



UNIVERSITAS INDONESIA

**SINTESIS HIDROKARBON C₃ DAN C₄ DARI MINYAK
KELAPA SAWIT MELALUI REAKSI PERENKAHAN
KATALITIK DUA TAHAP MENGGUNAKAN KATALIS
ALUMINA (JRC-ALO-7)**

SKRIPSI

**DONY RESITA
0405060229**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**SINTESIS HIDROKARBON C₃ DAN C₄ DARI MINYAK
KELAPA SAWIT MELALUI REAKSI PERENKAHAN
KATALITIK DUA TAHAP MENGGUNAKAN KATALIS
ALUMINA (JRC ALO-7)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**DONY RESITA
0405060229**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2009**

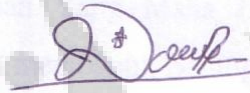
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Dony Resita

NPM : 0405060229

Tanda Tangan :



Tanggal : 12 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,


Nama : Dony Resita
NPM : 0405060229
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Sintesis Hidrokarbon C₃ dan C₄ Dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik Dua Tahap Menggunakan Katalis Alumina

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Mohammad Nasikin, M. Eng. ()

Penguji : Dr. Ir. Slamet, M.T. ()

Penguji : Ir. Bambang Heru Susanto, M.T. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 12 Juli 2009

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Dony Resita
NPM : 0405060229
Program studi : S1
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Fakultas Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

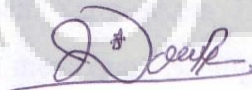
Sintesis Hidrokarbon C₃ dan C₄ Dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Perengkahan Katalitik Dua Tahap Menggunakan Katalis Alumina

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 12 Juli 2009

Yang menyatakan



(Dony Resita)

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana Teknik di Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Selain itu, makalah ini diharapkan menjadi langkah awal untuk penelitian selanjutnya. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

- (1) Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi.
- (2) Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI beserta seluruh dosen yang telah memberikan ilmu dan membagikan wawasannya.
- (3) Muhammad Rusydi sebagai rekan penelitian yang selalu membantu serta memberikan dukungan selama penelitian.
- (4) Kang Djajat dan Mang Ijal sebagai penanggung jawab lab dan selalu membantu kami disetiap saat kami butuh bantuan
- (5) Ibu dan Ayah yang selalu memberi semangat, doa serta dukungannya yang memotivasi saya untuk menyelesaikan skripsi ini
- (6) Semua teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu demi satu, yang selalu memberikan bantuan semangat dikala susah

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 12 Juli 2009

Dony Resita

ABSTRAK

Nama : Dony Resita
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Sintesis Hidrokarbon C₃ Dan C₄ Dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik Dua Tahap Menggunakan Katalis Alumina

Dalam penelitian ini dilakukan sintesis hidrokarbon C₃ dan C₄ melalui reaksi perengkahan katalitik dua tahap dengan katalis alumina yaitu perengkahan katalitik tahap pertama untuk penghilangan CO₂ secara keseluruhan dari trigliserida yang menghasilkan hidrokarbon berat pada suhu 350⁰C dan tahap kedua perengkahan hidrokarbon berat untuk menghasilkan C₃ dan C₄ pada suhu 370⁰C. Reaksi dilakukan secara tumpak dengan kondenser *full reflux* pada fasa cair dan tekanan atmosferik. Pada reaksi divariasikan lama waktu reaksi dan rasio massa katalis/CPO. Berdasarkan hasil penelitian, reaksi dengan lama waktu 30 menit dan rasio massa katalis/CPO = 1: 100 didapatkan hasil maksimum yaitu konversi 64% massa dan yield hidrokarbon C₃ – C₄ 22.79 %. Produk gas berupa CO₂, C₂H₄, dan fraksi hidrokarbon C₃ dan C₄. Produk cair hasil distilasi memiliki densitas 0.74 gr/ml. Hasil perengkahan menunjukkan bahwa katalis alumina merengkah ikatan rangkap C=O dan C=C sehingga dapat menghasilkan produk gas (CO₂, C₃ dan C₄) dan produk cair.

Kata kunci: Minyak Kelapa Sawit, Hidrokarbon C₃ dan C₄, Perengkahan Katalitik, Alumina

ABSTRACT

Name : Dony Resita
Study Program: Chemical Engineering
Title : Synthesis of C₃ Dan C₄ Hydrocarbon From Crude Palm Oil Using
Two Stages Alumina Catalytic Cracking Reaction

This research was conducted by synthesizing C₃ and C₄ hydrocarbon from crude palm oil using two stages alumina catalytic cracking reaction. The first stage catalytic cracking is to remove CO₂ from triglyseride that produced heavy fraction hydrocarbons at temperature of 350⁰C and the second catalytic cracking is to crack heavy hydrocarbons that produce C₃ and C₄ hydrocarbon. Reaction is conducted in batch reactor with full reflux condenser at liquid phase and atmospheric pressure. Reaction is done by varying reaction time and mass ratio catalyst/CPO. Based on research result, reaction with 30 minute reaction time and catalyst/CPO mass ratio = 1 : 100 resulted maximum product with 64% mass conversion and C₃ – C₄ hydrocarbon yield = 22.79%. Gas product is CO₂, C₂H₄ and C₃ – C₄ hydrocarbon fraction. Distillate from liquid product has 0.74 gr/ml of density. Cracking result indicated that alumina catalyst cracked C=O and C=C double bond, so it could produce gas product (CO₂, C₃ and C₄) and liquid product.

Keywords : Crude Palm Oil, C₃ and C₄ Hydrocarbon, Catalytic Cracking, Alumina

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Minyak Kelapa Sawit.....	6
2.1.1 Trigliserida.....	6
2.1.2 Asam Lemak.....	6
2.1.3 Komponen Minor.....	7
2.1.4 Sifat Fisika Minyak Kelapa Sawit.....	8
2.2 Perengkahan Katalitik.....	8
2.2.1 Mekanisme Perengkahan Katalitik.....	8
2.2.2 Perengkahan Katalitik Minyak Kelapa Sawit.....	9
2.3 LPG (<i>Liquified Petroleum Gas</i>).....	13
2.4 Katalis Alumina (Al_2O_3).....	14
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Rancangan Penelitian.....	17
3.2 Variabel Penelitian.....	18
3.3 Alat dan Bahan.....	19
3.4 Prosedur Penelitian.....	19
3.4.1 Blank Test.....	19
3.4.2 Reaksi Perengkahan Katalitik.....	20
3.4.3 Tahap Distilasi.....	22
3.4.4 Tahap Analisis Produk.....	22
3.4.5 Pengolahan Data.....	23
3.4.6 Gambar Skema Alat Penelitian.....	24
3.5 Pelaksanaan Penelitian.....	25

BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1	Analisa Percobaan.....	26
4.1.1	Tahap <i>Blank Test</i>	26
4.1.2	Tahap Perengkahan Katalitik	28
4.1.3	Tahap Distilasi	30
4.2	Pengaruh Lama Waktu Reaksi terhadap Produk	30
4.3	Pengaruh Suhu Perengkahan terhadap Produk	33
4.4	Pengaruh Rasio Massa Katalis/CPO Reaksi terhadap Produk.....	36
4.5	Pengaruh Lama Reaksi dan Rasio Massa Katalis terhadap Konversi.....	39
4.6	Komponen Produk	40
4.7	Analisis Densitas.....	41
4.8	Analisis FTIR.....	42
4.9	Analisa Alur Perengkahan	45
4.10	Perbandingan dengan perengkahan katalitik dua tahap	50
4.11	Perbandingan dengan penelitian sebelumnya	51
4.12	Usulan Proses Yang Diajukan.....	53
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	56
DAFTAR PUSTAKA		57
DAFTAR LAMPIRAN.....		59

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Penghasil Minyak Sawit Terbesar di Dunia 1998 – 2007.....	2
Tabel 2. 1 Kandungan asam lemak pada minyak kelapa sawit.....	7
Tabel 2. 2 Asam lemak dan hidrokarbon yang terbentuk pada penghilangan CO ₂	11
Tabel 2. 3 Kandungan LPG	14
Tabel 2. 4 Sifat fisik dan kimia Al ₂ O ₃	14
Tabel 2. 5 Kandungan katalis JRC-ALO-7.....	15
Tabel 2. 6 Karakteristik beberapa jenis katalis	16
Tabel 4. 1 Sifat fisik dan kimia CPO	27
Tabel 4. 2 Komponen Produk Gas	40
Tabel 4. 3 Perbandingan analisis FTIR	44
Tabel 4. 4 Perbandingan perengkahan katalitik	51
Tabel 4. 5 Perbandingan dengan penelitian sebelumnya	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur trigliserida (Fessenden, 1995).....	6
Gambar 2. 2 Alur reaksi konversi <i>canola oil</i> menjadi <i>gasoline</i> (Prasad, 1985).....	10
Gambar 2. 3 Alur reaksi perengkahan minyak kelapa sawit (Tan, 1999).....	10
Gambar 2. 4 Reaksi <i>primary cracking</i> (Suarez, 2006).....	11
Gambar 2. 5 Reaksi perengkahan hidrokarbon (R_1).....	12
Gambar 2. 6 Ilustrasi perengkahan menggunakan katalis γ -alumina.....	13
Gambar 2. 7 Struktur molekul alumina (Al_2O_3) (Wikipedia 2008).....	15
Gambar 3. 1 Skema penelitian.....	17
Gambar 3. 2 Skema alat perengkahan katalitik.....	24
Gambar 3. 3 Skema alat distilasi.....	25
Gambar 4. 1 Skema pengambilan produk gas.....	29
Gambar 4. 2 Pengaruh lama waktu reaksi terhadap produk.....	31
Gambar 4. 3 Grafik CO_2 , C_3 dan C_4 pada lama waktu reaksi 30 menit.....	32
Gambar 4. 4 Grafik CO_2 , C_3 dan C_4 pada lama waktu reaksi 60 menit.....	32
Gambar 4. 5 Produk CO_2 , C_3 dan C_4 pada suhu perengkahan $350^\circ C$	34
Gambar 4. 6 Produk CO_2 , C_3 dan C_4 pada suhu perengkahan $370^\circ C$	34
Gambar 4. 7 Perbandingan produk reaksi dengan variasi rasio massa katalis.....	36
Gambar 4. 8 Perbandingan produk gas reaksi dengan variasi rasio massa katalis.....	37
Gambar 4. 9 Produk CO_2 , C_3 dan C_4 dengan katalis/CPO 1:75.....	38
Gambar 4. 10 Produk CO_2 , C_3 dan C_4 dengan katalis/CPO 1:100.....	38
Gambar 4. 11 Pengaruh lama reaksi dan rasio massa katalis terhadap konversi.....	39
Gambar 4. 12 Pengaruh lama reaksi dan rasio massa katalis terhadap densitas.....	41
Gambar 4. 13 Spektra FTIR Minyak Sawit murni.....	43
Gambar 4. 14 Spektra FTIR CPO hasil perengkahan tahap 1 dengan rasio 1:75.....	43
Gambar 4. 15 Spektra FTIR hasil perengkahan tahap 2 dengan rasio 1:75.....	44
Gambar 4. 16 Struktur Asam Palmitat.....	45
Gambar 4. 17 Struktur Asam Oleat.....	46
Gambar 4. 18 Struktur Asam Linoleat.....	46
Gambar 4. 19 Mekanisme perengkahan CPO oleh katalis alumina.....	46
Gambar 4. 20 Perengkahan CPO melalui jalan 1.....	47
Gambar 4. 21 Perengkahan CPO melalui jalan 2.....	48
Gambar 4. 22 Perengkahan CPO melalui jalan 3.....	49
Gambar 4. 23 Regenerasi katalis pada suhu $370^\circ C$	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Analisis GC.....	59
Lampiran 2 Analisa FTIR.....	65



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Minyak bumi merupakan sumber energi utama di dunia. Hasil pengolahan minyak bumi yang banyak digunakan yaitu sebagai sumber bahan bakar, baik bahan bakar minyak maupun bahan bakar gas. Bahan bakar gas yang saat ini marak digunakan yaitu bahan bakar dari *Liquefied Petroleum Gas* (LPG). Sejak pertengahan Agustus 2007, pemerintah mulai memberlakukan program konversi minyak tanah ke LPG. Baik minyak tanah maupun LPG merupakan produk hasil pengolahan minyak bumi, namun program konversi ini akan mengurangi subsidi pemerintah untuk bidang energi serta penggunaan LPG akan menghasilkan emisi yang lebih sedikit sehingga lebih ramah lingkungan. Jika program konversi ini sukses secara nasional maka akan mampu mengurangi subsidi negara hingga 15-20 triliun rupiah per tahunnya (Pertamina, 2008). LPG merupakan bahan bakar gas yang diperoleh dari hasil distilasi minyak bumi dan fraksionasi gas alam yang memiliki kandungan utama fraksi hidrokarbon C_3 dan C_4

Selain sebagai komponen utama LPG, fraksi hidrokarbon C_3 dan C_4 juga dimanfaatkan untuk bahan petrokimia. Bahan petrokimia tersebut dibentuk melalui proses reaksi dehidrogenasi yang akan menghasilkan propilen dan butilen yang akan diolah lebih lanjut menjadi produk petrokimia seperti plastik, ban mobil, pelarut, tekstil, komestik dan lain sebagainya.

Dari paparan diatas terlihat betapa pentingnya peranan fraksi hidrokarbon C_3 dan C_4 dalam kehidupan. Sedangkan cadangan minyak Indonesia saat ini adalah sebesar 8 miliar barrel yang hanya cukup untuk 10 tahun lagi. Menipisnya cadangan minyak disertai kurangnya investasi di bidang eksplorasi menyebabkan semakin menurunnya produksi minyak nasional. Hal ini dapat berdampak negatif bagi ketersediaan LPG di Indonesia mengingat ketergantungan masyarakat terhadap LPG

sebagai bahan bakar dalam memasak akan semakin besar seiring berjalannya program konversi. Oleh karena itu dituntut pengembangan energi alternatif yang dapat terbarukan yang dapat diolah menjadi fraksi hidrokarbon C₃ dan C₄.

Salah satu sumber daya alam terbarukan yang saat ini marak dikembangkan sebagai pengganti minyak bumi yaitu minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*, CPO). Minyak kelapa sawit terdiri dari komponen trigliserida yang memiliki hidrokarbon rantai panjang (Fessenden, 1995). Hidrokarbon tersebut menyerupai minyak bumi sehingga sangat potensial untuk diproses menghasilkan fraksi hidrokarbon C₃ dan C₄. Selain itu Indonesia merupakan salah satu negara penghasil CPO terbesar di dunia seperti terlihat pada Tabel 1.1. Hal ini seharusnya menjadi peluang besar bagi Indonesia untuk melakukan diversifikasi produk minyak kelapa sawit menjadi bahan-bahan yang memiliki nilai manfaat dan nilai jual yang lebih tinggi. Namun sebagian besar produk minyak kelapa sawit tersebut diekspor sebagai bahan dasar tanpa pengolahan lebih lanjut. Padahal diversifikasi minyak kelapa menjadi produk turunannya yang salah satunya fraksi hidrokarbon C₃ dan C₄ dapat meningkatkan nilai jual yang sangat signifikan.

Tabel 1.1 Penghasil Minyak Sawit Terbesar di Dunia 1998 – 2007 (Oil World 2008)

Tahun	Indonesia	Malaysia	Thailand	Nigeria	Colombia	Total di dunia
2003	10,600	13,355	690	785	527	28,259
2004	12,380	13,976	735	790	632	30,987
2005	14,100	14,962	700	800	661	33,846
2006	16,050	15,881	860	815	713	37,142
2007	16,800	15,824	1,020	835	780	38,248

Keterangan: data diatas dalam juta ton

Saat ini telah banyak dilakukan penelitian dan pemanfaatan minyak kelapa sawit sebagai bahan bakar alternatif. Perengkahan katalitik minyak kelapa sawit menjadi *gasoline* telah lebih satu dekade dilakukan. Hal tersebut ditunjukkan dengan minyak kelapa sawit dapat dikonversi menjadi *gasoline* menggunakan katalis yang selektif, seperti beberapa penelitian yang telah diterbitkan mengenai perengkahan katalitik minyak kelapa sawit dengan menggunakan katalis zeolit menghasilkan *biogasoline* dengan konversi 95,18% dan selektivitas *gasoline* sebesar 34,96% berat

(Siregar, 2005) dan penelitian dengan reaksi perengkahan katalis yang merekayasa variasi Si/Al dan impregnasi *molecular sieve* pada katalis alumina silikat dengan hasil konversi sebesar 80% dan yield fraksi hidrokarbon C₃ dan C₄ sekitar 13% (Twaiq, 2003).

Sedangkan untuk penelitian sintesis fraksi hidrokarbon yang lebih kecil yaitu C₃ dan C₄ juga telah dilakukan di Departemen Teknik Kimia. Dalam penelitian tersebut dilakukan reaksi perengkahan katalitik pada fasa cair dan tekanan atmosferik dengan katalis Alumina. Proses ini dilakukan pada suhu reaksi optimum 370⁰C dan rasio massa katalis per minyak kelapa sawit = 1 : 125. Penelitian ini menghasilkan produk dengan selektivitas produk C₃ sebesar 2.12% dan produk C₄ sebesar 11.53% serta konversi sebesar 50.09%. Selain itu juga terbentuk produk CO₂ dari 7% sampai 12%. (Hidayat, 2007).

Pada proses perengkahan katalitik tersebut, CPO akan terengkah menjadi hidrokarbon rantai panjang setelah melepas gugus CO₂. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dengan melakukan asumsi terhadap besar kandungan asam lemak di dalam trigliserida yang terkandung dalam CPO, maka diperoleh kandungan CO₂ dalam trigliserida yaitu 16%. Dari percobaan diperoleh CO₂ dengan kandungan maksimal 12% dan juga sedikit produk C₃ dan C₄. Hal tersebut menunjukkan belum semua gugus CO₂ terputus dari trigliserida dikarenakan terjadinya kompetisi reaksi perengkahan yang dilakukan katalis. Katalis alumina selain melakukan pemutusan gugus CO₂ juga melakukan pemotongan hidrokarbon rantai panjang menjadi pendek. Kompetisi reaksi perengkahan ini dapat menyebabkan reaksi perengkahan menjadi tidak sempurna dan tidak optimal.

Oleh karena itu dalam penelitian kali ini akan dilakukan reaksi perengkahan katalitik secara dua tahap yaitu reaksi pemutusan seluruh gugus CO₂ dalam trigliserida pada suhu 350⁰C, suhu perengkahan katalitik dimana belum terjadi pemotongan hidrokarbon. Kemudian baru dilakukan reaksi perengkahan hidrokarbon rantai panjang menjadi pendek pada suhu reaksi 370⁰C. Sehingga diharapkan semua CO₂ yang terkandung dalam trigliserida dapat terputus dan trigliserida menjadi

hidrokarbon rantai panjang serta diperoleh hasil produk C₃ dan C₄ lebih banyak diakhir reaksi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana cara memutus seluruh gugus CO₂ yang terkandung dalam trigliserida sehingga dihasilkan hidrokarbon rantai panjang dan memperoleh produk hidrokarbon fraksi C₃ dan C₄ dari hidrokarbon rantai panjang tersebut melalui perengkahan katalitik menggunakan katalis alumina.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merengkah C₃ dan C₄ yang optimum melalui dua tahap reaksi yaitu merengkah gugus CO₂ kemudian perengkahan hidrokarbon rantai panjang.
2. Mensintesis produk hidrokarbon fraksi C₃ dan C₄ dari minyak kelapa sawit melalui perengkahan katalitik dengan menggunakan katalis alumina.
3. Mengidentifikasi reaksi perengkahan katalitik yang terjadi dan produk yang terbentuk melalui metode analisa produk gas dan cair
4. Menghitung konversi, *yield* dan selektivitas produk fraksi gas C₃ dan C₄

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis hanya membatasi pembahasan pada:

1. Penggunaan minyak kelapa sawit yang berasal berupa *Crude Palm Oil* (CPO) yaitu minyak sawit yang belum diolah.
2. Perengkahan minyak kelapa sawit dengan metode perengkahan katalitik menggunakan katalis alumina.
3. Reaksi perengkahan katalitik minyak kelapa sawit yang dilakukan untuk mensintesis dan mengoptimalkan produk hidrokarbon fraksi C₃ dan C₄
4. Analisis kandungan dan komposisi produk difokuskan pada produk gas yaitu dengan menggunakan analisis *Gas Chromatography* (GC).

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan makalah ini adalah:

BAB 1 : PENDAHULUAN

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

BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan mengenai penjelasan umum yang diperlukan mengenai minyak kelapa sawit, hidrokarbon fraksi C_3 dan C_4 serta kegunaannya, katalis alumina yang digunakan dan reaksi perengkahan katalitik

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang diagram alir penelitian, peralatan, bahan dan prosedur yang digunakan dalam penelitian

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang penyajian data penelitian yang diperoleh, analisis kecenderungan pada berbagai variasi variabel bebas, dan pembahasan mengenai fenomena yang terjadi dalam proses perengkahan

BAB 5 : KESIMPULAN

Berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan percobaan yang dilakukan terkait dengan tujuan dari penelitian ini.

