Prentice Hall, Inc.
- Freedman, B. Pryde, E. H., Mounts, T.L., (1984), "Transesterification of Soybean oil". J. Am. Oil Chem. Soc.
- Gupta, H.N. (2006). "Fundamentals of Internal Combustion Engines". PHI Learning Pvt. Ltd.
- Iswara, Gandi. (2006), "Sintesis Bensin-bio dari Minyak Kelapa Sawit melalui Reaksi Perengkahan Katalitik pada fasa cair menggunakan katalis H-Zeolit", Skripsi, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Makhdiyanti, Ade, (2002), "Sintesa Metil Ester Nitrat Sebagai Aditif Bahan Bakar Solar Dari Minyak Kelapa Sawit Dengan Cara Nitrase", Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Marchionna, M., Girolamo, M.D., Patrini, R. (2001), "Light Olefins Dimerization to High Quality Gasoline Components", *Catalysis Today Journal* 65.
- Michael J. Moran, Rick M. Clawges, & John Zogorski. (2000), "Identifying the Usage Patterns of Methyl TertButyl Ether (MTBE) and Other Oxygenates in Gasoline Using Gasoline Surveys." US Geological Survey
- Nasikin, M dan Lubad A.M. (2002), "Uji Infra Merah Zeolit Alam Lampung Pada Proses Pembutan H-Zeolit", Laporan Penelitian Departemen Teknik Gas dan Petrokimia, Universitas Indonesia, Depok.
- Olah, G. A., Ramaiah, P., Prakash, G. K. S. (1997), "Electrophilic Nitration of Alkanes with Nitronium Hexafluorophosphate", *USA Journal*, Vol.94, University of Southern California.
- Perry, Robert H and Don W. Green "Perry's chemical engineers handbook. — 7th ed. 1999", Mc-Graw-Hill: USA.

- R. Byron B, Warren E. S., Edwin N. L. (1994), "Transport Phenomena", John Wiley & Son : USA.
- Rengga, W. D. P., Priatmono, S., dan Kusumaningtyas., R.D. (2005), "Sintesis Alkil Nitrat dari Minyak Sawit Sebagai Bahan Aditif Alternatif Untuk Meningkatkan Nilai Cetane Solar", Laporan Dosen Muda. Jurusan Kimia FMIPA Unnes.
- Reynolds, J.G., Khan, M.R. (1999), "Designing Transportation Fuels for a Cleaner Environment", USA: Taylor & Francis.
- Sadeghbeigi, Reza, (2000). "Fluid Catalytic Cracking Handbook, second edition". USA: Butterworth-Heinemann.
- Satterfield, Charles N. (1991), "Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice, 2nd ed.", USA: McGraw-Hill, Inc.
- Setiadi. (2006), "Proses Katalitik Sintesis Hidrokarbon Fraksi Bensin dari Minyak Sawit Menggunakan Katalis B₂O₃/Zeolit", Laporan Penelitian Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok.
- Setiawan, Stefanus Andri. (2005), "Pembuatan Biogasoline dari Metil Ester Minyak Sawit dengan Katalis Zeolit Alam", Skripsi, Departemen Teknik Gas & Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Speight, J.G. (1991), *The Chemistry and Technology of Petroleum*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Wijaya, Hans. (2007), "Pembuatan Aditif Untuk Bahan Bakar Bensin Dari Metil Ester Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik Pada Sistem Semi-Kontinyu Dan Reaksi Nitrase". Skripsi, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

LAMPIRAN 1

PERHITUNGAN LAJU UAP DALAM REAKTOR PERENKAHAN

Dari hasil produk biogasoline yang didapatkan sebesar 230 ml dalam 78 jam, maka bisa dihitung laju alir nya, yaitu

$$\begin{aligned}\text{Laju alir} &= \text{jumlah produk} / \text{waktu} \\ &= 230.1 \text{ ml} / 78 \text{ jam} \\ &= 2.95 \text{ ml} / \text{jam}\end{aligned}$$

