

**SINTESIS *BIOGASOLINE* DARI MINYAK KELAPA SAWIT
MELALUI REAKSI PERENKAHAN KATALITIK FASA
GAS MENGGUNAKAN KATALIS ALUMINA**

TESIS

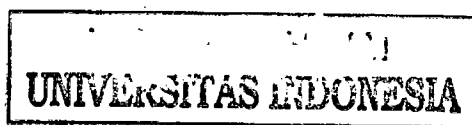
OLEH

QODRI FEBRILIAN ERAHMAN

0606151444



**PROGRAM STUDI PASCASARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
JUNI, 2008**



**SINTESIS *BIOGASOLINE* DARI MINYAK KELAPA SAWIT
MELALUI REAKSI PERENKAHAN KATALITIK FASA
GAS MENGGUNAKAN KATALIS ALUMINA**

TESIS

OLEH

QODRI FEBRILIAN ERAHMAN

0606151444

**TESIS INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGAIAN
PERSYARATAN MENJADI MAGISTER TEKNIK**

**PROGRAM STUDI PASCASARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
JUNI, 2008**

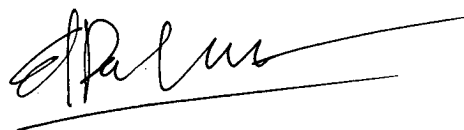
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya Menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa tesis dengan judul :

SINTESIS *BIOGASOLINE* DARI MINYAK KELAPA SAWIT MELALUI REAKSI PERENKAHAN KATALITIK FASA GAS MENGUNAKAN KATALIS ALUMINA

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada program studi Pascasarjana Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tesis yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar Magister di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya

Depok, 27 Juni 2008



(Qodri Febrilian Erahman)

NPM. 0606151444

LEMBAR PERSETUJUAN

Tesis dengan judul :

**SINTESIS *BIOGASOLINE* DARI MINYAK KELAPA SAWIT
MELALUI REAKSI PERENGGAHAN KATALITIK FASA GAS
MENGUNAKAN KATALIS ALUMINA**

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada Program Studi Pascasarjana Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian tesis.

Depok, 27 Juni 2008

Dosen Pembimbing



(Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M. Eng)

NIP : 131 644 936

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Prof.Dr.Ir.M.Nasikin, M.Eng

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

Depok, Juni 2008

Qodri Febrilian Erahman

ABSTRAK

Qodri Febrilian Erahman
NPM 0606151444
Departemen Teknik Kimia

Dosen Pembimbing :
Prof.Dr.Ir.M.Nasikin, M.Eng

SINTESIS *BIOGASOLINE* DARI MINYAK KELAPA SAWIT MELALUI REAKSI PERENKAHAN KATALITIK FASA GAS MENGGUNAKAN KATALIS ALUMINA

Pesatnya perkembangan kendaraan bermotor di Indonesia saat ini memicu peningkatan terhadap permintaan bahan bakar minyak khususnya bahan bakar bensin, namun keadaan yang terjadi saat ini tidak didukung dengan ketersediaan cadangan/sumber minyak fosil yang cukup untuk memenuhi kebutuhan. Kondisi ini memicu para peneliti untuk mencari sumber energi alternatif baru pengganti bahan bakar fosil dengan bahan bakar yang berasal dari minyak nabati yang dapat diperbaharui.

Salah satu minyak nabati yang potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif di Indonesia adalah minyak kelapa sawit. Penelitian sebelumnya telah membuktikan, bahwa minyak sawit dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan bahan bakar setaraf *gasoline* melalui reaksi perengkahan. Bahan bakar alternatif tersebut disebut juga sebagai *biogasoline*.

Telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya bahwa *biogasoline* dapat disintesis melalui reaksi perengkahan katalitik fasa cair menggunakan katalis zeolit dan alumina, namun yield yang didapat selalu rendah dan tidak menunjukkan hasil yang signifikan dalam penurunan viskositas maupun densitas. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh masih bercampurnya produk yang terbentuk dan reaktan yang belum bereaksi. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan reaksi perengkahan katalitik pada fasa gas menggunakan katalis alumina.

Reaksi perengkahan dilakukan menggunakan reaktor unggun tetap. Umpan yang akan dilewatkan menuju katalis diubah terlebih dahulu menjadi fasa gas, sehingga diperlukan pemanasan awal mendekati titik didih minyak sawit. Suhu optimum untuk pemanasan awal minyak sawit adalah 270 °C, sedangkan temperatur reaksi perengkahan akan dilakukan pada suhu, dimana katalis alumina dapat aktif, yaitu : 300 s/d 350 °C. Selain itu dilakukan pula variasi terhadap laju alir nitrogen pada rentang 25 s/d 100 mL/menit untuk mengetahui kondisi optimum yield fraksi gasoline yang diperoleh.