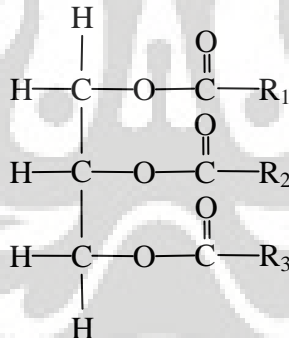
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Kelapa Sawit

2.1.1 Trigliserida

Minyak kelapa sawit merupakan minyak yang di ekstrak dari daging buah kelapa sawit yang telah matang. Minyak kelapa sawit yang biasa disebut *crude palm oil* ini biasanya digunakan sebagai bahan baku minyak goreng komersial. Komponen penyusun minyak kelapa sawit sebagian besar adalah trigliserida yang merupakan senyawa yang dominan dan senyawa yang paling penting dalam pembuatan produk berbasis minyak sawit. Trigliserida merupakan senyawa ester dari asam lemak dan gliserol yang berikatan. Struktur senyawa trigliserida memiliki rumus molekul seperti pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Struktur trigliserida (Fessenden, 1995)

2.1.2 Asam Lemak

Asam lemak (R_1 , R_2 , dan R_3) merupakan rantai hidrokarbon panjang yang menyerupai rantai hidrokarbon yang terkandung didalam minyak bumi. Rantai hidrokarbon tersebut berupa asam lemak yang terikat pada struktur trigliserida seperti terlihat pada Gambar 2.1 diatas. Jumlah rantai karbon asam lemak yang terikat pada trigliserida ini bervariasi mulai dari 4 hingga 35 rantai karbon (Twigg, 1988). Asam-asam lemak tersebut memiliki ikatan jenuh dan tak-jenuh. Asam lemak jenuh

biasanya memiliki rantai karbon yang lurus, sedangkan asam lemak tak-jenuh terbatas pada C_{16} dan C_{18} dengan 1,2 atau 3 jumlah ikatan rangkapnya. Pada Tabel 2.1 disajikan jenis asam yang terkandung dalam minyak sawit. Dua angka didalam kurung menunjukkan jumlah atom karbon dan jumlah ikatan rangkap didalamnya.

Tabel 2. 1 Kandungan asam lemak pada minyak kelapa sawit (Fessenden, 1995)

Nama umum (jumlah karbon:ikatan rangkap)	Nama sistematik	Persentase
<i>Asam lemak jenuh</i>		
Laurat (12:0)	n-dodekanoat	< 1
Palmitat (16:0)	n-hexadekanat	32-47
Miristat (14:0)	n-tetradekanat	1-6
Stearat (18:0)	n-oktadekanat	1 -6
Arakhidat (20:0)	n-eikosanoat	< 1
<i>Asam lemak tak jenuh</i>		
Oleat (18:1)	n-oktadek-9-enoat	40-52
Palmitoleat (18:1)	n-hexadek-9-enoat	< 1
Gadolear (20:1)	n-eikos-0-anoat	< 1
<i>Asam lemak poly-tak jenuh</i>		
Linoleat (18:2)	n-oktadek-9,12-dienoat	5-7

Dari kandungan asam lemak diatas, seperti pada proses perengkahan ikatan hidrokarbon pada minyak bumi, maka pada asam lemak diatas pun dapat dilakukan perengkahan. Tujuannya yaitu menghasilkan produk hidrokarbon fraksi $C_5 - C_{12}$ sebagai gasoline dan hidrokarbon fraksi $C_3 - C_4$ untuk bahan baku petrokimia dan LPG.

2.1.3 Komponen Minor

Selain trigliserida terdapat beberapa komponen yang juga terkandung dalam minyak kelapa sawit dengan jumlah yang sangat sedikit seperti sterol, tokoferol, fosfolipid, dan pigment. Semua komponen ini dipastikan tidak lebih dari 1% kandungan minyak kelapa sawit, namun memainkan peran yang signifikan dalam

stabilitas dan pengolahan minyak kelapa sawit. CPO mengandung tokoferol dan tokotrienol dengan jumlah 600 ppm sampai 1000 ppm, dimana zat tersebut merupakan antioksidan dan menyediakan perlindungan oksidatif yang alami terhadap minyak kelapa sawit. Sedangkan sterol dalam minyak kelapa sawit mengandung lemak yang jauh lebih sedikit dari pada minyak nabati yang lain (Kartina, 2006).

2.1.4 Sifat Fisika Minyak Kelapa Sawit

Untuk melakukan reaksi perengkahan katalitik minyak kelapa sawit perlu diketahui beberapa sifat fisika dari minyak kelapa sawit yaitu titik didih dan densitas. Berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui titik didih dari CPO yaitu 370⁰C dan memiliki densitas 0.875 gr/ml pada suhu 50⁰C.

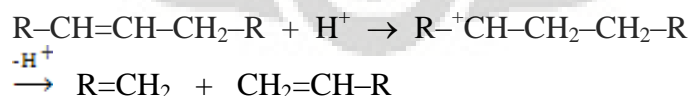
2.2 Perengkahan Katalitik

Reaksi perengkahan katalitik merupakan reaksi pemutusan hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek dengan menggunakan katalis. Reaksi ini memerlukan suhu yang lebih rendah dari perengkahan panas dan menghasilkan produk dengan kualitas lebih baik yang bergantung pada jenis katalis.

2.2.1 Mekanisme Perengkahan Katalitik

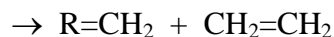
Pada perengkahan katalitik digunakan katalis asam yang akan menyebabkan pembentukan karbokation, yaitu atom karbon yang bermuatan positif pada suatu rantai hidrokarbon. Karbokation ini kemudian akan membentuk senyawa yang lebih stabil. Proses pembentukan karbokation selama reaksi perengkahan katalitik berlangsung melalui mekanisme sebagai berikut:

1. Penambahan proton (H⁺) dari katalis asam seperti reaksi berikut:



Pada reaksi tersebut, katalis asam bertindak sebagai penyumbang proton kepada hidrokarbon dan disebut sebagai asam Bronsted.

2. Penghilangan ion hidrida (H⁻) dari hidrokarbon oleh katalis asam.



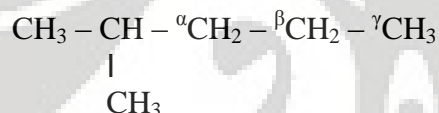
Pada reaksi di atas, katalis asam bertindak sebagai penerima proton dari hidrokarbon dan disebut sebagai asam Lewis.

Pada reaksi perengkahan katalitik terjadi isomerisasi (pembentukan rantai bercabang) dan eliminasi (pembentukan ikatan rangkap) sehingga produk yang terbentuk bervariasi. Selain itu pada reaksi perengkahan katalitik proses pemutusan ikatan hidrokarbon tidak terjadi secara acak tetapi pada lokasi-lokasi tertentu yaitu:

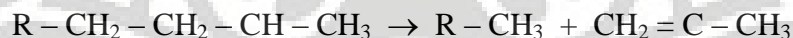
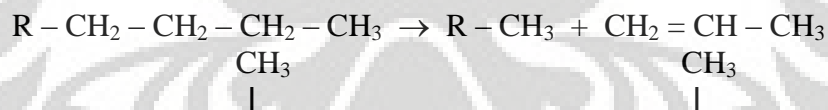
1. Hidrokarbon parafin cenderung terengkah pada ikatan karbon γ



2. Hidrokarbon isoparafin terengkah berturut-turut pada ikatan karbon γ dan β terhadap karbon tersier

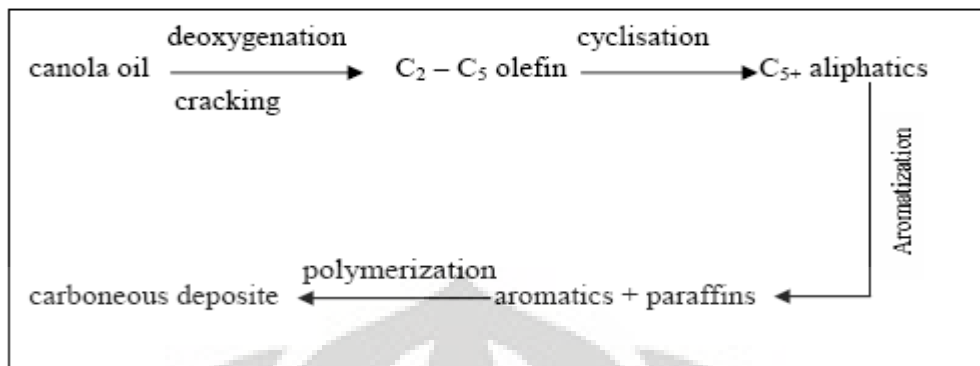


3. Hidrokarbon panjang cenderung terengkah menjadi produk dengan 3 – 4 atom karbon



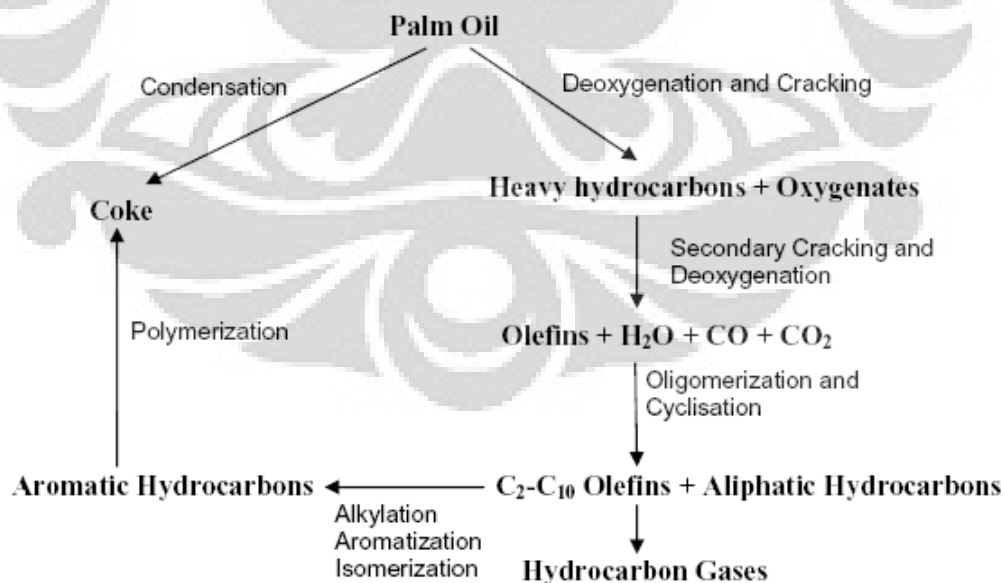
2.2.2 Perengkahan Katalitik Minyak Kelapa Sawit

Beberapa alur reaksi telah diusulkan untuk konversi minyak nabati. Seperti pada penelitian proses konversi minyak canola menjadi *gasoline* menggunakan katalis H-XMS yang telah dimodifikasi (Prasad, 1985). Skemanya seperti pada Gambar 2.2:



Gambar 2. 2 Alur reaksi konversi *canola oil* menjadi *gasoline* (Prasad, 1985)

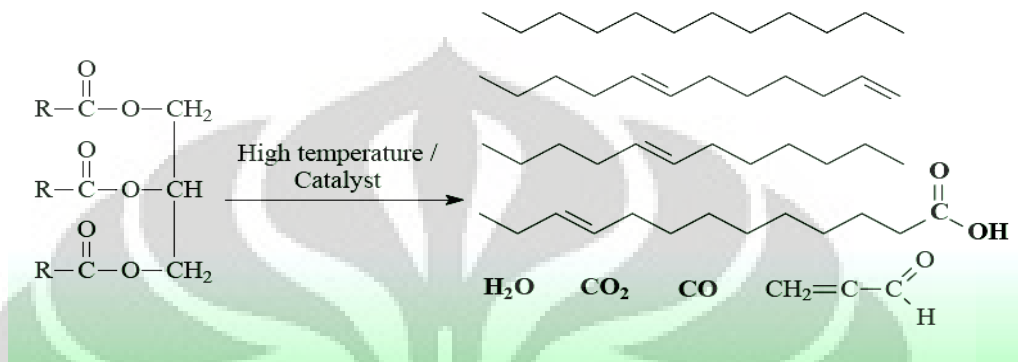
Sedangkan untuk reaksi perengkahan katalitik dari minyak kelapa sawit terjadi melalui beberapa tahapan dimana minyak kelapa sawit terengkah dan mengalami deoksigenasi, perengkahan, dan aromatisasi. Hidrokarbon berat dihasilkan dari reaksi deoksigenasi dan perengkahan kemudian hidrokarbon berat mengalami perengkahan kedua menghasilkan olefin ringan, parafin ringan, karbondioksida, karbon monoksida dan air. Olefin ringan kemudian mengalami reaksi oligomerisasi menghasilkan campuran dari olefin dan parafin yang lebih berat seperti kerosen dan solar. Sedangkan parafin yang lebih ringan membentuk *gasoline* (Tan, 1999). Alur dari perengkahan katalitik minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Alur reaksi perengkahan minyak kelapa sawit (Tan, 1999)

Berdasarkan penelitian lain perengkahan katalitik dari minyak kelapa sawit terdiri dari beberapa tahap yaitu:

1. Penghilangan gugus CO_2 pada trigliserida dan pembentukan hidrokarbon dengan katalis asam.



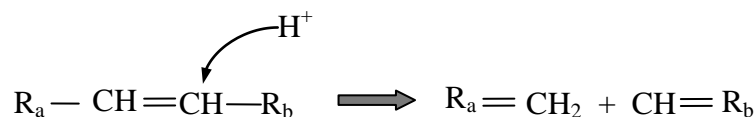
Gambar 2. 4 Reaksi *primary cracking* (Suarez, 2006)

Pada Gambar 2.4 katalis akan menyerang atom O pada $\text{C}=\text{O}$ sehingga terbentuk karbokation (senyawa karbon bermuatan positif) dan memutuskan rantai ikatan $\text{CO}_2\text{-C}$ pada ester sehingga menghasilkan CO_2 , H_2O , CO dan senyawa hidrokarbon yang berasal dari asam lemak. Setelah penghilangan CO_2 , jenis hidrokarbon yang dihasilkan dari berbagai asam lemak diberikan pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Asam lemak dan hidrokarbon yang terbentuk pada penghilangan CO_2

Asam Lemak	Hidrokarbon
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ Asam palmitat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}\text{CH}_3$ Pentadekana
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ Asam stearat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{CH}_3$ Heksadekana
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$ Asam oleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$ 5-Pentadekena
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ Asam linoleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$ 4,7-Heksadekena
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ Asam linolenat	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2=\text{CH}(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$ 3,6,9-Oktadekatriena

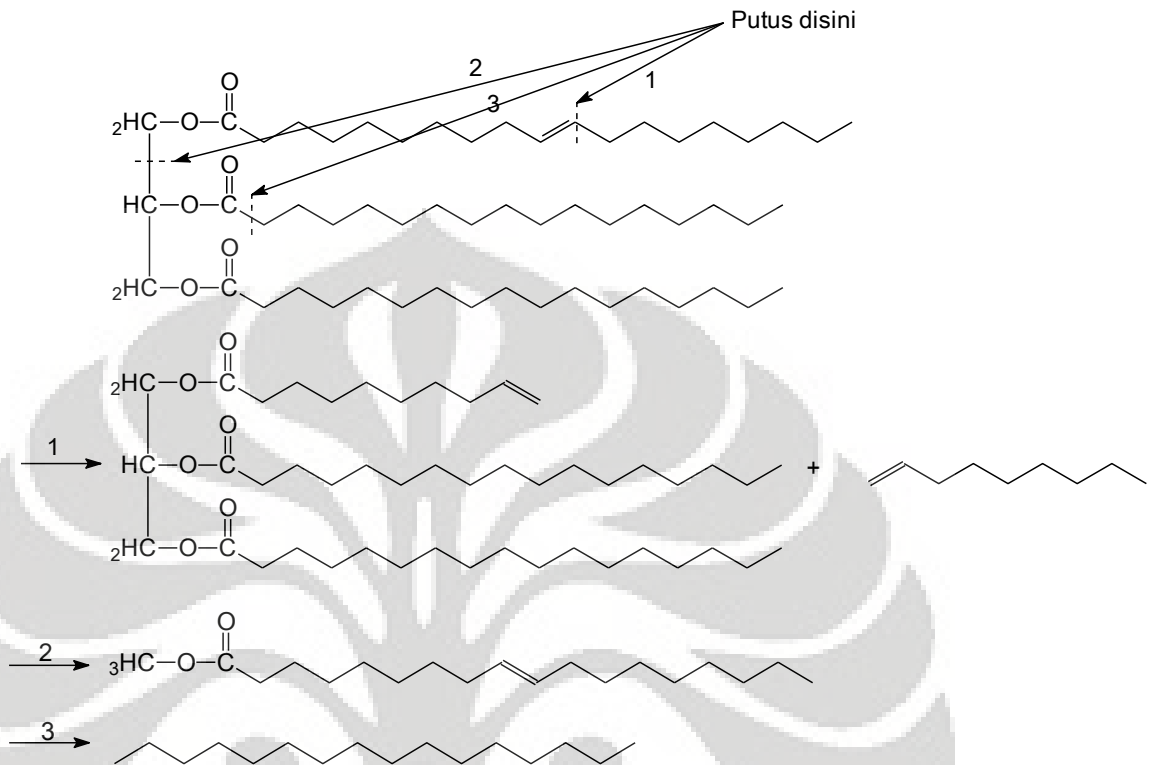
2. Reaksi Perengkahan dengan katalis asam



Gambar 2. 5 Reaksi perengkahan hidrokarbon (R₁)

Pada Gambar 2.5 ikatan pada hidrokarbon (R_b) yang terbentuk akan diserang oleh ion H⁺ pada katalis asam sehingga ikatan karbon terengah membentuk rantai karbon yang lebih pendek. Perengkahan semacam ini dilakukan hingga dihasilkan rantai hidrokarbon dengan 3 – 4 atom karbon.

Untuk perengkahan katalitik menggunakan katalis γ -alumina menurut penelitian sangat sulit diprediksi karena *shape selectivity* yang kecil sehingga kemungkinan produk yang dihasilkan akan beragam (Katikaneni, 1996). Berikut beberapa kemungkinan mekanisine reaksi yang terjadi.



Gambar 2. 6 Ilustrasi perengkahan menggunakan katalis γ -alumina

Dari pemaparan di atas dapat disimpulkan bahwa fraksi C_3 dan C_4 dapat dihasilkan dari minyak kelapa sawit melalui reaksi perengkahan katalitik apabila katalis yang digunakan dapat melakukan perengkahan lebih lanjut setelah terbentuknya fraksi hidrokarbon.

2.3 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

Liquified Petroleum Gas merupakan bahan bakar yang saat ini sedang marak-maraknya digalakkan terutama di Indonesia, dalam upaya mengurangi subsidi terhadap BBM. LPG tersusun dari hidrokarbon campuran propana, propilena, butana dan sedikit hidrokarbon berat lainnya. Spesifikasi standar mengenai kandungan LPG dapat terlihat pada Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Kandungan LPG (Nett Technology Inc., 2008)

Komposisi LPG (U.S. HD-5 standard)	
Propana	min.85% volum (cair)
Propilen	maks.5% volum (cair)
Butana & Hidrokarbon berat	maks. 2.5% volum (cair)
Sulfur	120 ppm

Dari tabel diatas terlihat bahwa LPG tersusun oleh sebagian besar hidrokarbon rantai pendek sehingga pembakaran pada LPG jauh lebih sempurna dibandingkan oleh minyak tanah. LPG memiliki nilai efisiensi 40% dan nilai kalor 3.7 juta Btu/barrel atau 26.61 giga joule/m³

2.4 Katalis Alumina (Al₂O₃)

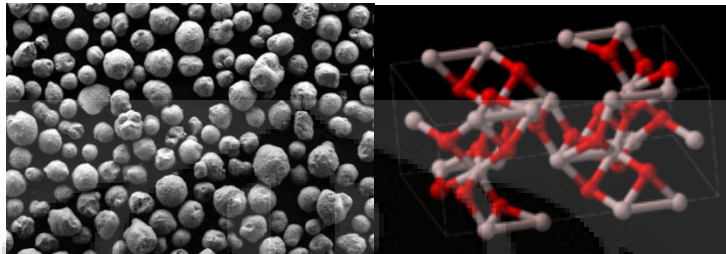
Aluminium Oksida (Al₂O₃) adalah senyawa kimia yang terdiri atas unsur aluminium dan oksigen. Senyawa ini biasa disebut alumina. Alumina merupakan salah satu jenis katalis asam yang diaplikasikan pada proses perengkahan katalitik. Adapun sifat fisik dan sifat kimia alumina adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Sifat fisik dan kimia Al₂O₃ (Wikipedia, 2008)

Formula Kimia	Al ₂ O ₃
Bentuk	Bubuk kristalin putih atau padat
Berat Molekul	101,96 gr/mol
Titik Leleh	2303 K
Titik Didih	3250 K
Densitas	3,97 x 10 ³ kg/m ³

Kekuatan asam pada katalis alumina terletak pada sisi asam katalis yang diasosiasikan dengan atom aluminium. Aluminium dengan keasaman yang tinggi dikelilingi oleh atom oksigen yang memiliki keelektronegatifan yang baik. Alumina terdiri dari alumina amorf dan alumina dengan struktur trigonal. Alumina dalam

bentuk amorf memiliki kekuatan asam yang lebih rendah daripada alumina dengan struktur trigonal. Distribusi atom alumina yang tidak merata adalah penyebab lemahnya kekuatan asam alumina amorf.