Uap keluar dari lubang penguapan, dengan diketahui debit, dan luas, maka dapat dicari kecepatan uap naik.

$$Q = 2.95 \text{ cm}^3/\text{jam}$$

$$d = 1.6 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas lubang (A)} &= \pi r^2 & \text{Kecepatan uap naik (v)} &= Q/A \\ &= \pi 0.8^2 & &= 2.95/2.011 \\ &= 2.011 \text{ cm}^2 & &= 1.467 \text{ cm/jam}\end{aligned}$$

Jika seluruh tutup reaktor dimanfaatkan sebagai lubang penguapan, maka kemungkinan akan diperoleh debit sebesar:

Diketahui: diameter = 16cm

$$\begin{aligned}A &= \pi r^2 & Q &= A.v \\ &= \pi 8^2 & &= 201.1 \times 1.467 \\ &= 201.1 \text{ cm}^2 & &= 295 \text{ ml/jam}\end{aligned}$$

LAMPIRAN 2

PERHITUNGAN EFEKTIFITAS ENERGI PADA REAKTOR PERENKAHAN

Diketahui:

Energi ikatan

$$\text{C} - \text{H} = 414,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{C} = \text{C} = 612,4 \text{ kJ/mol}$$

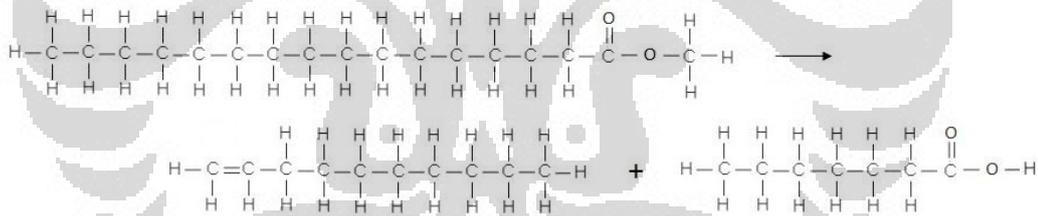
$$\text{C} - \text{C} = 346,9 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{H} - \text{H} = 436,8 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{H} - \text{O} = 460 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{C} - \text{O} = 360 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi perengkahan: (asumsi perengkahan ester menjadi asam karboksilat dan alkena dan juga hanya terjadi 1 kali *cracking*):



$$\Delta H = H \text{ produk} - H \text{ reaktan}$$

$$= (14(\text{C}-\text{C}) + 34(\text{C}-\text{H}) + 2(\text{C}=\text{C}) + (\text{C}=\text{O}) + (\text{C}-\text{O}) + (\text{O}-\text{H})) -$$

$$(34(\text{C}-\text{H}) + 15(\text{C}-\text{C}) + (\text{C}=\text{O}) + 2(\text{C}-\text{O}))$$

$$= 2(\text{C}=\text{C}) + (\text{O} - \text{H}) - ((\text{C}-\text{C}) + (\text{C}-\text{O}))$$

$$= (2 \times 612,4) + (460) - (346,9 + 360)$$

$$= 1684,8 - 706,9$$

$$= 977,9 \text{ kJ/mol}$$

(contoh perhitungan percobaan ke 1)

Perhitungan Mol

Mol = massa / mr

Mol = v * ρ / mr rata2

$$= 19.2 \text{ cm}^3 * 0.836 \text{ gr / cm}^3 / 114$$

$$= 19.2 / 114$$

$$= 0.141 \text{ mol}$$

Energi perengkahan = ΔH reaksi * jumlah mol hasil

$$= 977.9 \text{ kJ/mol} * 0.141 \text{ mol}$$

$$= 137.88 \text{ kJ}$$

Nilai kalor uap (L) = 260.020 kJ/kmol (perry, 2007)

