

**PRODUKSI HIDROKARBON FRAKSI GASOLINE  
DARI MINYAK SAWIT DENGAN *PRETREATMENT*  
SAPONIFIKASI MELALUI PERENGGAHAN  
KATALITIK DENGAN KATALIS  $B_2O_3/Al_2O_3$**

**SKRIPSI**

Oleh

**SAFRI SAIPULLOH  
0404060551**



**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**

**PRODUKSI HIDROKARBON FRAKSI GASOLINE  
DARI MINYAK SAWIT DENGAN *PRETREATMENT*  
SAPONIFIKASI MELALUI PERENKAHAN  
KATALITIK DENGAN KATALIS  $B_2O_3/Al_2O_3$**

**SKRIPSI**

Oleh

**SAFRI SAIPULLOH  
0404060551**



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN  
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul,

**PRODUKSI HIDROKARBON FRAKSI GASOLINE DARI MINYAK  
SAWIT DENGAN *PRETREATMENT* SAPONIFIKASI MELALUI  
PERENKAHAN KATALITIK DENGAN KATALIS  $B_2O_3/Al_2O_3$**

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada 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, 27 Juni 2008

Safri Saipulloh

0404060551

# PENGESAHAN

Skripsi dengan judul,

**PRODUKSI HIDROKARBON FRAKSI GASOLINE DARI MINYAK  
SAWIT DENGAN *PRETREATMENT* SAPONIFIKASI MELALUI  
PERENKAHAN KATALITIK DENGAN KATALIS  $B_2O_3/Al_2O_3$**

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian skripsi.

Depok, 27 Juni 2008

Dosen Pembimbing,

Ir. Setiadi, M.Eng.

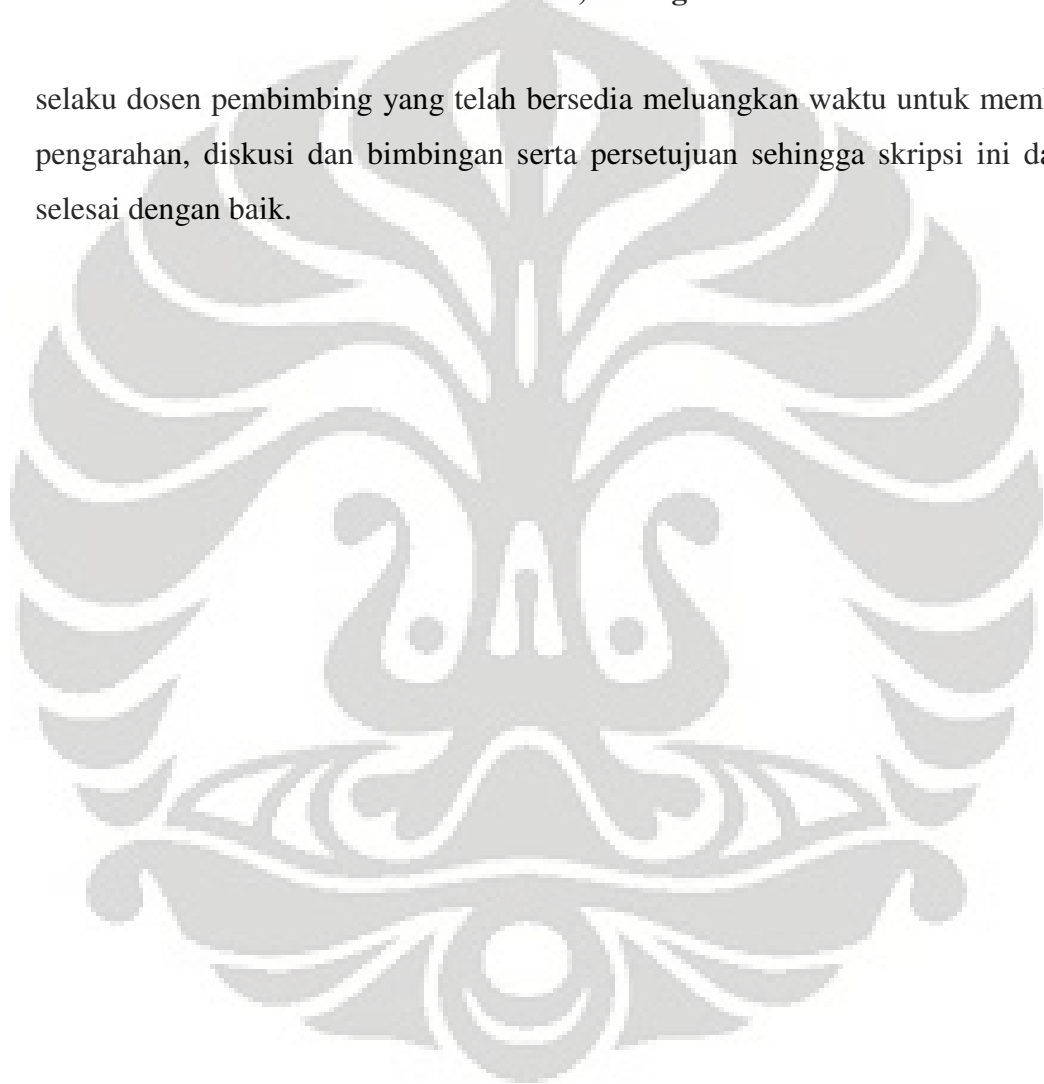
NIP 131 668 156

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

**Ir. Setiadi, 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.



Safri Saipulloh  
NPM 04 04 06 055 1  
Departemen Teknik Kimia

Dosen Pembimbing  
Ir. Setiadi, M.Eng

**PRODUKSI HIDROKARBON SETARAF GASOLINE DARI MINYAK SAWIT MELALUI PERENKAHAN KATALITIK MENGGUNAKAN  $B_2O_3/Al_2O_3$  DAN PENAMBAHAN SENYAWA BASA**

**ABSTRAK**

Konversi katalitik minyak sawit menjadi hidrokarbon fraksi gasoline memerlukan pendekatan baru yang lebih ekonomis. Penggunaan senyawa basa untuk mendapatkan biogasoline dari minyak sawit dapat menjadi salah satu solusinya, karena ketersediaan senyawa basa yang lebih banyak dibandingkan senyawa seperti alkohol dan aseton yang pernah digunakan dalam *pretreatment* konversi minyak sawit menjadi biogasoline.

Saponifikasi minyak sawit menggunakan dua jenis basa yang berbeda yaitu KOH dan  $Al(OH)_3$  dengan rasio mol stoikiometrik, 10% dan 20% kelebihan minyak sawit. Reaksi katalitik dilangsungkan dalam *fixed bed reactor* pada suhu 350°C, 400°C dan 450°C dan tekanan atmosferik. Reaksi menggunakan katalis  $B_2O_3/Al_2O_3$  dengan *loading*  $B_2O_3$  10%, 15%, dan 20% dalam katalis. Produk hidrokarbon dianalisa menggunakan analisa fraksinasi untuk mengetahui kuantitas fraksi gasoline yang dihasilkan. Analisa FTIR digunakan untuk mengetahui kandungan produk yang dihasilkan secara kualitatif. Selain itu, digunakan pula analisa GC dan GC-MS untuk memperjelas kandungan produk yang dihasilkan.

Persentase yield digunakan sebagai dasar untuk menentukan kondisi terbaik reaksi dalam penelitian ini. Hasil yang didapatkan menunjukkan, temperatur terbaik reaksi adalah 450°C. Pada temperatur tersebut, katalis yang paling baik adalah 10%  $B_2O_3/Al_2O_3$  dengan rasio umpan terbaik adalah 10% kelebihan minyak sawit. Spektra FTIR dan analisa fraksinasi menunjukkan performa basa  $Al(OH)_3$  lebih baik dari pada KOH dalam penelitian ini.

**Kata kunci : Minyak Sawit, Saponifikasi, Gasoline, Perengkahan Katalitik, Katalis  $B_2O_3/Al_2O_3$**

Safri Saipulloh  
NPM 04 04 06 055 1  
Chemical Engineering Department

Counselor  
Ir. Setiadi, M.Eng

**PRODUCTION OF BIOGASOLINE FROM PALM OIL THROUGH  
CATALYTIC CRACKING USING  $B_2O_3/Al_2O_3$  CATALYST AND BASES  
ADDITION**

**ABSTRACT**

The Conversion of palm oil to biogasoline through catalytic cracking needed new approach which economical. One of the solution in producing biogasoline from palm oil is employing base (alkaline). It could become more efficient because their availability are much more compared to alcohol and acetone groups which used in pretreatment of catalytic conversion palm oil to biogasoline.

The Saponification of palm oil used two bases, KOH and  $Al(OH)_3$ , that varied in mole ratio, stoichiometric, 10% and 20% excess of palm oil. The catalytic cracking reactions occurred in fixed bed reactor at 350°C, 400°C and 450°C in atmospheric pressure. Reactions used  $B_2O_3/Al_2O_3$  catalyst with 10%, 15%, and 20%  $B_2O_3$  loaded in catalyst. Hydrocarbon products analyzed using fractionation analysis to obtain quantities of biogasoline which produced. FTIR analysis was used to identify quality of products by detecting their spectra. To accomplish the analyzing, GC and GC-MS were used to identify specifications of products.

Yield percentage was used as basic to know best condition of reactions in this research. It showed that the best temperature was 450°C. At that temperature, the best loading of  $B_2O_3$  in catalyst was 10% and the best feed ratio was 10% excess of palm oil. Spectra from FTIR analysis showed that  $Al(OH)_3$  performed better than KOH as base in saponification of palm oil to obtain biogasoline. The fractionation analysis showed the same conclusion.

**Kata kunci : Palm Oil, Saponification, Gasoline, Catalytic cracking,  $B_2O_3/Al_2O_3$  catalyst.**

# DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
PENGESAHAN .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.4 BATASAN MASALAH.....	4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 MINYAK KELAPA SAWIT, CRUDE PALM OIL (CPO).....	7
2.1.1 Perkembangan Minyak Sawit di Indonesia.....	8
2.1.2 Minyak Sawit Menjadi BBN.....	10
2.1.3 Komponen Minyak Sawit .....	11
2.3 KATALIS.....	13
2.3.1 Alumina.....	13
2.3.2 Katalis $B_2O_3/Al_2O_3$ .....	15
2.4 REAKSI PERENGGAHAN KATALITIK.....	15
2.4.1 Perengkahan dengan <i>Pretreatment</i> .....	17
2.4.2 Perengkahan dengan <i>Pretreatment</i> Saponifikasi .....	18
2.5 GASOLINE.....	19
2.5.1 Spesifikasi Gasoline <sup>[10]</sup> .....	20
2.5.2 Angka Oktan .....	21
BAB III .....	23
METODE PENELITIAN.....	23
3.1 PREPARASI KATALIS $B_2O_3/ Al_2O_3$ .....	24



3.2 PREPARASI UMPAN.....	26
3.3 TAHAP UJI REAKSI .....	27
3.4 ANALISA HASIL REAKSI.....	29
3.4.1 Analisa Fraksinasi .....	29
3.4.2 Analisa GC-FID .....	29
3.4.3 Analisa FTIR untuk Produk Cair .....	30
3.4.4 Analisa GC-MS .....	30
BAB IV .....	32
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 HASIL UJI REAKSI BERBAGAI JENIS UMPAN .....	32
4.1.1 Umpan Hasil Saponifikasi Minyak Sawit dengan KOH.....	32
4.1.2 Umpan Hasil Saponifikasi Minyak Sawit dengan Al(OH) <sub>3</sub> .....	35
4.2 ANALISA HASIL REAKSI.....	37
4.2.1 Analisa Fraksinasi .....	37
4.2.2 Analisa FTIR.....	44
4.2.3 Analisa GC-FID .....	50
4.2.4 Analisa GC-MS .....	52
BAB V.....	55
KESIMPULAN .....	55
DAFTAR PUSTAKA .....	56
LAMPIRAN .....	58

## DAFTAR GAMBAR

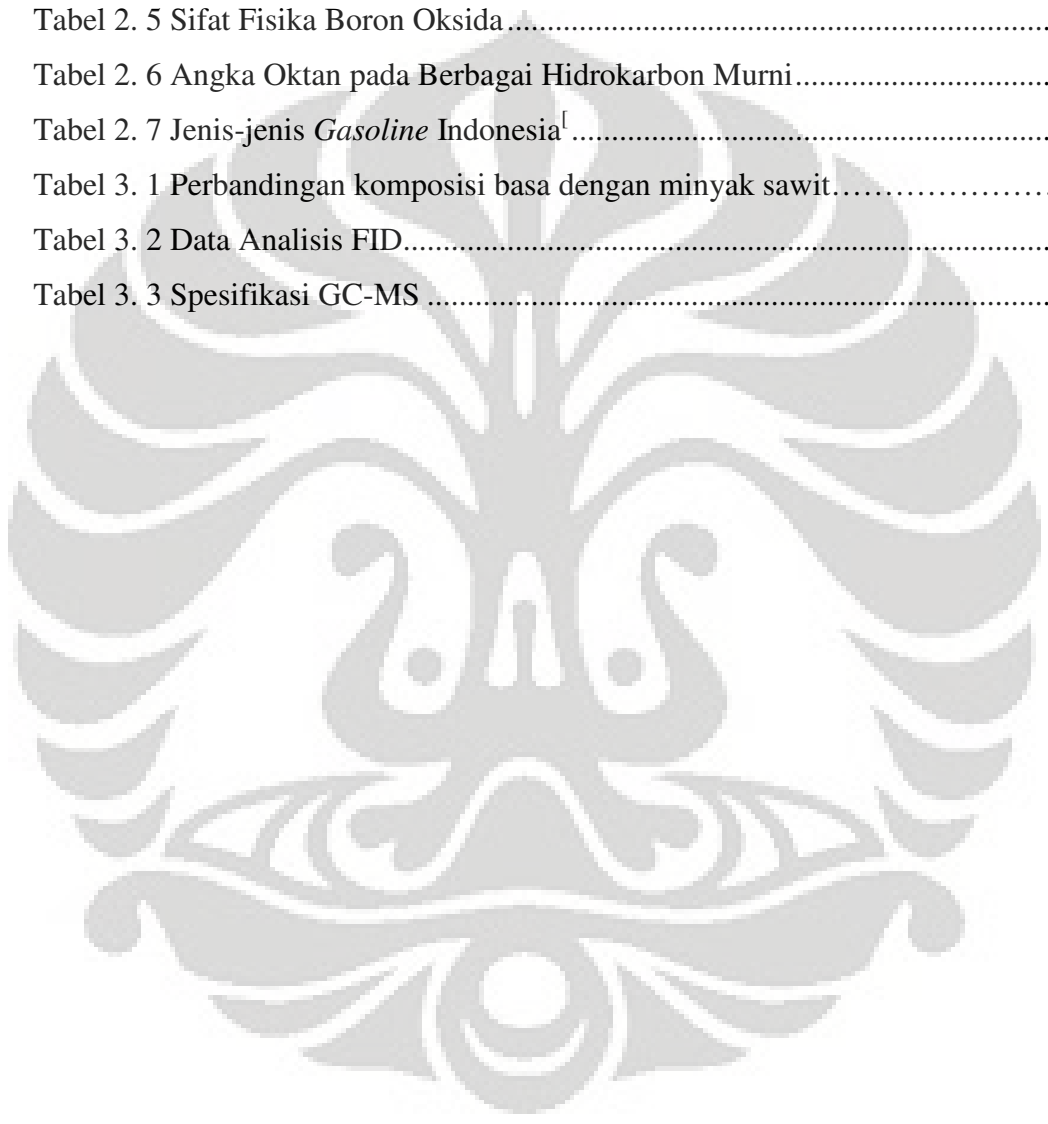
Gambar 1. 1 Cadangan Minyak Bumi Indonesia.....	1
Gambar 1. 2 Konsumsi Energi untuk Transportasi.....	2
Gambar 2. 1 Buah Kelapa Sawit dari Tandan.....	8
Gambar 2. 2 Minyak dari Kernel dan CPO.....	8
Gambar 2. 3 Areal Perkebunan Sawit Menurut Kepemilikan, 1985-1999.....	9
Gambar 2. 4 Rumus Molekul Sederhana Trigliserida.....	11
Gambar 2. 6 Mekanisme reaksi minyak tumbuhan menjadi ester dan gliserol ....	18
Gambar 2. 5 Perbedaan hasil reaksi dengan dan tanpa pretreatment.....	17
Gambar 2. 7 Reaksi perengkahan molekul trigliserida.....	18
Gambar 2. 8 Reaksi Saponifikasi Trigliserida dengan KOH.....	19
Gambar 4. 1 Hasil Saponifikasi dengan KOH.....	32
Gambar 4. 2 Umpan KOH.....	33
Gambar 4. 3 Produk blank reaction.....	34
Gambar 4. 4 Produk cracking saponifikasi KOH.....	34
Gambar 4. 5 Hasil Saponifikasi Al(OH) <sub>3</sub> .....	36
Gambar 4. 6 Produk cracking saponifikasi Al(OH) <sub>3</sub> .....	37
Gambar 4. 7 Yield berbagai suhu reaksi dengan katalis A/B (10) basa KOH.....	39
Gambar 4. 8 Yield berbagai suhu reaksi dengan katalis A/B (10) basa Al(OH) <sub>3</sub> .....	40
Gambar 4. 9 Yield berbagai komposisi katalis pada suhu 450°C, basa KOH.....	41
Gambar 4. 10 Yield berbagai komposisi katalis pada suhu 450°C, basa Al(OH) <sub>3</sub> .....	41
Gambar 4. 11 Yield berbagai rasio umpan pada suhu 450°C, basa KOH.....	43
Gambar 4. 12 Yield berbagai rasio umpan pada suhu 450°C, sabun Al(OH) <sub>3</sub> .....	43
Gambar 4. 13 Spektra FTIR minyak sawit.....	45
Gambar 4. 14 Spektra FTIR hasil saponifikasi KOH.....	46
Gambar 4. 15 Spektra FTIR hasil saponifikasi Al(OH) <sub>3</sub> .....	47
Gambar 4. 16 Spektra FTIR produk dengan basa KOH.....	47
Gambar 4. 17 Spektra FTIR produk dengan basa Al(OH) <sub>3</sub> .....	48
Gambar 4. 18 Spektra FTIR gasoline komersial.....	49
Gambar 4. 19 Kromatogram produk catalytic cracking, basa KOH.....	51
Gambar 4. 20 Kromatogram produk catalytic cracking, basa Al(OH) <sub>3</sub> .....	51

Gambar 4. 21 Hasil analisa GC-MS produk dengan basa KOH .....	52
Gambar 4. 22 Fraksi gasoline produk dengan basa KOH.....	53
Gambar 4. 23 Hasil analisa GC-MS produk catalytic cracking, basa Al(OH) <sub>3</sub> ....	53
Gambar 4. 24 Fraksi gasoline produk dengan basa Al(OH) <sub>3</sub> .....	54



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Biaya CPO Indonesia dengan Malaysia.....	9
Tabel 2. 2 Komposisi Asam Lemak Minyak dan Inti Kelapa Sawit.....	12
Tabel 2. 3 Komponen non minyak pada minyak kelapa sawit .....	13
Tabel 2. 4 Sifat Fisika dan Kimia Alumina.....	14
Tabel 2. 5 Sifat Fisika Boron Oksida.....	15
Tabel 2. 6 Angka Oktan pada Berbagai Hidrokarbon Murni.....	22
Tabel 2. 7 Jenis-jenis <i>Gasoline</i> Indonesia <sup>l</sup> .....	22
Tabel 3. 1 Perbandingan komposisi basa dengan minyak sawit.....	27
Tabel 3. 2 Data Analisis FID.....	30
Tabel 3. 3 Spesifikasi GC-MS .....	31

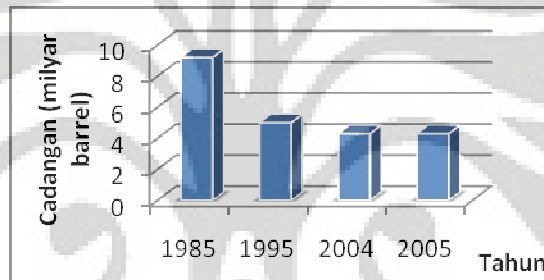


# BAB I

## PENDAHULUAN

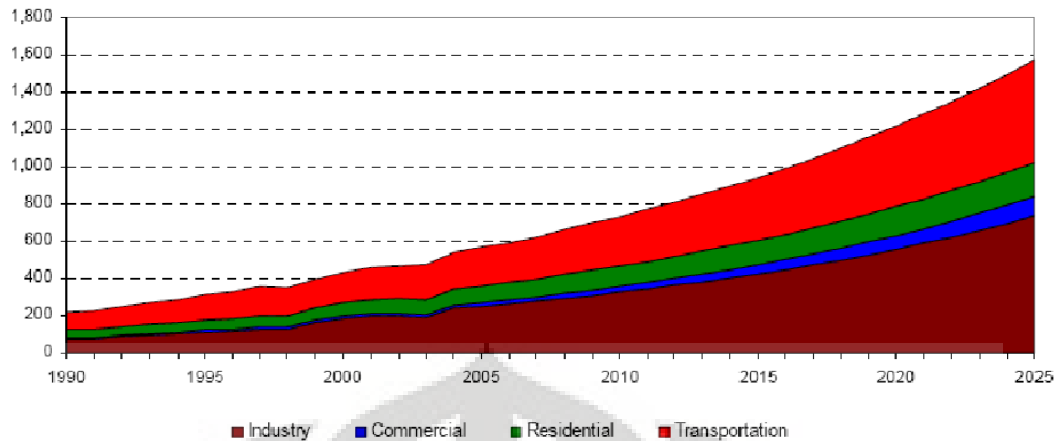
### 1.1 LATAR BELAKANG

Sebagian besar kebutuhan energi di dunia saat ini disuplai dari minyak bumi (*petroleum oil*). Di Indonesia sendiri, konsumsi energi dari sektor minyak bumi ini sebesar 61.72% dari konsumsi energi total pada tahun 2005<sup>[1]</sup>. Dengan semakin banyaknya permintaan dan konsumsi akan minyak bumi, maka secara berangsur cadangan minyak bumi yang ada akan semakin berkurang dan pada suatu saat akan habis. Bukti bahwa dari tahun ke tahun cadangan minyak bumi Indonesia terus berkurang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. 1 Cadangan Minyak Bumi Indonesia<sup>[1]</sup>

Dari Gambar 1.1 terlihat bahwa dari tahun ke tahun minyak bumi semakin langka. Kelangkaan minyak bumi ini terutama dipicu oleh penambahan jumlah penduduk sehingga meningkatkan kebutuhan sarana transportasi dan aktivitas industri, yang pada akhirnya kebutuhan akan bahan bakar juga meningkat. Banyaknya konsumsi minyak bumi untuk sektor transportasi dibandingkan sumber energi lain, dapat dilihat pada Gambar 1.2.