Gambar 2. 7 Struktur molekul alumina (Al_2O_3) (Wikipedia 2008)

Jenis katalis alumina yang digunakan adalah JRC-ALO-7, komposisi untuk katalis tersebut adalah:

Tabel 2. 5 Kandungan katalis JRC-ALO-7 (Wikipedia, 2008)

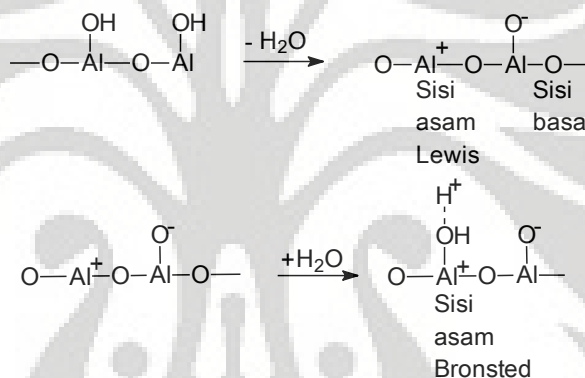
Jenis Katalis	JRC-ALO-7
% Fe_2O_3	< 0,01
% SiO_2	< 0,01
% Na_2O	< 0,0015
% TiO_2	-
% Cl	< 0,2
% Al_2O_3	> 99,6885
Struktur	Amorf
Luas Permukaan (m^2/g)	180

Pemilihan katalis untuk reaksi perengkahan katalitik dipilih berdasarkan sifat keasamannya. Katalis alumina merupakan salah satu katalis yang memiliki sifat asam yang cocok digunakan untuk merengkahkan senyawa yang memiliki rantai karbon yang panjang menjadi lebih pendek. Dari Tabel 2.6 dapat dilihat perbandingan beberapa katalis yang digunakan dalam reaksi perengkahan katalitik.

Tabel 2. 6 Karakteristik beberapa jenis katalis

Katalis	Asam, Basa, Netral	Jenis Keasaman	Rasio Si/Al	Kekuatan asam/basa	Ukuran Pori (nm)
Silikalit	Netral	-	Tidak ada Al	-	0.54
Silika	Netral	-	Tidak ada Al	-	11.46
Alumina	Asam	Bronsted dan Lewis	0	Sedang (asam)	14.93
Silika-Alumina	Asam	Bronsted dan Lewis	0.79	Sedang (asam)	3.15
Kalsium-Oksida	Basa	-	-	Kuat (basa)	11.86
Magnesium-Oksida	Basa	-	-	Lemah (basa)	15.22

Sisi asam dari alumina dapat dilihat pada reaksi dehidrasi pada preparasi alumina serta adsorpsi air pada permukaan katalis alumina berikut ini:



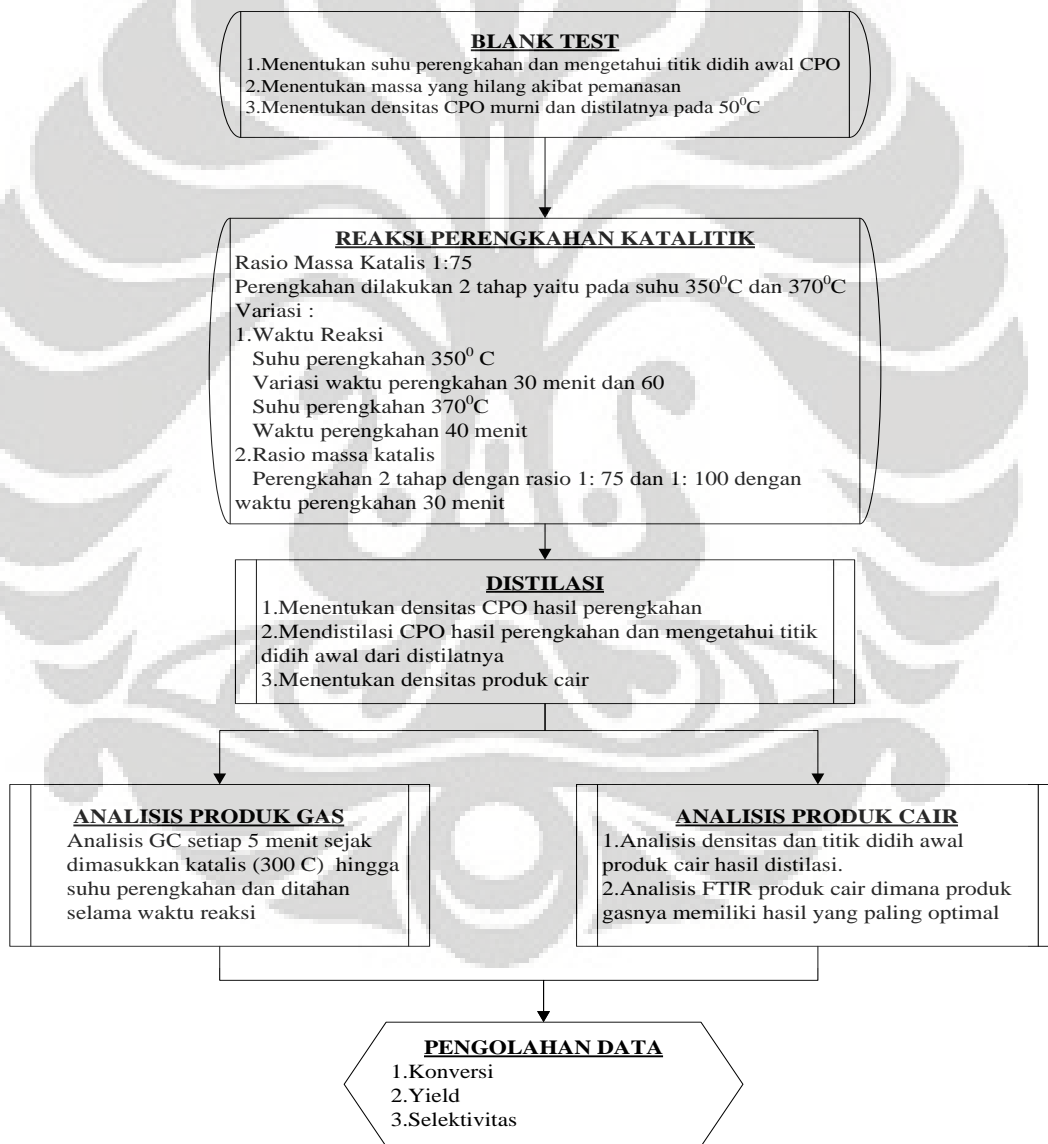
Sisi Bronsted akan menginisiasi reaksi ion karbonium dan sisi Lewis akan memberikan reaksi ion radikal. Keduanya ada meskipun pada prakteknya asam Bronsted lebih dominan.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini terdiri dari reaksi perengkahan katalitik, distilasi, analisis produk dan pengolahan data. Diagram alir penelitian ditunjukkan oleh bagan dibawah ini:



Gambar 3. 1 Skema penelitian

3.2 Variabel Penelitian

Kondisi operasi yang divariasikan dalam penelitian ini yaitu:

1. Waktu tinggal reaksi perengkahan katalitik minyak kelapa sawit

Waktu reaksi yang digunakan yaitu 30 menit untuk menaikkan suhu hingga 350°C; variasi waktu reaksi perengkahan pada suhu 350°C selama 30 menit dan 60 menit.

Perengkahan tahap 2 dengan suhu perengkahan 370 °C, waktu menaikkan suhu sampai 370°C selama 30 menit dan waktu perengkahan pada suhu 370 °C selama 40 menit.

2. Rasio massa katalis.

Perengkahan katalitik 2 tahap dengan rasio massa katalis 1:75 dan 1:100 pada waktu yang optimum.

Paramater yang dibuat tetap adalah

1. Suhu Reaksi

Suhu reaksi yang digunakan yaitu pada suhu 350°C untuk perengkahan menghasilkan CO₂ dan 370°C untuk perengkahan menghasilkan C₃ dan C₄

2. CPO yang digunakan

CPO yang digunakan adalah CPO yang belum diolah dan hanya dihilangkan kandungan airnya pada suhu 120 °C selama 1 jam.

Parameter yang ingin diketahui dari penelitian ini adalah

1. Konversi

2. Yield

3. Selektivitas

3.3 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- | | |
|------------------------|------------------------------------|
| 1. Reaktor kaca 100 ml | 12. Erlenmeyer 25 ml |
| 2. Stirrer | 13. Hot plate |
| 3. Gelas beaker | 14. Rangka insulator |
| 4. Gelas Ukur | 15. <i>Exhaust gas</i> |
| 5. Pipet | 16. <i>Stopwatch</i> |
| 6. Piknometer | 17. Pompa dan Selang plastik |
| 7. Viskometer | 18. Termokopel |
| 8. Cawan | 19. Statip |
| 9. Sendok | 20. <i>Gas Chromatography (GC)</i> |
| 10. Spatula | 21. FTIR |
| 11. Kondensor | 22. BET |

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Minyak kelapa sawit (CPO)
2. Katalis Alumina

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Blank Test

Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar massa CPO yang hilang ketika dilakukan pemanasan dan reaksi perengkahan pada suhu-suhu perengkahan. Selain itu, ditentukan pula densitas CPO murni dan distilat yang dihasilkannya.

Prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengambil 100 ml CPO dalam *beaker glass*, kemudian mencelupkan termokopel
2. Memanaskan CPO dalam *beaker glass* di atas *hot plate* hingga suhu 120⁰C selama 60 menit sehingga mencair dan hilang kandungan airnya
3. Mendinginkan CPO cair hingga suhu 50⁰C untuk kemudian diukur viskositasnya dan densitasnya (pada suhu 50⁰C) dengan piknometer

4. Memasukkan 30 ml CPO cair (50°C) ke dalam reaktor dan menimbang massa awal CPO
5. Melakukan distilasi terhadap CPO dengan mencatat volume dan massa distilat yang dihasilkan pada tiap suhu. Suhu distilasi dimulai dari suhu pertama kalinya terbentuk distilat, proses ditahan pada suhu tersebut hingga tidak ada lagi distilat yang dihasilkan. Setelah itu suhu dinaikkan dengan interval 10°C dan proses ditahan lagi. Suhu terus dinaikkan hingga mencapai suhu optimum distilasi. (370°C)
6. Mendinginkan sisa CPO dalam reaktor hingga suhu 50°C untuk kemudian ditimbang massa akhir CPO
7. Distilat pada tiap temperatur, setelah dicatat volume dan massanya, dicampurkan menjadi satu;
8. Memanaskan CPO tanpa menggunakan katalis untuk mengetahui massa CPO yang hilang yang terjadi selama proses pemanasan CPO. Proses ini dilakukan pada suhu 350°C dan 370°C

3.4.2 Reaksi Perengkahan Katalitik

Tujuan tahap ini adalah mendapatkan produk-produk yang diinginkan dengan merengkah CPO. Perengkahan dilakukan dua tahapan, yaitu perengkahan pada suhu 350°C dan perengkahan tahap kedua pada suhu 370°C . Adapun prosedur yang dilakukan adalah

1. Memasukkan 30 ml CPO cair (50°C) ke dalam reaktor dan menimbang massa awal CPO
2. Menimbang katalis dengan rasio massa katalis/CPO 1:75
3. Memasang termokopel pada reaktor dan kondenser pada reaktor kemudian memasukkan katalis pada saluran katalis.
4. Memasukkan *stirrer* dan memutar *stirrer* pada skala 1.
5. Memanaskan CPO dan setelah suhu CPO mencapai 300°C , katalis dimasukkan ke dalam reaktor.

6. Menaikkan suhu hingga mencapai suhu perengkahan pertama (350°C) dalam rentang waktu 30 menit.
7. Mengambil sampel gas dengan *syringe* pada tiap rentang waktu 5 menit sejak dimasukkan katalis untuk dilakukan analisis GC
8. Menahan reaksi selama 30 menit pada suhu perengkahan 350°C
9. Mematikan hot plate dan mendinginkan sisa CPO dalam reaktor hingga suhu 50°C
10. Memisahkan antara CPO dan katalis untuk selanjutnya dilakukan perengkahan tahap ke-2
11. Memasukkan 20 ml CPO sisa reaksi tahap ke-1 (50°C) ke dalam reaktor dan menimbang massa awal CPO
12. Menimbang katalis dengan rasio massa katalis/CPO 1:75
13. Memasang termokopel pada reaktor dan kondenser pada reaktor kemudian memasukkan katalis pada saluran katalis.
14. Memasukkan *stirrer* dan memutar *stirrer* pada skala 1.
15. Memanaskan CPO dan setelah suhu CPO mencapai 300°C , katalis dimasukkan ke dalam reaktor.
16. Menaikkan suhu hingga mencapai suhu perengkahan tahap ke-2 (370°C) dalam rentang waktu 30 menit.
17. Mengambil sampel gas dengan *syringe* pada tiap rentang waktu 5 menit sejak dimasukkan katalis untuk dilakukan analisis GC
18. Menahan reaksi selama 40 menit pada suhu perengkahan 350°C .
19. Mematikan *hot plate* dan mendinginkan sisa CPO dalam reaktor hingga suhu 50°C .
20. Mengukur densitas CPO dan menyimpan residu hasil perengkahan untuk dilakukan distilasi
21. Kemudian pada waktu optimum divariasikan rasio massa katalis dengan perbandingan katalis/CPO 1:75 dan 1:100

22. Menimbang massa akhir CPO dan mengukur densitasnya (pada suhu 50°C) dengan piknometer

3.4.3 Tahap Distilasi

Tujuan tahap ini adalah mendapatkan produk ringan distilat yang dihasilkan dari CPO hasil perengkahan untuk kemudian dibandingkan dengan distilat CPO murni. Berdasarkan pengukuran densitas serta hasil dari analisis GC, dan FTIR dapat diperkirakan perubahan jumlah dan komposisi senyawa yang terkandung dalam CPO sebelum dan setelah reaksi perengkahan. Prosedur pada tahap ini adalah sebagai berikut :

1. Menimbang massa awal distilasi dari CPO hasil perengkahan dalam reaktor.
2. Melakukan distilasi dengan mencatat volume dan massa distilat yang dihasilkan pada tiap suhu. Suhu distilasi dimulai dari suhu pertama kalinya terbentuk distilat, proses ditahan pada suhu tersebut hingga tidak ada lagi distilat yang dihasilkan. Setelah itu suhu dinaikkan dengan interval 10°C dan proses ditahan lagi. Suhu terus dinaikkan hingga mencapai suhu optimum distilasi yang ditentukan pada tahap *blank test*.
3. Mendinginkan sisa CPO dalam reaktor hingga suhu 50°C untuk kemudian ditimbang massa akhir CPO.
4. Melakukan analisis FTIR terhadap distilat dari sampel dengan produk gas yang memiliki massa dan komposisi hidrokarbon C_3 dan C_4 yang paling optimum berdasarkan hasil analisis GC produk gas-nya.

3.4.4 Tahap Analisis Produk

Tujuan tahap ini adalah mendapatkan data yang berguna dalam perhitungan hasil dan analisis. Analisis yang dilakukan terhadap produk adalah :

1. Densitas

Pengukuran densitas dilakukan terhadap CPO murni, CPO hasil perengkahan katalitik dan distilatnya. Tujuannya untuk mengetahui terjadinya perengkahan dengan menganalisa perubahan densitas. Pengukuran densitas dilakukan pada suhu 50°C dikarenakan pada suhu ruang CPO murni masih berfasa padat.

Densitas ditentukan dengan menggunakan alat piknometer (10 ml) sesuai dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Menimbang massa piknometer kosong
- b. Memasukkan sampel bersuhu 50⁰C ke dalam piknometer hingga hampir penuh
- c. Menutup piknometer dan memastikan tidak ada gelembung udara
- d. Menimbang massa piknometer berisi sampel
- e. Menentukan densitas

$$\rho = \frac{\text{massa piknometer berisi sampel} - \text{massa piknometer kosong}}{\text{volume sampel (10 ml)}}$$

2. Gas Chromatography (GC)

Analisis GC bertujuan untuk mengetahui jenis dan komposisi dari komponen yang terdapat dalam sampel. Sampel yang digunakan adalah produk gas hasil reaksi perengkahan minyak kelapa sawit.

3. Forier Transform Infra Red (FTIR)

Analisis FTIR bertujuan untuk mengetahui jenis ikatan kimia dari senyawa-senyawa yang terkandung dalam sampel. Analisis ini digunakan untuk untuk membandingkan ikatan kimia yang terdapat dalam produk cair hasil distilasi dari CPO hasil perengkahan dan CPO murni.

3.4.5 Pengolahan Data

Tujuan tahap ini adalah mendapatkan nilai parameter yang diinginkan dalam penelitian. Data yang diperoleh dari penelitian yaitu:

1. Reaktan
 - Massa CPO pada awal tahap reaksi perengkahan katalitik.
2. Produk
 - a. Produk gas ditentukan dari massa yang hilang pada saat reaksi perengkahan katalitik. Kandungan komposisi dari produk gas ditentukan dengan analisis GC.

- b. Produk cair ditentukan dari jumlah distilat hasil perengkahan pada tahap distilasi. Kandungan produk cair ditentukan dari perhitungan densitas dan analisis FTIR

3. Residu

Massa CPO awal reaksi dikurangi dengan massa produk gas dan cair.

Pengolahan data dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

Pengolahan data dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

1. **Konversi** = $\frac{\text{massa reaktan}-\text{massa residu}}{\text{massa reaktan}} \times 100 \%$
2. **Yield** = $\frac{\text{massa hidrokarbon C}_3 \text{ dan C}_4}{\text{massa reaktan}} \times 100 \%$
3. **Selektivitas** = $\frac{\text{massa hidrokarbon C}_3 \text{ dan C}_4}{\text{massa reaktan}-\text{massa residu}} \times 100 \%$

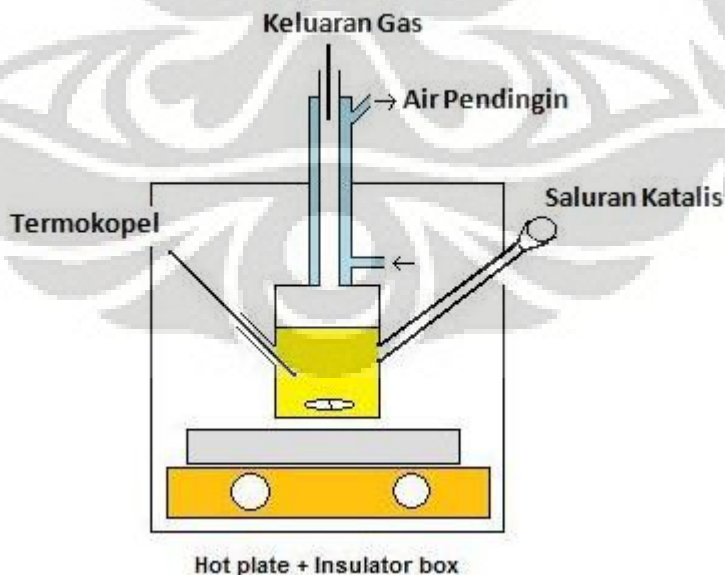
Dimana

massa reaktan = massa CPO pada awal tahap reaksi perengkahan

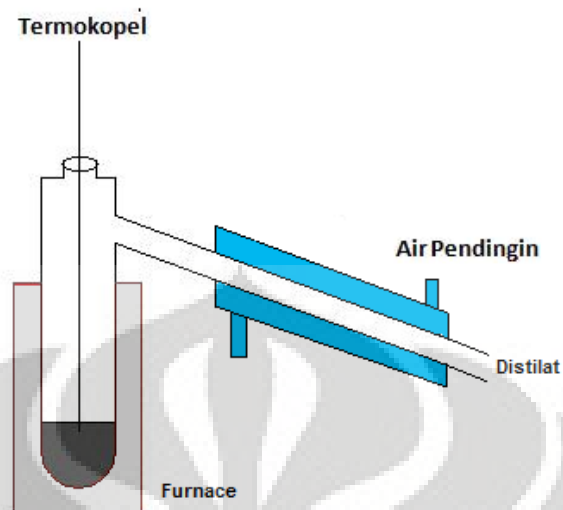
massa residu = massa CPO pada awal tahap reaksi perengkahan dikurangi dengan massa produk gas dan cair

massa hidrokarbon C₃ dan C₄ = massa fraksi C₃ dan C₄ dalam aliran produk gas

3.4.6 Gambar Skema Alat Penelitian



Gambar 3. 2 Skema alat perengkahan katalitik



Gambar 3. 3 Skema alat distilasi

3.5 Pelaksanaan Penelitian

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

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Percobaan

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh senyawa hidrokarbon fraksi C₃ dan C₄ yang berfasa gas dari reaksi perengkahan katalitik senyawa trigliserida yang terdapat pada minyak kelapa sawit mentah (CPO). Reaksi perengkahan dilakukan dengan menggunakan katalis asam alumina standar (Al₂O₃) Japan Reference Catalyst-ALO-7. Secara garis besar penelitian ini terdiri dari empat tahap yaitu *blank test*, reaksi perengkahan katalitik tahap 1 dan tahap 2, serta tahap distilasi. Variasi yang digunakan adalah waktu reaksi dan variasi rasio massa katalis/CPO di mana reaksi dilakukan secara tumpak dengan tekanan atmosferik pada fasa cair.