$$= 66671 \text{ kJ/kg}$$

Energi untuk menguapkan = m L

$$= 0.0192 \text{ dm}^3 * 0.836 \text{ kg/ dm}^3 * 66671 \text{ kJ/kg}$$

$$= 1070.15 \text{ kJ}$$

Energi dari yang dihasilkan pemanas = 800 watt * 6 jam

$$= 800 * (6*3600)$$

$$= 17280 \text{ kJ}$$

Energi yang hilang = Q pemanas – (Q uap + Q perengkahan)

$$= 17280 \text{ kJ} - (1070.15 \text{ kJ} + 137.88 \text{ kJ})$$

$$= 16347.73 \text{ kJ}$$

Efektifitas = energi yang terpakai / energi yang dikeluarkan * 100%

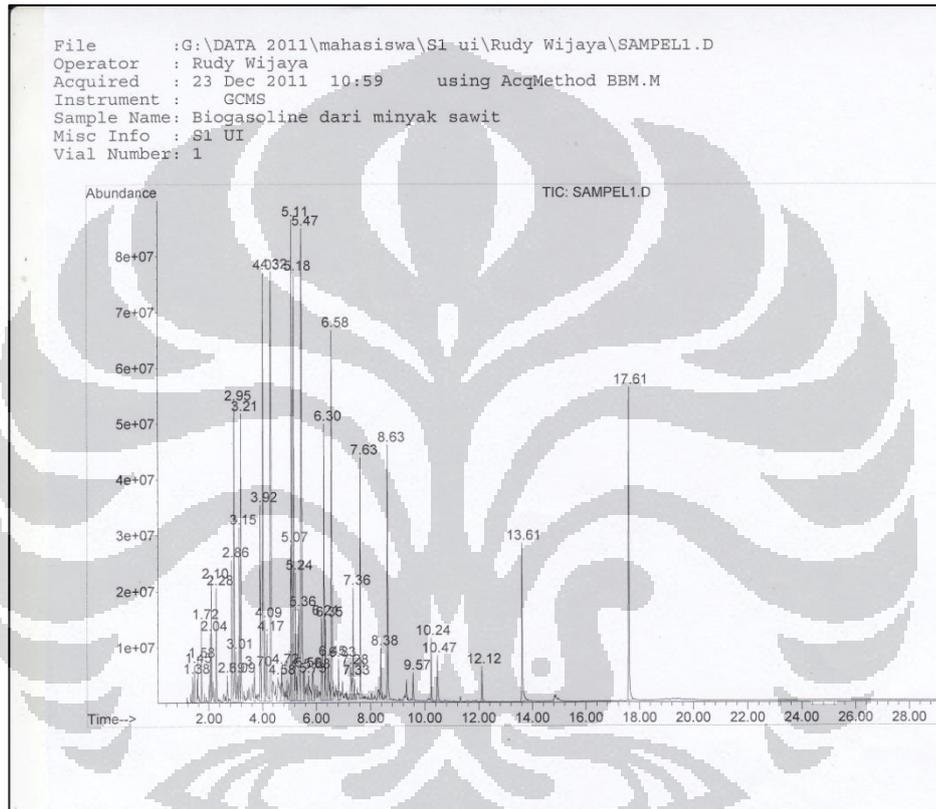
$$= 1208.03 \text{ kJ} / 17280 \text{ kJ} * 100\%$$

$$= 6.99 \%$$

LAMPIRAN 3

HASIL UJI GC-MS

Berikut adalah hasil uji GC-MS yang dilakukan di Pusat Laboratorium Forensik, Jakarta.



Tabel ini menunjukkan 37 senyawa yang teridentifikasi dengan *Quality* diatas 90%:

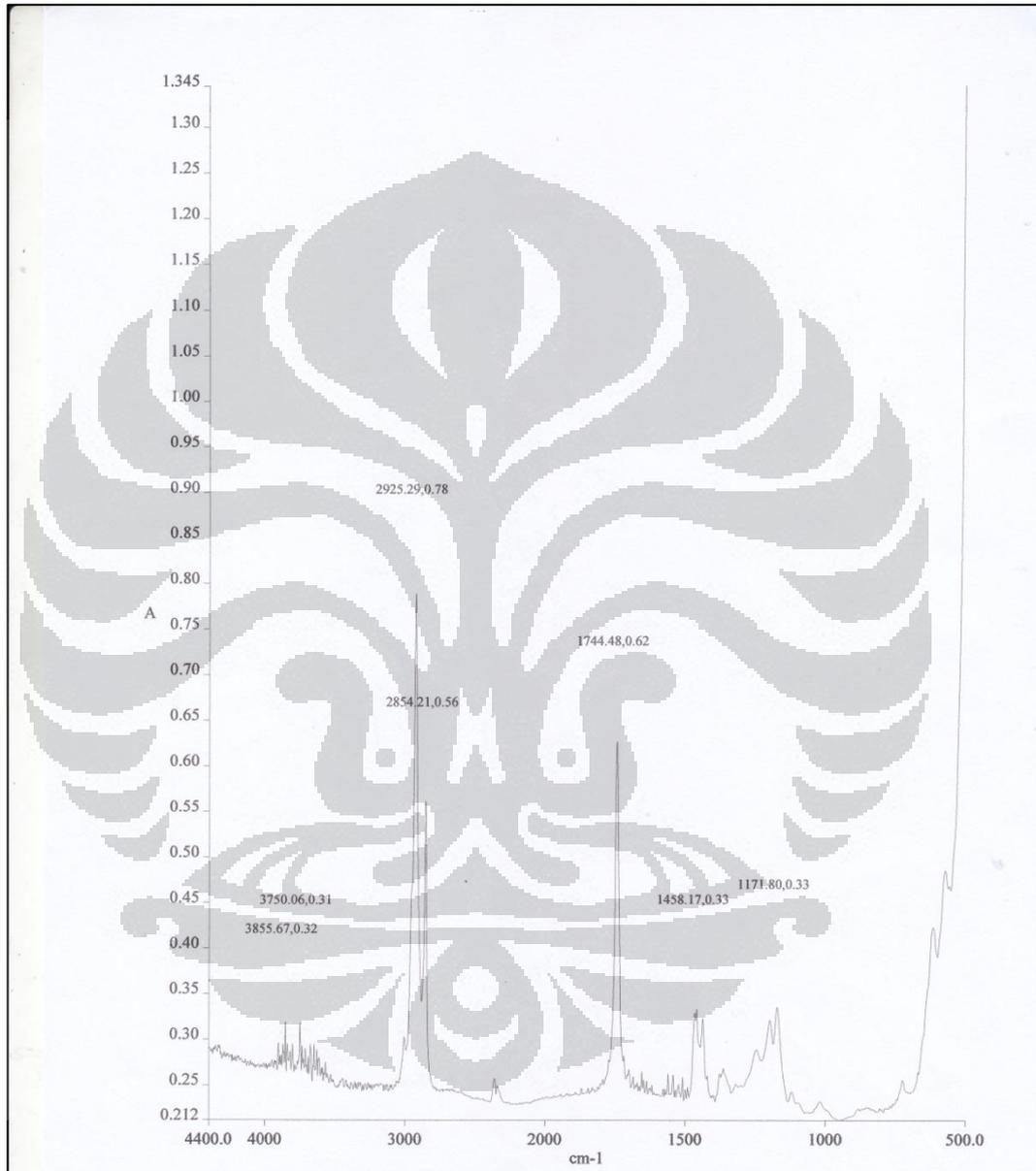
No	No Peak	R.T min	Nama Senyawa	% komposisi
1	3	1.572	Hexane	0.880
2	4	1.725	Propanoic acid	0.989
3	5	2.039	Heptene	0.895
4	6	2.099	Heptane	1.722
5	7	2.277	Butanoic acid	2.021
6	8	2.685	1-methyl Cyclohexene	0.628
7	9	2.864	1-Octene	2.729