**Gambar 1. 2 Konsumsi Energi untuk Transportasi<sup>[1]</sup>**

Salah satu sumber bahan baku minyak nabati yang tersedia dan prospektif dikembangkan sebagai pengganti bahan bakar fosil adalah minyak sawit. Hal ini mengingat produksi CPO (*Crude Palm Oil*) Indonesia yang cukup besar dan meningkat setiap tahunnya. Pada tahun 1997, Indonesia menyuplai 30% kebutuhan CPO dunia, hanya kalah dengan Malaysia yang menyuplai 51%, dan sampai saat ini masih merupakan produsen CPO terbesar kedua di dunia<sup>[2,3]</sup>. Produksi CPO Indonesia ini terus bertambah hingga pada tahun 2003 yang lalu sudah mencapai 10.3 juta ton<sup>[4]</sup>.

Minyak sawit dapat menjadi alternatif bahan bakar setaraf bensin (*gasoline*) karena memiliki struktur hidrokarbon yang menyerupai minyak bumi. Hidrokarbon dalam minyak sawit sebagian besar terdapat dalam bentuk trigliserida. Trigliserida merupakan suatu ester gliserol yang terdiri dari tiga asam lemak dan satu gliserol<sup>[5]</sup>. Dengan merengkah trigliserida ini diharapkan akan mendapatkan hidrokarbon yang memiliki fraksi antara C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub>, yang tidak lain merupakan fraksi *gasoline*.

Perengkahan minyak sawit menjadi hidrokarbon fraksi *gasoline* (C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub>) telah banyak dilakukan, meskipun masih dalam skala laboratorium. Di Malaysia, penelitian yang dilakukan Twaiq, et.al<sup>[6]</sup> menguji performa variasi katalis zeolit dalam konversi katalitik minyak sawit menjadi hidrokarbon. Selain itu, Twaiq, et.al<sup>[7]</sup> membuktikan bahwa penggunaan palm kernel oil untuk menghasilkan hidrokarbon cari dengan katalis MCM-41 lebih baik dibandingkan palm olein oil. Twaiq, et.al<sup>[8]</sup> kembali melakukan penelitian yang sama dengan katalis yang berbeda, yaitu ZSM-5 yang dilapisi *mesoporous molecular sieve*. Penelitian ini

menghasilkan konversi sebesar 96.8% berat, dengan yield 17.4 % dan fraksi bensin yang didapat sebesar 44.6%.

Di Indonesia, penelitian serupa juga telah dilakukan. Ardianto<sup>[9]</sup> telah membuktikan bahwa campuran minyak sawit dan ABE (Aseton, Butanol, Etanol) berhasil direngkahkan secara katalitik menjadi produk hidrokarbon *gasoline* dengan katalis Alumina/ZSM-5. Arifianto<sup>[10]</sup> membuktikan bahwa transesterifikasi dan penambahan methanol pada minyak sawit dapat menghasilkan *gasoline* dengan *catalytic cracking* menggunakan katalis  $B_2O_3/Al_2O_3$ .

Karena ketergantungan terhadap senyawa metanol dan ABE yang digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya sangat tinggi, maka penggunaan senyawa-senyawa tersebut kurang ekonomis. Sehingga perlu diganti dengan senyawa lain, salah satu alternatif yang menjanjikan adalah penggunaan senyawa basa lemah. Senyawa basa yang digunakan dalam penambahan ini berfungsi untuk menetralkan atau menstabilkan molekul atau gugus aktif pada trigliserida. Dengan keberadaan senyawa basa ini, maka perengkahan dapat dilakukan tanpa terjadinya reaksi polimerisasi dan polikondensasi yang sangat mungkin terjadi karena keberadaan gugus aktif tersebut. Sehingga diharapkan dapat menambah yield dan konversi dari reaksi perengkahan trigliserida menjadi *gasoline*.

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

Keberadaan gugus polar ester dalam struktur molekul trigliserida akan menjadi hambatan dalam reaksi perengkahan menjadi bahan bakar nabati setaraf *gasoline*. Kereaktifan gugus tersebut menyebabkan kompetisi antara katalis yang digunakan guna mempercepat reaksi perengkahan dengan reaksi polimerisasi dan polikondensasi akibat adanya kereaktifan gugus ester tersebut. Dengan demikian akan mengurangi konversi & *yield* bahan bakar nabati setaraf *gasoline*. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dalam penelitian ini dilakukan *treatment* terhadap umpan minyak sawit sebelum dilakukan reaksi perengkahan. *Treatment* yang dilakukan adalah dengan menambahkan senyawa basa KOH dan  $Al(OH)_3$  ke dalam umpan molekul trigliserida yang berasal dari minyak sawit. Hal ini dimaksudkan untuk menstabilkan kereaktifan gugus ester dalam molekul trigliserida sehingga lebih mudah mengalami reaksi perengkahan.

Selama ini *treatment* yang digunakan dalam perengkahan molekul trigliserida dari minyak nabati pada penelitian-penelitian sebelumnya adalah dengan mencampurkan senyawa metanol atau senyawa ABE (Aseton, Butanol, dan Etanol) ke dalam molekul tersebut sebelum *dicracking*. Padahal ketergantungan akan senyawa-senyawa tersebut pada proses industri-industri lainnya sangatlah besar, sehingga tidak ekonomis bila digunakan dalam memproduksi bahan bakar nabati dalam skala besar. Oleh karena itulah, dalam penelitian ini kami akan coba mengembangkan metode *treatment* lain yaitu dengan menggunakan senyawa basa KOH dan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang diproduksi dalam jumlah besar dan ketergantungan akan senyawa-senyawa basa tersebut tidak sebesar senyawa metanol dan ABE.

### 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mempelajari metode perengkahan molekul trigliserida yang berasal dari minyak sawit dengan penambahan senyawa basa.
- Mendapatkan produk hidrokarbon setaraf fraksi *gasoline* hasil perengkahan katalitik minyak sawit dengan *yield* yang setinggi-tingginya.
- Menentukan rasio berat katalis  $\text{B}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  dan variabel kondisi temperatur operasi yang terbaik untuk menghasilkan konversi dan *yield* yang terbaik.

### 1.4 BATASAN MASALAH

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

- Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak sawit.
- *Treatment* yang dilakukan adalah dengan menambahkan senyawa basa KOH dan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ke dalam umpan.
- Kondisi reaksi dilakukan pada kondisi atmosferik pada rentang temperatur  $350^\circ\text{C}$  sampai  $450^\circ\text{C}$  dengan menggunakan *fixed bed reactor* dengan bahan *stainless steel* SS 316.
- Katalis yang digunakan merupakan campuran  $\text{B}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan rasio tertentu.



- Hasil yang diperoleh akan dianalisa dengan menggunakan analisa fraksinasi, FTIR, GC-FID dan GC-MS.

Dalam cakupan teori, ada dua hal yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

- Teknik penstabilan kereaktifan gugus polar karboksil dalam struktur trigliserida dalam minyak sawit difokuskan pada saponifikasi tanpa mengabaikan kemungkinan terlibatnya teknik stabilisasi yang lain.
- Tingkat konversi minyak sawit menjadi hidrokarbon fraksi gasoline ditinjau dari *yield*, spektra FTIR dan kromatogram (GC dan FID) yang dihasilkan produk hasil reaksi.

### **1.5 SISTEMATIKA PENULISAN**

Sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- **BAB I PENDAHULUAN**

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

- **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi teori-teori dan informasi atau literatur yang melandasi dan mendukung penelitian seperti bahan baku yang digunakan dalam penelitian, senyawa yang menjadi sumber alkil, proses alkilasi, proses perengkahan katalitik yang dilakukan, katalis yang digunakan dan *gasoline* sebagai produk yang diharapkan.

- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi tahap-tahap penelitian yang dilakukan.

- **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi hasil penelitian yang dilakukan yang disertai dengan pembahasan mengenai perbandingan hasil yang didapat dengan teori yang seharusnya.

- **BAB V KESIMPULAN**

Berisi kesimpulan akhir dari penelitian yang dilakukan beserta saran yang untuk penelitian berikutnya.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 MINYAK KELAPA SAWIT, CRUDE PALM OIL (CPO)**

Tanaman kelapa sawit (*Elais Guineensis*) merupakan salah satu tanaman penghasil minyak lemak diantara banyak tanaman lainnya. Selain minyak sawit, terdapat tanaman lain penghasil minyak nabati, seperti minyak jarak, kedelei, jagung, tebu, dan lain-lain. Tanaman kelapa sawit telah lama dimanfaatkan untuk menghasilkan minyak sawit (CPO), yaitu semenjak abad ke 19. Kelapa sawit dapat tumbuh dengan baik pada daerah tropis dengan curah hujan rata-rata 2000 mm/tahun dan kisaran suhu 22-32°C. Dengan kondisi demikian, Indonesia merupakan salah satu tempat dimana kelapa sawit tumbuh dengan baik.

Tanaman kelapa sawit ini rata-rata mempunyai umur 20-25 tahun. Kelapa sawit mulai berbuah pada usia empat sampai enam tahun. Dan pada usia tujuh sampai sepuluh tahun disebut sebagai periode matang (*the mature periode*), dimana pada periode tersebut mulai menghasilkan buah tandan segar (*Fresh Fruit Bunch*). Tanaman kelapa sawit pada usia sebelas sampai dua puluh tahun mulai mengalami penurunan produksi buah tandan segar. Dan terkadang pada usia 20-25 tahun tanaman kelapa sawit mati<sup>[11, 12]</sup>.

Minyak sawit dapat dipergunakan untuk bahan makanan dan industri melalui proses penyulingan, penjernihan dan penghilangan bau atau RBDPO (*Refined, Bleached and Deodorized Palm Oil*). Disamping itu CPO dapat diuraikan untuk produksi minyak sawit padat (RBD Stearin) dan untuk produksi minyak sawit cair (RBD Olein). RBD Olein terutama dipergunakan untuk pembuatan minyak goreng. Sedangkan RBD Stearin terutama dipergunakan untuk margarin dan shortening, disamping untuk bahan baku industri sabun dan deterjen. Pemisahan CPO dan Palm Kernel dapat menghasilkan oleokimia dasar yang terdiri dari asam lemak dan gliserol. Secara keseluruhan proses penyulingan minyak sawit tersebut dapat menghasilkan 73% olein, 21% stearin, 5% PFAD (*Palm Fatty Acid Distillate*) dan 0.5% buangan<sup>[12]</sup>.



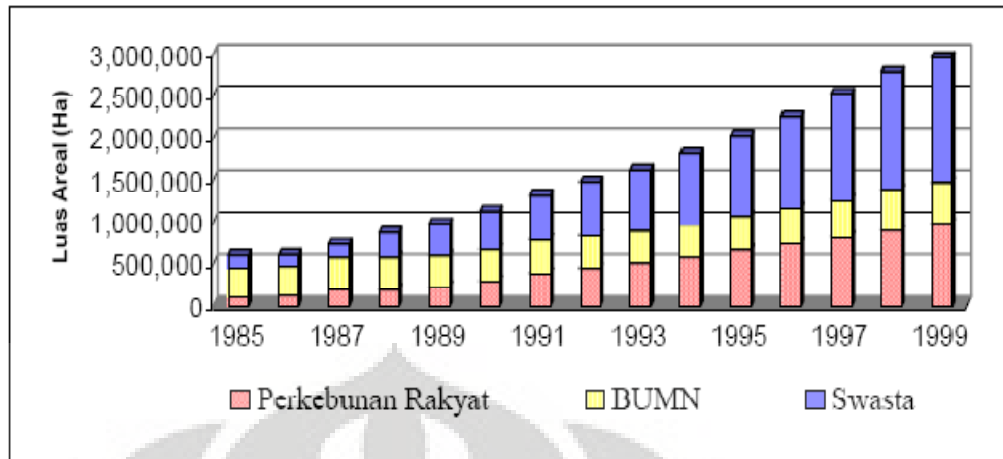
Gambar 2. 1 Buah Kelapa Sawit dari Tandan<sup>[13]</sup>



Gambar 2. 2 Minyak dari Kernel dan CPO<sup>[13]</sup>

### 2.1.1 Perkembangan Minyak Sawit di Indonesia

Di Indonesia, industri sawit merupakan salah satu primadona tanaman perkebunan yang menghasilkan devisa non-migas. Hal ini dikarenakan komoditi berbasis pertanian ini mempunyai prospek masa depan yang cerah. Oleh karena itu, pemerintah semenjak tahun 1985 telah menggalakkan pemanfaatan tanaman ini. Gambar 2.3 menunjukkan perkembangan areal perkebunan sawit dari tahun ke tahun.



Gambar 2. 3 Areal Perkebunan Kelapa Sawit Menurut Kepemilikan, 1985-1999<sup>[14]</sup>

Dengan semakin bertambahnya areal perkebunan, maka jumlah produksi minyak kelapa sawit (CPO) juga semakin bertambah. Menurut data BPS, pada 2004 ekspor sawit Indonesia 8,66 juta ton dan tahun sebelumnya 6,39 juta ton<sup>[15]</sup>. Sehingga diharapkan di masa depan, Indonesia dapat menjadi penyuplai CPO terbesar di dunia. Hal ini sangat memungkinkan, karena selain perluasan lahan yang sudah direncanakan untuk periode 2009-2025, biaya produksi CPO di Indonesia juga termasuk murah jika dibandingkan dengan negara lain. Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan biaya produksi CPO di Indonesia dan Malaysia.

Tabel 2. 1 Perbandingan Biaya CPO Indonesia dengan Malaysia<sup>[16]</sup>

Pos Biaya	Indonesia	Malaysia
<b>a. Biaya Produksi</b>		
Biaya produksi TBS per kg	Rp.87,-	Rp. 116,-
Volume produksi TBS (ha/th)	19 ton	23 ton
Rendemen (%)	22.30%	19%
Vol. Produksi CPO (ha/th)	4.2 ton	4.3 ton
Biaya produksi TBS per ha	Rp.1.501.000,00	Rp.3.095.000,00
Biaya pabrik untuk CPO	Rp.82,-	Rp.40,-
Biaya perkebunan dan pabrik	Rp.471,-	Rp.651,-
<b>b. Biaya lain-lain</b>		
Sewa tanah per ha	Rp. 1 juta	Rp.1.5 juta
Tingkat bunga (%/th)	19%	8-9%

Perkembangan industri kelapa sawit yang sangat pesat, telah menempatkan minyak sawit sebagai salah satu industri berbasis pertanian yang menempati posisi strategis. Selain diolah menjadi CPO sebagai produk utama, kelapa sawit juga

dapat diolah menjadi produk turunan di industri hilir. Industri hilir ini meliputi industri pengolahan produk-produk pangan (margarin), es krim, konfeksi, bahkan dapat diolah menjadi produk deterjen (surfaktan). Dengan semakin berkembangnya industri hilir sawit ini (oleokimia), maka kelapa sawit ini semakin menempati posisi penting dalam industri dan perekonomian Indonesia.

### 2.1.2 Minyak Sawit Menjadi BBN

Konversi minyak sawit menjadi BBN (Bahan Bakar Nabati) sebenarnya telah lama dan banyak diteliti. Salah satu yang paling tua adalah konversi menjadi biodiesel untuk pengganti ataupun substitusi bahan bakar minyak jenis solar. Akan tetapi karena harga BBM solar yang masih murah, maka bahan bakar mesin diesel berbasis tumbuhan ini tidak dapat berkembang<sup>[17]</sup>. Meski demikian belekangan ini, isu mengenai biodiesel ini terus menerus bergulir karena adanya kecenderungan harga BBM yang terus naik. Disamping itu pula, tidak terlepas dari keseriusan pemerintah dalam menggalakkan program bahan bakar nabati (biofuel).

Keseriusan pemerintah dalam program biofuel ini terlihat dari pembuatan regulasi untuk pemakaian dan pemberdayaan minyak nabati ini. Selain itu, pemerintah juga sudah mempersiapkan program perluasan perkebunan kelapa sawit, sehingga diharapkan beberapa tahun yang akan datang Indonesia menjadi salah satu pemain penting dalam CPO dan biofuel.

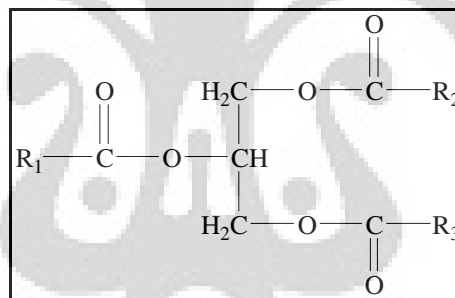
Sementara itu, konversi minyak nabati menjadi bahan bakar setaraf *gasoline* sejak sepuluh tahun terakhir telah banyak diteliti<sup>[6]</sup>. Penelitian tentang konversi ini tidak terlepas dari ancaman krisis energi yang akan terjadi ketika cadangan minyak bumi semakin menipis. Selain itu, keberhasilan beberapa negara seperti Brazil dalam mengembangkan industri bahan bakar berbasis tumbuhan juga memotivasi bangsa lain dan dunia global. Perengkahan minyak sawit untuk dijadikan bahan bakar *gasoline* (*biogasoline*) paling banyak diteliti dan dikembangkan di Malaysia. Hal ini tidak terlepas dari produksi CPO (bahan baku *biogasoline* dari sawit) Malaysia yang sangat besar dan merupakan yang terbesar di dunia.

### 2.1.3 Komponen Minyak Sawit

#### 2.1.3.1 Trigliserida

Minyak kelapa sawit merupakan minyak yang berasal dari tumbuhan kelapa sawit. Minyak kelapa sawit dapat dihasilkan dari inti kelapa sawit yang dinamakan minyak inti kelapa sawit (*palm kernel oil*) dan sebagai hasil samping ialah bungkil inti kelapa sawit (*palm kernel meal* atau *pellet*). Bungkil inti kelapa sawit adalah inti kelapa sawit yang telah mengalami proses ekstraksi dan pengeringan, sedangkan pellet adalah bubuk yang telah dicetak kecil-kecil berbentuk bulat panjang dan berdiameter kurang lebih 8 mm. Selain itu, bungkil kelapa sawit juga dapat digunakan sebagai makanan ternak<sup>[18]</sup>.

Minyak kelapa sawit mempunyai kesamaan dengan minyak nabati lainnya, yaitu komposisinya yang sebagian besar terdiri dari trigliserida. Asam lemak bebas, pengotor dan komponen yang bersifat bukan minyak ada dalam jumlah yang cukup kecil. Struktur molekul trigliserida dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. 4 Rumus Molekul Sederhana Trigliserida

Jika asam lemak ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ) yang terikat pada trigliserida merupakan tipe yang sama disebut sebagai trigliserida sederhana, contohnya triolein yang terdiri dari asam oleat. Asam lemak yang terikat pada molekul trigliserida tersebut juga bisa saja berbeda ketiganya, namun dapat pula ditemukan dua asam lemak yang sama dan satu lagi berbeda. Kombinasi dari asam lemak pembentuk suatu trigliserida akan menentukan sifat-sifat dari trigliserida tersebut.