Sebelum pelaksanaan reaksi perengkahan, dilakukan preparasi terhadap katalis terlebih dahulu. Katalis yang masih memiliki ukuran partikel yang besar dihaluskan untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih kecil. Kemudian katalis dikalsinasi menggunakan *furnace* pada suhu 400°C untuk aktivasi katalis yaitu dengan terbentuknya inti asam Bronsted serta untuk meningkatkan luas permukaan katalis seiring dengan menguapnya air yang mengisi pori-pori katalis. Setelah dikalsinasi katalis diletakkan pada desikator untuk mencegah masuknya uap air ke dalam pori-pori katalis (Richardson, 1989).

4.1.1 Tahap *Blank Test*

Tujuan tahap *blank test* ini adalah untuk menentukan kehilangan CPO akibat penguapan yang terjadi pada proses pemanasan CPO tanpa menggunakan katalis, yang akan dijadikan pembanding dengan hasil reaksi perengkahan dengan menggunakan katalis. Pada tahap ini pertama kali dilakukan pemanasan terhadap CPO sampai 120 °C selama 1 jam untuk mencairkan CPO dan menghilangkan kandungan air yang masih terkandung di dalam CPO. Selanjutnya dilakukan

pengukuran densitas dan dan viskositas CPO pada suhu 50 °C, karena pada suhu kamar CPO akan membeku. Sehingga untuk setiap pengukuran dilakukan standarisasi pada suhu 50 °C. Pengukuran CPO ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal dari CPO yang akan menjadi pembanding dengan CPO hasil reaksi perengkahan katalitik.

Uji densitas dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi perengkahan pada CPO. Apabila reaksi perengkahan telah terjadi maka akan terjadi penurunan densitas pada residu hasil perengkahan katalitik karena rantai panjang asam lemak pada senyawa trigliserida telah terpotong menjadi senyawa dengan rantai yang lebih pendek.

Tabel 4. 1 Sifat fisik dan kimia CPO

Densitas pada 50 °C	0.875 kg/L
Viskositas pada 50 °C	27.06 cs
Titik didih pada 1 atm	373 °C

Selanjutnya dilakukan uji distilasi terhadap CPO murni untuk mengetahui titik didih awal (*Initial Boiling Point, IBP*) dari CPO. Dari distilasi yang dilakukan diketahui bahwa titik didih CPO adalah 373 °C. Oleh karena itu dilakukan reaksi perengkahan pada suhu di bawah suhu 373 °C. Reaksi perengkahan tahap 1 yaitu pada suhu 350 °C karena berdasarkan penelitian sebelumnya (Hidayat, 2007) diperoleh produk CO₂ pada suhu ini sedangkan produk C₃ dan C₄ belum terbentuk, dan reaksi perengkahan tahap 2 pada suhu 370 °C karena pada suhu perengkahan yang lebih tinggi diperoleh produk gas yang lebih banyak. Pada reaksi perengkahan ini karena *hot plate* yang digunakan tidak otomatis maka dilakukan perengkahan pada suhu perengkahan dengan menggunakan *range* suhu yaitu untuk suhu perengkahan 350 °C dengan *range* suhu 340 °C – 360 °C dan suhu perengkahan 370 dengan *range* suhu 360 °C – 373 °C.

Untuk mengetahui massa CPO yang hilang akibat pemanasan maka dilakukan reaksi perengkahan tanpa menggunakan katalis. Pertama-tama CPO sebanyak 30 ml di masukkan kedalam reaktor dan di reaksi pada suhu perengkahan selama 60

menit untuk diketahui sejumlah massa CPO yang hilang akibat pemanasan tanpa katalis. Hal ini dilakukan sebagai pembandingan dengan massa CPO yang hilang ketika perengkahan katalitik. Sehingga diketahui jumlah massa yang hilang akibat perengkahan oleh katalis alumina yang digunakan. Pada tahap ini CPO yang berkurang selama tahap *blank test* bervariasi tergantung lamanya waktu reaksi. Jika total waktu reaksi hanya 1 jam maka massa yang hilang hanya 1 gram, sedangkan jika waktu reaksi ditambah menjadi 1,5 jam dan 2 jam massa yang hilang menjadi 2 – 3 gram.

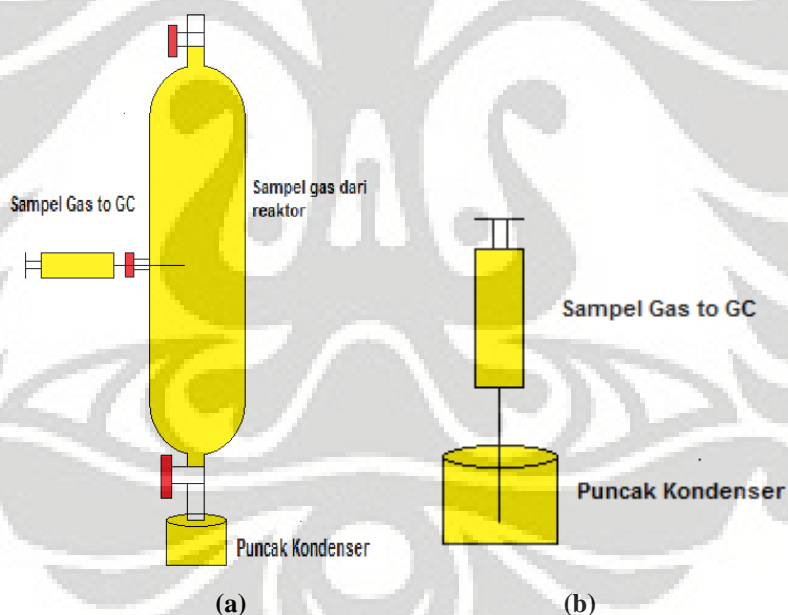
4.1.2 Tahap Perengkahan Katalitik

Pada tahap ini dimasukkan ke dalam reaktor 30 ml CPO. Kemudian memasang tabung kondensor secara vertikal agar terjadi *full-reflux* terhadap produk yang dihasilkan sehingga yang keluar dari atas tabung kondensor saat pengambilan sampel adalah murni produk gas. Di samping itu diharapkan produk yang sudah terengkah dapat direngkah lagi saat di *reflux*.

Pada tahap perengkahan katalitik ini katalis tidak langsung dimasukkan ke dalam reaktor. Tetapi katalis dimasukkan ke dalam saluran katalis yang memiliki valve untuk lewatnya katalis. Katalis selanjutnya akan dimasukkan ke dalam reaktor untuk dilakukan perengkahan katalitik pada setelah suhu mencapai 300 °C. Hal ini bertujuan untuk mencegah katalis *coking* lebih cepat. Oleh karena suhu reaksi yang diinginkan adalah 350 °C dan 370 °C, maka semakin dekat suhu pemasukkan katalis dengan suhu reaksi akan dihasilkan produk yang lebih banyak. Selain itu juga bertujuan agar katalis bekerja pada suhu reaksi sehingga energi yang diperlukan katalis untuk merengkah CPO menjadi produk gas telah tersedia.

Setelah dimasukkan katalis maka setiap 5 menit dilakukan pengambilan data GC sambil dilakukan pemanasan menuju suhu reaksi yaitu 350 °C atau 370°C. Tujuan analisa GC ini untuk mengetahui produk gas yang terbentuk semenjak dimasukkannya katalis sampai akhir reaksi. Selanjutnya setelah mencapai suhu reaksi yang diinginkan, reaksi ditahan pada suhu konstan sampai waktu reaksi yang diinginkan.

Pengambilan sampel gas dilakukan secara langsung dari keluaran gas dari kondenser menggunakan *syringe*. Hal ini dilakukan karena jika menggunakan *gas trap* terlebih dahulu baru kemudian dilakukan pengambilan gas menggunakan *syringe*, analisa GC yang didapatkan tidak memperoleh produk apa-apa selain *peak* udara. Sedangkan jika dilakukan pengambilan gas secara langsung, produk gas yang terdeteksi dari analisa GC sangat banyak dan berbeda jauh jika menggunakan *gas trap* terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan produk gas yang terbentuk sangat sedikit dibandingkan udara, sehingga jika dilakukan pengambilan gas melalui *gas trap* terlebih dahulu menyebabkan gas yang masuk ke dalam *syringe* hanya udara saja. Akibatnya saat dilakukan analisis GC produk gas yang terbentuk hanya *peak* udara. Tetapi jika dilakukan pengambilan gas secara langsung ke dalam *syringe* maka gas yang masuk langsung produk gas dari reaksi sehingga produk gas yang terbentuk dapat terbaca *peak*nya oleh analisis GC.



Gambar 4. 1 Skema pengambilan produk gas (a) menggunakan *Gas Trap* (b) langsung tanpa *Gas Trap*

Data yang diperoleh pada tahap perengkahan katalitik ini yaitu:

- (a) Data GC produk gas yang terbentuk selama perengkahan katalitik
- (b) Densitas Residu hasil perengkahan katalitik (pada suhu 50 °C)
- (c) Massa yang hilang akibat perengkahan katalitik

4.1.3 Tahap Distilasi

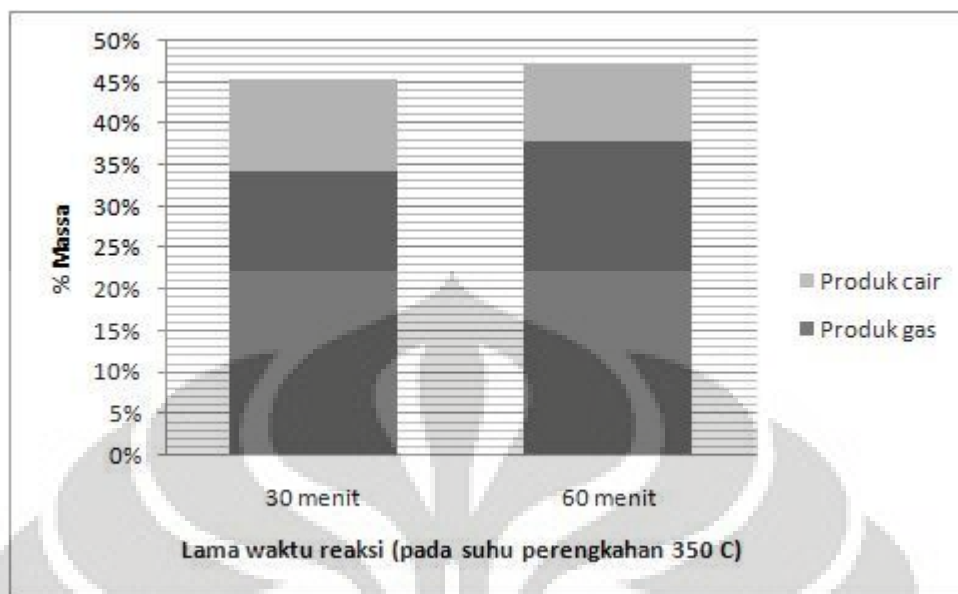
Berdasarkan penelitian sebelumnya (Iswara, 2006) diketahui bahwa perengkahan katalitik akan memotong hidrokarbon rantai panjang pada struktur trigliserida CPO menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek. Hal ini berarti, selain dihasilkan hidrokarbon ringan sebagai produk gas, dihasilkan pula hidrokarbon rantai pendek C_{5+} . Oleh karena itu, perlu pula dilakukan analisis terhadap produk cair hasil perengkahan minyak kelapa sawit. Hal ini dilakukan dengan cara mendistilasi CPO hasil perengkahan untuk menentukan produk cair dari perengkahan katalitik/distilat. Distilat yang merupakan produk cair perengkahan CPO ini juga kemudian dihitung densitasnya. Densitas dari produk cair ini akan dibandingkan dengan densitas CPO murni untuk mengidentifikasi terjadinya perengkahan terhadap reaktan minyak kelapa sawit.

Pada tahap distilasi ini, minyak hasil reaksi, dipanaskan sampai suhu optimum distilasi yaitu $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ lalu ditahan pada suhu tersebut. Hasil distilat yang keluar ditampung dan distilasi diteruskan sampai tidak ada lagi hasil distilat yang keluar.

Hasil dari tahap distilasi akan dibandingkan dengan data distilat dari tahap blank test. Tahap ini dilakukan untuk menganalisa perubahan distilat yang terbentuk. Makin banyak distilat yang terbentuk artinya fraksi ringan yang ada di dalam sampel semakin banyak, dan dapat dijadikan parameter tingkat perengkahan yang terjadi.

4.2 Pengaruh Lama Waktu Reaksi terhadap Produk

Dari analisis *Gas Chromatography* (GC) terhadap sampel produk gas, diketahui kandungan dan komposisi senyawa produk gas hasil perengkahan minyak kelapa sawit pada variasi lama waktu reaksi seperti diberikan pada Gambar 4.2



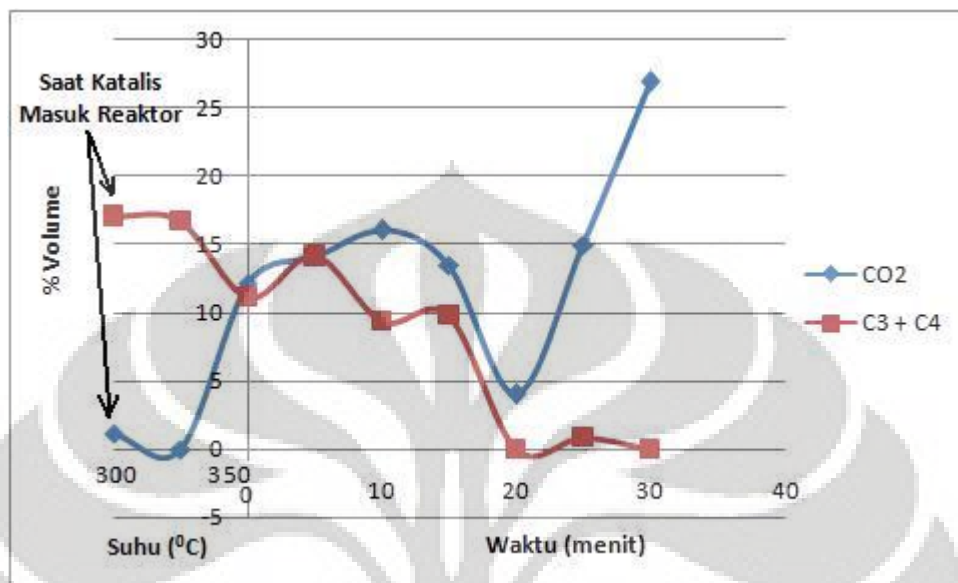
Gambar 4. 2 Pengaruh lama waktu reaksi terhadap produk (rasio katalis/CPO 1:75)

Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat bahwa lama dengan massa rasio katalis yang sama yaitu 1:75, semakin lama waktu reaksi tidak terlalu mempengaruhi produk gas yang dihasilkan, tetapi hanya meningkatkan sedikit jumlah produk gas. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu reaksi semakin banyak katalis yang telah mengalami deaktivasi (*coking*). Pada peningkatan lama waktu reaksi jumlah produk cair dan produk gas tidak signifikan yang menandakan bahwa penambahan waktu reaksi setelah 30 menit tidak mempengaruhi jumlah produk karena katalis telah mengalami deaktivasi.

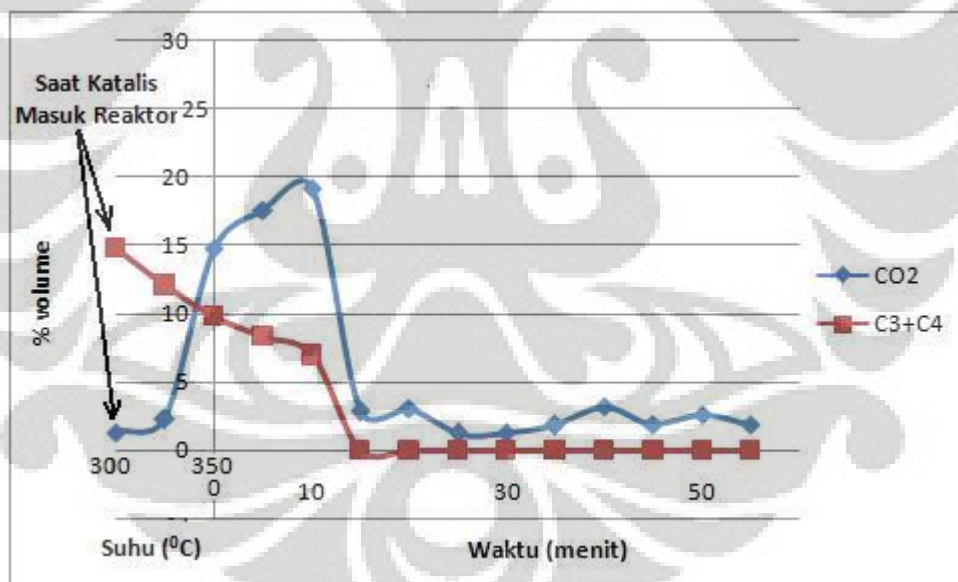
Namun terdapat sedikit perbedaan di produk cair, pada lama waktu reaksi 60 menit dimana jumlah produk cair yang semakin sedikit. Hal ini dikarenakan katalis setelah lama waktu reaksi 30 menit masih ada yang belum terdeaktivasi sehingga katalis tersebut merengkah hidrokarbon rantai pendek C_{5+} yang telah terbentuk (yang akan menjadi produk cair) menjadi hidrokarbon yang lebih pendek (yang akan menjadi produk ringan/gas). Hal ini terlihat dari meningkatnya persentase dari produk gas dan menurunnya persentase produk cair seperti yang terlihat pada Gambar 4.2

Oleh karena pada penelitian ini produk yang diinginkan adalah hidrokarbon C_3 dan C_4 , dan perengkahan yang terjadi pada penelitian sebelumnya adalah perengkahan gugus CO_2 pada trigliserida terlebih dahulu baru kemudian terjadi

perengkahan hidrokarbon rantai panjang yang akan menghasilkan produk C_3 dan C_4 . Maka yang dianalisa lebih lanjut adalah produk C_3, C_4 dan CO_2 .



Gambar 4.3 Grafik CO_2 , C_3 dan C_4 pada lama waktu reaksi 30 menit



Gambar 4.4 Grafik CO_2 , C_3 dan C_4 pada lama waktu reaksi 60 menit

Dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 diatas terlihat bahwa pada rentang waktu 30 menit katalis masih belum terdeaktivasi. Hal itu terlihat dari produk CO_2 yang masih menunjukkan *trend* positif sedangkan pada lama waktu reaksi 60 menit masih terjadi perengkahan terhadap CO_2 sampai akhir reaksi tetapi jumlahnya sangat sedikit yang

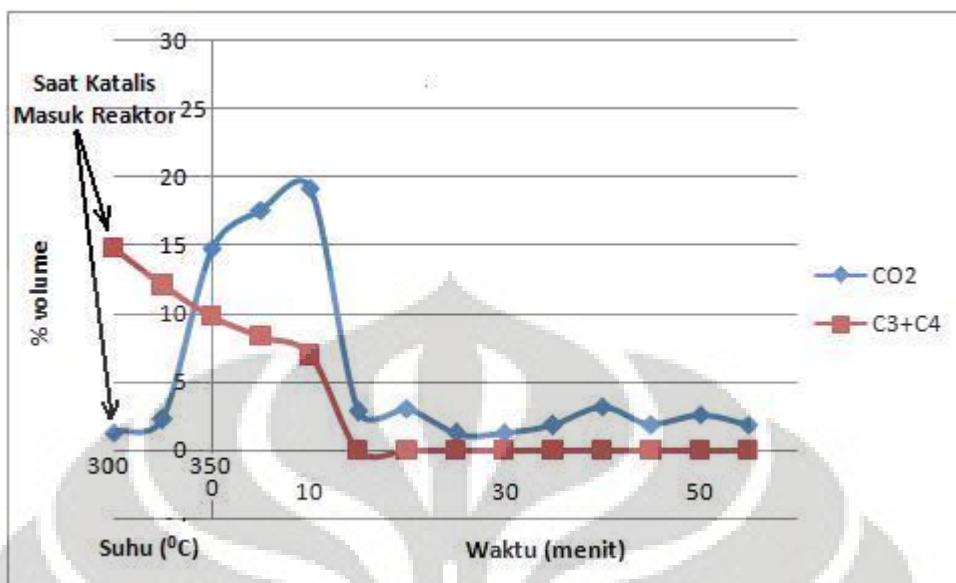
menandakan bahwa katalis sudah terdeaktivasi hanya sebagian kecil saja yang masih aktif merengkah CO₂.