8	10	2.948	Isooctane	5.815
9	11	3.008	2-Octene	0.984
10	12	3.093	2-Octene (mix cis-trans)	0.485
11	15	3.705	1-Ethyl Cyclohexene	0.785
12	16	3.925	1-Nonene	4.026
13	18	4.087	2-Nonene	1.539
14	19	4.172	3-Nonene	2.214
15	21	4.58	1-butyl Cyclopentene	1.515
16	22	4.715	1-propyl Cyclohexene	1.400
17	23	5.072	1-Decene	3.286
18	25	5.183	Isodecane	11.341
19	26	5.234	4-Decene	2.146
20	28	5.472	Heptanoic acid	15.514
21	31	5.879	1-butyl Cyclohexene	1.489
22	32	6.211	4-Undecene	2.909
23	33	6.296	Undecane	6.963
24	34	6.347	5-Undecene	1.537
25	35	6.449	5-Undecene	1.294
26	37	6.831	Decamethyl Cyclopentasiloxane	1.004
27	38	7.281	5-Dodecene	1.182
28	39	7.324	3-Dodecene	0.415
29	40	7.366	Dodecane	2.332
30	41	7.629	Nonanoic acid	4.831
31	42	8.377	Tridecane	1.115
32	43	8.632	Decanoic acid	5.353
33	44	9.575	Undecanoic acid	0.642
34	45	10.237	Pentadecane	1.267
35	46	10.467	Dodecanoic acid	1.240
36	47	12.115	Tetradecanoic acid	0.852
37	48	13.61	Hexadecanoic acid	4.661

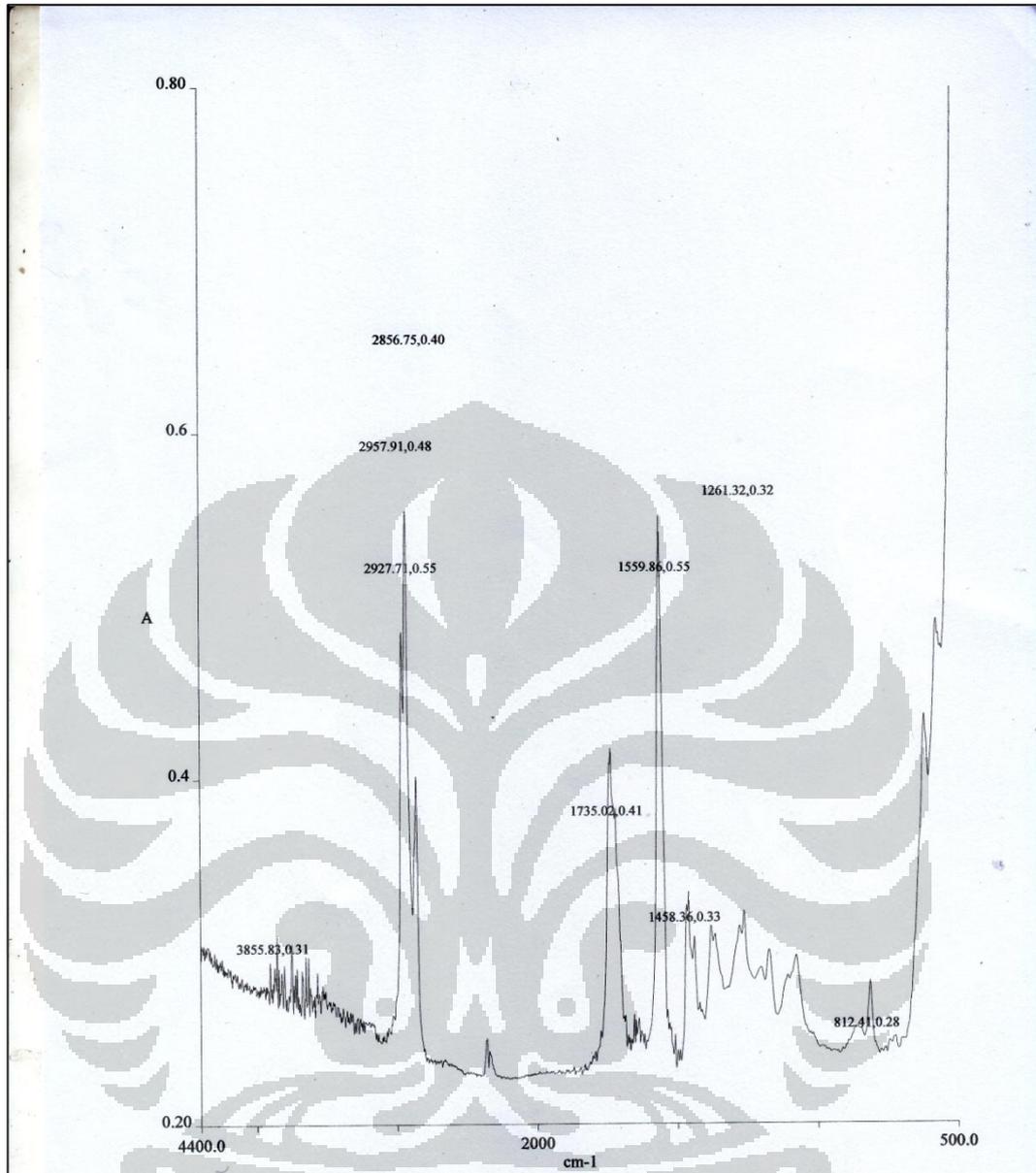
Berikut ini adalah Hasil GC-MS lengkap dari Pusat Laboratorium Forensik (PusLabFor), Jakarta.