Sifat-sifat asam lemak sendiri sangat bergantung pada panjangnya rantai karbon serta derajat kejenuhan (*degree of saturation*). Semakin panjang rantai karbon suatu asam lemak, berarti semakin berat asam lemak tersebut, yang mengakibatkan titik didihnya semakin tinggi. Demikian pula sebaliknya. Disisi lain, asam lemak dengan jenuh memiliki titik didih lebih tinggi dibandingkan

asam lemak tak jenuh (rantai karbonnya ada yang memiliki ikatan rangkap). Kandungan asam lemak pada minyak sawit dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2 Komposisi Asam Lemak Minyak dan Inti Kelapa Sawit<sup>[18]</sup>**

Asam Lemak	Minyak kelapa sawit (% berat)	Minyak inti sawit (% berat )
Kaprilat (C8:0)	-	3 – 4
Kaproat (C10:0)	-	3 – 7
Laurat (C12:0)	-	46 – 52
Misristat (C14:0)	1,1 – 2,5	14 – 17
Palmitat (C16:0)	40 – 46	6,5 – 9
Stearat (C18:0)	3,6 – 4,7	1 -2,5
Oleat (C18:1)	39 – 45	13 – 19
Linoleat (C18:2)	7 – 11	0,5 – 2

Pada Tabel 2.2 dapat dilihat asam lemak yang dominan terdapat pada minyak kelapa sawit adalah asam palmitat dan asam oleat. Secara keseluruhan minyak kelapa sawit terdiri dari asam lemak tidak jenuh. Minyak kelapa sawit mengandung asam jenuh yang tinggi (lebih dari 50 %) sehingga dapat digunakan dalam peerengkahan.

#### 2.1.4 Komponen Non-Minyak

Selain trigliserida, minyak sawit juga masih mengandung monogliserida, digliserida, asam lemak bebas, dan komponen non minyak yang biasanya hanya sedikit. Monogliserida dan digliserida tidak akan terbentuk secara alami dalam jumlah besar kecuali jika terjadi hidrolisis parsial yang menyebabkan molekul trigliserida terdekomposisi menjadi asam lemak bebas serta molekul digliserida dan monogliserida. Mono dan digliserida ini hanya berkisar 3 sampai 6 % berat minyak sawit. Sedangkan komposisi komponen non gliserida dapat dilihat pada Table 2.3.



**Tabel 2. 3 Komponen non minyak pada minyak kelapa sawit<sup>[10]</sup>**

Komponen	ppm
Carotenoids	500-700
Tocopherol and tocotrienols	600-1,000
Sterols	326-527
Phospholipids	5-130
Triterpene alcohol	40-80
Methyl sterols	40-80
Squalene	200-500
Aliphatic alcohols	100-200
Aliphatic hydrocarbon	50

### **2.3 KATALIS**

Katalis yang digunakan adalah campuran alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dengan boron oksida ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ). Katalis ini merupakan katalis yang jarang digunakan dalam penelitian, namun untuk penelitian pengkahan minyak sawit sudah pernah digunakan dan sukses.

#### **2.3.1 Alumina**

Aluminium Oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) merupakan persenyawaan antara aluminium dan oksigen. Alumina ini merupakan salah satu katalis yang sering digunakan dalam *catalytic cracking*. Tingkat keasaman katalis ini terletak pada sisi asam katalis yang diasosiasikan dengan atom aluminium. Aluminium dengan keasaman yang tinggi dikelilingi oleh atom oksigen yang memiliki keelektronegatifan yang baik<sup>[10]</sup>. Tabel berikut ini menginformasikan sifat fisika dan kimia katalis alumina.

**Tabel 2. 4 Sifat Fisika dan Kimia Alumina<sup>[10]</sup>**

Nama senyawa	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Bentuk	Bubuk Kristal padat berwarna putih
Titik leleh	2303 K
Titik didih	3250 K
Densitas	3.97x10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>
Berat molekul	101.96

Dilihat dari stabilitasnya, alumina ada yang stabil dan ada yang tidak stabil. Alumina yang termasuk stabil adalah  $\alpha$ -alumina. Dalam industri,  $\alpha$ -alumina dihasilkan melalui pemanasan *bayerit*, *boehemit*, *gibbsite* dan *disapora* pada suhu diatas 1100 C. Alumina jenis ini banyak digunakan untuk bahan keramik, ampelas, dan bahan tahan api karena titik lelehnya yang tinggi.

Sementara alumina yang belum stabil dinamakan dengan alumina metastabil. Dinamakan metastabil karena merupakan fasa transisi, dimana jika dipanaskan lebih lanjut, fasanya dapat berubah menjadi fasa stabil. Alumina transisi ini oleh Ginsberg dan Lippens dibagi dua, yaitu:

a. Kelompok  $\gamma$

Kelompok ini merupakan alumina hidrate dengan jumlah atom oksigen maksimal 6. Diperoleh dengan cara pemanasan biohemite di bawah 600°C.

b. Kelompok  $\delta$

Kelompok ini merupakan alumina anhidrat yang diperoleh dengan pemanasan pada suhu 900 sampai 1000°C.

Diantara sekian banyak jenis alumina,  $\gamma$  alumina merupakan katalis alumina yang paling luas digunakan. Hal ini dikarenakan  $\gamma$  alumina memiliki luas permukaan yang sangat luas, jumlah pori yang banyak, dan stabil terhadap berbagai rentang suhu proses katalis. Sehingga dalam penelitian ini juga akan digunakan katalis  $\gamma$  alumina tersebut.

### 2.3.2 Katalis B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Sistem katalis B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan katalis yang cukup menarik dan jarang untuk dilakukan penelitian. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan padatan yang bersifat asam sedangkan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan padatan yang dapat berfungsi sebagai konduktor ion. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mempunyai ukuran partikel yang cukup kecil, sedangkan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mempunyai luas permukaan yang cukup besar (250 m<sup>2</sup>/g), sehingga partikel padatan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat terdispersi secara baik pada permukaan padatan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Katalis ini merupakan salah satu katalis asam yang paling kuat. Sifat keasaman katalis ini dihasilkan dari asam Bronsted. Tujuan penambahan boron oksida ini sendiri adalah untuk membentuk spesi peroksida (O<sub>2</sub><sup>2-</sup>) pada permukaan katalis. Spesi peroksida yang terbentuk ini telah terbukti merupakan inti aktif yang baik untuk reaksi dehidrogenasi dan juga reaksi oksidasi. Spesi peroksida ini dapat meningkatkan laju reaksi dehidrasi etanol. Penambahan boron oksida juga dimaksudkan untuk meningkatkan konsentrasi BO<sub>4</sub> sites pada katalis. Peningkatan BO<sub>4</sub> sites akan semakin meningkatkan sisi asam Bronsted pada katalis. Aktivitas katalis ini akan berubah dengan variasi kandungan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sehingga diharapkan menjadi katalis yang efektif dan efisien dalam reaksi perengkahan. Adapun sifat fisik dari boron oksida dapat dilihat pada table berikut ini:

Tabel 2. 5 Sifat Fisika Boron Oksida<sup>[19]</sup>

Sifat fisika	
Warna serbuk	Tidak Berwarna
Kelarutan	Larut dalam alkohol dan air panas Sedikit larut dalam air dingin
Specific gravity	2.46
Titik Leleh	450 °C
Titik Didih	1500 °C
Kemudahan Terbakar	Tidak Mudah Terbakar

### 2.4 REAKSI PERENKAHAN KATALITIK

Reaksi perengkahan (*cracking*) merupakan reaksi pemutusan atau pemotongan hidrokarbon berantai panjang menjadi hidrokarbon yang lebih pendek. Di dalam terminology *cracking* dikenal dua istilah penting, yaitu *thermal*

*cracking* dan *catalytic cracking*. Perengkahan termal memanfaatkan suhu yang tinggi untuk memutus ikatan antara atom karbon dalam sebuah hidrokarbon, sehingga diperoleh hidrokarbon yang lebih sederhana. Oleh karena itu, biasanya perengkahan termal ini menggunakan suhu yang tinggi.

Berbeda dengan perengkahan termal, perengkahan menggunakan katalis tidak membutuhkan suhu yang terlalu tinggi. Hal ini dikarenakan keberadaan katalis yang mampu menurunkan energi aktivasi reaksi, sehingga reaksi tidak harus berlangsung pada suhu yang tinggi. Perengkahan secara katalitik mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan perengkahan termal, yaitu *gasoline* yang dihasilkan mempunyai angka oktan (*octane number*) yang lebih tinggi, hasil perengkahannya lebih banyak isoparaffin dan aromatic yang memiliki angka oktan yang lebih tinggi dan lebih stabil secara kimia dibandingkan olefin<sup>[20]</sup>. Hasil senyawa isoparaffin, naftena dan aromatik yang lebih banyak ini diakibatkan adanya selektivitas bentuk pada *catalytic cracking*, sehingga produk-produk tersebutlah yang lebih mudah untuk keluar (dihasilkan).

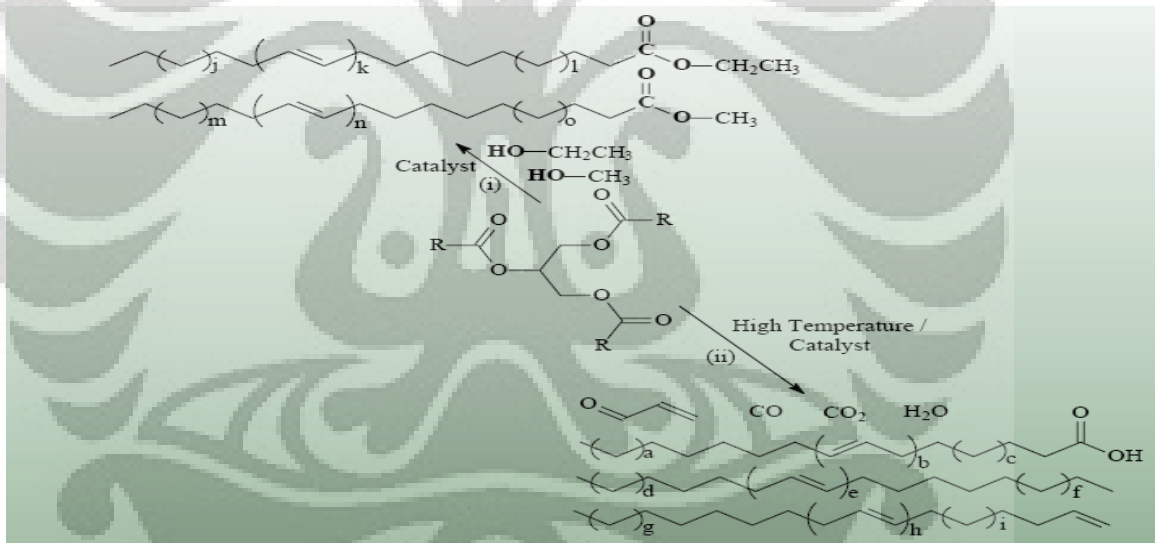
Dari uraian diatas, terlihat bahwa penggunaan *catalytic cracking* sangatlah tepat untuk memenuhi tujuan yang dimaksud, yaitu untuk memperoleh *gasoline* (bensin) yang baik dengan yield dan konversi yang tinggi. Penggunaan *catalytic cracking* dalam pengolahan minyak sawit menjadi *biogasoline* sudah pernah dilakukan dalam penelitian-penelitian sebelumnya. Molekul trigliserida yang terkandung dalam minyak sawit merupakan molekul yang akan direngkah menjadi produk *gasoline*.

Sebelum mengalami perengkahan, molekul trigliserida harus terlebih dahulu menjalani *treatment*. *Treatment* yang sudah pernah dilakukan adalah penambahan senyawa dari golongan ABE (aseton, butanol, dan etanol). Dengan penambahan ini, maka molekul tersebut akan dirubah menjadi asam lemaknya melalui reaksi transesterifikasi. Cara lain yang mungkin untuk mendapatkan produk hidrokarbon dari trigliserida ini adalah dengan melakukan reaksi saponifikasi. Reaksi saponifikasi yang dimaksud adalah dengan penambahan senyawa basa sehingga molekul trigliserida tersebut berubah menjadi sabun. Kemudian sabun dari gliserida inilah yang direngkah untuk menghasilkan produk

hidrokarbon tersebut. Dalam uraian berikut akan dijelaskan kedua cara untuk menghasilkan produk hidrokarbon dari molekul trigliserida tersebut.

### 2.4.1 Perengkahan dengan *Pretreatment*

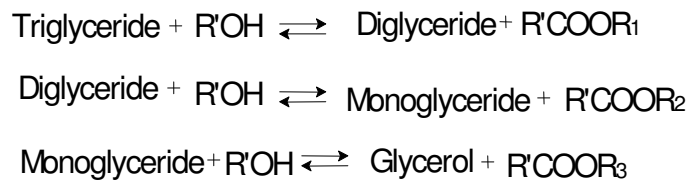
Pada beberapa penelitian sebelumnya, sebelum direngkah secara katalitik, molekul trigliserida terlebih dahulu mengalami reaksi transesterifikasi menggunakan alkohol atau senyawa yang mempunyai gugus hidroksil (-OH). Sebenarnya tanpa penambahan senyawa tersebut, reaksi perengkahan masih bisa dilakukan, akan tetapi hasil perengkahan yang didapatkan sangat rentan membentuk polimer maupun terkondensasi (polimerisasi dan polikondensasi) dikarenakan struktur hasil perengkahannya yang sangat tidak stabil karena mengandung gugus hidroksil, ester maupun ikatan rangkap. Perbedaan hasil perengkahan tanpa *treatment* (penambahan senyawa tertentu) dan menggunakan penambahan ditunjukkan pada Gambar 2.5.



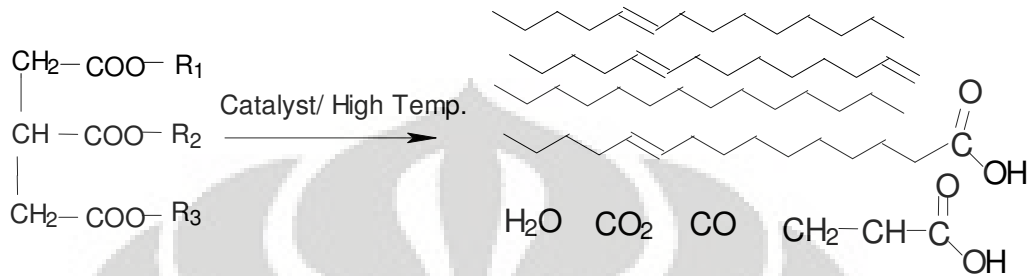
Gambar 2. 5 Perbedaan hasil reaksi dengan dan tanpa pretreatment<sup>[21]</sup>.

Pada Gambar 2.5 diatas, arah panah keatas (i) menunjukkan hasil reaksi dengan penambahan methanol dan ethanol, sedangkan arah panah ke bawah (ii) menunjukkan reaksi tanpa *pretreatment*.

Hasil dari reaksi transesterifikasi ini adalah asam lemak dan gliserol. Asam lemak inilah yang sebenarnya menjadi bahan baku hidrokarbon tersebut. Mekanisme reaksi perengkahan molekul trigliserida yang sudah dialkilasi dengan alkohol tertera pada Gambar 2.6 dan 2.7.



Gambar 2. 6 Mekanisme reaksi minyak tumbuhan menjadi ester dan gliserol<sup>[22]</sup>



Gambar 2. 7 Reaksi perengkahan molekul trigliserida<sup>[21]</sup>

Pada gambar diatas, terlihat bahwa baik dengan menggunakan katalis ataupun dengan menggunakan suhu yang tinggi sama-sama dapat menghasilkan produk hidrokarbon dari molekul trigliserida. Hal ini dapat dipahami karena kedua cara tersebut adalah metode cracking, yakni *catalytic cracking* dan *thermal cracking*. Pada penelitian ini, cara yang akan digunakan untuk menghasilkan hidrokarbon tersebut adalah dengan menggunakan katalis (*catalytic cracking*) dimana umpannya terlebih dahulu mendapat perlakuan saponifikasi.

#### 2.4.2 Perengkahan dengan *Pretreatment Saponifikasi*

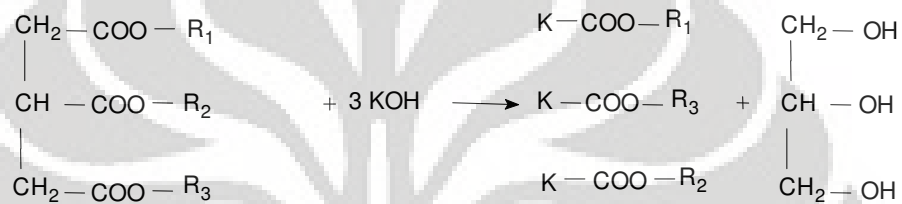
Perbedaan yang paling penting antara hidrokarbon dari minyak bumi (*crude oil*) dengan hidrokarbon dari minyak tumbuhan termasuk salah satunya minyak sawit adalah keberadaan gugus ester dan hidroksil pada minyak nabati (dalam hal ini sawit). Sehingga sebelum menjalani reaksi perengkahan atau pemutusan hidrokarbon panjang menjadi hidrokarbon yang lebih sederhana, keberadaan gugus reaktif ini harus terlebih dahulu distabilkan. Stabilisasi atau netralisir gugus reaktif ini menjadi penting karena dapat mencegah terjadinya reaksi polimerisasi dan polikondensasi yang dipicu oleh keberadaan gugus reaktif. Gugus reaktif yang dimaksud adalah gugus ester, hidroksil dan ikatan karbon tak jenuh (ikatan rangkap).

Inovasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan mengganti senyawa-senyawa alkohol yang digunakan dalam *treatment* dengan senyawa basa. Pergantian ini sangat beralasan, yaitu tingginya ketergantungan terhadap senyawa

yang digunakan dalam *treatment* (dari gugus aseton dan alkohol) menyebabkan penggunaan senyawa-senyawa tersebut dalam *treatment* menjadi tidak ekonomis. Disisi lain, penggunaan senyawa basa ini menjadi pilihan karena selain ketergantungan terhadap senyawa ini tidak begitu tinggi, senyawa ini juga mudah didapat.

Senyawa basa yang akan digunakan dalam penambahan penelitian ini adalah KOH dan Al(OH)<sub>3</sub>. Reaksi yang terjadi antara basa dengan trigliserida ini tidak berbeda dengan penggunaan senyawa dari gugus alkohol seperti diatas.

Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 8 Reaksi Saponifikasi Trigliserida dengan KOH

Reaksi dengan basa Al(OH)<sub>3</sub> juga sama seperti yang terjadi pada reaksi dengan basa KOH diatas. Perbedaannya terletak pada perbandingan koefisien reaksi. Pada saponifikasi menggunakan basa Al(OH)<sub>3</sub> perbandingan koefisien reaksinya adalah satu berbanding satu.

Setelah mengalami reaksi saponifikasi tersebut, maka garam asam lemak trigliserida (sabun) yang dalam reaksi diatas adalah KCOOR akan *dicracking* menggunakan katalis sehingga menghasilkan hidrokarbon setaraf *gasoline* yang merupakan tujuan dari penelitian ini.

Mekanisme perengkahan dari garam asam lemak (sabun) tersebut diprediksi

## 2.5 GASOLINE

*Gasoline* merupakan salah satu fraksi minyak bumi yang paling banyak dikonsumsi. Oleh karenanya, pengolahan minyak bumi juga lebih banyak diarahkan untuk menghasilkan fraksi *gasoline*. Penggunaan *gasoline* yang paling besar adalah untuk sektor transportasi (kendaraan bermotor). Sebagai salah produk pengolahan minyak bumi, *gasoline* merupakan hasil distilasi dengan titik didih antara 40°C sampai 220°C. Dari rentang titik didih tersebut, maka *gasoline*

ini terdiri dari senyawa karbon  $C_5-C_{12}$ . *Gasoline* ini, sebagaimana produk minyak bumi pada umumnya terdiri atas senyawa tak jenuh (olefin), hidrokarbon jenuh (parafin) dan hidrokarbon siklik atau hidrokarbon aromatik.

Pada penjelasan selanjutnya akan dibahas beberapa spesifikasi *gasoline* dan angka oktan (*octane number*).

### 2.5.1 Spesifikasi Gasoline<sup>[10]</sup>

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

Spesifikasi bensin yang ditetapkan oleh pemerintah biasanya mencakup pertimbangan mengenai kebutuhan ideal kendaraan motor di negara yang bersangkutan, kemampuan produksi dan ekonomi negara bersangkutan, serta kebijaksanaan umum mengenai lingkungan dan keselamatan masyarakat. Untuk mengurangi emisi yang ada sekarang ini, telah dibuat peraturan yang membatasi kandungan-kandungan yang ada didalam bensin.