Berdasarkan fenomena yang terjadi diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan waktu reaksi sampai 60 menit tidak terlalu mempengaruhi produk karena katalis telah terdeaktivasi. Sehingga penambahan waktu reaksi dari 30 menit menjadi 60 menit tidak signifikan menghasilkan produk yang lebih banyak walau terjadi sedikit peningkatan jumlah produk gas.

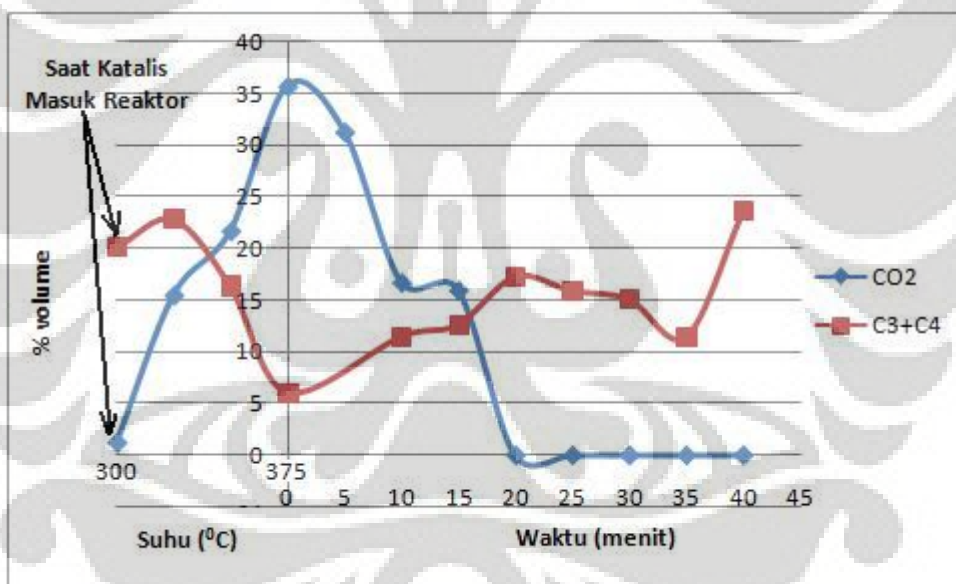
4.3 Pengaruh Suhu Perengkahan terhadap Produk

Dalam penelitian ini dilakukan perengkahan katalitik 2 tahap reaksi yaitu reaksi perengkahan katalis tahap pertama pada suhu reaksi 350 °C dan perengkahan katalitik tahap kedua pada suhu reaksi 370 °C. Perengkahan tahap pertama ditujukan untuk merengkah gugus CO₂ karena berdasarkan penelitian sebelumnya (Hidayat, 2007) pada suhu 350 °C tidak ada produk yang terbentuk selain CO₂. Perengkahan CO₂ pada trigliserida ini akan menyediakan hidrokarbon rantai panjang yang akan direngkah pada perengkahan tahap kedua. Pada perengkahan tahap kedua akan dimasukkan katalis dengan perbandingan yang sama dengan tujuan untuk menyediakan katalis baru yang akan merengkah hidrokarbon yang tersedia pada perengkahan tahap pertama menjadi produk C₃ dan C₄.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil yang sangat berbeda dengan penelitian sebelumnya (Hidayat, 2007) dimana pada suhu perengkahan 350 °C tidak terbentuk produk C₃ dan C₄. Tetapi pada penelitian ini dihasilkan produk C₃ dan C₄ sejak pertama katalis dimasukkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 bahwa pada suhu 350 °C telah terbentuk produk C₃ dan C₄.



Gambar 4. 5 Produk CO₂, C₃ dan C₄ pada suhu perengkahan 350 °C dengan katalis/CPO 1:75



Gambar 4. 6 Produk CO₂, C₃ dan C₄ pada suhu perengkahan 370 °C dengan katalis/CPO 1:75

Dari Gambar 4.5 terlihat bahwa produk C₃ dan C₄ telah terbentuk sejak katalis mulai dimasukkan pada suhu 300 °C. Hal ini dikarenakan pada CPO terdapat hidrokarbon ikatan ganda. Sehingga katalis langsung merengkah hidrokarbon rantai panjang yang menghasilkan produk C₃ dan C₄. Setelah beberapa saat baru mulai terbentuk produk CO₂ karena untuk membentuk produk CO₂ perengkahan yang

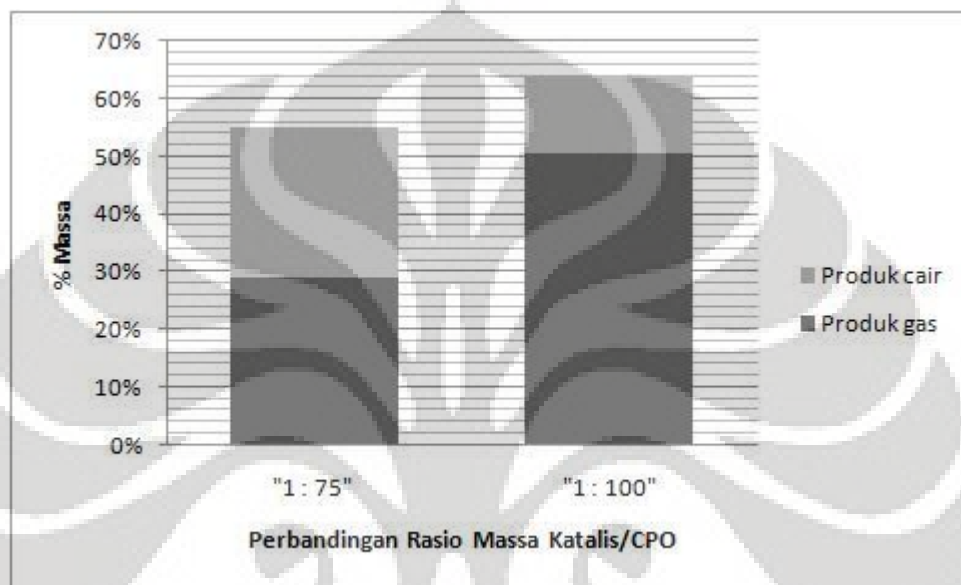
terjadi melalui senyawa oksigenat terlebih dahulu (penjelasan lebih lanjut pada mekanisme reaksi). Kemudian terjadi peningkatan produk CO_2 karena telah tersedia banyak oksigenat yang terengah lebih lanjut menjadi produk CO_2 dan hidrokarbon rantai panjang. Namun setelah beberapa lama terjadi penurunan produk CO_2 yang dikarenakan katalis sudah mulai terdeaktivasi sehingga kinerja katalis untuk merengkah gugus pada CPO terus berkurang. Selain itu juga dikarenakan hidrokarbon rantai panjang yang belum tersedia. Sehingga produk C_3 dan C_4 tidak lagi terbentuk.

Sedangkan pada Gambar 4.6 yang merupakan perengkahan tahap kedua pada suhu reaksi 370°C terjadi fenomena yang hampir sama pada awal reaksi. Dimana ketika katalis baru saja dimasukkan maka katalis akan merengkah gugus hidrokarbon rantai panjang yang menghasilkan produk C_3 dan C_4 lalu terjadi penurunan yang diikuti peningkatan produk CO_2 karena katalis mulai merengkah gugus $\text{C}=\text{O}$. Tetapi setelah reaksi berjalan pada suhu perengkahan tahap kedua yaitu suhu 370°C terlihat terjadi penurunan produk CO_2 tetapi juga terjadi peningkatan produk C_3 dan C_4 . Dari fenomena tersebut disimpulkan bahwa pada suhu perengkahan 370°C telah tersedia banyak energi yang cukup untuk merengkah hidrokarbon rantai panjang yang akan terjadi perengkahan secara konsekutif sehingga terbentuklah produk C_3 dan C_4 yang diinginkan. Selain itu peningkatan produk C_3 dan C_4 ini juga dikarenakan telah tersedianya hidrokarbon rantai panjang dalam jumlah yang banyak karena reaksi perengkahan gugus $\text{C}=\text{O}$ baik pada reaksi perengkahan tahap 1 maupun pada awal reaksi perengkahan tahap 2. Sehingga menyebabkan peningkatan produk C_3 dan C_4 dan tidak lagi terbentuk produk CO_2 .

Hal ini mendukung hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Rieski dan Hidayat (2007) untuk perengkahan C_3 dan C_4 pada suhu perengkahan yang lebih tinggi akan menghasilkan produk yang lebih banyak karena tersedia energi yang lebih besar.

4.4 Pengaruh Rasio Massa Katalis/CPO Reaksi terhadap Produk

Pada penelitian ini selain dilakukan variasi lama waktu perengkahan juga dilakukan variasi rasio massa katalis/CPO dimana digunakan waktu yang optimum sebagai lama waktu reaksinya yaitu 30 menit. Rasio massa katalis/CPO yang digunakan adalah 1:75 dan 1:100.



Gambar 4. 7 Perbandingan produk reaksi dengan rasio massa katalis/CPO 1:75 dan 1:100

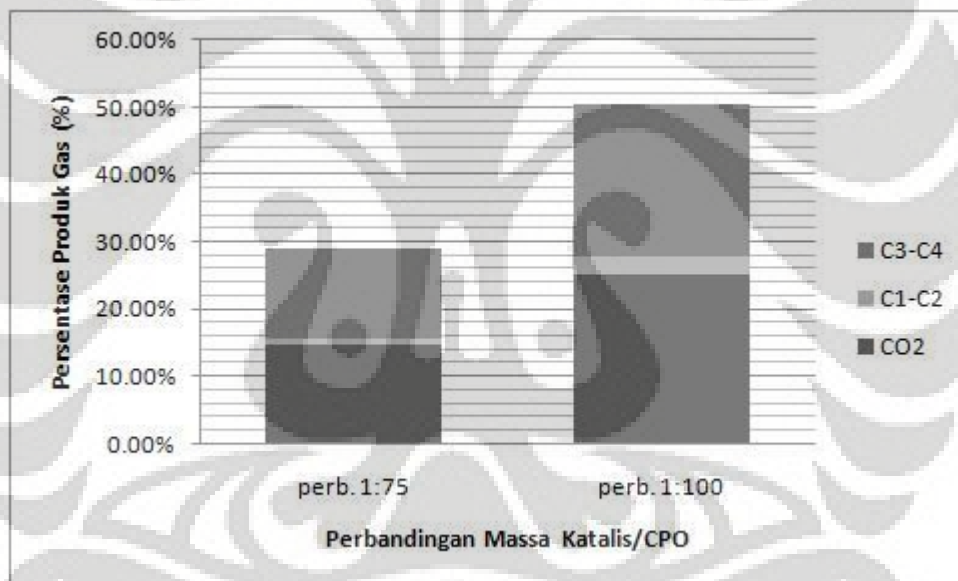
Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa produk yang dihasilkan katalis/CPO dengan perbandingan 1 : 100 lebih banyak dibandingkan dengan perbandingan katalis/CPO 1 : 75. Padahal, makin kecil rasio massa CPO/katalis maka *acid amount* dalam reaktan akan semakin besar, sehingga:

- semakin banyak permukaan yang dapat mengadsorpsi reaktan,
- semakin banyak reaktan yang terengkah
- hidrokarbon produk perengkahan akan teradsorb juga pada permukaan katalis
- hidrokarbon produk perengkahan dapat terengkah lagi menjadi hidrokarbon yang lebih pendek

Hal ini kemungkinan inti asam yang semakin banyak dapat mengakibatkan perengkahan yang terjadi menjadi tidak terkontrol di mana katalis tidak lagi memotong pada ikatan rangkap tetapi juga pada ikatan jenuh. Akibatnya reaksi menjadi tidak spesifik untuk menghasilkan C₃ dan C₄ sehingga fraksinya akan

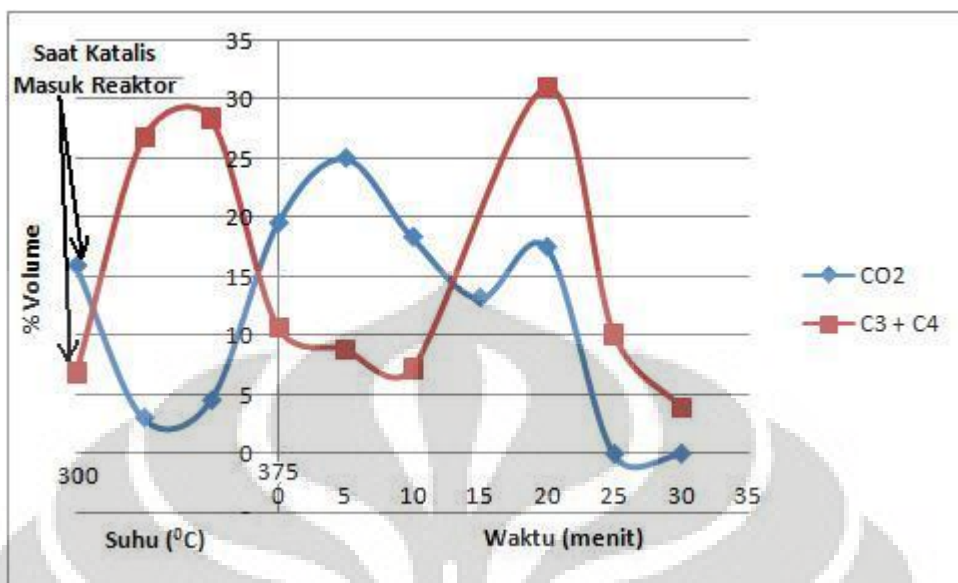
menurun. Hal ini juga terlihat dari jumlah produk cair yang meningkat yang menandakan perengkahan yang terjadi bukan perengkahan konsekutif yaitu perengkahan lanjutan terhadap hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek C_3 dan C_4 , yang terjadi hanya perengkahan hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek diatas C_{5+} yang menjadi produk cair.

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Rieski, 2007) juga menunjukkan kecenderungan yang serupa, dimana rasio massa katalis/CPO 1:100 menghasilkan yield lebih banyak dibanding 1:75. Penelitian lainnya untuk mensintesis C_3 dan C_4 dari minyak jarak menggunakan katalis alumina (Dianita, 2008) juga menunjukkan kecenderungan serupa, dimana aktifitas katalis menurun dengan penambahan jumlah katalis pada rasio tertentu.

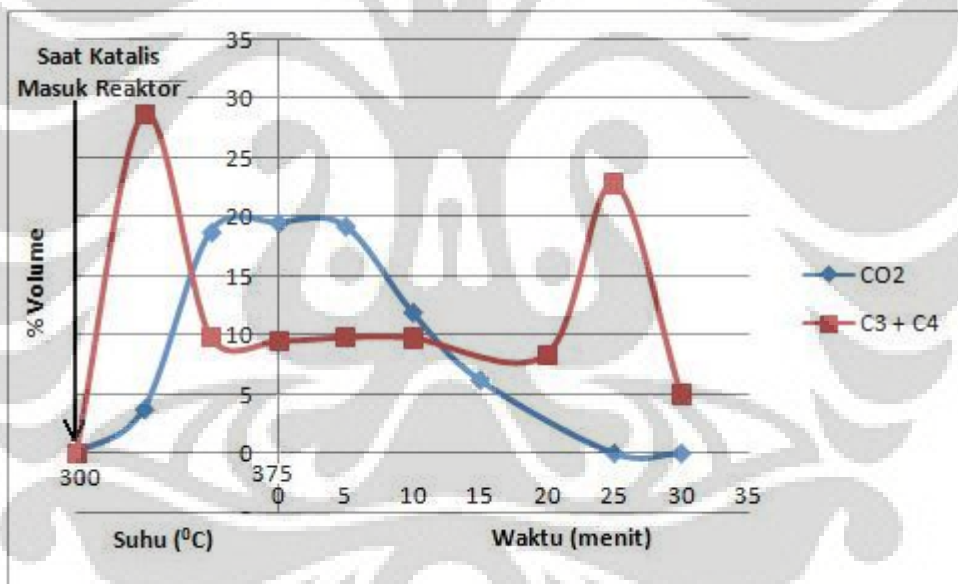


Gambar 4. 8 Perbandingan produk gas reaksi dengan rasio massa katalis/CPO 1:75 dan 1:100

Berdasarkan persentase senyawa yang dihasilkan terhadap produk gas menunjukkan perbandingan katalis/CPO 1:100 menghasilkan produk yang lebih banyak dibandingkan perbandingan katalis/CPO 1:75 di setiap produk yang terbentuk.



Gambar 4. 9 Produk CO₂, C₃ dan C₄ dengan katalis/CPO 1:75 pada suhu 370 C



Gambar 4. 10 Produk CO₂, C₃ dan C₄ dengan katalis/CPO 1:100 pada suhu 370 C

Dari grafik diatas terlihat bahwa mekanisme perengkahan pada variasi rasio yang menghasilkan produk gas CO₂, C₃ dan C₄ sama seperti yang telah dipaparkan pada sub bab 4.4. Hal ini menunjukkan bahwa dalam perengkahan produk gas fenomena yang terjadi sama walau dalam rasio massa katalis/CPO yang berbeda. Yang membedakannya hanya pada jumlah produk yang terbentuk dimana untuk

massa katalis yang lebih sedikit ternyata menghasilkan produk gas yang lebih banyak sedangkan produk cair lebih sedikit, sedangkan untuk massa katalis yang lebih sedikit menghasilkan produk gas yang lebih sedikit dengan produk cair yang lebih banyak.

4.5 Pengaruh Lama Waktu Reaksi dan Rasio Massa Katalis terhadap Konversi

Konversi merupakan perbandingan massa produk yang dihasilkan baik berupa gas maupun cairan dengan massa reaktan awal. Produk gas merupakan CPO yang hilang sepanjang proses perengkahan sedangkan produk cair merupakan distilat yang diperoleh pada proses distilasi.

Berbeda dengan fraksi C_4 yang dapat dihitung untuk setiap pengambilan sampel, perhitungan konversi dilakukan secara keseluruhan yaitu pada akhir reaksi. Sehingga dari konversi ini kita hanya dapat melihat pengaruh lama waktu reaksi dan rasio massa katalis/CPO saja.



Gambar 4. 11 Pengaruh lama waktu reaksi dan rasio massa CPO/katalis terhadap konversi

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap variasi lama waktu reaksi dan rasio massa katalis dapat dilihat bahwa dengan memanjangkan waktu reaksi menaikkan sedikit nilai konversi sedangkan dengan menaikkan perbandingan massa katalis/CPO juga menaikkan nilai konversi tetapi cukup signifikan.

Hal ini sesuai dengan yang dipaparkan pada sub bab sebelumnya yaitu dengan memanjangkan waktu reaksi tidak mempengaruhi nilai konversi secara signifikan, tetapi hanya terjadi sedikit kenaikan nilai konversi yang dikarenakan katalis telah terdeaktivasi. Namun jika menurunkan jumlah katalis yang digunakan terjadi peningkatan nilai konversi.

Berdasarkan fenomena yang terjadi pada nilai konversi ini menguatkan kesimpulan yang telah dipaparkan pada sub bab sebelumnya mengenai pengaruh lama waktu reaksi dan rasio massa katalis/CPO.

4.6 Komponen Produk

Pada tabel 4.2 diberikan komposisi produk hasil reaksi perengkahan katalitik minyak kelapa sawit selama 30 menit pada suhu reaksi 350 °C (perengkahan tahap 1) dan selama 30 menit pada suhu reaksi 370 °C (perengkahan tahap 2) dengan rasio katalis/CPO = 1:100. Komposisi produk gas diketahui dari analisis *Gas Chromatography* (GC), sedangkan produk cairnya tidak dianalisis lebih lanjut karena tujuan utama dalam penelitian ini adalah menghasilkan fraksi hidrokarbon C₃ dan C₄ yang terdapat dalam produk gas.

Tabel 4. 2 Komponen Produk Gas

Komponen	% Produk
CH ₄	0.00%
C ₂ H ₄	2.45%
C ₂ H ₆	0.00%
C ₃ H ₆	0.00%
C ₃ H ₈	1.98%
i-C ₄ H ₁₀	2.36%
n-C ₄ H ₁₀	18.45%
CO ₂	25.20%
Total Produk Gas	50.45%

Berdasarkan tabel 4.2 terlihat bahwa reaksi perengkahan katalitik minyak kelapa sawit dengan menggunakan katalis alumina pada fasa cair telah berhasil merengkah rantai panjang hidrokarbon pada struktur trigliseridanya menjadi rantai

hidrokarbon yang lebih pendek. Pada penelitian ini berhasil diperoleh konversi sebesar 64 % berat dengan yield fraksi hidrokarbon $C_3 - C_4$ sebesar 22.79 % dan yield produk cair 13.5 % berat.