LAMPIRAN 4

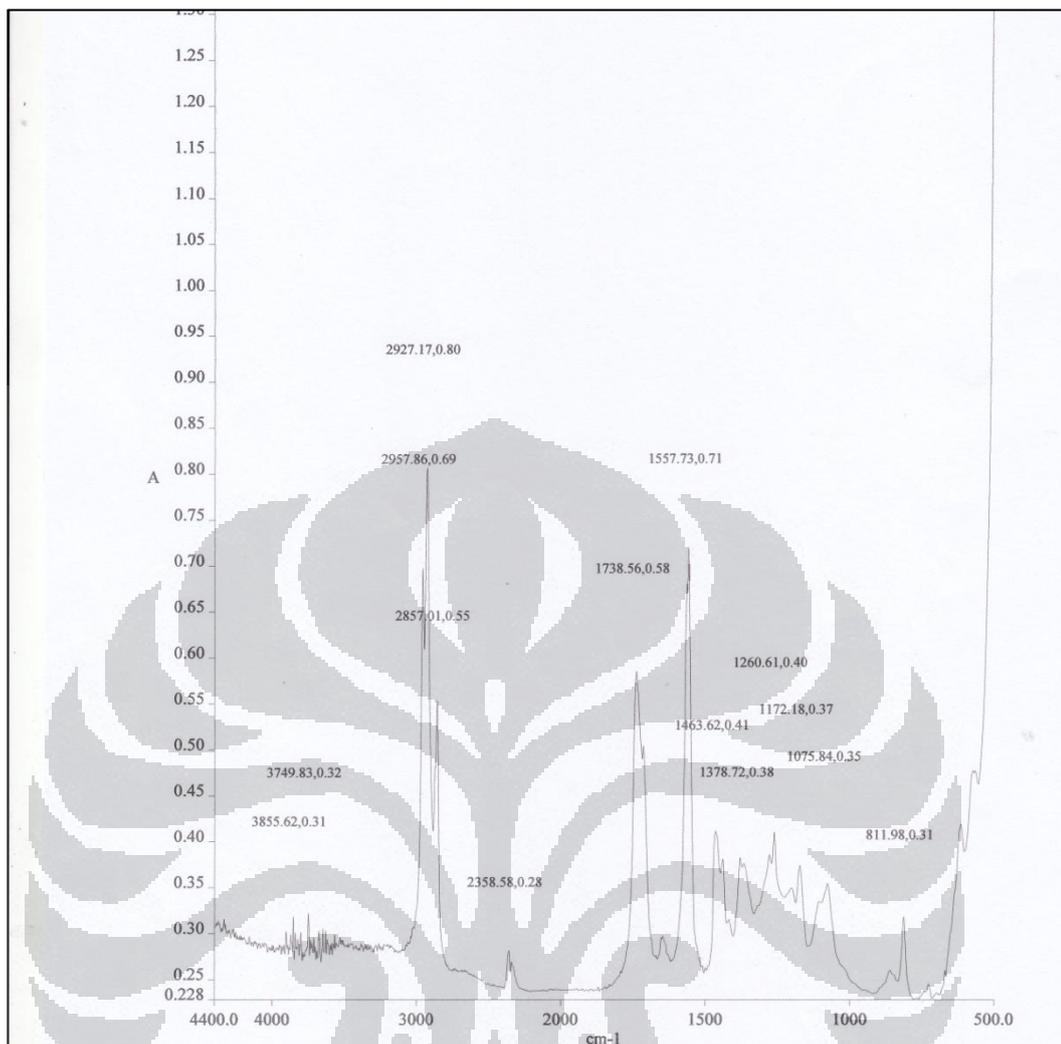
HASIL UJI FTIR



Spektrum FTIR pada Metil Ester



Spektrum FTIR dari Aditif 1 (Biogasoline : HNO₃ = 5:2)



Spektrum FTIR dari Aditif 2 (Biogasoline : HNO₃ = 5:3)

Dengan ringkasan sebagai berikut :

Jenis Ikatan	λ^{-1} (cm ⁻¹)	Absorbansi			
		Metil Ester	Biogasoline	Aditif 1	Aditif 2
-CH ₃	2957	-	1.32	0.69	0.48
-CH ₂	2927	0.78	1.7	0.8	0.55
- C=C	1458	0.33	1.12	0.41	0.33
-C=O	1750	0.62	1.38	0.58	0.41
- C-O	1171, 1076	0.33	1.09	0.7	0.65
-Nitro pada nitroalkana	1557	-	-	0.71	0.55
-Nitrat pada nitrat organik	1260	-	-	0.4	0.32
-Nitrit pada nitrit organik	1680	-	-	-	-

LAMPIRAN 5

HASIL UJI OKTAN OLEH PT CATUR BANGUN PUTRA

- Keluaran alat uji oktan merek Zeltex ZX-101 milik PT Catur Bangun Putra untuk *Base Gasoline*:

```
*****
12/15/11  5:43:50 PM
Sample #1254
GASOLINE
RON      89.4
***  WARNING  ***
*  VALUE TOO LOW  *