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

1. Harus dapat terbakar di semua silinder secara merata dan tanpa gangguan seperti ketukan pada mesin atau pembakaran yang tidak sempurna.
2. Harus dapat menguap dengan mudah sehingga dapat membuat campuran uap bensin dan udara yang dapat menyala dengan baik walaupun mesin berada dalam keadaan dingin.
3. Tidak boleh terlalu mudah menguap sehingga mengalami pendidihan dalam pompa dan atau saluran bahan bakar pada saat mesin atau udara berada dalam keadaan panas sehingga menimbulkan gangguan aliran, seperti sumbatan uap yang dapat menghambat kerja mesin.



4. Harus dapat mudah menguap sehingga pada waktu mesin berada dalam keadaan panas dan bekerja dengan normal bagian yang menguap pada manifold pemasuk cukup banyak.
5. Tidak boleh mengandung komponen yang volatilitasnya terlalu rendah yang tidak mudah menguap atau tidak terbakar sempurna di dalam silinder.
6. Tidak meninggalkan sisa dan getah-getah pada sistem penyimpanan, penyaluran, dan pemasukan bahan bakar.
7. Harus dapat tahan disimpan untuk waktu cukup lama tanpa mengalami perubahan kimia dan pembentukan getah.
8. Harus cukup bersih dan tidak menimbulkan korosi pada logam yang bersentuhan dengan bahan bakar.

### 2.5.2 Angka Oktan

Pada mulanya, kualitas bensin hanya ditentukan dari nilai API *gravity*, sebagai contoh bensin yang memiliki nilai 70° API *gravity* mengandung lebih sedikit unsur bensin fraksi berat dari pada yang 60° API *gravity*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bensin 70° mempunyai kualitas yang lebih baik<sup>[10]</sup>. Akan tetapi, dewasa ini, kualitas suatu bensin (*gasoline*) diukur dengan angka oktan. Angka oktan merupakan suatu parameter *antiknocking* yang terjadi pada mesin.

Angka oktan ini merupakan perbandingan antara iso-oktana dengan n-oktana dalam suatu *gasoline*. Semakin tinggi nilai oktan artinya semakin banyak molekul iso-oktana dalam bensin tersebut. Iso-oktan merupakan rantai karbon bercabang sedangkan n-oktan merupakan rantai lurus. Semakin banyak percabangan (semakin tinggi nilai oktan), maka semakin ramah pula minyak tersebut terhadap mesin, sehingga tidak menyebabkan *knocking*.

Angka oktan diukur dengan menggunakan mesin baku, yaitu mesin CFR (*Cooperative Fuel Research*) yang dioperasikan pada kondisi tertentu, dimana bahan bakar dibandingkan dengan bahan bakar rujukan yang terbuat dari n-heptana (angka oktan 0) dan isooktan (angka oktan 100). Angka oktan bensin yang diukur didefinisikan sebagai persentase isooktan dalam bahan bakar rujukan yang memberikan intensitas ketukan yang sama pada mesin uji. Ada dua macam angka oktan, yaitu angka oktan riset (RON) yang memberikan gambaran mengenai unjuk kerja dalam kondisi pengendalian biasa dan angka oktan motor

(MON) yang memberikan gambaran mengenai unjuk kerja dalam kondisi pengendaraan yang lebih berat<sup>[23]</sup>.

**Tabel 2. 6 Angka Oktan pada Berbagai Hidrokarbon Murni<sup>[1]</sup>**

Senyawa Hidrokarbon	RON	MON
Normal parafin		
Pentana	61.7	61.9
Heksana	24.8	26
Heptana	0	0
Oktana	-19	-15
Nonana	-17	-20
Isoparafin		
2-metilbutana	92.3	90.3
2-metilheksana	42.4	46.4
2-metilheptana	21.7	23.8
2,4dimetilheksana	65.2	69.9
2,2,4-trimetilpentana	100	100
Olefin		
1-pentena	90.9	77.1
1-Oktena	28.7	34.7
3-Oktena	72.5	68.1
4-metil-1-pentena	95.7	80.9
Aromatik		
Benzena		114.8
Toluena	120.1	103.5

Jenis *gasoline* yang diproduksi dan dipasarkan di Indonesia memiliki angka oktan 88 yang disebut dengan premium. Di samping premium, ada pula jenis *gasoline* yang beroktan lebih tinggi, yaitu premix dengan angka oktan 94.

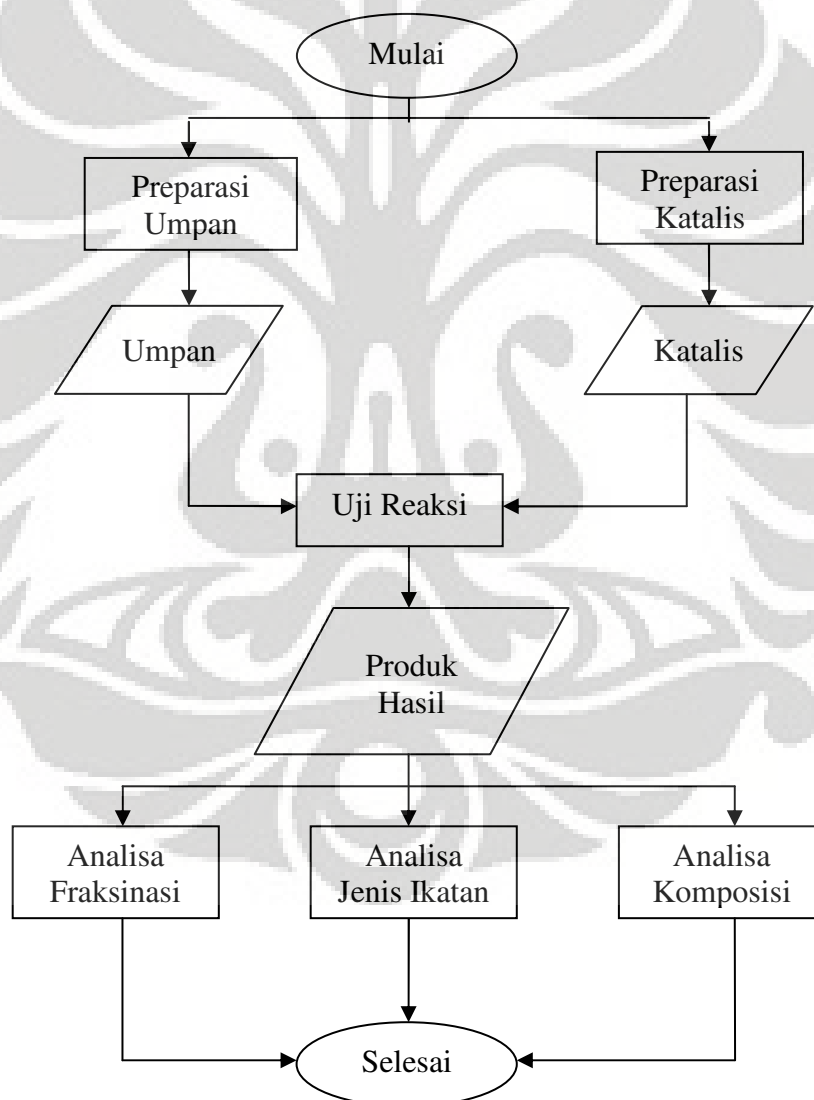
**Tabel 2. 7 Jenis-jenis Gasoline Indonesia<sup>[22]</sup>**

No	Jenis Gasoline	Angka oktan minimum	Kandungan timbal (g/l)
1	Premium 88	88 RON	0.3
2	Premix 94	94 RON	0.3
3	Super TT	95 RON	0.005
4	Prima TT	98 RON	0.005

## BAB III

### METODE PENELITIAN

Dalam bab ini, akan disajikan prosedur penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan senyawa hidrokarbon setaraf fraksi *gasoline*, melalui reaksi perengkahan katalitik dengan penambahan senyawa basa (saponifikasi) ke dalam umpan minyak sawit dengan rasio tertentu. Diagram alir penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut:

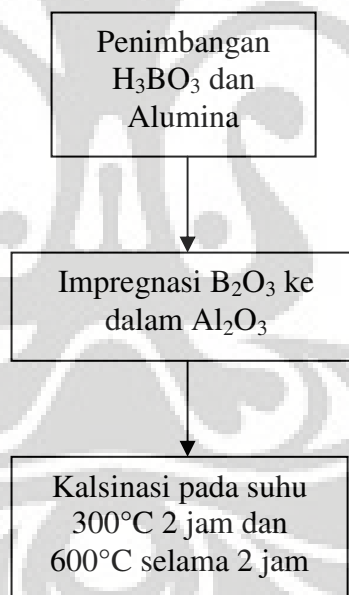


**Gambar 3.1 Diagram alir penelitian**

### 3.1 PREPARASI KATALIS $B_2O_3/Al_2O_3$

Pada tahap ini yang dilakukan adalah preparasi katalis  $Al_2O_3$  (Alumina) yang akan ditambahkan aditif  $B_2O_3$  yang selanjutnya disebut sebagai  $B_2O_3/Al_2O_3$ .  $B_2O_3$  diharapkan akan mengisi permukaan  $Al_2O_3$  sehingga menambah keasaman katalis yang digunakan. Jenis Alumina yang dipakai adalah  $\gamma-Al_2O_3$  yang mempunyai luas permukaan yang cukup besar. Pembuatan katalis ini melalui dua tahap yaitu: impregnasi dan kalsinasi.

Penambahan  $B_2O_3$  ini dimaksudkan untuk membentuk spesi peroksida pada permukaan katalis. Spesi tersebut akan membentuk suatu inti aktif yang akan membantu reaksi perengkahan. Selain itu, spesi peroksida juga merupakan inti aktif untuk reaksi dehidrogenasi dan reaksi dehidrasi. Diagram alir untuk preparasi katalis dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Preparasi Katalis

Prosedur untuk preparasi katalis adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Menimbang  $H_3BO_3$  yang dibutuhkan.
3. Memasukkan  $H_3BO_3$  ke dalam beaker glass yang berisi demineralized water sebanyak 50 ml.

4. Memanaskan larutan  $H_3BO_3$  pada hot plate yang dilengkapi stirrer sampai padatan larut (bening).
5. Memasukkan  $Al_2O_3$  kedalam larutan di atas.
6. Memanaskan dengan *hot plate* dan *stirrer*, dijaga pada suhu  $80^\circ C$  sampai kering.
7. Melakukan kalsinasi pada padatan yang telah diimpregnasi pada temperatur  $300^\circ C$  selama 2 jam dan  $600^\circ C$  selama 2 jam.
8. Lakukan lagi langkah 1- 7 untuk 3 komposisi  $B_2O_3$  yang didapatkan berbeda- beda yaitu 10 %, 15%, dan 20% berat.
9. Menyimpan hasilnya pada botol.

Katalis yang telah disiapkan sesuai dengan komposisi yang diinginkan kemudian ditimbang seberat 3 gram untuk setiap reaksi yang akan dilakukan. Selain katalis, juga disiapkan quartz wool, quartz sands dan kaca pyrex. Quartz wool digunakan sebagai penyangga dan penahan pada bagian bawah reaktor sehingga tidak ada katalis yang terbuang. Quartz sands dan kaca pyrex digunakan sebagai media pemanas umpam sebelum kontak dengan katalis, sehingga pada saat kontak dengan katalis, suhu dari umpam telah sama dengan suhu reaksi yang diinginkan.

Alat dan bahan yang digunakan pada tahapan ini:

1. Beaker glass 300 ml.
2. *Hot plate* dan *stirrer*.
3. Termometer.
4. Timbangan dan kertas timbang.
5. Botol 5 buah.
6. Cawan 5 buah
7. Spatula
8. *Demineralized water*
9. Katalis  $Al_2O_3$
10. Padatan  $H_3BO_3$

### 3.2 PREPARASI UMPAN

Umpan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah hasil saponifikasi minyak sawit dengan senyawa basa. Reaksi saponifikasi ini bertujuan untuk mengurangi tingginya kereaktifan gugus polar dari ikatan ester dan hidroksil serta ketidakjenuhan (ikatan rangkap) rantai karbon, agar terhindar dari reaksi polimerisasi dan polikondensasi yang dapat membentuk molekul yang lebih besar sehingga reaksi perengkahan menjadi lebih lambat. Senyawa basa yang digunakan ada dua jenis, yaitu KOH dan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Variasi ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari tingkat kekuatan basa terhadap hasil saponifikasi yang juga akan berpengaruh pada *yield* gasoline yang didapatkan.

Dalam melakukan persiapan umpan ini, terlebih dahulu basa yang berbentuk padatan dilarutkan ke dalam air sehingga didapatkan basa dengan konsentrasi masing-masing 1 M untuk kedua jenis basa tersebut. Perubahan fasa (dari padat menjadi larutan) bertujuan untuk memudahkan terjadinya reaksi saponifikasi yang diharapkan. Karena pencampuran basa dalam wujud padat dengan minyak yang berwujud cair ternyata sangat lambat mengalami reaksi saponifikasi. Selain diakibatkan perbedaan kepolaran, susahnya terjadi saponifikasi juga mungkin dikarenakan luas permukaan kontak antara minyak dan basa yang tidak memungkinkan terjadinya kondisi optimal untuk saponifikasi.

Selain variasi jenis basa yang digunakan, dilakukan pula variasi rasio minyak sawit dengan basa yang digunakan. Dengan melakukan variasi rasio tersebut hingga perbandingan tertentu, diharapkan dapat menemukan rasio yang terbaik untuk menghasilkan *yield* yang tinggi. Variasi yang dilakukan adalah stoikiometrik, kelebihan minyak sawit 10% mol, dan kelebihan minyak sawit 20% mol.

Dengan menggunakan berat molekul minyak sawit 956 gram/mol, dan berat molekul masing-masing basa: KOH 56 gram/mol dan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  74 gr/mol, didapatkan perbandingan berat untuk masing-masing rasio. Karena kedua reaktan yang digunakan dalam fasa cair dan larutan, untuk lebih memudahkan, perbandingan berat tersebut dirubah menjadi perbandingan volume sebagai berikut.

**Tabel 3. 1 Perbandingan komposisi basa dengan minyak sawit**

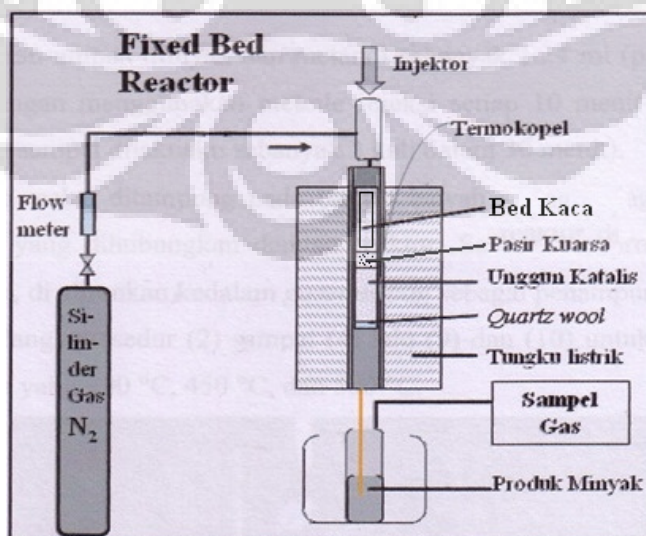
Jenis Basa	Volume Minyak : Volume Basa		
	Stoikiometrik	10% Excess	20% Excess
KOH	1.00	1.10	1.20
Al(OH) <sub>3</sub>	0.33	0.37	0.40

Alat dan bahan yang digunakan dalam tahap ini

1. Beaker glass
2. Gelas ukur
3. *Hot plate* dan *stirrer*.
4. Timbangan.
5. Botol sampel.
6. Spatula
7. *Demineralized water*
8. Minyak sawit
9. Padatan Basa KOH dan Al(OH)<sub>3</sub>.

### 3.3 TAHAP UJI REAKSI

Tahap ini merupakan tahap utama dalam penelitian. Pada tahap ini, umpan berupa hasil saponifikasi senyawa basa dan minyak sawit yang telah disebutkan sebelumnya, akan direaksikan didalam *fixed bed reactor* dengan menggunakan katalis B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sehingga akan mengalami reaksi perengkahan menjadi senyawa setaraf fraksi *gasoline*. Berikut ini ditampilkan gambar alat peralatan yang digunakan dalam penelitian ini.



**Gambar 3.3 Fixed Bed Reactor**

Reaktor untuk melangsungkan reaksi perengkahan disusun sebagai berikut:

- Unggun katalis adalah berupa katalis  $B_2O_3/Al_2O_3$  yang ditahan dengan lapisan quartz wool agar ungun katalis berada pada posisi yang tetap.
- Di atas ungun katalis ditempatkan quartz sands dimaksudkan sebagai pemanas awal umpan, sehingga suhu dalam reaktor lebih homogen. Dengan demikian, suhu aktual umpan ketika berkontak dengan katalis sama dengan suhu yang diset.
- Di dalam furnace, ditempatkan termokopel untuk mengukur suhu aktual reaktor yang juga berada di dalam furnace.
- Sistem reaktor tersebut telah siap digunakan dalam tahapan uji reaksi.

Adapun prosedur percobaan perengkahan katalitik dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Menyiapkan reaktor yang telah berisi katalis, quartz sands dan kaca pyrex yang pada bagian bawahnya ditahan oleh quartz wool.
- b. Memasang reaktor ke dalam sistem peralatan, mengencangkan sambungan dan melakukan tes kebocoran terhadap sambungan-sambungan yang ada.
- c. Gas pembawa (nitrogen) dialirkan terlebih dahulu ke dalam sistem rangkaian aliran dengan laju sekitar 10-30 ml/min.
- d. Mengeset suhu  $450^{\circ}C$  dan ditahan selama satu jam. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang mungkin ada dalam katalis maupun pada pasir kuarsa.
- e. Selanjutnya dilakukan reaksi perengkahan dengan mengumpankan hasil saponifikasi sebanyak 3 ml ke dalam reaktor.
- f. Produk reaksi ditampung pada bagian bawah reaktor dengan menggunakan wadah/botol yang dihubungkan dengan reaktor. Untuk menyempurnakan penampungan produk yang berupa fasa cair, wadah dicelupkan di dalam bak penampung berisi air dan es. Sedangkan produk yang berupa fas gas, dialirkan ke dalam *gaseous bag* sebagai penampung produk gas.
- g. Produk gas dan cair siap ditampung dalam wadah masing-masing. Produk cair ditampung ke dalam botol yang ditempatkan dalam wadah berisi es



maupun air. Hal ini bertujuan agar terjadi kondensasi hasil reaksi sehingga semakin banyak cairan yang didapatkan. Sedangkan produk gas ditampung ke dalam *gaseous bag*. Ke dua jenis produk siap dianalisa.

- h. Mengulangi langkah-langkah diatas untuk variasi temperature, jenis umpan dan katalis.

### **3.4 ANALISA HASIL REAKSI**

Pada tahap ini akan dilakukan berbagai analisa terhadap hasil reaksi perengkahan katalis yang telah dilakukan. Analisa yang dilakukan meliputi penggunaan gas chromatografi-TCD untuk produk gas dan analisa GC-FID untuk produk cair yang dihasilkan. Selain itu, untuk produk cair dilakukan juga analisa FT-IR dan analisa fraksinasi.

#### **3.4.1 Analisa Fraksinasi**

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui berapa fraksi *gasoline*, kerosin dan diesel yang terbentuk. Prosedur analisis ini adalah sebagai berikut:

1. Catat massa minyak hasil reaksi perengkahan
2. Memasukkan hasil reaksi perengkahan ke dalam suatu kolom destilasi
3. Destilasi sampai pada *range* titik didih *gasoline*
4. Catat jumlah minyak yang tersisa
5. Destilasi sampai pada *range* titik didih kerosin
6. Catat jumlah minyak yang tersisa
7. Destilasi sampai pada *range* titik didih diesel
8. Catat jumlah minyak yang tersisa

#### **3.4.2 Analisa GC-FID**

Produk cair dianalisa dengan menggunakan instrumen kromatografi gas jenis FID dari Hewlett Packard GC-5890 dilengkapi dengan kolom kapiler DB-1. Kondisi operasi GC-FID dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 3. 2 Data Analisis FID**

Column	SE-30 untuk senyawa non polar atau OV-17 untuk polar
Carrier	Nitrogen
Oven	40°C for 2 min; 40 - 220°C dengan <i>heating rate</i> pada 2.5 °C/min
Injector	Non split injector
Detector	FID 290°C Nitrogen make up gas sebesar 30 ml/min

### 3.4.3 Analisa FTIR untuk Produk Cair

Analisis ini dilakukan untuk melihat dengan jelas ikatan-ikatan apa saja yang dimiliki oleh sampel yang dihasilkan dari proses konversi katalitik. Prosedur analisis FTIR adalah sebagai berikut:

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

Analisa ini digunakan untuk mengetahui tingkat perengkahan yang terjadi. Tingkat perengkahan ini dapat dilihat dari:

- Jumlah ikatan karbon pada posisi pinggir (R-CH<sub>3</sub>)
- Jumlah ikatan ester (karbonil maupun karboksil) yang terlepas dari kerangka ikatan.