4.7 Analisis Densitas

Pada Gambar 4.12 terlihat bahwa pada variasi lama waktu reaksi ataupun rasio katalis/CPO, terjadi perubahan densitas pada CPO setelah perengkahan dan produk cair hasil distilasi jika dibandingkan dengan CPO mula-mula. Setelah reaksi perengkahan, CPO akan mengalami sedikit penurunan densitas. Hal ini menandakan bahwa telah terjadi perengkahan terhadap rantai hidrokarbon panjang pada struktur trigliserida minyak kelapa sawit menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek. Perubahan densitas CPO hasil perengkahan ini hanya sedikit karena belum dipisahkan antara produk perengkahan dan residunya.



Gambar 4. 12 Pengaruh lama waktu reaksi dan rasio massa CPO/katalis terhadap densitas

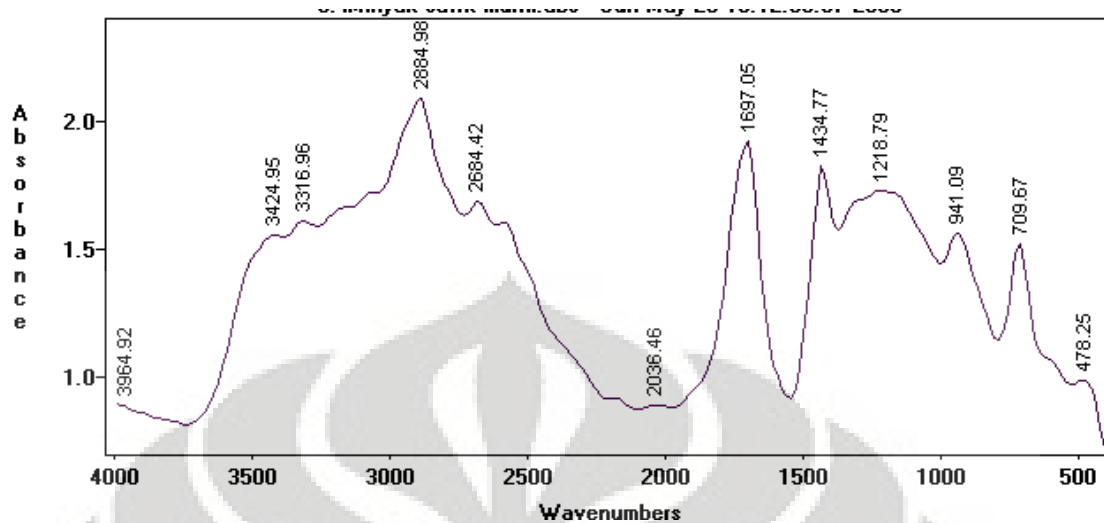
Setelah didistilasi, densitas produk cair menurun drastis dibandingkan densitas CPO. Densitas produk cair didapatkan berkisar antara 0.7 – 0.8 kg/L yang mana menyerupai densitas bensin premium, yaitu 0.79 kg/L. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa perengkahan katalitik CPO dengan katalis alumina ini juga

menghasilkan produk cair setara gasoline. Bahkan, produk setara gasoline ini sudah dapat dihasilkan melalui satu kali distilasi, tidak perlu distilasi beberapa kali seperti yang dilakukan pada penelitian sebelumnya (Iswara, 2006)

Dari gambar 4.12 dapat dilihat bahwa dengan waktu reaksi yang lebih lama maka hidrokarbon rantai pendek yang berfase cair (C_{5+}) semakin banyak yang menyebabkan densitas distilatnya semakin kecil. Karena dengan memanjangkan waktu reaksi memberi kesempatan kepada katalis yang masih aktif untuk melakukan perengkahan lebih lanjut. Sedangkan pada variasi rasio katalis/CPO untuk perbandingan 1:100 diperoleh densitas residu yang paling kecil. Hal ini dikarenakan pada perbandingan katalis/CPO 1:100 terjadi perengkahan produk gas yang lebih banyak seperti yang telah dipaparkan pada sub bab pengaruh rasio massa katalis/CPO. Sehingga residu yang tersisa menjadi lebih sedikit yang menyebabkan densitas residunya menjadi lebih rendah dibandingkan yang lain.

4.8 Analisis FTIR

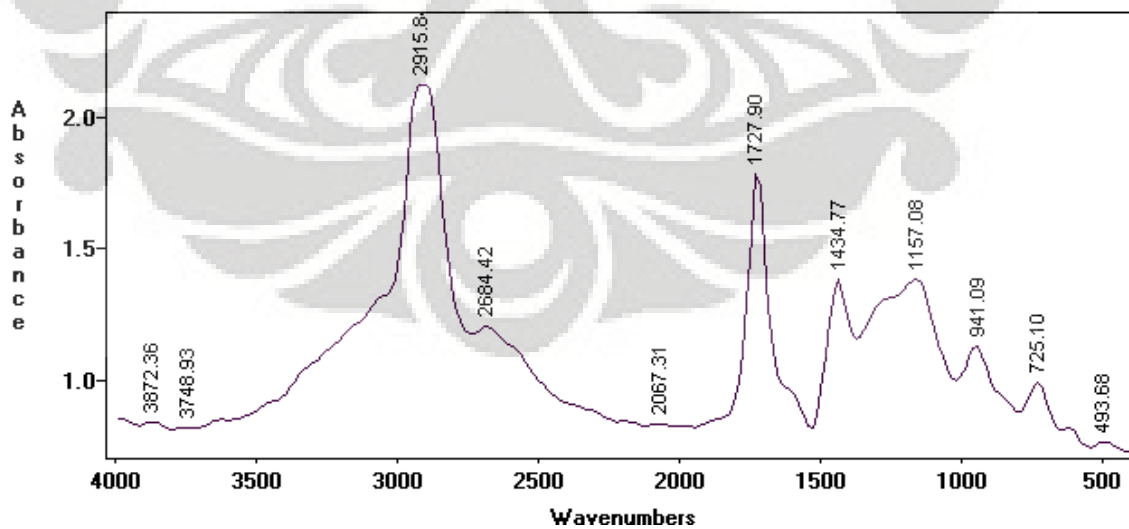
Dengan melakukan analisis FTIR terhadap produk cair maka dapat dianalisis gugus apa saja yang terdapat pada produk cair. Hasil FTIR ini dibandingkan dengan hasil FTIR minyak sawit murni. Sehingga dapat diketahui gugus apa saja yang mengalami perubahan. Karena reaksi perengkahan katalitik akan merubah gugus yang terdapat pada reaktan.



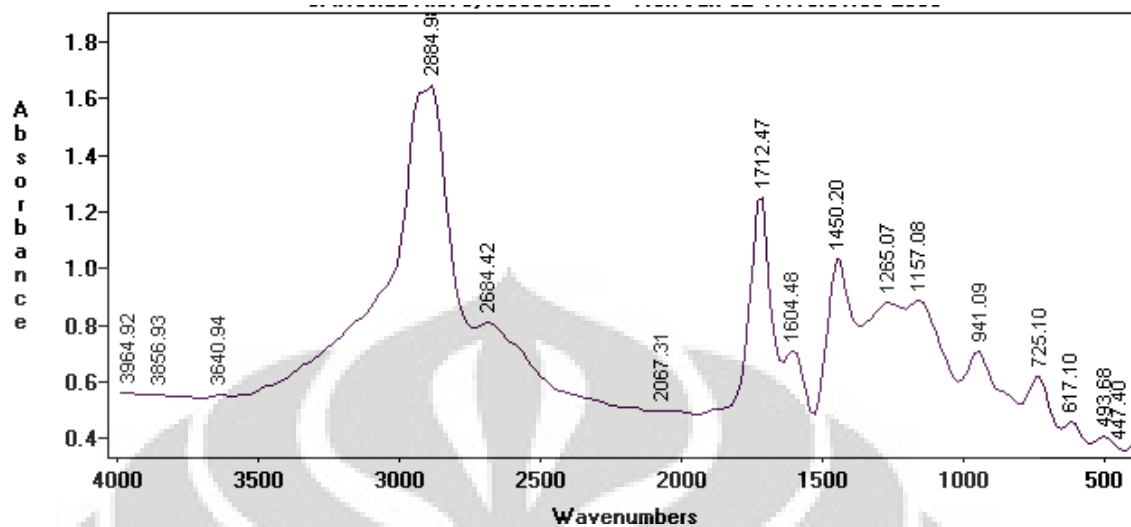
Gambar 4.13 Spektra FTIR Minyak Sawit murni

Hasil spektra FTIR pada menunjukkan bahwa CPO memiliki berbagai gugus dominan pada strukturnya antara lain :

- Alkil ($-\text{CH}_3$), absorbansi pada panjang gelombang 2915 cm^{-1}
- Alkil ($=\text{CH}_2$), absorbansi pada panjang gelombang 2884 cm^{-1}
- Ikatan ($\text{C}=\text{O}$), absorbansi pada panjang gelombang 1712 cm^{-1}
- Gugus ester ($\text{R}-\text{COOR}$), absorbansi pada panjang gelombang 1172 cm^{-1}
- Ikatan $-(\text{CH}_2)_n-$, absorbansi terhadap pada gelombang 725 cm^{-1}



Gambar 4.14 Spektra FTIR CPO hasil perengkahan tahap 1 dengan rasio 1:75



Gambar 4. 15 Spektra FTIR hasil perengkahan tahap 2 dengan rasio 1:75

Selanjutnya spektra FTIR dari minyak sawit ini dibandingkan dengan spektra FTIR residu hasil perengkahan katalitik tahap 1 dan hasil perengkahan katalitik tahap 2. Perbandingan antara minyak sawit murni dan hasil perengkahan dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Perbandingan analisis FTIR minyak sawit murni dan residu hasil perengkahan

Jenis Gugus	Panjang Gelombang	Absorbansi		
		CPO	Tahap 1	Tahap 2
Alkil ($-\text{CH}_3$)	2923.06 cm^{-1}	2.1	2.1	1.6
Alkil ($=\text{CH}_2$)	2853.13 cm^{-1}	2.05	2.05	1.55
Ikatan ($\text{C}=\text{O}$)	1706.77 cm^{-1}	1.9	1.75	1.25
Ester ($\text{R}-\text{COOR}$)	1164.09 cm^{-1}	1.7	1.35	1
Ikatan $-(\text{CH}_2)_n-$	725.1 cm^{-1}	1.5	1	0.6

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa terjadi penurunan nilai absorbansi pada tiap-tiap gugus, baik pada hasil perengkahan tahap pertama maupun hasil perengkahan tahap kedua. Hal ini menunjukkan telah terjadi pengurangan terhadap jumlah gugus yang terkandung pada CPO. Nilai absorbansi untuk gugus $\text{C}=\text{O}$ maupun gugus $\text{C}-\text{O}$ semakin berkurang dari hasil perengkahan tahap 1 dan juga hasil perengkahan tahap 2. Hal ini menandakan bahwa gugus $\text{C}=\text{O}$ memang direngkahkan oleh katalis dan menghasilkan produk CO_2 .

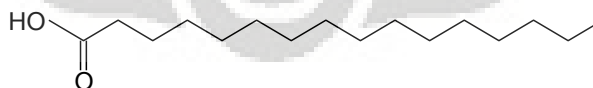
Sedangkan berdasarkan gugus $-(CH_2)_n-$ dapat dilihat juga jumlahnya berkurang. Hal ini menandakan bahwa terjadi perengkahan lebih lanjut terhadap hidrokarbon yang terdapat pada CPO untuk menghasilkan hidrokarbon rantai pendek. Penurunan absorbansi yang cukup signifikan pada residu tahap 1 dan tahap 2 menandakan bahwa jumlah hidrokarbon rantai panjang sudah banyak yang terengkah. Sehingga membentuk produk C_3 dan C_4 yang selanjutnya menguap menjadi gas sehingga tidak lagi dapat dianalisa oleh FTIR.

Untuk gugus alkil ($-CH_3$) juga penurunan absorbansi. Seharusnya jika perengkahan lebih lanjut yang menghasilkan hidrokarbon rantai pendek maka absorbansi ikatan ($-CH_3$) bertambah. Tetapi sebagian besar produk perengkahan yang dihasilkan berupa gas dan hanya 9.24% yang berupa produk cair. Sehingga penurunan absorbansi karena gugus $-CH_3$ yang terdeteksi oleh FTIR hanya hidrokarbon rantai panjang pada produk cair saja, sedangkan gugus $-CH_3$ pada produk gas telah menguap ke udara.

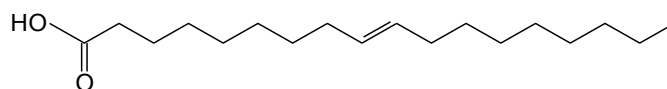
4.9 Analisa Alur Perengkahan

Berdasarkan analisis *Gas Chromatography (GC)* terhadap sampel produk gas, diketahui kandungan senyawa produk gas hasil perengkahan minyak kelapa sawit pada sebagian besar adalah CO_2 dan C_4 serta sedikit C_3 . Hal ini menunjukkan bahwa perengkahan katalis terhadap CPO tidak hanya pada ikatan tak jenuh $C=C$ yang terdapat pada asam lemak, tetapi juga pada ikatan $C-O$ serta pada ikatan jenuh $C-C$.

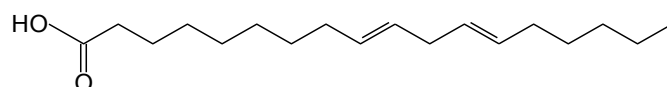
Komposisi yang menyusun CPO sebagian besar adalah Asam Palmitat (40%), Asam Oleat (45%) dan Asam Linoleat (7%). Maka mekanisme perengkahan katalistik diperkirakan dari ketiga senyawa penyusun CPO tersebut.



Gambar 4. 16 Struktur Asam Palmitat

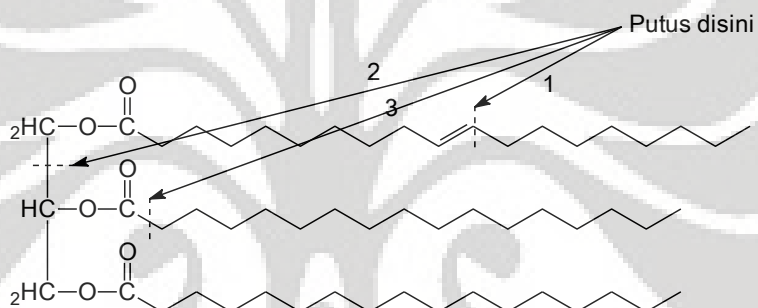


Gambar 4. 17 Struktur Asam Oleat



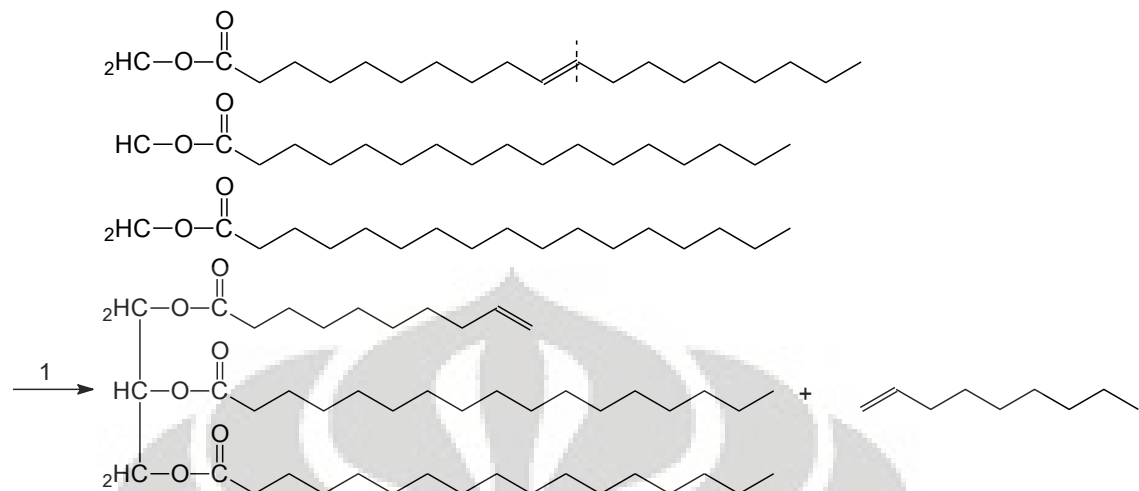
Gambar 4. 18 Struktur Asam Linoleat

Menurut Katikaneni dkk reaksi perengkahan alumina sangat sulit diprediksi karena memiliki *shape selectivity* yang kecil sehingga produk yang dihasilkan akan beragam. Berdasarkan hasil yang didapat dari perengkahan katalitik yang dilakukan maka mekanisme perengkahan yang terjadi oleh katalis alumina melalui 3 jalan yaitu



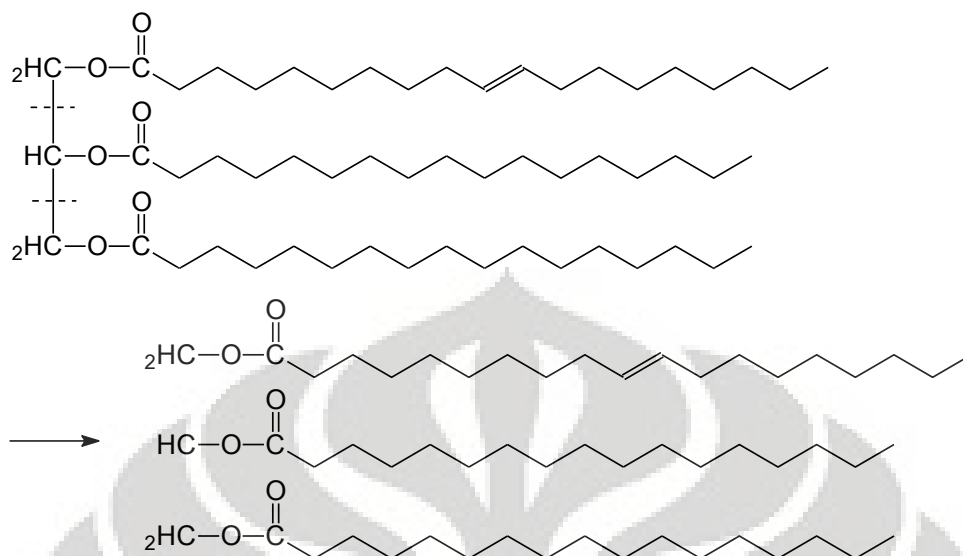
Gambar 4. 19 Mekanisme perengkahan CPO oleh katalis alumina

Dimana pada jalan 1 CPO langsung terengkah menjadi hidrokarbon panjang yang dengan perengkahan lanjutan dapat langsung menghasilkan produk C_3 dan C_4 . Hal ini yang menyebabkan produk C_3 dan C_4 telah terbentuk sejak katalis mulai dimasukkan. Perengkahan dengan jalan 1 terjadi karena hidrokarbon rantai panjang yang terikat pada trigliserida memiliki ikatan rangkap seperti pada asam oleat dan asam linoleat. Ikatan rangkap ini mudah diserang oleh katalis dari sisi asam Bronsted sehingga terjadi pemutusan ikatan rangkap. Selanjutnya terbentuk senyawa olefin dimana senyawa olefin ini akan terengkah lebih lanjut menjadi hidrokarbon yang lebih pendek lagi sesuai mekanisme sampai dihasilkannya produk gas (C_3 dan C_4) yang kemudian menguap dari reaktan.