*****
MON      83.8
(R+M)/2  86.6
*****
```

- Keluaran alat uji oktan merek Zeltex ZX-101 untuk Biogasoline + aditif 1 (atas) dan Biogasoline +aditif 2 (bawah)

```
*****
12/30/11  2:32:42 PM
Sample #1272
GASOLINE
RON      90.2
MON      84.4
(R+M)/2  87.3
*****

*****
12/30/11  2:36:17 PM
Sample #1273
GASOLINE
RON      90.3
MON      84.3
(R+M)/2  87.3
*****
```

LAMPIRAN 6

PERHITUNGAN OKTAN DARI ADITIF BENSIN

Oktan dari aditif bisa dihitung dengan persamaan linier dari hasil uji di PT.Catur Bangun, Jakarta.

- Aditif 1:

$$\frac{(O.N.Ben\ sin \times 950ml) + (O.N.Aditif \times 50ml)}{1000ml} = O.N.Aditif + Ben\ sin$$

$$\frac{(89.4 \times 950) + (50 \times A1)}{1000} = 90.2$$

$$A1 = 105.4\ O.N.$$

- Aditif 2:

$$\frac{(O.N.Ben\ sin \times 950ml) + (O.N.Aditif \times 50ml)}{1000ml} = O.N.Aditif + Ben\ sin$$

$$\frac{(89.4 \times 950) + (50 \times A2)}{1000} = 90.3$$

$$A2 = 107.4\ O.N.$$