### 3.4.4 Analisa GC-MS

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui kandungan fraksi gasoline yang ada pada produk yang dihasilkan baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Pada dasarnya, instrumen GC-MS merupakan gabungan dari dua jenis instrument analisa, yaitu GC (*Gas Chromatography*) dan MS (*Mass Spectroscopy*). Ketika kedua instrumen ini digabung menjadi GC-MS, berarti MS digunakan sebagai detektor untuk GC. Dengan menggabungkan kedua alat ini, diharapkan kecepatan analisa, kemudahan pengoperasian, dan hasil kuantitatif memuaskan yang dimiliki GC akan disempurnakan dengan kemudahan identifikasi struktur dan puncak yang dimiliki oleh MS.

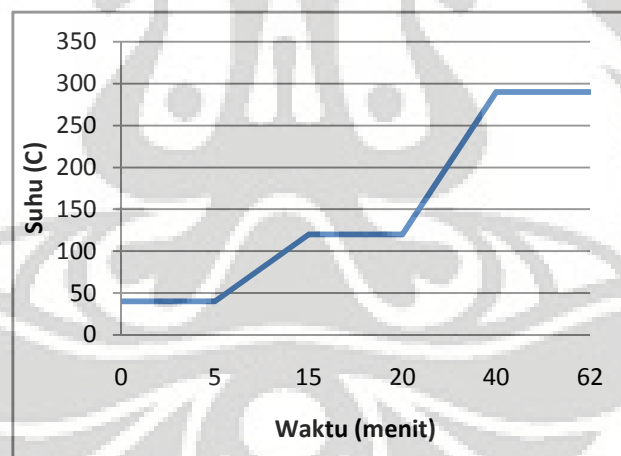
MS merupakan salah satu detektor yang paling kaya informasi. Alat ini hanya membutuhkan jumlah sampel yang sangat sedikit (mikrogram) untuk menghasilkan data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif yang dimaksud mencakup struktur, komposisi unsur, dan berat molekul. Selain itu, salah satu yang menjadi kelebihan MS dalam konteks ini adalah kemudahannya menyatu dengan GC.

Kondisi operasi instrument GC-MS yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel 3. 3 Spesifikasi GC-MS**

Jenis Kolom	Kapiler
Type	DB-SMS
Panjang	30 meter
Diameter dalam	0.25 mm
Film	0.25 $\mu\text{m}$
Temperatur awal	40°C

Sementara informasi temperatur yang digunakan selama proses analisa berlangsung digambarkan dalam gambar berikut ini.



**Gambar 3. 1 Profil suhu GC-MS**

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

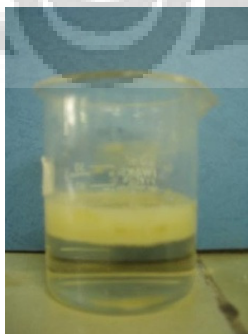
Dalam bab ini akan diuraikan hasil penelitian yang dilakukan beserta pembahasan dan analisa terhadap hasil yang didapat tersebut. Uraian dalam bab ini akan diurutkan sesuai dengan tahapan penelitian yang dilakukan.

#### **4.1 HASIL UJI REAKSI BERBAGAI JENIS UMPAN**

##### **4.1.1 Umpan Hasil Saponifikasi Minyak Sawit dengan KOH**

Reaksi saponifikasi yang terjadi untuk menghasilkan umpan ini adalah pecampuran antara minyak sawit dengan basa KOH. Sebelum mereaksikan kedua zat tersebut, pertama sekali basa KOH yang berbentuk padatan dilarutkan dalam aquadest sehingga dihasilkan larutan basa dengan konsentrasi 1 M. Pembuatan larutan basa ini dimaksudkan untuk memudahkan terjadinya reaksi dengan minyak sawit yang berwujud cairan. Karena jika basa yang digunakan berwujud padatan akan memperlambat terjadinya reaksi saponifikasi yang diinginkan.

Umpan hasil saponifikasi ini dibuat dalam beberapa variasi perbandingan mol antara minyak dengan basa dengan tujuan untuk mendapatkan rasio yang paling baik. Secara fisik perbedaan rasio ini tidak menghasilkan produk saponifikasi yang berbeda. Semua jenis sabun yang dihasilkan relatif sama dalam hal warna dan kekentalannya. Perbedaan yang mungkin dapat dilihat hanyalah banyaknya sabun yang dihasilkan untuk masing-masing variasi. Semakin besar rasio minyak terhadap basa yang digunakan, semakin banyak sabun yang dihasilkan.



**Gambar 4. 1 Hasil Saponifikasi dengan KOH**

Selain menghasilkan sabun yang berwarna putih, saponifikasi juga menghasilkan produk samping berupa gliserol dan air. Secara fisik terlihat bahwa sabun berada diantara gliserol dan air, dimana air berada pada bagian bawah botol sedangkan gliserol berada pada bagian atas.

Umpan yang masih memiliki kandungan air dan gliserol ini kemudian dipisahkan secara fisik sehingga didapatkan umpan berupa sabun saja. Tampilan fisik dari umpan yang sudah dipisahkan dari air dan gliserol dapat dilihat pada gambar berikut ini.



**Gambar 4. 2 Umpan KOH**

Pada penelitian ini, dilakukan dua jenis reaksi yang berbeda untuk setiap jenis hasil saponifikasi, yaitu *blank reaction* dan *catalytic reaction*. Dua jenis reaksi ini dilakukan untuk menginvestigasi pengaruh katalis dan suhu tinggi terhadap jalannya reaksi maupun terhadap produk yang dihasilkan. *Blank reaction* merupakan reaksi tanpa menggunakan katalis. Sehingga dalam pelaksanaannya, reaktor hanya diisi dengan quartz sands, quartz wool dan kaca, yang dipanaskan pada suhu 450°C. Alasan pemilihan suhu 450°C ini adalah untuk melihat apakah telah terjadi pyrolysis atau *thermal cracking* yang dapat menghasilkan hidrokarbon setara gasoline tanpa kehadiran katalis.

Produk yang dihasilkan dengan metode *blank reaction* adalah produk yang sangat kental dan membentuk gumpalan berwarna hitam. Hal ini membuktikan belum terjadinya reaksi perengkahan akan tetapi yang terjadi adalah reaksi polikondensasi dan polimerisasi yang menghasilkan produk dengan densitas yang lebih besar. Belum terjadinya reaksi pirolisis (*blank reaction*) karena suhu yang masih terlalu rendah untuk terjadinya reaksi perengkahan termal.



**Gambar 4. 3 Produk blank reaction**

Sedangkan untuk *catalytic reaction*, dihasilkan produk berupa cairan yang terpisah menjadi dua bagian. Lapisan bawah adalah air sedangkan di bagian atasnya terdapat cairan berwarna kuning cerah. Lapisan ini adalah hidrokarbon cair yang didalamnya terdapat fraksi gasoline. Produk ini merupakan produk yang diharapkan, sedangkan air yang dihasilkan merupakan produk samping yang sebenarnya tidak diharapkan terbentuk.

Air yang dihasilkan dari reaksi katalitik ini terjadi karena dua alasan. Alasan pertama adalah proses pemisahan air dari umpan tidak dapat menghilangkan semua kandungan air dalam umpan. Penghilangan kandungan air tidak mungkin seratus persen dikarenakan sifat hidrofilik yang dimiliki sabun, sehingga sabun tetap akan memiliki kandungan air. Alasan kedua adalah terjadinya reaksi dehidrasi pada umpan yang diinjeksikan tersebut. Reaksi dehidrasi merupakan reaksi eliminasi gugus air ( $H_2O$ ) dari umpan, sehingga akan menghasilkan air. Selain menghasilkan air, reaksi dehidrasi ini juga menghasilkan senyawa alkena. Akan tetapi, reaksi dehidrasi ini hanya menghasilkan sedikit air karena reaksi dehidrasi membutuhkan energi yang tinggi untuk memutuskan ikatan rangkap yang ada pada gugus keton sehingga terbentuk air.



**Gambar 4. 4 Produk cracking saponifikasi KOH**

Produk hidrokarbon yang dihasilkan pada umumnya berwarna kuning cerah pada saat keluar dari reaktor. Akan tetapi, dalam beberapa kasus, produk yang dihasilkan ada yang berwarna coklat sampai coklat tua. Hal ini disebabkan oleh terjadinya polimerisasi pada produk tersebut disebabkan masih adanya energi yang tersisa pada umpan yang telah mengalami reaksi perengkahan. Energi yang tersisa tersebut digunakan untuk membentuk polimer dari gugus aktif trilisierida sehingga menghasilkan produk dengan warna yang lebih gelap. Hal serupa juga dinyatakan oleh Nova<sup>[9]</sup> dalam penelitian yang dilakukannya pada tahun 2007.

Reaksi-reaksi yang berlangsung pada suhu tinggi ( $450^{\circ}\text{C}$ ) akan menghasilkan produk dengan warna yang lebih gelap. Warna gelap ini disebabkan oleh proses oksidasi terhadap tokoferol (vitamin E)<sup>[24]</sup>. Karena tokoferol merupakan salah satu senyawa yang tidak tersabunkan dalam proses saponifikasi<sup>[24]</sup>. Selain itu, produk yang berada pada suhu kamar dan tertutup juga mengalami oksidasi dari udara. Hal ini ditunjukkan dengan perubahan warna produk hidrokarbon tersebut menjadi lebih gelap.

Reaksi pada suhu yang tinggi juga akan menghasilkan produk gas yang lebih banyak. Produk gas yang dihasilkan dari reaksi ini terdiri dari hidrokarbon fraksi rendah yang dalam suhu ruang dan tekanan atmosferik berwujud gas ( $\text{C}_1\text{-C}_4$ ), uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dan He yang berfungsi sebagai *carrier gas* dalam reaksi tersebut. Semakin banyaknya produk cair ini dikarenakan semakin tingginya tingkat cracking dalam reaksi yang berlangsung. Seperti diketahui, reaksi cracking adalah reaksi yang endotermis, sehingga semakin tinggi suhu yang diterima reaksi, semakin cepat reaksi berlangsung. Hal ini menyebabkan terjadinya reaksi *secondary cracking* atau perengkahan tingkat lanjut. Keberadaan reaksi ini tentu saja menyebabkan penambahan produk hidrokarbon fraksi rendah yang berwujud gas.

#### **4.1.2 Umpan Hasil Saponifikasi Minyak Sawit dengan $\text{Al}(\text{OH})_3$**

Dalam pembuatan sabun dengan basa  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , prosedur yang dilakukan tidak berbeda dengan pembuatan sabun dengan menggunakan basa KOH. Pemilihan basa  $\text{Al}(\text{OH})_3$  bertujuan untuk melihat pengaruh valensi basa terhadap sabun yang diinginkan yang pada akhirnya juga mempengaruhi hidrokarbon setaraf gasoline yang dihasilkan.

Sebelum melakukan reaksi *catalytic cracking*, dilakukan pula reaksi tanpa katalis (*blank reaction*) seperti yang dilakukan pada sabun dengan basa KOH yang telah dijelaskan sebelumnya. Hasil yang diperoleh mirip dengan hasil menggunakan umpan hasil saponifikasi KOH, yakni produk berwarna hitam gelap dengan kecenderungan mengendap (menggumpal). Alasan yang sama seperti diutarakan untuk percobaan dengan sabun KOH, yakni belum cukup tingginya suhu untuk melangsungkan reaksi perengkahan termal, juga relevan untuk produk yang dihasilkan dengan saponifikasi  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ini.

Pada penelitian menggunakan basa  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dihasilkan produk saponifikasi yang secara umum tidak jauh berbeda dengan umpan hasil saponifikasi minyak dengan KOH. Perbedaan yang dapat dilihat dengan jelas adalah letak sabun yang dihasilkan. Pada umpan dengan KOH, sabun berada dibagian atas air, sedangkan pada umpan dengan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  terjadi sebaliknya, sabun berada pada bagian bawah sedangkan air di atasnya. Hal ini dikarenakan perbedaan massa jenis dari kedua sabun yang dihasilkan.

Dari penjelasan letak sabun yang dihasilkan, dapat disimpulkan massa jenis sabun dengan KOH lebih kecil dari massa jenis air, sedangkan massa jenis sabun dengan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  lebih besar dari air. Dengan demikian, massa jenis sabun dengan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  pasti lebih besar dari massa jenis sabun dengan KOH. Berikut ini ditampilkan tampilan fisik dari sabun dengan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .



**Gambar 4. 5 Hasil Saponifikasi  $\text{Al}(\text{OH})_3$**

Produk yang dihasilkan dari reaksi dengan umpan ini tidak jauh berbeda dengan produk yang dihasilkan dari reaksi menggunakan sabun dengan KOH, baik dari warna maupun dari kandungan air yang dihasilkan. Hal ini membuktikan bahwa baik sabun dengan KOH maupun sabun dengan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  telah sukses



sebagai *pretreatment* untuk menghasilkan hidrokarbon setaraf gasoline dari minyak sawit.



Gambar 4. 6 Produk cracking saponifikasi  $\text{Al}(\text{OH})_3$

## 4.2 ANALISA HASIL REAKSI

Produk hasil reaksi katalitik yang sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya, kemudian dianalisa dengan berbagai instrumen yang sesuai untuk mengetahui tingkat keberhasilan konversi katalitik minyak sawit hasil saponifikasi menjadi biogasoline. Adapun beberapa jenis analisa yang digunakan adalah analisa fraksinasi, analisa FTIR, GC-MS, GC-FID. Pada bagian ini, akan dijelaskan hasil analisa tersebut beserta pembahasannya secara berurutan.

### 4.2.1 Analisa Fraksinasi

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

Dalam analisa fraksinasi ini, produk hidrokarbon hasil reaksi perengkahan akan dipanaskan sampai titik didih fraksi gasoline. Dalam penelitian ini, pemanasan dilakukan pada suhu  $120^\circ\text{C}$  selama 90 menit. Dengan perlakuan tersebut, diharapkan kandungan fraksi gasoline dalam produk hidrokarbon yang dihasilkan akan menguap. Dengan demikian, dapat dihitung massa dari produk

fraksi gasoline yang dihasilkan untuk masing-masing reaksi yang dilakukan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$m_g = m_1 - m_2 \quad \dots(4.1)$$

dengan:  $m_g$  = massa fraksi gasoline

$m_1$  = massa sebelum fraksinasi

$m_2$  = massa setelah fraksinasi

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

$$\% \text{Konversi} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad \dots(4.2)$$

$$\% \text{Yield} = \frac{m_0 - m_2}{m_0} \quad \dots(4.3)$$

#### Contoh perhitungan konversi dan yield

Diketahui massa produk reaksi sebelum fraksinasi adalah 1.391 gr dengan kondisi operasi tertentu. Sedangkan massa setelah difraksinasi sebesar 0.474 gr dan massa umpan adalah 2.977 gr.

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

$$\% \text{Konversi} = \frac{1.391 - 0.474}{1.391} = 65.92 \%$$

$$\% \text{Yield} = \frac{2.977 - 0.474}{2.977} = 30.8\%$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada bagian LAMPIRAN 2.

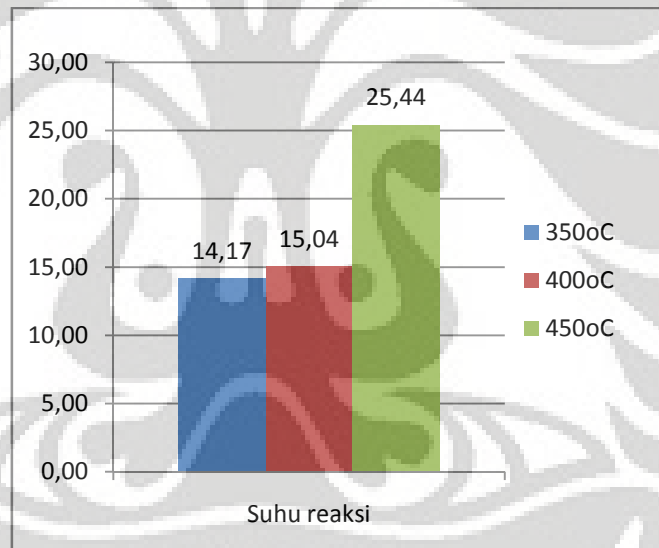
Analisa fraksinasi ini juga dapat menentukan kondisi reaksi yang menghasilkan yield terbesar . Kondisi terbaik reaksi ini mencakup suhu, komposisi katalis, dan rasio umpan untuk masing-masing jenis basa yang digunakan dalam proses saponifikasi. Dalam menentukan kondisi terbaik reaksi, tiga parameter umum yakni yield, konversi dan selektivitas dapat digunakan. Namun, untuk menyederhanakan pekerjaan ini, yield dipilih karena sudah mewakili dua parameter yang lain.

#### 4.2.1.1 Temperatur Terbaik

Salah satu faktor yang mempengaruhi laju reaksi adalah suhu (temperatur) reaksi. Demikian pula halnya dalam reaksi perengkahan, peranan temperatur sangat penting dalam reaksi. Perbedaan temperatur akan menyebabkan perbedaan pada produk yang dihasilkan.

Pada penelitian ini, dilakukan variasi temperatur untuk mengetahui suhu terbaik reaksi. Suhu terbaik yang dimaksud dalam penelitian ini adalah suhu dimana diperoleh yield fraksi gasoline terbesar. Seperti telah disinggung sebelumnya, yield ini dapat mewakili selektivitas dan konversi, sehingga dengan menjadikan yield sebagai parameter telah mewakili tujuan dari penelitian ini.

Variasi yang dilakukan yaitu suhu 350, 400 dan 450°C. Berikut ini ditampilkan grafik yang menunjukkan yield yang dihasilkan untuk masing-masing suhu tersebut pada salah satu reaksi yang dilakukan.



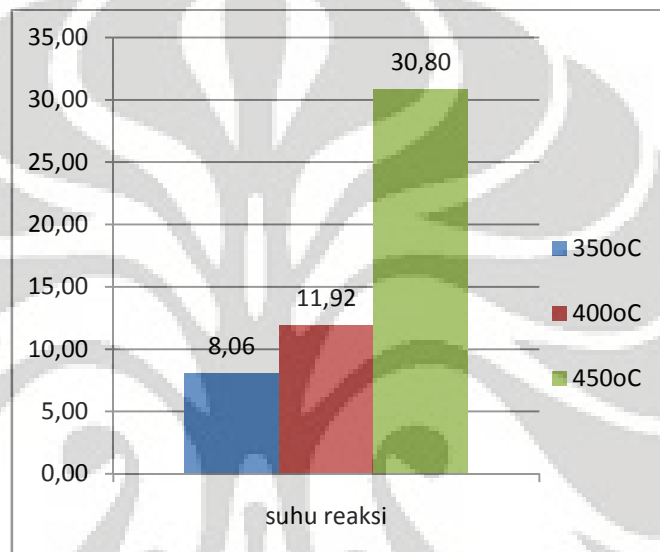
**Gambar 4. 7 Grafik yield berbagai suhu reaksi dengan katalis A/B (10) untuk basa KOH**

Dari Gambar 4.4 diatas, dapat dilihat bahwa pada suhu 350°C, yield yang dihasilkan sebesar 14.17%, sedangkan pada suhu 400°C diperoleh yield sebesar 15.04%. Dan pada suhu 450°C diperoleh yield sebesar 25.44%.

Gambar tersebut menunjukkan bahwa kenaikan suhu menyebabkan kenaikan yield yang dihasilkan. Hal ini dapat dipahami karena reaksi perengkahan adalah reaksi yang bersifat endotermis. Dengan kata lain, semakin tinggi suhu reaksi, maka semakin cepat reaksi berlangsung yang akhirnya menghasilkan yield yang semakin besar.

Dari penjelasan diatas, dapat disimpulkan bahwa suhu terbaik untuk reaksi konversi katalitik minyak sawit menjadi biogasoline adalah 450°C. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Bayu, 2006, dalam penelitian dengan objektif yang sama dan katalis yang sama pula.

Kesimpulan ini juga konsisten untuk umpan hasil saponifikasi menggunakan basa  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Meskipun tidak benar-benar sama dalam hal kenaikan yield per kenaikan suhu, namun tren kemiripan tersebut dapat dilihat dengan jelas pada gambar berikut ini.



**Gambar 4. 8** Yield untuk berbagai suhu reaksi dengan katalis A/B (10) untuk basa  $\text{Al}(\text{OH})_3$

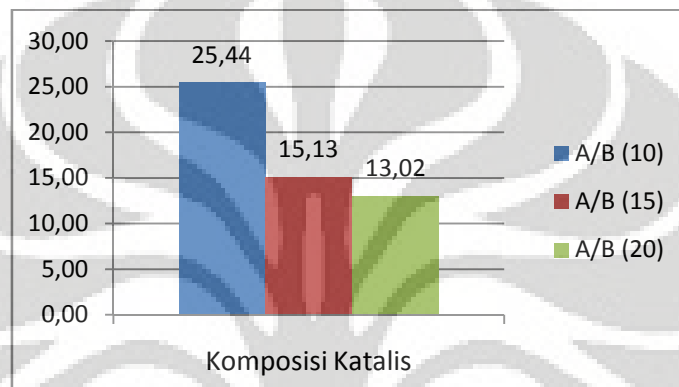
Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu terbaik untuk ke dua jenis basa yang digunakan adalah suhu 450°C. Suhu terbaik ini selanjutnya akan dijadikan dasar dalam menentukan kondisi optimal untuk variable yang lain, dalam hal ini menentukan komposisi terbaik katalis dan rasio umpan terbaik untuk ke seluruhan reaksi yang dilakukan dalam penelitian ini.