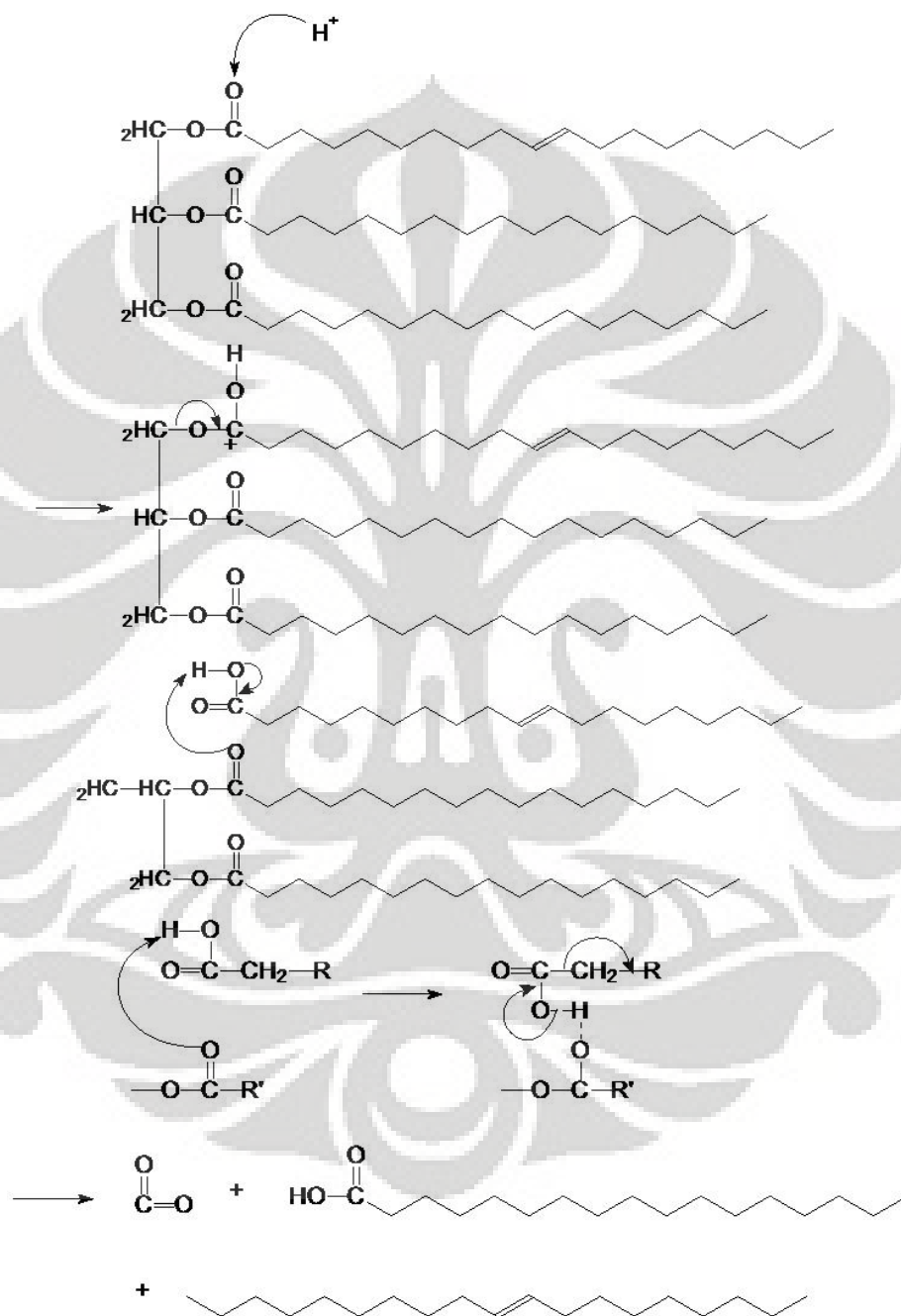
Gambar 4. 20 Perengkahan CPO melalui jalan 1

Sedangkan pada jalan 2 akan terbentuk senyawa oksigenat yang akan terengkah lebih lanjut menjadi senyawa CO_2 dan hidrokarbon rantai panjang. Pemutusan ini terjadi karena katalis alumina memiliki kekuatan asam yang cukup kuat sehingga mampu memutus ikatan tunggal pada trigliserida (Dadi, 2006). Senyawa oksigenat yang terbentuk pada perengkahan ini adalah senyawa ester. Katalis alumina memiliki kekuatan asam yang sedang, dimana katalis ini mampu membentuk ester lebih cepat yang dilanjutkan dengan penghilangan CO_2 dan terakhir membentuk senyawa parafinik (Bakhshi, 1996). Penghilangan CO_2 terjadi karena ikatan $-\text{CO}$ lebih elektronegatif (memiliki awan elektron yang lebih banyak) sehingga mudah diserang oleh ion H^+ .



Gambar 4. 21 Perengkahan CPO melalui jalan 2

Pada jalan 3 terjadi pemutusan hidrokarbon panjang. Dalam proses pemutusan ini katalis menyerang ikatan C=O. Selanjutnya akan terbentuk karbokation yang akan beresonansi sehingga akan terbentuk produk CO₂, Asam karboksilat dan hidrokarbon rantai panjang. Asam karboksilat dan hidrokarbon rantai panjang inilah yang akan menyediakan hidrokarbon yang akan direngkah lebih lanjut oleh katalis sehingga terbentuk produk C₃ dan C₄.



Gambar 4. 22 Perengkahan CPO melalui jalan 3

Berdasarkan mekanisme diatas dapat dilihat bahwa senyawa hasil perengkahan katalis alumina banyak yang dapat menjadi produk CO₂. Sehingga produk CO₂ menjadi produk gas yang terbanyak yang diperoleh dari hasil perengkahan katalitik. Hal tersebut sesuai dengan hasil yang didapatkan pada penelitian ini, dimana produk CO₂ merupakan produk yang cukup banyak.

Mekanisme diatas juga menjawab mengapa diawal dimasukkan katalis langsung terbentuk senyawa C₃ dan C₄. Padahal belum tersedia hidrokarbon rantai panjang yang akan direngkah lebih lanjut menjadi produk C₃ dan C₄. Hal tersebut dikarenakan katalis juga merengkah trigliserida melalui jalan 1. Sedangkan produk CO₂ diawal reaksi belum terbentuk kemudian meningkat pesat dikarenakan diawal reaksi belum ada oksigenat yang akan menjadi produk CO₂. Di awal reaksi katalis melakukan perengkahan terhadap trigliserida untuk membentuk oksigenat. Selanjutnya oksigenat yang terbentuk baru terengkah kembali menjadi CO₂ dan hidrokarbon rantai panjang. Sehingga produk CO₂ semakin lama semakin meningkat.

4.10 Perbandingan dengan perengkahan katalitik dua tahap menggunakan katalis Zeolit

Dalam penelitian ini selain dilakukan perengkahan katalitik dua tahap dengan menggunakan katalis alumina juga dilakukan penelitian dengan menggunakan katalis Zeolit RCC (*Residu Catalytic Cracking*). Pada hasil penelitian menggunakan katalis zeolit RCC diperoleh nilai konversi dan yield C₃ dan C₄ yang lebih besar. Hal ini dikarenakan katalis zeolit memiliki tingkat keasaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan alumina. Sehingga reaksi perengkahan yang terjadi akan menjadi lebih aktif dan lebih cepat dibandingkan dengan katalis alumina. Tetapi dari segi umur katalis, katalis zeolit lebih cepat terdeaktivasi dibandingkan dengan katalis alumina. Pada penelitian ini katalis alumina memiliki umur lebih dari 30 menit sedangkan katalis alumina hanya memiliki umur katalis selama kurang lebih 20 menit saja.

Tabel 4. 4 Perbandingan perengkahan katalitik dengan menggunakan zeolit RCC dan alumina

No.	Parameter	Zeolit RCC	Alumina JRC ALO-7
1	Kekuatan asam	Kuat	Sedang
2	Komposisi produk	CO ₂ , C ₄ , C ₃ , C ₂	CO ₂ , C ₄ , C ₃ , C ₂
3	Konversi Optimum	66%	64%
4	Yield C ₃ dan C ₄ pada rasio 1:75	18.22%	16.68%
5	Yield CO ₂ pada rasio 1:75	21.2%	20.23%
6	Selektivitas pada rasio 1:75	CO ₂ : 52.85% C ₃ + C ₄ : 44.5%	CO ₂ : 53.46% C ₃ + C ₄ : 44.07%
7	Rasio Optimum Massa Katalis/CPO	1 : 75	1 : 100
8	Umur Katalis	20 menit suhu perengkahan	belum terdeaktivasi pada menit ke 60 suhu perengkahan, namun tidak memberikan hasil konversi yang signifikan bila dibandingkan dengan reaksi selama 30 menit

4.11 Perbandingan dengan penelitian sebelumnya

Oleh karena penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya, yaitu penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2007) dan Dianita (2008). Penelitian Hidayat yaitu perengkahan katalitik satu tahap terhadap minyak kelapa sawit untuk menghasilkan hidrokarbon C₃ dan C₄. Sedangkan penelitian Dianita yaitu perengkahan katalitik satu tahap terhadap minyak jarak untuk menghasilkan hidrokarbon C₃ dan C₄.

Tabel 4. 5 Perbandingan dengan penelitian sebelumnya menggunakan katalis alumina

No	Parameter	Penelitian saat ini	Danita, 2008	Hidayat, 2007
1	bahan baku	Minyak kelapa Sawit	Minyak jarak	Minyak kelapa Sawit
2	suhu saat katalis dimasukkan	300°C	150°C	150°C
3	Tahapan perengkahan	2 tahap	1 tahap	1 tahap
4	Konversi Optimum	64 % massa	35.87% massa	50.09% massa
5	Rasio Optimum massa katalis/CPO	1 : 100	1 : 100	1 : 125
6	Yield C ₃ dan C ₄ pada rasio 1:75	16.68 % massa	5.2 % massa	0.28 % massa
7	Yield CO ₂ pada rasio 1:75	20.23 % massa	0 % massa	7.98 %
8	Selektivitas pada rasio 1:75	CO ₂ : 52.85 % C ₃ + C ₄ : 44.5 %	CO ₂ : 0 % C ₃ + C ₄ : 100 %	CO ₂ : 54.42 % C ₃ + C ₄ : 1.96 %
9	Waktu reaksi	30 menit tahap 1 + 30 menit tahap 2	60 menit	60 menit
10	Suhu reaksi	Tahap 1 : 350 °C Tahap 2 : 370 °C	320 °C, 330 °C dan 340 °C	350 °C, 360 °C dan 370 °C
11	Produk Perengkahan	CO ₂ , C ₄ , C ₃ , C ₂	selektif terhadap C ₄	CO ₂ , C ₄ , C ₃ , C ₂
12	Mekanisme perengkahan	pemotongan pada gugus C=O dan ikatan rangkap C=C	Pemotongan pada ikatan rangkap C=C	pemotongan pada gugus C=O

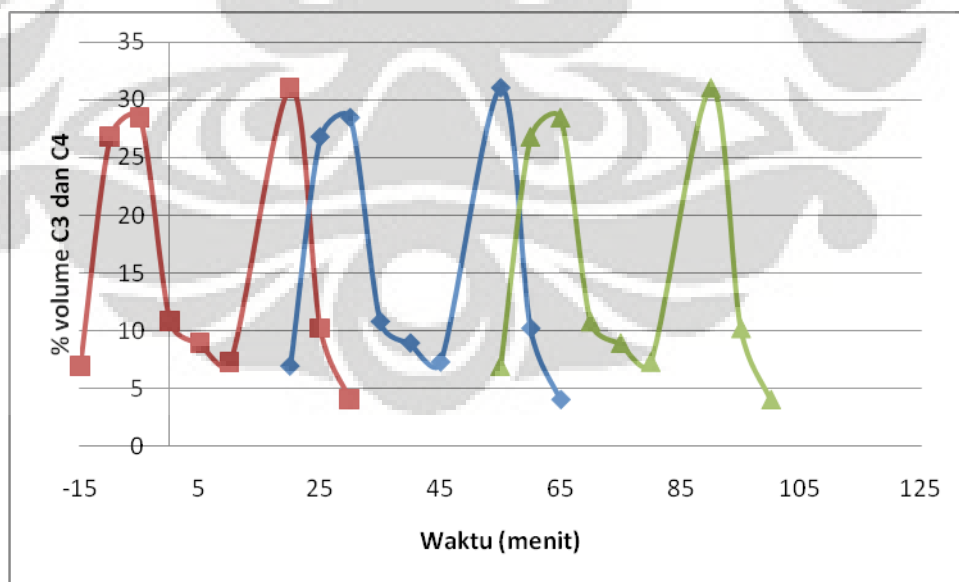
Dari tabel diatas terlihat bahwa dengan perengkahan katalitik dengan menggunakan katalis alumina dengan metode perengkahan 2 tahap menghasilkan produk C₃ dan C₄ yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa untuk menghasilkan produk yang lebih baik dapat dilakukan dengan perengkahan katalitik 2 tahap. Namun mekanisme yang terjadi sangat berbeda dengan mekanisme yang diusulkan pada penelitian sebelumnya (Hidayat, 2007). Hal ini mungkin dikarenakan metode yang digunakan sedikit berbeda dimana suhu pemasukkan katalis dilakukan pada suhu 300 °C sedangkan pada penelitian sebelumnya dimasukkan pada suhu 150 °C yang kemungkinan menyebabkan katalis terdeaktivasi lebih cepat karena suhu pemasukkan katalis yang jauh dari suhu perengkahan yang diinginkan.

4.12 Usulan Proses Yang Diajukan

Berdasarkan perkembangan penelitian seperti yang terlihat di Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa perengkahan katalitik 2 tahap dapat menghasilkan konversi dan produk yang lebih besar. Karena dengan perengkahan katalitik 2 tahap dengan memasukkan katalis pada suhu yang mendekati suhu reaksi (300°C) terjadi perengkahan gugus C-O dan gugus C=C. Sehingga akan membentuk produk C_3 dan C_4 , CO_2 dan hidrokarbon rantai panjang.

Namun perengkahan 2 tahap reaksi ini ternyata tidak dapat menghindari kompetisi reaksi antara perengkahan CO_2 dengan C_3 dan C_4 yang terlihat dari produk C_3 dan C_4 juga terbentuk pada perengkahan tahap 1. Selain itu setelah selang waktu tertentu katalis mengalami deaktivasi. Maka untuk tetap melakukan perengkahan terhadap reaktan agar dihasilkan produk yang lebih banyak dapat dilakukan regenerasi katalis baru secara berkala sesuai dengan umur katalis. Berdasarkan hasil penelitian dalam penelitian ini diketahui bahwa waktu optimum untuk perengkahan katalitik menggunakan katalis alumina adalah 30 menit.

Sehingga untuk mengoptimasi sintesis hidrokarbon C_3 dan C_4 dapat dilakukan dengan perengkahan katalitik beberapa tahap dengan beberapa tahap reaksi perengkahan pada suhu 370°C dimana dihasilkan produk C_3 dan C_4 yang optimum.



Gambar 4. 23 Regenerasi katalis pada suhu 370°C

Dari Gambar 4.23 dapat dilihat bahwa untuk terus merengkah reaktan perlu dilakukan regenerasi katalis tiap 30 menit. Sehingga diperoleh *fresh* katalis yang dapat merengkah produk C₃ dan C₄ selama reaksi perengkahan berlangsung dan diperoleh produk C₃ dan C₄ yang lebih banyak lagi.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Perengkahan katalitik dua tahap menghasilkan produk C_3 dan C_4 7 – 12 % lebih banyak dibandingkan dengan perengkahan katalitik satu tahap dengan produk hasil perengkahan katalitik adalah CO_2 dan C_4 serta sedikit C_3 .
2. Kondisi operasi optimum untuk reaksi perengkahan 2 tahap adalah pada rentang waktu reaksi 30 menit dan dengan rasio massa katalis/CPO = 1:100 .
3. Reaksi perengkahan katalitik pada kondisi optimum menghasilkan konversi sebesar 64 % massa dengan yield fraksi hidrokarbon $C_3 - C_4$ sebesar 22.79 %.
4. Perengkahan tahap pertama pada suhu reaksi $350\text{ }^{\circ}C$ merengkah gugus $C=O$ juga merengkah gugus $C=C$ yang akan membentuk olefin dan terengkah lebih lanjut menjadi C_3 dan C_4 .
5. Perengkahan tahap kedua pada suhu $370\text{ }^{\circ}C$ merengkah hidrokarbon rantai panjang dan gugus $C=O$ yang tersisa pada perengkahan tahap 1.
6. Perengkahan katalitik dua tahap tidak dapat menghindari terjadinya kompetisi reaksi antara perengkahan gugus $C=O$ yang menghasilkan CO_2 dengan perengkahan hidrokarbon rantai panjang yang menghasilkan produk C_3 dan C_4 , karena kedua produk tersebut pada tahap pertama dan tahap kedua. Yang berpengaruh terhadap jumlah produk yaitu waktu reaksi.
7. Perengkahan $O-C=O$ menyebabkan jumlah gugus ester ($R-COOR$) mengalami penurunan, sementara reaksi perengkahan rantai hidrokarbon menyebabkan jumlah ikatan $-(CH_2)_n-$ dan jumlah alkil ($-CH_3$) juga berkurang. Sehingga menghasilkan densitas produk cair yang lebih kecil daripada densitas CPO murni.
8. Perengkahan katalitik CPO oleh katalis alumina melalui 3 jalan perengkahan yaitu perengkahan ikatan rangkap yang terdapat pada asam lemak, perengkahan pada gugus $C=O$ dan perengkahan pada ikatan tunggal trigliserida.

5.2 Saran

Untuk mengoptimalkan produk C_3 dan C_4 sebagai produk utama dapat dilakukan dengan melakukan beberapa tahap perengkahan. Namun tidak perlu perengkahan pada suhu $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ terlebih dahulu, perengkahan dilakukan langsung pada suhu reaksi $370\text{ }^{\circ}\text{C}$. Penggantian katalis baru ini dilakukan setiap 30 menit setelah memasukkan katalis ke dalam reaktor. Serta melakukan analisis terhadap produk cair. Sehingga di ketahui kandungan senyawa dan kualitas dari kualitas produk cair yang dihasilkan.



DAFTAR PUSTAKA

- Dewi, R. A. (2007). *Sintesis Hidrokarbon C₃ Dan C₄ Dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik Dengan Katalis Zeolit*, Skripsi. Depok: Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Fessenden, F. (1995). *Kimia Organik Jilid Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Hidayat, M. (2007). *Sintesis hidrokarbon Fraksi C₃ dan C₄ dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Alumina*, Skripsi. Depok : Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Iswara, G. (2006). *Sintesis Bensin Bio dari Minyak Kelapa Sawit melalui Reaksi Perengkahan Katalitik pada Fasa Cair Menggunakan Katalis H-Zeolit*, Skripsi. Depok: Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Kartina, S. (2006). *Effect Of Temperature And Hydrogen On Palm Oil Cracking Over MCM-41/ZSM-5 Compositated Catalyst*, Tesis. Skudai : Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering Universiti Teknologi Malaysia
- Nasikin, M. (2005). *Pembuatan Biogasoline dari Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis Zeolit Alam*. Laporan Substansi RUT 2005 dan Rencana Kerja RUT Tahun 2006. Kementrian Riset dan Teknologi dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Nasikin, M., & Hirsaman, M. A. (2005). *Sintesis Biogasoline dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Hydrocracking dengan Katalis Ni/Zeolit*, Seminar. Depok: Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Nett Technology Inc. (2008). *What Is LPG*. Diakses 18 Mei 2009, dari http://www.nett.ca/faq_lpg.htm
- Pertamina. (2008). *Sekilas Tentang Program Konversi Minyak Tanah ke LPG*. Diakses tanggal 15 April 2008 dari Program Konversi: <http://www.pertamina.com/konversi/program.php>

- Prasad, Y.S. dan Bakhshi, N.N. (1985). Effect of Pretreatment of HZSM-5 Catalyst on its Performance in Canola Oil Upgrading. *Applied Catalysis*. 18(1): 71-85.
- Richardson, J. T. (1989). *Principles of Catalyst Development*. New York: Plenum Press.
- Satterfield, C. N. (1991). *Heterogeneous Catalyst in Industrial Practice, 2nd ed.* New York: McGraw-Hill Inc.
- Silalahi, J. (2006). *Peningkatan Bilangan Oktan Biogasoline melalui Proses Hidrasi, Seminar*. Depok: Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Siregar, T. B. (2005). *Catalytic Cracking Of Palm Oil To Gasoline Using Zeolite Catalyst*, Tesis. Skudai: Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering Universiti Teknologi Malaysia.
- Speight, J. (1991). *The Chemistry and Technology of Petroleum*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Tan, Y.L., Mohamed, A.R. dan Bhatia, S. (1999). *Catalytic Conversion of Palm Oil to Fuels and Chemicals*. Canadian Journal of Chemical Engineering.77: 156-162.
- Twaiq, F. A., Zabidi, N. A., & Bhatia, S. (2003). Catalytic Conversion of Palm Oil Over Mesoporous Aluminosilicate MCM-41 for Production of Liquid Hydrocarbon Fuels. *Elsevier Journal of Fuel Processing Technology*, 84 , 105-120.
- Twaiq, F. A., Zabidi, N. A., dan Bhatia, S. (1999). *Catalytic Conversion of Palm Oil to Hydrocarbons : Performance of Various Catalyst*. American Chemical Society Journal, 3230
- Twigg, M (1989). *Handbook of Commercial Catalyst*, USA : Wolfe Publishing Ltd.
- Wikipedia. (2008). *Aluminium Oxide*. Diakses 18 Mei 2009, dari Wikipedia International Encyclopedia: http://www.wikipedia.org/aluminium_oxide
- Wikipedia. (2008). *Cracking*. Diakses 18 Mei 2009, dari Wikipedia International Encyclopedia: <http://www.wikipedia.org/cracking>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Analisis GC

Sampel 1

Rasio	: 1:75
Lama waktu reaksi	: 30 menit
Suhu Perengkahan	: 350 °C (tahap 1)
Berat CPO 30 ml	= 25.74 gr
sisa CPO tahap 1	= 21.7 gr
CPO yang terengkah pada tahap 1	= 4.04 gr
Yield gas	= 15.69542 % massa

Komponen	Volum pada suhu (ml)		Volume pada suhu perengkahan 350 OC pada menit ke-(ml)						
	300	320	0	5	10	15	20	25	30
Udara	0.776	0.716	0.572	0.575	0.578	0.468	0.614	0.530	0.583
CO2	0.003	0.000	0.052	0.060	0.068	0.072	0.015	0.070	0.112
CH4									
C2H6									
C2H4					0.002	0.003		0.001	
C3H8									
C3H6						0.011		0.004	
i-C4		0.004		0.008	0.009	0.007			
n-C4	0.038	0.043	0.048	0.052	0.030	0.034			
Total	0.816	0.763	0.671	0.695	0.687	0.594	0.630	0.606	0.695

Sampel 2

Rasio	: 1:75
Lama waktu reaksi	: 30 menit
Suhu Perengkahan	: 370 °C (tahap 2)
Berat CPO 20 ml	= 16.01 gr
sisa CPO tahap 2	= 12.47 gr
CPO yang terengkah pada tahap 2	= 3.54 gr
Yield gas tahap 2	= 22.11 % massa
Konversi total	= 45.46 % massa
Yield gas total	= 34.34 % massa

Komponen	Volum pada suhu (ml)	Volume pada suhu perengkahan 350 0C pada menit ke- (ml)									
	300	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Udara	0.539	0.490	0.454	0.481	0.567	0.582	0.704	0.574	0.561	0.571	0.569
CO2			0.122	0.101	0.061	0.068	0.005	0.062	0.072	0.046	0.062
CH4											
C2H6											
C2H4			0.011	0.009	0.001	0.021	0.000	0.013	0.011	-0.003	0.010
C3H8											
C3H6			0.010	0.003					0.002	0.000	
i-C4	0.047	0.043		0.008	0.007						
n-C4	0.043	0.042	0.037	0.044		0.040	0.040	0.034	0.040		
Total	0.630	0.575	0.633	0.645	0.636	0.712	0.749	0.683	0.686	0.615	0.642

Sampel 3

Rasio : 1:75
 Lama waktu reaksi : 60 menit
 Suhu Perengkahan : 350 °C (tahap 1)
 Berat CPO 30 ml = 25.49 gr
 sisa CPO tahap 1 = 20.46 gr
 CPO yang terengkah pada tahap 1 = 5.03 gr
Yield gas = 19.73 % massa

Komponen	Volum pada suhu (ml)		Volume pada suhu perengkahan 350 OC pada menit ke- (ml)											
	310	339	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Udara	0.691	0.678	0.568	0.566	0.571	0.619	0.617	0.617	0.625	0.618	0.680	0.626	0.628	0.628
CO2	0.004	0.007	0.064	0.076	0.082	0.011	0.012	0.005	0.005	0.007	0.010	0.007	0.010	0.007
CH4														
C2H6														
C2H4			0.005	0.007	0.012									
C3H8				0.007										
C3H6														
i-C4	0.008													
n-C4	0.038	0.039	0.042	0.030	0.030									
Total	0.741	0.724	0.680	0.685	0.696	0.630	0.628	0.621	0.629	0.625	0.690	0.633	0.638	0.635

Sampel 4

Rasio	: 1:75
Lama waktu reaksi	: 30 menit
Suhu Perengkahan	: 370 °C (tahap 2)
Berat CPO 20 ml	= 16.18 gr
sisa CPO tahap 2	= 12.53 gr
CPO yang terengkah pada tahap 2	= 3.65 gr
Yield gas tahap 2	= 22.56 % massa
Konversi total	= 47.08 % massa
Yield gas total	= 37.84 % massa

Komponen	Volum pada suhu (ml)		Volume pada suhu perengkahan 350 0C pada menit ke- (ml)									
	310	349	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Udara	0.599	0.575	0.463	0.340	0.429	0.556	0.557	0.639	0.619	0.614	0.645	0.844
CO2	0.005	0.066	0.117	0.236	0.179	0.074	0.071					
CH4												
C2H6												
C2H4		0.003	0.004	0.003	0.013	0.002						
C3H8			0.002	0.002								
C3H6			0.001	0.003	0.005							
i-C4	0.045	0.058	0.041								0.007	0.006
n-C4	0.036	0.039	0.044	0.035		0.051	0.056	0.062	0.061	0.058	0.033	0.031
Total	0.685	0.740	0.671	0.619	0.626	0.682	0.684	0.701	0.679	0.672	0.686	0.881

Sampel 5

Rasio : 1:75
Lama waktu reaksi : 30 menit
Suhu Perengkahan : 370 °C
Konversi total = **55.1 % massa**
Yield gas total = **29.02 % massa**

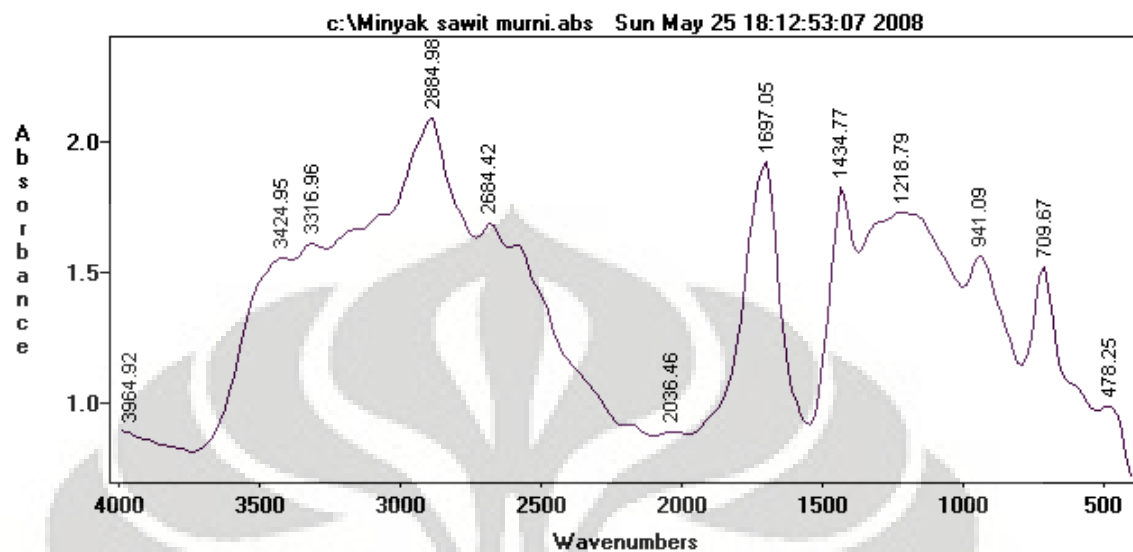
Komponen	Volum pada suhu (ml)			Volume pada suhu perengkahan 350 0C pada menit ke- (ml)						
	300	321	336	0	5	10	15	20	25	30
Udara	0.570	0.681	0.669	0.493	0.398	0.524	0.559	0.853	0.648	0.636
CO2	0.069	0.010	0.015	0.099	0.151	0.087	0.058	0.026		
CH4										
C2H6										
C2H4	0.008			0.011	0.011	0.004	0.002			
C3H8				0.016	0.017	0.004	0.000			
C3H6										
i-C4		0.043	0.049							
n-C4	0.030	0.043	0.045	0.038	0.036	0.030	0.000	0.046	0.036	0.048
Total	0.676	0.776	0.778	0.658	0.613	0.650	0.619	0.924	0.684	0.685

Sampel 6

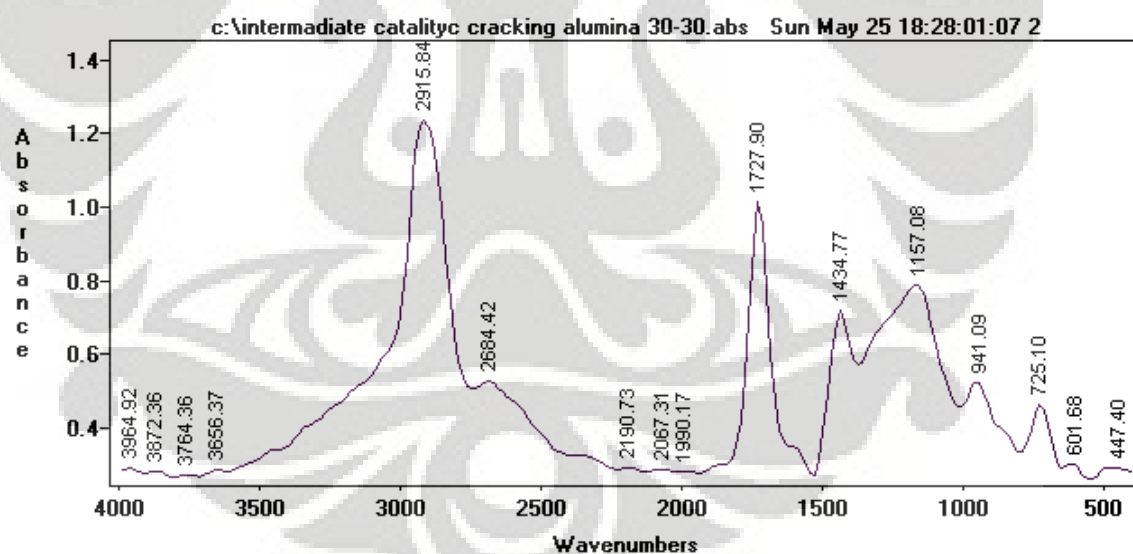
Rasio : 1:100
Lama waktu reaksi : 30 menit
Suhu Perengkahan : 370 °C
Konversi total = **64 % massa**
Yield gas total = **50.45 % massa**

Komponen	Volum pada suhu (ml)			Volume pada suhu perengkahan 350 0C pada menit ke- (ml)						
	300	315	346	0	5	10	15	20	25	30
Udara	0.608	0.707	0.564	0.463	0.480	0.547	0.703	0.538	0.756	0.616
CO2		0.011	0.082	0.105	0.100	0.054	0.018	0.081		
CH4										
C2H6										
C2H4			0.012	0.010	0.011	0.005		0.005		
C3H8				0.015	0.021					
C3H6										
i-C4		0.042								
n-C4		0.042	0.043	0.036	0.030	0.044		0.038	0.055	0.042
Total	0.608	0.802	0.701	0.628	0.642	0.650	0.721	0.662	0.812	0.658

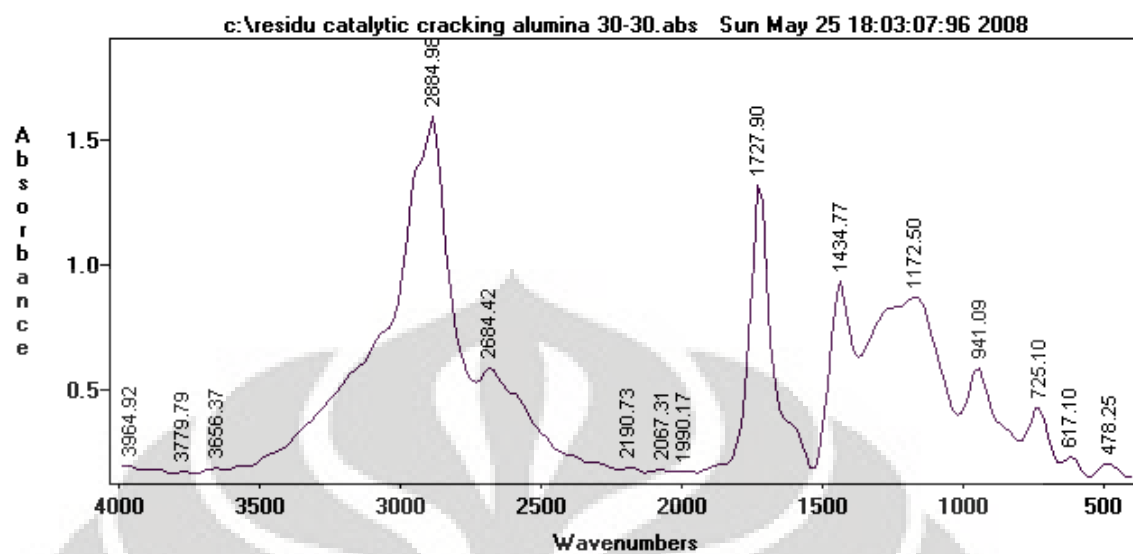
Lampiran 2 Analisa FTIR



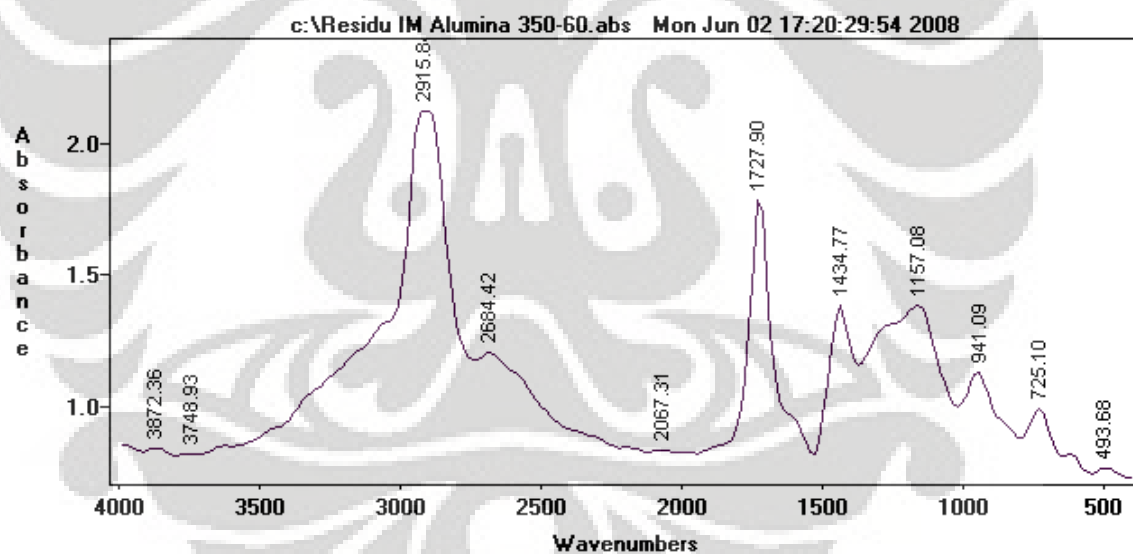
Analisis FTIR Minyak Sawit Murni



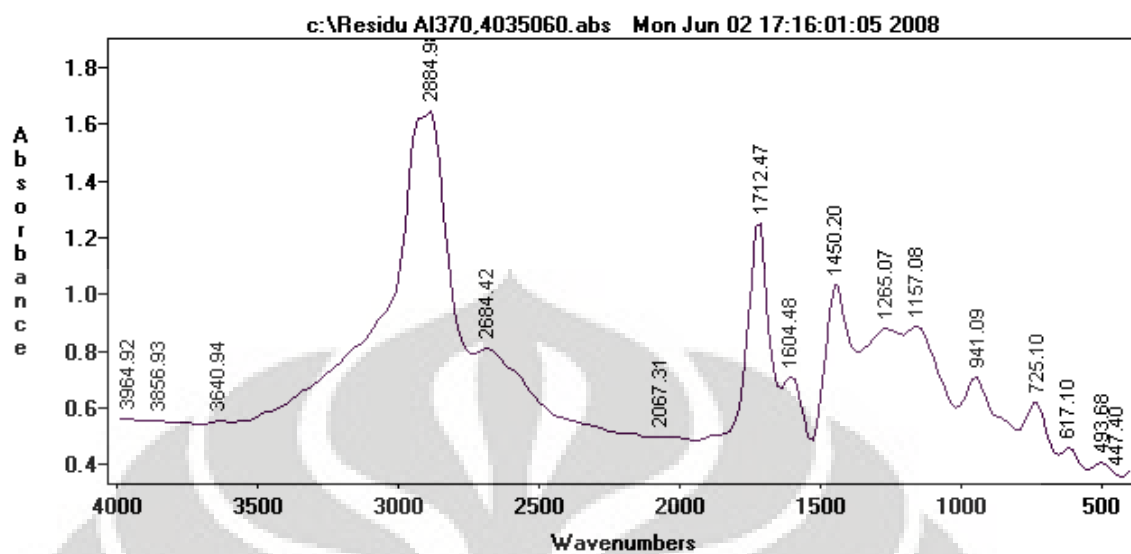
Analisis FTIR Perengkahan tahap 1 dengan lama waktu reaksi 30 menit



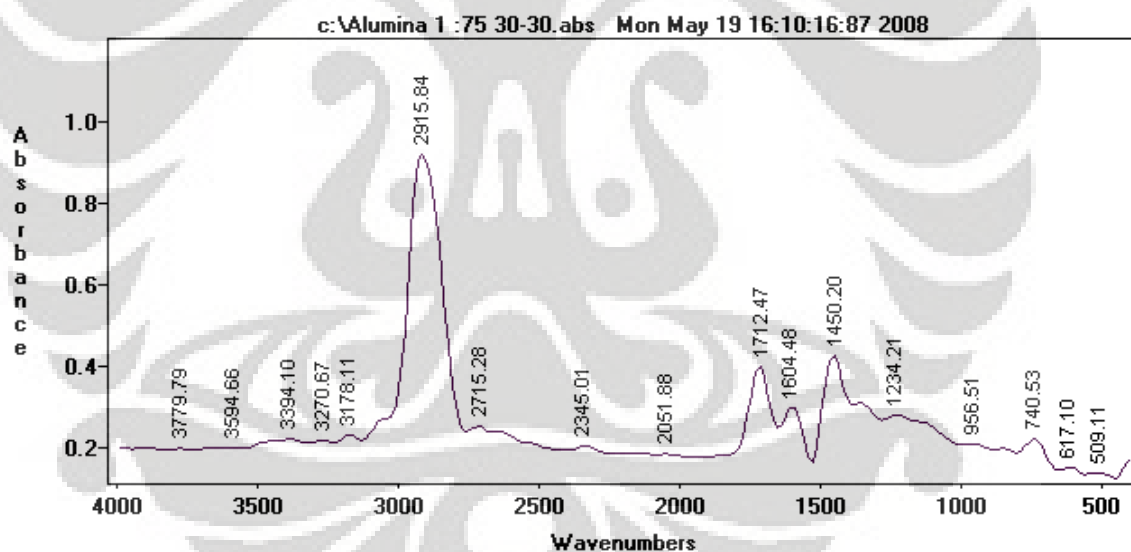
Analisis FTIR Perengkahan tahap 2 dengan lama waktu reaksi 30 menit



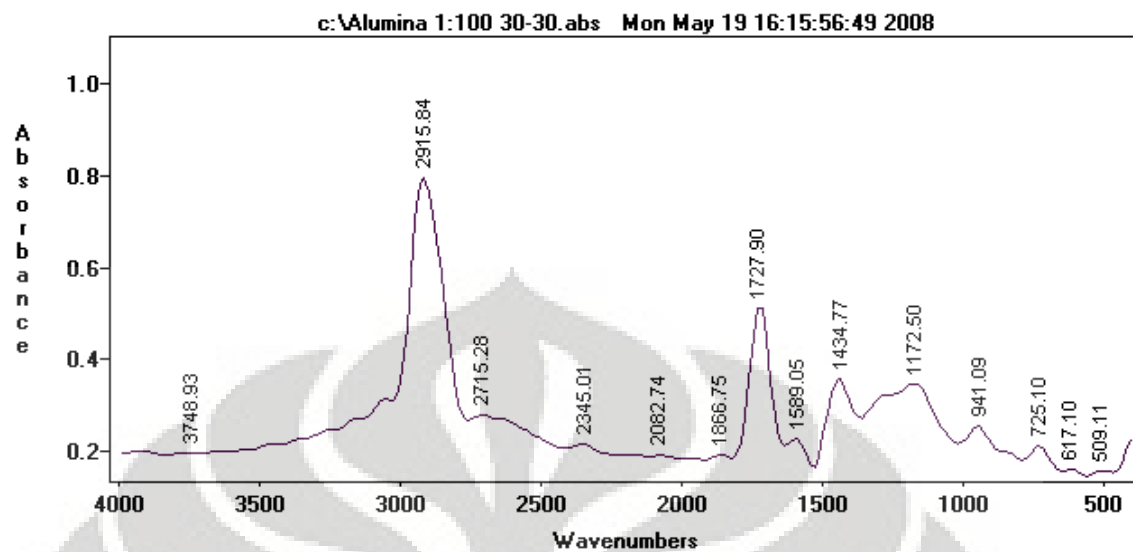
Analisis FTIR Perengkahan tahap 1 dengan lama waktu reaksi 60 menit



Analisis FTIR Perengkahan tahap 2 dengan lama waktu reaksi 60 menit



Analisis FTIR Perengkahan dengan rasio massa katalis 1:75



Analisis FTIR Perengkahan dengan rasio massa katalis 1:100