#### 4.2.1.2 Komposisi Katalis Terbaik

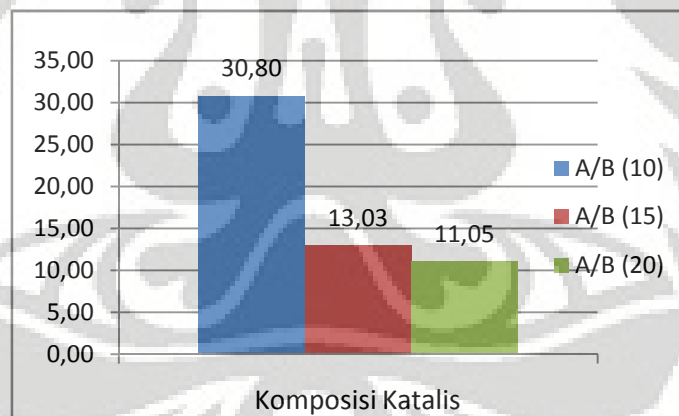
Penelitian ini menggunakan katalis yang terdiri atas inti aktif (boron trioksida) dan support (alumina). Idealnya, material support tidak memiliki aktivitas katalitik yang mengarahkan kepada reaksi samping yang tidak diharapkan. Akan tetapi, biasanya support yang termasuk dalam golongan colloidal hydrous oxides sudah secara alami bersifat asam<sup>[25]</sup>. Alumina adalah salah satu support yang termasuk golongan colloidal hydrous oxides tersebut.

Seperti telah dijelaskan pada bab sebelumnya, dalam penelitian ini digunakan tiga komposisi katalis yang berbeda. Perbedaan tersebut terletak pada persen *loading* dari inti aktif ( $B_2O_3$ ) dalam support (alumina), yakni 10%, 15 %, dan 20% *loading* baria dalam alumina.

Dengan berpatokan pada suhu terbaik seperti telah dijelaskan sebelumnya, komposisi katalis terbaik ditentukan dengan melihat figure yield untuk masing-masing komposisi katalis pada suhu terbaik tersebut. Adapun figure yield tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 9 Yield berbagai komposisi katalis pada suhu 450°C, basa KOH



Gambar 4. 10 Yield berbagai komposisi katalis pada suhu 450°C, basa  $Al(OH)_3$

Dari ke dua gambar diatas, dapat dilihat kecenderungan yield yang dihasilkan untuk masing-masing komposisi katalis. Kecenderungan untuk ke dua jenis basa yang digunakan dalam saponifikasi, berdasarkan ke dua gambar diatas adalah sama. Yakni, semakin besar *loading* baria dalam alumina, semakin rendah persentase yield yang dihasilkan. Hal ini sedikit tidak sejalan dengan teori yang menyatakan semakin besar fraksi boron trioksida dalam katalis maka semakin cepat suatu reaksi berlangsung.

Penambahan boron trioksida ke dalam katalis dimaksudkan untuk membentuk spesi peroksida pada permukaan katalis. Dengan kata lain, penambahan ini akan menyebabkan penambahan keasaman katalis yang diakibatkan pertambahan Bronsted sites dari katalis tersebut. Akan tetapi dalam penelitian ini, kenaikan tersebut hanya sampai pada kandungan 10% boron trioksida. Untuk *loading* lebih besar dari 10%, jumlah spesi peroksida semakin meningkat, akan tetapi secara bersamaan juga menurunkan luas permukaan katalis.

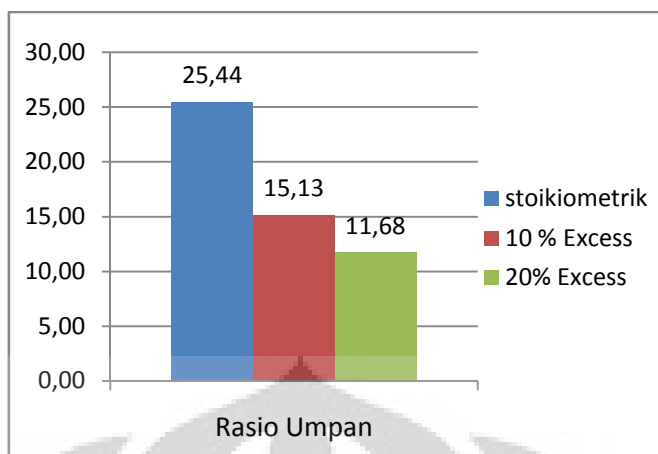
Penurunan luas permukaan katalis ini menyebabkan semakin sedikitnya luas kontak umpan dengan katalis yang mengakibatkan semakin menurunnya yield yang dihasilkan. Selain itu, pada keasaman yang tinggi, reaksi cenderung membentuk produk aromatik<sup>[10]</sup>. Selain itu, penggunaan alumina sebagai support dapat menyebabkan reaksi samping yang tidak diinginkan, seperti pembentukan coke dan terjadinya isomerisasi<sup>[25]</sup>. Dengan alasan tersebut, dapat dipahami bahwa kenaikan *loading* boron trioksida dalam penelitian ini menyebabkan penurunan yield seperti terlihat pada Gambar 4.6 dan 4.7 di atas.

Dengan demikian, katalis yang paling baik untuk penelitian ini adalah 10% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Bayu, 2006 dan oleh Satoshi dan Makatsu<sup>[17]</sup>.

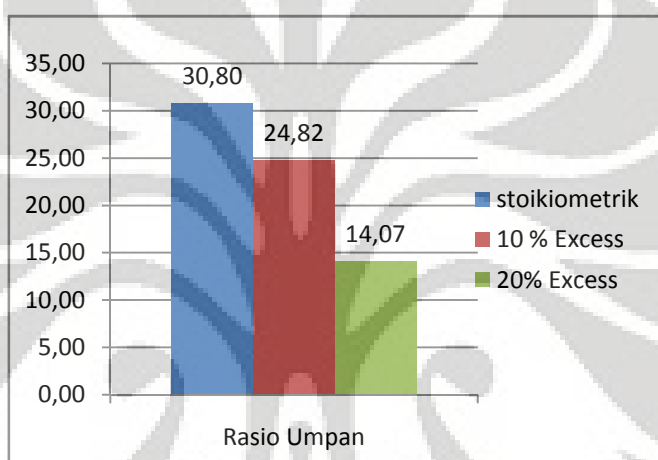
#### 4.2.1.3 Rasio Umpan Terbaik

Umpan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sabun hasil saponifikasi minyak sawit dengan basa KOH dan Al(OH)<sub>3</sub>. Untuk masing-masing jenis basa, dilakukan tiga variasi rasio umpan, yakni stoikiometrik, 10% kelebihan minyak sawit, dan 20% kelebihan minyak sawit. Persentase kelebihan ini adalah berdasarkan mol, yang pada pengerjaannya dikonversi ke dalam persentase volume.

Variasi umpan ini dilakukan untuk mengetahui pada kondisi (rasio umpan) bagaimana reaksi menghasilkan yield terbesar (tebaik). Rasio sebanding (stoikiometrik), dan kelebihan minyak sawit hanyalah berupa skenario saja dalam arti kata hanya prediksi saja karena belum ada penelitian serupa yang dilakukan. Berikut ditampilkan yield yang dihasilkan untuk variasi rasio umpan yang dilakukan terhadap ke dua jenis basa.



Gambar 4. 11 Yield berbagai rasio umpan pada suhu 450°C, basa KOH



Gambar 4. 12 Yield berbagai rasio umpan pada suhu 450°C, sabun Al(OH)<sub>3</sub>

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa untuk reaksi yang berlangsung secara stoikiometrik, yield yang dihasilkan sebesar 25.44%. Sementara untuk rasio umpan dengan kelebihan minyak sawit sebesar 10% dihasilkan yield yang lebih sedikit yaitu 15.13%. Untuk kelebihan minyak yang semakin banyak yaitu 20%, yield yang dihasilkan menurun lagi menjadi 11.68%.

Dari data-data diatas, terlihat tren dengan semakin banyaknya kelebihan minyak dalam umpan, semakin sedikit yield yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan keberadaan minyak sisa (tidak tersaponifikasi) dalam umpan dapat menambah jumlah trigliserida yang belum mengalami treatment. Trigliserida yang belum mengalami treatment sangat potensial dalam membentuk reaksi polikondensasi yang akan berkompetisi dengan reaksi perengkahan.

Dalam kondisi stoikiometrik, semua trigliserida tersebut telah dikonversi menjadi bentuk garam sabun yang lebih muda mencegah polikondensasi,

sehingga dapat menghasilkan yield yang lebih tinggi dibandingkan umpan dengan kelebihan minyak sawit. Sehingga, rasio umpan yang paling baik adalah stoikiometrik yaitu mol basa sebanding dengan mol minyak sawit di dalam umpan.

Pada Gambar 4.9, yaitu gambar yang untuk umpan hasil saponifikasi dengan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , kecenderungan yang sama juga terlihat. Untuk reaksi stoikiometrik, yield yang dihasilkan sebesar 30.8%. Kelebihan 10% minyak sawit menyebabkan yield turun menjadi 24.82%. Mirip dengan hasil pada penggunaan basa  $\text{KOH}$ , kelebihan 20% minyak sawit menyebabkan penurunan yield menjadi 14.07%. Hal ini juga dapat dijelaskan dengan alasan yang sama seperti telah dikemukakan pada penjelasan hasil saponifikasi  $\text{KOH}$ .

Dengan hasil yang diperoleh untuk ke dua jenis basa yang digunakan tersebut, dapat disimpulkan bahwa rasio umpan yang paling baik untuk penelitian ini adalah stoikiometrik. Dengan kata lain perbandingan mol basa dengan minyak sawit dalam umpan adalah 1 berbanding 1.

Setelah mengetahui kombinasi parameter-parameter penentu reaksi yang paling baik (temperature, komposisi katalis dan rasio umpan), maka dilakukan satu reaksi perengkahan untuk masing-masing jenis basa dengan kombinasi parameter terbaik tersebut. Produk reaksi ini kemudian akan dianalisa dengan instrument analisa yang lain, yakni FTIR, GC-MS dan GC-FID.

#### **4.2.2 Analisa FTIR**

Dalam penelitian ini, diambil empat jenis data FTIR, yaitu minyak sawit murni, produk terbaik untuk basa  $\text{KOH}$ , produk terbaik untuk basa  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , dan gasoline komersial. FTIR adalah analisa yang digunakan untuk melihat jenis ikatan yang ada dalam sampel yang dianalisa. Dalam penelitian ini, analisa FTIR ini bertujuan untuk melihat perubahan yang terjadi dalam produk yang dihasilkan dibandingkan dengan minyak sawit murni. Selain itu, analisa ini bertujuan juga untuk melihat sejauh mana produk yang dihasilkan bersesuaian dengan gasoline komersial sebagai sasaran akhir dari penelitian ini.

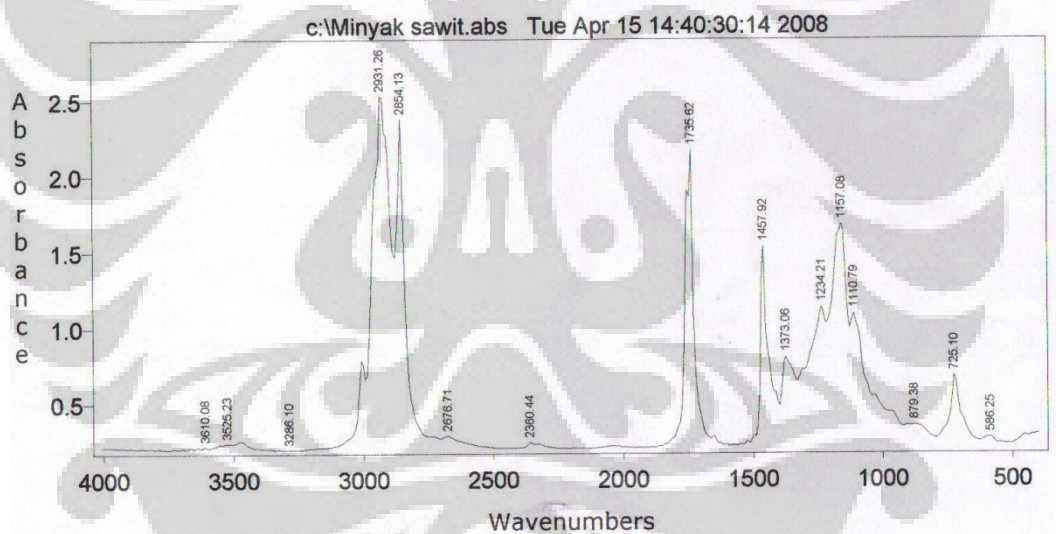
Selain bersifat kualitatif (jenis ikatan), analisa ini juga dapat bersifat semi kuantitatif karena memuat data absorbansi atau transmittans. Dalam penelitian ini, data yang diambil adalah absorbansi. Hal ini selain penggunaannya yang lebih



banyak dalam instrumen keluaran terbaru, juga dikarenakan data absorbansi lebih dibutuhkan untuk menunjang tujuan akhir dari penelitian ini. absorbansi sendiri adalah bilangan yang menunjukkan kuantitas ikatan secara khusus dalam bilangan gelombang (panjang gelombang) tertentu. Besar kecilnya absorbansi tergantung pada banyak sedikitnya ikatan tersebut dalam sampel yang dianalisa.

#### 4.2.2.1 Minyak Sawit Murni

Gambar 4.10 menunjukkan spektra dari minyak goreng komersial yang berasal dari minyak sawit. Pada gambar tersebut terlihat, ikatan-ikatan yang dominan adalah C-H berupa alkana dengan tampilan kuat yang terdeteksi pada bilangan gelombang  $2931.26\text{ cm}^{-1}$  dan  $2854.13\text{ cm}^{-1}$ , ester (C=O) yang terdeteksi pada bilangan gelombang  $1735.62\text{ cm}^{-1}$ , ikatan C-H berupa alkil pada bilangan gelombang  $1457.92\text{ cm}^{-1}$ , ikatan C-O pada alkohol pada bilangan gelombang  $1157.08\text{ cm}^{-1}$ .



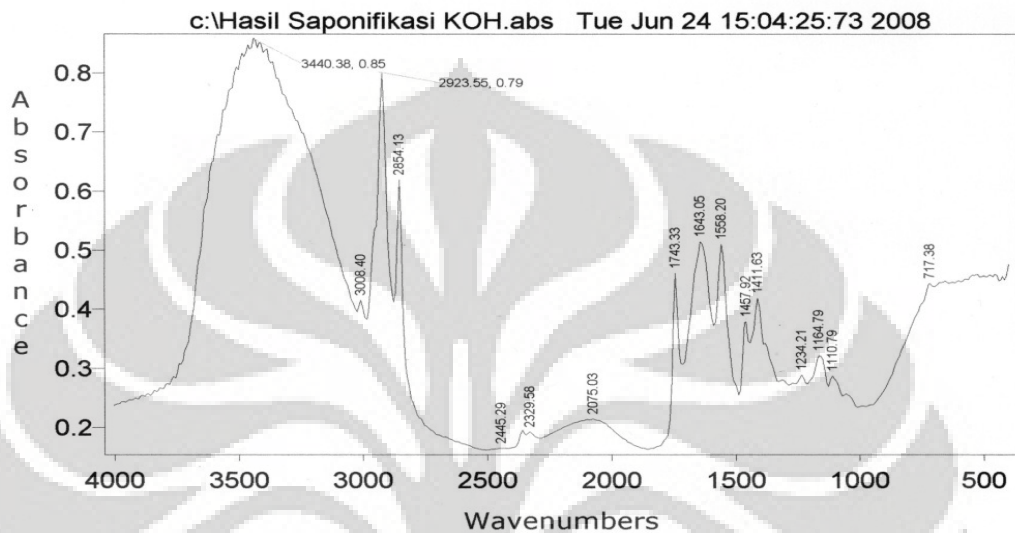
Gambar 4. 13 Spektra FTIR minyak sawit

#### 4.2.2.2 Hasil Saponifikasi

Untuk melihat perubahan yang terjadi setelah proses saponifikasi, maka diambil spektra dari umpan berupa hasil saponifikasi dari masing-masing basa yang digunakan dalam penelitian ini.

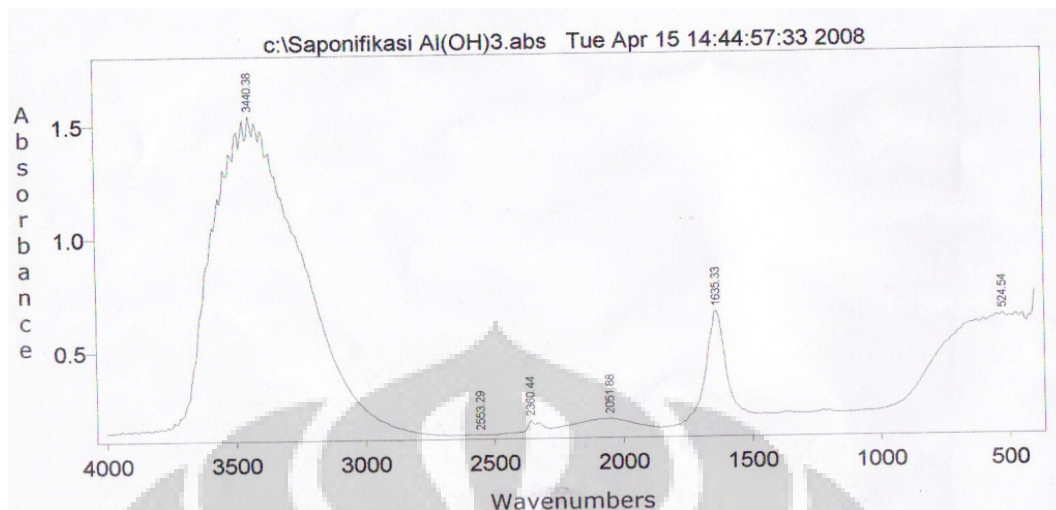
Pada Gambar 4.11 berikut ini ditampilkan spektra umpan hasil saponifikasi minyak sawit dengan basa KOH. Pada gambar tersebut terlihat ada perbedaan yang sangat mencolok jika dibandingkan dengan spektra minyak sawit

yang ditampilkan sebelumnya. Perbedaan tersebut terletak pada peak yang terletak pada bilangan gelombang  $3440\text{ cm}^{-1}$ , yakni ikatan O-H pada alkohol. Selain itu, terdapat pula puncak pada bilangan gelombang  $1643.05\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan ikatan C=C pada alkena dan puncak pada bilangan gelombang  $1558.20\text{ cm}^{-1}$  yang juga merupakan ikatan ikatan C=C pada senyawa aromatik.



**Gambar 4. 14 Spektra FTIR hasil saponifikasi KOH**

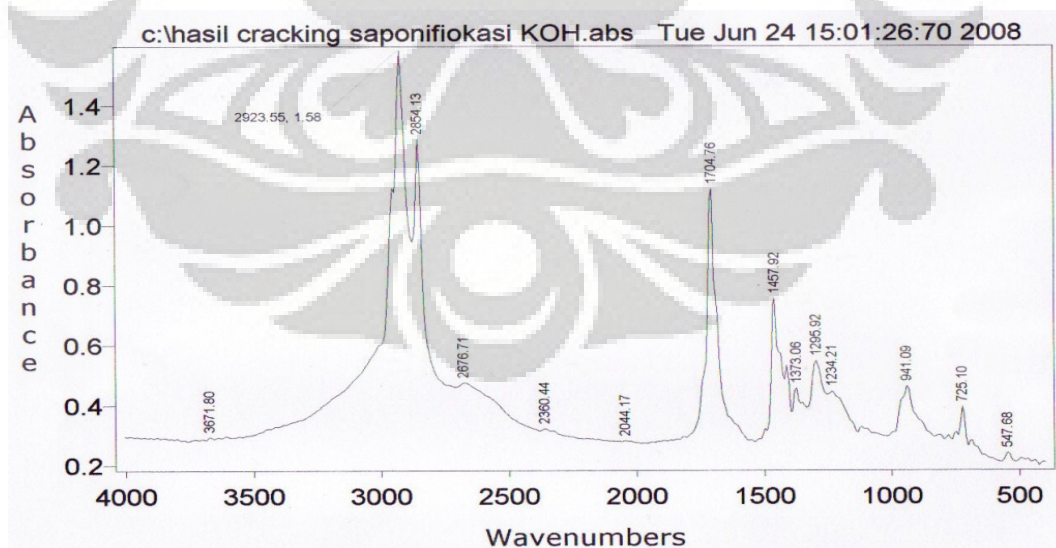
Pada Gambar 4.12 berikut ini, ditampilkan spektra umpan hasil saponifikasi minyak jarak dengan basa  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Pada gambar tersebut, terdapat kemiripan dengan hasil saponifikasi menggunakan basa KOH, yakni kemunculan peak O-H pada bilangan gelombang yang sama yakni  $3440.38\text{ cm}^{-1}$  dan ikatan C=C yang muncul pada angka gelombang  $1635.33\text{ cm}^{-1}$ . Dengan demikian dapat disimpulkan, secara kualitatif, umpan yang diinjeksikan ke dalam reaktor memiliki sifat yang sama baik hasil saponifikasi menggunakan KOH maupun menggunakan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Perbedaannya hanyalah dari segi kuantitas (jumlah) ikatan yang meskipun tidak secara detail digambarkan dengan perbedaan absorbansi pada masing-masing ikatan.



**Gambar 4. 15** Spektra FTIR hasil saponifikasi  $\text{Al(OH)}_3$

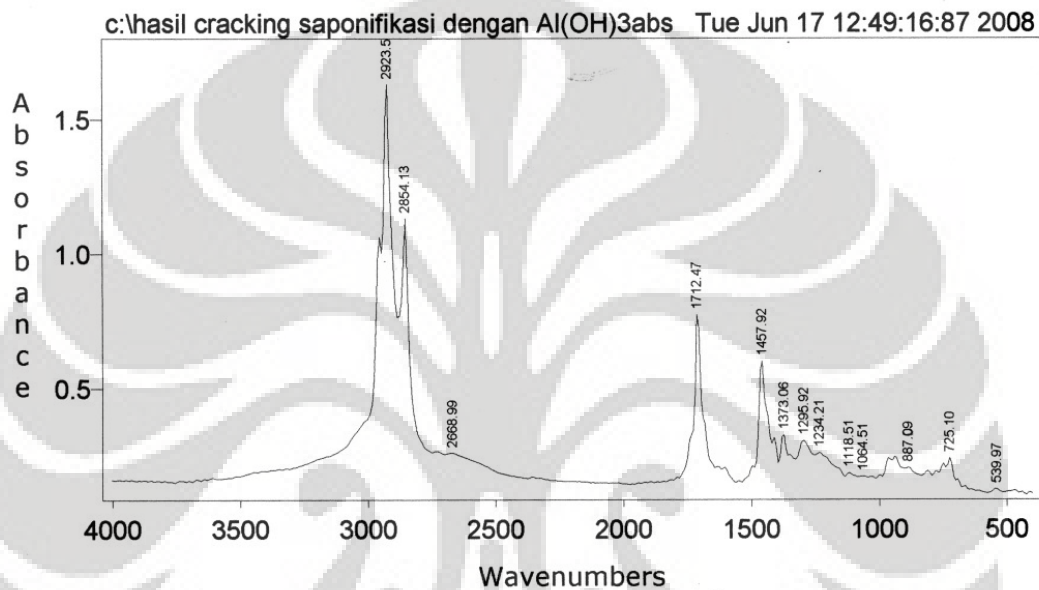
#### 4.2.2.3 Produk cracking

Produk dengan umpan hasil saponifikasi minyak sawit dengan basa KOH disajikan pada Gambar 4.13 di bawah ini. Spektra yang ditunjukkan pada gambar tersebut memperlihatkan bahwa ikatan yang dominan adalah ikatan C-H pada alkana yang terdeteksi pada bilangan gelombang  $2923.5 \text{ cm}^{-1}$ , ikatan C-H pada alkana yang terdeteksi pada bilangan gelombang  $2854.13 \text{ cm}^{-1}$ . Selain itu, terdapat ikatan C=O keton pada bilangan gelombang  $1712.47 \text{ cm}^{-1}$  dan ikatan C-H pada alkil yang terdeteksi pada bilangan gelombang  $1457.92 \text{ cm}^{-1}$ .



**Gambar 4. 16** Spektra FTIR produk dengan basa KOH

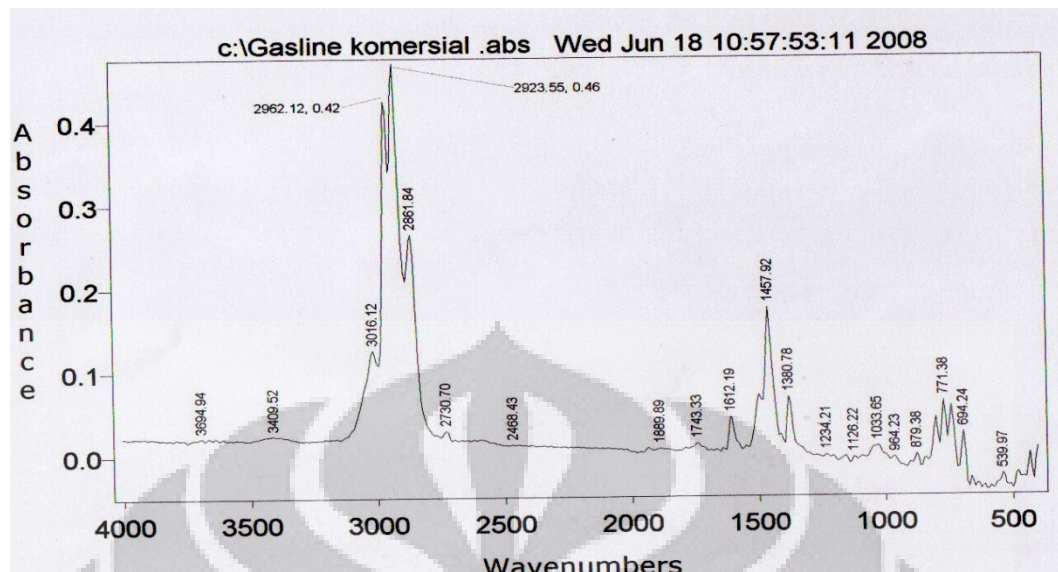
Produk dengan umpan hasil saponifikasi menggunakan basa  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dapat dilihat pada Gambar 4.14. Ikatan-ikatan yang dominan yang terdapat pada spektra ini sangat mirip dengan ikatan yang terdapat pada produk cracking dengan KOH. Ikatan-ikatan tersebut adalah ikatan C-H alkana pada bilangan gelombang 2923.5 dan 2854.13  $\text{cm}^{-1}$ , ikatan C=O keton pada bilangan gelombang 1712.47  $\text{cm}^{-1}$  dan ikatan C-H pada alkil yang terdeteksi pada bilangan gelombang 1457.92  $\text{cm}^{-1}$ .



Gambar 4. 17 Spektra FTIR produk dengan basa  $\text{Al}(\text{OH})_3$

#### 4.2.2.4 Gasoline Komersial

Sebagai pembandingan, berikut ini disajikan spektra dari gasoline komersial yang disajikan pada Gambar 4.13. Dari gambar tersebut dapat dilihat ikatan yang dominan adalah C-H alkana pada bilangan gelombang 3016.12  $\text{cm}^{-1}$ , 2962.12  $\text{cm}^{-1}$ , 2923.55  $\text{cm}^{-1}$ , dan 2861.24  $\text{cm}^{-1}$ . Selain itu, ikatan yang terdeteksi adalah C-H pada alkil yang terdeteksi pada bilangan gelombang 1457.92  $\text{cm}^{-1}$ . Sehingga secara keseluruhan ikatan yang dominan pada gasoline komersial adalah C-H baik dalam bentuk alkana maupun dalam bentuk cabang (alkil).



Gambar 4. 18 Spektra FTIR gasoline komersial

Perbandingan peak-peak yang muncul untuk berbagai jenis hasil FTIR yang dijelaskan sebelumnya, dapat dilihat pada tabel berikut ini. Dimana A adalah minyak sawit murni, B hasil saponifikasi dengan KOH, C hasil cracking produk KOH, D hasil cracking produk  $Al(OH)_3$  dan E adalah gasoline komersial.

Tabel 4. 1 Perbandingan Berbagai Ikatan Produk

Jenis ikatan	Gugus	Bil. Gelombang (cm <sup>-1</sup> )	Absorbansi				
			A	B	C	D	E
C-H	alkana	2850-2965	2.5	0.8	1.5	1.6	0.5
C=O	Keton	1705-1725	-	-	1.1	0.75	-
C=O	Ester	1730-1750	2.2	0.45	-	-	-
RCH <sub>3</sub>	alkil	1450-1475	1.5	0.4	0.8	0.6	0.2
C-H	CH <sub>2</sub> -	1350-1380	0.8	-	0.4	0.3	0.05
RC(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	alkil	1235-1255	1.2	0.3	0.4	0.3	-
C-O	alkohol	1000-1300	1.6	0.3	-	-	-
C-C	alkana	700-1200	0.7	0.45	0.4	-	0.05
O-H	alkohol	3200-3610	-	0.9	0.3	-	-
C=C	alkena	1450-1600	-	0.5	-	-	-

Jika dibandingkan dengan minyak sawit murni sebagai bahan baku utamanya, produk tersebut juga sudah jauh berbeda. Hal ini menandakan telah terjadi konversi dari minyak sawit menjadi zat lain yang lebih mirip dengan gasolin. Perbedaan yang paling terlihat adalah berkurangnya absorbansi ikatan C=O pada ester yang ada pada bilangan gelombang 1735.62 cm<sup>-1</sup>. Dalam minyak

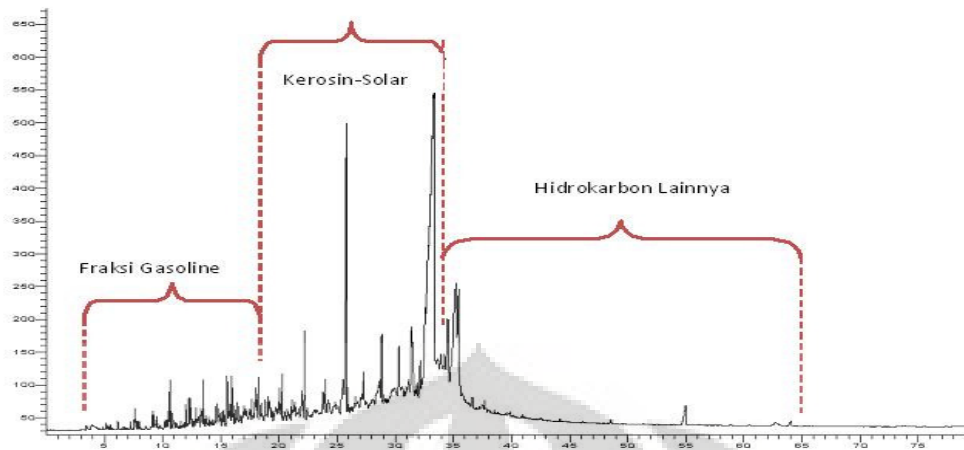
sawit, absorbansinya sekitar 2.3 sedangkan dalam produk dengan KOH berkurang menjadi sekitar 1.3 dan pada produk dengan Al(OH)<sub>3</sub> berkurang menjadi 0.8. Pengurangan yang drastis ini menunjukkan telah terjadi reaksi dekarboksilasi yang merupakan salah satu tujuan dari reaksi. Selain itu, ikatan-ikatan yang berada pada bilangan gelombang 1100-1300  $\text{cm}^{-1}$  berkurang pada masing-masing produk. Ikatan pada rentang tersebut adalah ikatan C-O pada alkohol.

#### 4.2.3 Analisa GC-FID

Pada dasarnya, analisa GC (*Gas Chromatography*) dapat digunakan untuk menganalisa sampel baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif. Analisa secara kualitatif bertujuan untuk mengetahui senyawa-senyawa apa saja yang mungkin terdapat dalam suatu sampel yang dianalisa dengan cara membandingkan kromatogram sampel dengan kromatogram standard. Sedangkan analisa kuantitatif bertujuan untuk mengetahui dengan terperinci berat suatu senyawa dalam sampel yang dianalisa. Dalam penelitian ini, ke dua jenis analisa tersebut digunakan untuk mengetahui seberapa besar tingkat keberhasilan reaksi yang telah dilakukan yang diukur berdasarkan hidrokarbon fraksi gasoline yang terdapat dalam produk hasil reaksi.

Secara kualitatif, analisa GC-FID yang dilakukan menghasilkan kromatogram produk hasil perengkahan untuk hasil saponifikasi KOH yang dapat dilihat pada Gambar 4.19. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa produk yang dihasilkan sudah mengandung hidrokarbon fraksi gasoline. Fraksi gasoline yang dimaksud adalah senyawa yang mengandung C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub>, yang dalam kromatogram tersebut merupakan senyawa yang keluar dalam waktu retensi berkisar 3-18 menit. Walaupun demikian, tidak dapat dipungkiri bahwa tidak semua peak yang muncul dalam rentang gasoline yang sudah dibuat pada gambar tersebut merupakan fraksi gasoline karena masih terdapat noise pada rentang tersebut.

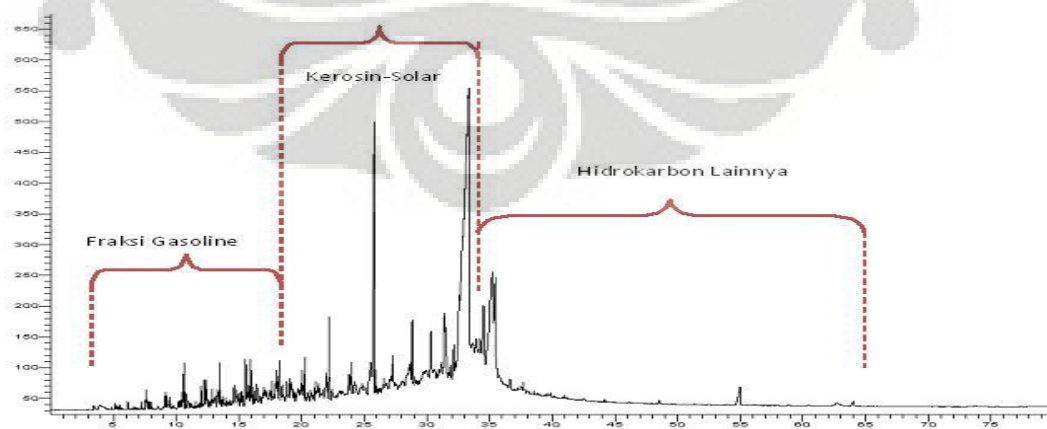
Selain kandungan fraksi gasoline tersebut terdapat pula produk dengan waktu retensi lebih besar. Peak-peak yang muncul dalam waktu retensi yang lebih besar dari 18 menit ini merupakan senyawa-senyawa dengan atom karbon lebih banyak dari 10. Dalam gambar tersebut, peak yang muncul diluar fraksi gasoline dibagi menjadi dua yakni fraksi kerosin dan solar (C<sub>11</sub>-C<sub>20</sub>) serta hidrokarbon lain.



**Gambar 4. 19 Kromatogram produk catalytic cracking, basa KOH**

Secara kuantitatif, produk yang dihasilkan pada penelitian ini dianalisa berdasarkan persentase area masing-masing peak yang dihasilkan. Dari persentase area tersebut kemudian dihitung persentase ketinggian dari puncak yang dihasilkan. Masing-masing persentase ini (area dan ketinggian) menunjukkan secara kuantitatif keberadaan senyawa fraksi gasoline dalam produk yang dihasilkan. Data persentase area dan ketinggian tersebut secara lengkap disajikan pada LAMPIRAN 3.

Sementara untuk produk catalytic cracking hasil saponifikasi dengan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , kromatogramnya dapat dilihat pada Gambar 4.21 berikut ini. Peak-peak yang terjadi pada produk hasil saponifikasi dengan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ini mirip dengan peak yang dihasilkan untuk produk dengan basa KOH. Data kuantitatif kromatogram tersebut secara lengkap juga tersaji pada LAMPIRAN 3.



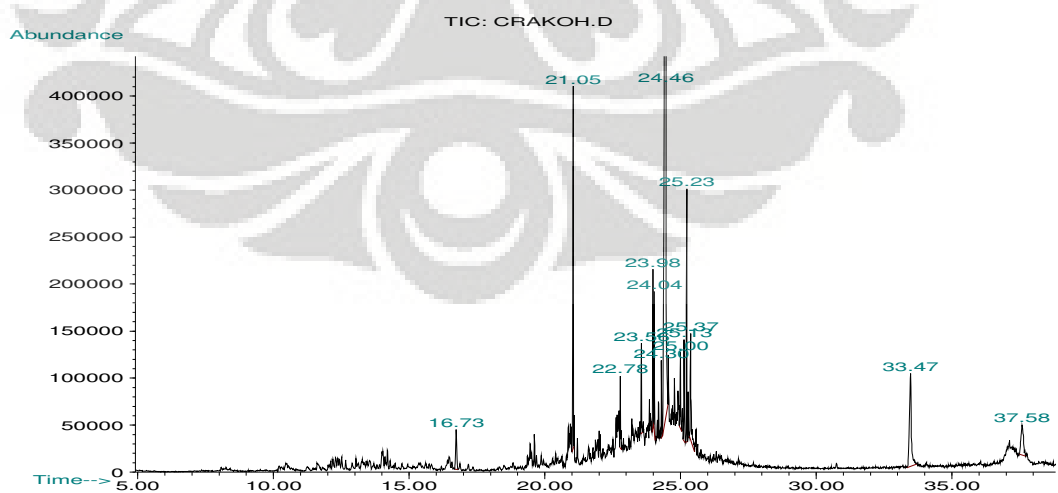
**Gambar 4. 20 Kromatogram produk catalytic cracking, basa  $\text{Al}(\text{OH})_3$**

Dari ke dua gambar diatas digabungkan dengan data kuantitatif yang ada, terlihat bahwa secara keseluruhan fraksi kerosin-solar merupakan fraksi yang paling dominan. Hal ini menunjukkan bahwa selektifitas reaksi perengkahan yang terjadi masih rendah. Hal ini juga sebenarnya dapat tercermin dari yield yang dihasilkan.

#### 4.2.4 Analisa GC-MS

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa analisa GC dapat digunakan untuk analisa kuantitatif dan kualitatif, demikian pula halnya dengan analisa GC-MS. Pada dasarnya, analisa GC-MS dan GC-FID memiliki kesamaan dalam analisa kuantitatif, yakni sama-sama dapat menghitung persentase senyawa tertentu dalam suatu sampel. Perbedaan yang mencolok antara ke dua jenis GC tersebut adalah kemampuan GC-MS untuk memprediksi senyawa yang ada dalam sampel melampaui kemampuan GC-FID. Dalam GC-FID, prediksi terhadap senyawa dalam sampel hanya sampai jumlah atom karbonnya saja, akan tetapi dalam GC-MS senyawa yang ada dapat diidentifikasi sampai pada isomer-isomernya.

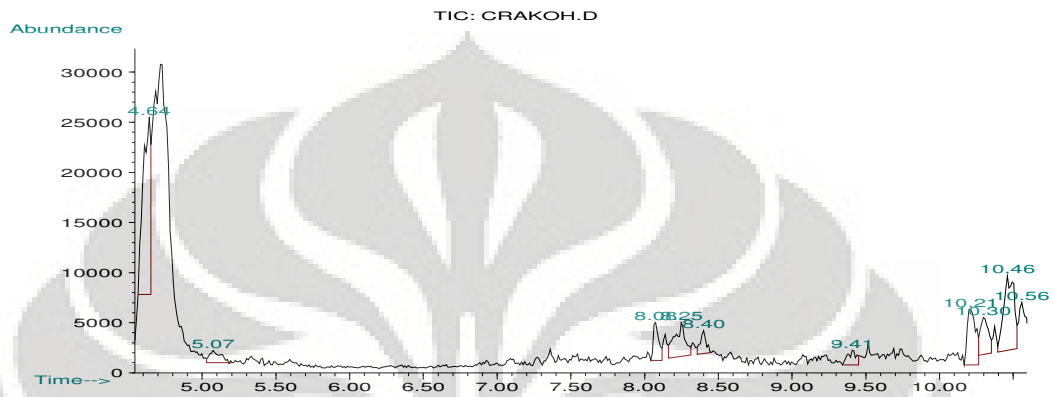
Analisa GC-MS ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan produk yang diinginkan (fraksi gasoline) secara kualitatif dalam hasil catalytic cracking untuk ke dua jenis basa yang digunakan. Pada Gambar 4.21 berikut ini, ditampilkan kromatogram hasil cracking menggunakan basa KOH.



Gambar 4. 21 Hasil analisa GC-MS produk dengan basa KOH

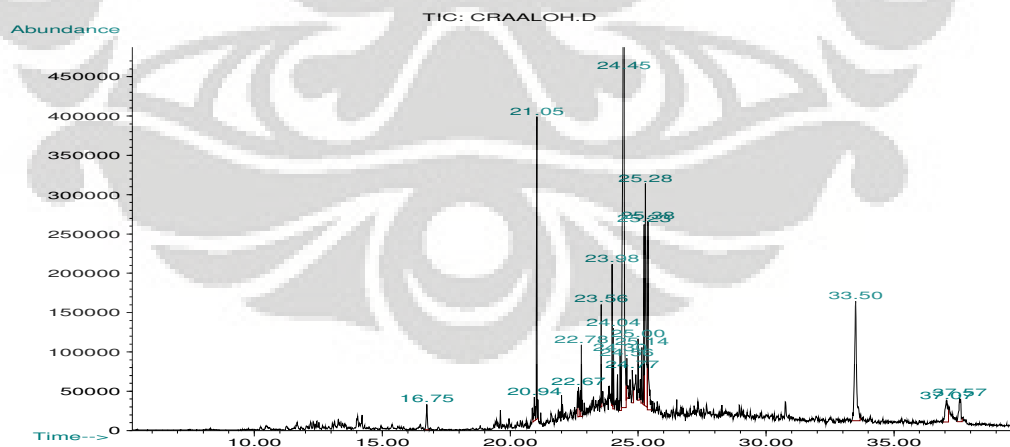


Pada Gambar 4.21 diatas, fraksi gasoline ditandai dengan peak-peak yang muncul pada waktu retensi 5 sampai 11 menit. Untuk melihat lebih jelas keberadaan peak-peak pada fraksi gasoline tersebut, pada Gambar 4.22 diberikan gambar yang merupakan pembesaran dari fraksi gasoline yang ada pada Gambar 4.21 diatas.



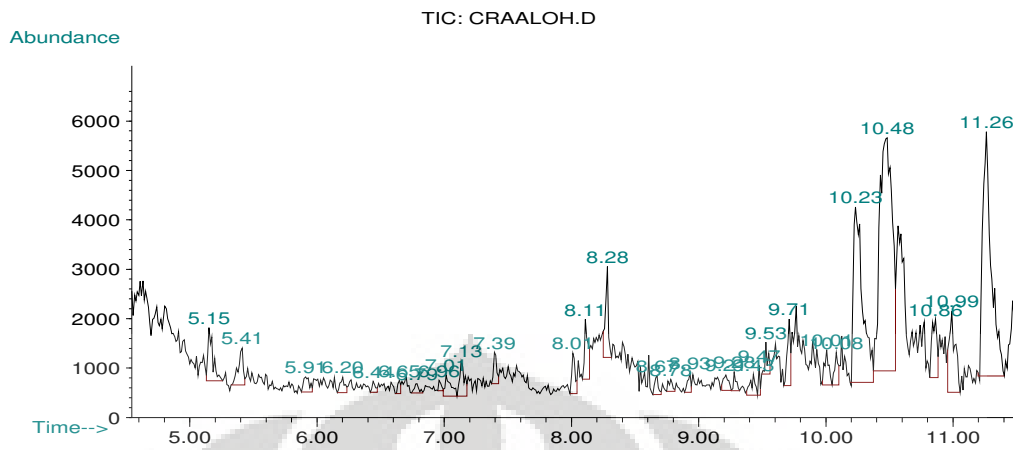
**Gambar 4. 22 Fraksi gasoline produk dengan basa KOH**

Untuk hasil analisa GC-MS produk catalytic craking hasil saponifikasi menggunakan basa  $Al(OH)_3$  ditampilkan pada Gambar 4.23 berikut ini. Peak-peak yang muncul pada gambar tersebut memiliki kemiripan dengan peak yang ada pada produk catalytic craking hasil saponifikasi menggunakan basa KOH yang ada pada Gambar 4.21.



**Gambar 4. 23 Hasil analisa GC-MS produk catalytic cracking, basa  $Al(OH)_3$**

Fraksi gasoline pada Gambar 4.23 diatas dapat lebih jelas dilihat pada Gambar 4.24 berikut ini.



**Gambar 4. 24 Fraksi gasoline produk dengan basa  $Al(OH)_3$**

Pada Gambar 4.21 dan 4.22, terlihat bahwa selain fraksi gasoline, terdapat pula fraksi lain dalam kromatogram tersebut. Fraksi tersebut, seperti juga telah dijelaskan pada analisa GC-FID, adalah merupakan senyawa-senyawa yang lebih besar dari pada fraksi gasoline yang memiliki waktu retensi yang lebih besar dari pada fraksi gasoline tersebut.

Secara kuantitatif, persentase produk yang diinginkan (fraksi gasoline) dalam produk hasil perengkahan belum begitu besar. Produk yang dihasilkan sebagian besar masih mengandung senyawa dengan atom karbon

yang lebih banyak dari pada fraksi gasoline. Data kuantitatif dan kualitatif yang lebih lengkap untuk analisa GC-MS ini dapat dilihat pada LAMPIRAN 3.

# **BAB V**

## **KESIMPULAN**

### **5.1 KESIMPULAN**

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Produk hidrokarbon setara fraksi gasoline dapat dihasilkan dengan metode perengkahan katalitik minyak sawit yang terlebih dahulu disaponifikasi.
2. Kondisi terbaik yang menghasilkan yield terbesar untuk ke dua jenis basa adalah suhu  $450^{\circ}\text{C}$ , katalis  $10\% \text{ B}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  dan rasio umpan stoikiometrik.
3. Yield terbesar yang dihasilkan masing-masing basa adalah  $25.44\%$  untuk KOH dan  $30.8\%$  untuk  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .
4. Hasil FTIR menunjukkan ke dua jenis produk yang dihasilkan telah memiliki kemiripan yang sangat dekat dengan gasoline komersial yang ditandai dengan banyaknya kesamaan ikatan yang terdeteksi meskipun berbeda dalam hal absorbansinya.
5. Dari hasil analisa GC-FID dan GC-MS yang dilakukan, produk yang dihasilkan memiliki fraksi gasoline yang ditandai dengan munculnya peak-peak pada rentang waktu retensi gasoline.

### **5.1 SARAN**

Untuk kesempurnaan penelitian ini di masa datang, beberapa hal yang perlu diperhatikan menyangkut variable reaksi adalah:

- Suhu reaksi terbaik pada penelitian ini adalah  $450^{\circ}\text{C}$  yang merupakan batas atas penelitian. Sehingga perlu dicoba suhu yang lebih tinggi untuk memastikan bahwa suhu tersebut benar-benar suhu terbaik.
- Katalis terbaik adalah  $10\%$  loading, hal ini juga merupakan batas bawah dari komposisi katalis yang ada, sehingga perlu dicoba untuk loading yang lebih rendah untuk memastikan loading terbaik katalis.
- Rasio umpan terbaik adalah stoikiometrik yang merupakan batas bawah penelitian, sehingga perlu dicoba reaksi dengan kelebihan basa.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purwanto, W.W., et. al., *Indonesia Energy Outlook and Statistic 2006*, Pengkajian Energi Universitas Indonesia, Depok. 2006
- [2] Cason, A., *The Hesitant Boom: Indonesia's Oil Palm Sub-Sector in an Era of Economic Crisis and Political Change*. Center for International Forestry Research. Bogor, 1999
- [3] Anonim, *Sektor Hulu dan Hilir Sawit di Riau Belum Padu*. [online] diambil dari [www.kpbptpn.com](http://www.kpbptpn.com) [27 Mei 2007]
- [4] Gelder, J.A.V, et. al, *Kutukan Komoditas Panduan bagi ORNOP Indonesia*, Maret 2005
- [5] Anonim, *Lipid*, [online] diambil dari [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). [27 Mei 2007]
- [6] Twaiq, F.A., et.al, *Catalytic Conversion of Palm to Hydrocarbon: Performance of Various Zeolite Catalyst*, *Journal of Ind. Eng. Chem. Res.* 38, 1999, hal 3230-3237
- [7] Twaiq, F.A., et.al, *Catalytic Conversion of Palm Oil Over Mesoporous Aluminosilicate MCM-41 for the Production of Liquid Hydrocarbon Fuel*, *Journal of Fuel Processing Technology*, 84, 2003, hal 105-120
- [8] Twaiq, F.A., et.al, *Performance of Composite catalyst in Palm Oil Cracking for the Production of Liquid Fuels and Chemical*, *Journal of Fuel Processing Technology*, 85, 2004, hal 1283-1300
- [9] Ardianto, N.T., *Konversi Katalitik Minyak Sawit Hidrokarbon Gasoline Menggunakan Katalis Campuran ZSM-5/Alumina: Pengaruh Penambahan Senyawa ABE*. Skripsi. Depok: Teknik Kimia Universitas Indonesia, 2007.
- [10] Arifianto, B., *Proses Perengkahan Minyak Sawit Menjadi Hidrokarbon Setaraf Fraksi Gasoline menggunakan katalis  $B_2O_3/Al_2O_3$* . Skripsi. Depok: Teknik Kimia Universitas Indonesia, 2006.
- [11] Anonim, *Peluang Investasi*. [online] diambil dari [www.kutaitimur.com](http://www.kutaitimur.com) [5 Maret 2007]
- [12] Anonim, *Gambaran Umum Produksi Minyak Sawit*. [online] diambil dari [www.bbj-jfx.com](http://www.bbj-jfx.com) [27 Mei 2007]

- [13] Ma, A.N, et. al., *Development of Renewable Energy in Malaysia*. Dipresentasikan pada International Conference, Trieste, 2004
- [14] Manurung, E.G.T., *Analisi Valuasi Ekonomi Investasi Perkebunan Kelapa Sawit di Indonesia*, 2001
- [15] Anonim, *Indonesia Akan Jadi Eksportir Sawit Terbesar*. [online] diambil dari [www.medcogroup.co.id](http://www.medcogroup.co.id) [27 Mei 2007]
- [16] Arisman, *Analisis Kebijakan: Daya Saing CPO Indonesia*. Jurnal Universitas Paramadina vol.2 No.1, September 2002. Hal: 75-90
- [17] Rahmadi, A., *Proses Pembuatan Biodiesel: Apa Memang Sangat Mudah?* [online] diambil dari [www.bfuel.biz](http://www.bfuel.biz) [29 Mei 2007]
- [18] Ketaren, S., *Minyak dan Lemak Pangan*, Universitas Indonesia, Depok, 1986
- [19] Puspitaningdyah, L., *Sintesis YSZ (Yttria Stabilized Zirconia) Serta Efek Penambahan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Untuk Katalis dalam Reaksi Konversi ABE Menjadi Hidrokarbon*. Skripsi. Depok: Teknik Kimia Universitas Indonesia, 2007
- [20] Speight, J.G., *The Chemistry and Technology of Petroleum*, Marcell Dekker, Inc., New York, 1991
- [21] Suarez, P. A. Z., *Alternatif Fuels From The Thermo-Catalytic Cracking of Triglycerides*. [online] diambil dari [www.nist.gov](http://www.nist.gov) [29 Mei 2007]
- [22] Fangrui, M. A., Hanna., *Biodiesel Production: A review*. Jurnal Biosresource Technology 70. 1999. Hal: 1-15
- [23] Anonim, *Portfolio Bahan Bakar Cair*, 2001, [online] diambil dari [www.chemeng.ui.ac.id](http://www.chemeng.ui.ac.id) [2 April 2007]
- [24] Pasaribu, N., *Minyak Buah Kelapa Sawit*, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2004.
- [25] Richardson, J. T., *Principles of Catalyst Development*, University of Houston, Texas, 1989.

# LAMPIRAN

## LAMPIRAN 1

### PERHITUNGAN MR SAWIT DAN RASIO UMPAN

#### A. Perhitungan Mr Triglicerida Minyak Sawit

Persentase asam lemak dalam triglicerida minyak sawit menurut sekjen dinas perindustrian, 2007 adalah sebagai berikut:

Nama asam Lemak	Mr	Persentase (%)
Palmitic	256.42	44.3
Stearic acid	284.47	4.6
Myristic acid	228.36	1
Oleic acid	282.76	38.7
Linoleic acid	280.45	10.5
Lainnya	-	0.9

Berdasarkan Nurhaida , 2007, jenis asam lemak pada triglicerida minyak sawit adalah:

Nama triglicerida	persentase
Tripalmitin	0.04
Dipalmito-stearin	0.02
Olea-miritopalmitin	0.02
Oleo-dipalmitin	0.32
Palmito-diolein	0.4
Oleo-palmitostearin	0.1
Stearo-diolein	0.03
Linoleo-diolein	0.07

Dengan menggabungkan ke dua data tersebut, dapat dihitung Mr triglicerida pada minyak sawit sebagai berikut:

Nama triglicerida	Mr	Persentase	Mr kandungan
Tripalmitin	810.26	0.04	32.4104
Dipalmito-stearin	838.31	0.02	16.7662
olea-Miritopalmitin	808.54	0.02	16.1708
oleo-Dipalmitin	836.6	0.32	267.712
Palmito-diolein	862.94	0.4	345.176
Oleo-palmitostearin	864.65	0.1	86.465
Stearo-diolein	890.99	0.03	26.7297
Linoleo-diolein	886.97	0.07	62.0879
<b>Mr Triglicerida Minyak Sawit</b>			<b>853.518</b>

Sehingga diperoleh data MR Trigliserida minyak sawit yaitu 853.518 gr/mol.

## B. Perhitungan Rasio Umpan

Rasio umpan yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga jenis, yaitu stoikiometrik, kelebihan minyak sawit 10% dan 20% mol. Dengan Mr TG (trigliserida) = 853.32 gr/mol, KOH 56 gr/mol dan Al(OH)<sub>3</sub> 74 gr/mol, perhitungannya dapat diuraikan sebagai berikut:

### 1. Rasio minyak dengan KOH stoikiometrik

Dalam keadaan stoikiometrik,

$$1 \text{ mol TG} \sim 3 \text{ mol KOH}$$

$$853.52 \text{ gr TG} = 3 \times 56 \text{ gr KOH}$$

$$1 \text{ gr TG} = 0.197 \text{ gr KOH}$$

Dengan pembulatan, didapatkan 1 gr TG = 0.2 gr KOH

Untuk memudahkan pengukuran, rasio berat ini dikonversi menjadi rasio volume. Sebagai standar diambil 5 ml minyak sawit (4.2 gram). Dengan demikian, volume basa KOH yang dibutuhkan adalah

$$4.2 \text{ gram} \times 0.2/56.11 = 15 \text{ ml KOH}$$

Dengan demikian, didapatkan rasio minyak dengan basa untuk kondisi stoikiometrik adalah 5 ml:15 ml.

Untuk kondisi kelebihan minyak sawit, tinggal ditambahkan sesuai persentasinya ke dalam perhitungan. Dengan demikian, didapatkan rasio volume untuk masing-masing kondisi reaksi sebagai berikut:

No	Rasio umpan	Volume Minyak (ml)	Volume Basa (ml)
1	Stoikiometrik	5	15
2	10% excess minyak	5.5	15
3	20% excess minyak	6	15

### 2. Rasio minyak dengan Al(OH)<sub>3</sub> stoikiometrik

Dalam keadaan stoikiometrik,

$$1 \text{ mol TG} \sim 1 \text{ mol Al(OH)}_3$$

$$853.52 \text{ gr TG} = 74 \text{ gr KOH}$$

$$1 \text{ gr TG} = 0.09 \text{ gr KOH}$$

Dengan pembulatan, didapatkan 1 gr TG = 0.1 gr KOH

Untuk memudahkan pengukuran, rasio berat ini dikonversi menjadi rasio volume. Sebagai standar diambil 5 ml minyak sawit (4.2 gram). Dengan demikian, volume basa Al(OH)<sub>3</sub> yang dibutuhkan adalah

$$4.2 \text{ gram} \times 0.1/74 = 5 \text{ ml Al(OH)}_3$$

Dengan demikian, didapatkan rasio minyak dengan basa untuk kondisi stoikiometrik adalah 5 ml:5 ml.

Untuk kondisi kelebihan minyak sawit, tinggal ditambahkan sesuai persentasinya ke dalam perhitungan. Dengan demikian, didapatkan rasio volume untuk masing-masing kondisi reaksi sebagai berikut:

No	Rasio umpan	Volume Minyak (ml)	Volume Basa (ml)
1	Stoikiometrik	5	5
2	10% excess minyak	5.5	5
3	20% excess minyak	6	5



## LAMPIRAN 2

### HASIL PERHITUNGAN YIELD

No	Berat Botol	Berat Awal	Berat Akhir	Berat Teruapkan	konversi	berat sabun	Yield
1	20.07	20.533	20.332	0.201	43.41	3.1254	6.43
2	19.236	24.407	24.312	0.095	1.84	3.1254	3.04
3	20.07	21.402	21.236	0.166	12.46	3.1254	5.31
4	20.07	22.047	21.881	0.166	8.40	3.1254	5.31
5	19.236	25.317	24.847	0.47	7.73	3.1254	15.04
6	19.236	25.396	24.953	0.443	7.19	3.1254	14.17
7	10.475	11.914	11.585	0.329	22.86	3.1254	10.53
8	10.47	10.821	10.59	0.231	65.81	3.1254	7.39
9	10.663	11.284	10.721	0.563	90.66	3.1254	18.01
10	10.663	12.265	11.995	0.27	16.85	3.1254	8.64
11	10.663	14.022	13.807	0.215	6.40	3.1254	6.88
12	10.663	13.528	13.309	0.219	7.64	3.1254	7.01
13	10.663	12.88	12.648	0.232	10.46	3.1254	7.42
14	10.663	14.87	14.73	0.14	3.33	3.1254	4.48
15	10.663	12.485	11.63	0.855	46.93	3.1254	27.36
16	10.663	11.992	11.627	0.365	27.46	3.1254	11.68
17	20.07	22.055	21.912	0.143	7.20	3.1254	4.58
18	10.663	12.165	11.692	0.473	31.49	3.1254	15.13
19	10.663	11.291	10.905	0.386	61.46	3.1254	12.35
20	10.663	11.687	11.407	0.28	27.34	3.1254	8.96
21	10.663	11.865	11.734	0.131	10.90	3.1254	4.19
22	10.663	11.329	11.211	0.118	17.72	3.1254	3.78
23	10.663	12.458	12.356	0.102	5.68	3.1254	3.26
24	10.663	12.033	11.821	0.212	15.47	3.1254	6.78
25	10.663	11.711	11.625	0.086	8.21	2.97696	2.89
26	10.663	11.78	11.613	0.167	14.95	2.97696	5.61
27	10.663	11.51	11.421	0.089	10.51	2.97696	2.99
28	10.663	12.503	12.156	0.347	18.86	2.97696	11.66
29	10.663	12.1	11.916	0.184	12.80	2.97696	6.18
30	10.663	11.542	11.35	0.192	21.84	2.97696	6.45
31	10.663	11.444	11.115	0.329	42.13	2.97696	11.05
32	10.663	11.972	11.584	0.388	29.64	2.97696	13.03
33	10.663	11.063	10.82	0.243	60.75	2.97696	8.16
34	10.663	12.323	11.551	0.772	46.51	2.97696	25.93
35	10.663	11.64	11.156	0.484	49.54	3.1254	15.49
36	10.663	11.947	11.776	0.171	13.32	3.1254	5.47

37	10.663	11.817	11.51	0.307	26.60	3.1254	9.82
38	10.663	11.82	11.094	0.726	62.75	3.1254	23.23
39	10.663	12.094	11.762	0.332	23.20	3.1254	10.62
40	10.663	12.133	11.934	0.199	13.54	2.97696	6.68
41	10.663	12.32	11.336	0.984	59.38	2.97696	33.05
42	10.663	11.771	11.332	0.439	39.62	3.1254	14.05
43	10.663	11.343	10.936	0.407	59.85	3.1254	13.02
44	10.663	11.311	10.847	0.464	71.60	2.97696	15.59
45	10.663	11.422	10.679	0.743	97.89	3.1254	23.77
46	10.663	11.062	10.766	0.296	74.19	2.97696	9.94
47	10.663	11.399	11.087	0.312	42.39	2.97696	10.48
48	10.663	12.054	11.137	0.917	65.92	2.97696	30.80
49	10.663	11.615	10.876	0.739	77.63	2.97696	24.82
50	10.663	11.543	11.188	0.355	40.34	2.97696	11.92
51	10.663	11.212	10.972	0.24	43.72	2.97696	8.06
52	10.663	12.611	11.543	1.068	54.83	2.97696	35.88
53	10.663	12.703	12.07	0.633	31.03	2.97696	21.26
54	10.663	12.587	12.249	0.338	17.57	2.97696	11.35
55	10.663	11.623	10.828	0.795	82.81	3.1254	25.44
56	10.663	11.223	10.804	0.419	74.82	2.97696	14.07
57	10.663	11.918	11.507	0.411	32.75	2.97696	13.81
58	10.663	11.11	10.865	0.245	54.81	2.97696	8.23
59	10.663	11.277	11.004	0.273	44.46	2.97696	9.17
60	10.663	13.131	12.781	0.35	14.18	2.97696	11.76
61	10.663	11.851	11.404	0.447	37.63	2.97696	15.02
62	10.663	12.27	11.869	0.401	24.95	2.97696	13.47