Produk yang dihasilkan dianalisis dengan kromatografi gas (GC), FTIR dan kromatografi gas spektroskopi massa (GCMS). Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi operasi yang optimum untuk menghasikan produk cair dengan % fraksi gasoline tertinggi adalah pada suhu 320 °C dengan laju alir 50 mL/menit, dimana yield fraksi bensin yang didapatkan adalah 55 %, sedangkan produksi gas tertinggi dicapai pada suhu 340 °C dengan laju alir 50 mL/menit. Perubahan yang teramati dengan meningkatnya suhu reaksi adalah produk gas yang dihasilkan semakin tinggi, sedangkan kenaikan laju alir akan menurunkan produksi gas. Gas hasil produk perengkahan terdiri atas berbagai macam kandungan diantaranya, yaitu : gas CO,

CO₂, CH₄, C₂H₄ dan C₂H₆. Densitas dan viskositas cenderung meningkat dengan adanya kenaikan suhu reaksi. Densitas dan viskositas terendah dicapai pada suhu reaksi 310 °C, yaitu berturut-turut 0,0119 P dan 0,789 gr/mL, sedangkan bilangan oktan tertinggi diperoleh pada suhu reaksi 300 °C, yaitu 106. Hasil analisis FTIR menunjukkan, bahwa terjadi pengurangan ikatan CH₂, CH₃ dan R-CH₃ dengan meningkatnya suhu reaksi. Analisis GCMS menunjukkan kandungan yang cukup tinggi pada senyawa alkana dan alkena dengan persentase berturut-turut adalah 55% dan 37%, sisanya merupakan golongan siklik dan aromatis. Hasil analisis GCMS juga menunjukkan, bahwa kandungan senyawa hidrokarbon tertinggi adalah hidrokarbon C₁₁. Pada penelitian ini dilakukan pula studi kinetika reaksi perengkahan dengan parameter kinetika konstanta laju reaksi dan orde reaksi berada pada rentang berturut-turut, yaitu : 57-62 hr⁻¹ dan 1,553-1,599.

Kata kunci : *Biogasoline, Crude Palm Oil, Catalytic Cracking, Alumina*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
ABSTRAK.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tanaman Kelapa Sawit.....	5
2.1.1. Potensi Perkembangan Kelapa Sawit	5
2.1.2. Pemanfaatan Kelapa Sawit	6
2.2. Minyak dan Lemak	6
2.2.1. Komposisi Minyak dan Lemak.....	7
2.2.2. Komposisi Minyak Kelapa Sawit	9
2.3. Bensin (<i>Gasoline</i>)	12
2.3.1. Kandungan Bensin.....	13
2.3.2. Spesifikasi Bensin.....	14
2.3.3. Bilangan Oktan	15
2.3.4. Penentuan Bilangan Oktan.....	16

2.4.	<i>Biogasoline</i>	18
2.5.	Katalis Heterogen.....	19
2.5.1.	Alumina.....	21
2.5.2.	Katalis JRC-ALO-3.....	21
2.5.3.	Keasaman Alumina.....	22
2.6.	Reaksi Perengkahan Katalitik.....	23
2.7.	Analisis Produk Perengkahan Katalitik.....	26
2.7.1.	Kromatografi Gas (<i>Gas chromatograph</i>).....	26
2.7.2.	Spektrofotometri FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>).....	27
2.7.3.	Kromatografi Gas Spektroskopi Massa (GCMS).....	29
BAB III. METODE PENELITIAN.....		32
3.1.	Rancangan Penelitian.....	32
3.2.	Rancangan Percobaan.....	33
3.2.1.	Tahap Kalibrasi Alat.....	33
3.2.2.	Tahap Pretreatment Minyak Sawit.....	33
3.2.3.	Tahap <i>Blank test</i>	33
3.2.4.	Tahap Preparasi Katalis.....	35
3.2.5.	Tahap Perengkahan Katalitik.....	36
3.2.6.	Tahap Analisis Produk Perengkahan Katalitik.....	37
3.2.7.	Tahap Perhitungan dan Pengolahan Data.....	41
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....		43
4.1.	Kalibrasi Alat Pemanas.....	43
4.2.	Pretreatment Minyak Sawit.....	43
4.3.	Penentuan Suhu Pemanasan Minyak Sawit.....	44
4.4.	Preparasi Katalis.....	47
4.5.	Perengkahan Katalitik.....	47
4.6.	Analisis Produk Perengkahan Katalitik.....	53
4.6.1.	Densitas.....	54

4.6.2.	Viskositas	56
4.6.3.	Bilangan Oktan.....	58
4.6.4.	Kromatografi Gas (GC).....	62
4.6.4.1.	<i>Analisis Produk Cair</i>	62
4.6.4.2.	<i>Analisis Produk Gas</i>	65
4.6.5.	Analisis FTIR (Fourier Transform Infra Red).....	73
4.6.6.	Analisis Kromatografi Gas Dan Spektroskopi Massa (GCMS).....	79
4.7.	Mekanisme Reaksi Perengkahan Katalitik.....	83
4.8.	Studi Kinetika Reaksi Perengkahan Katalitik	91
BAB V. KESIMPULAN		99
DAFTAR PUSTAKA		100
LAMPIRAN		104

DAFTAR GAMBAR

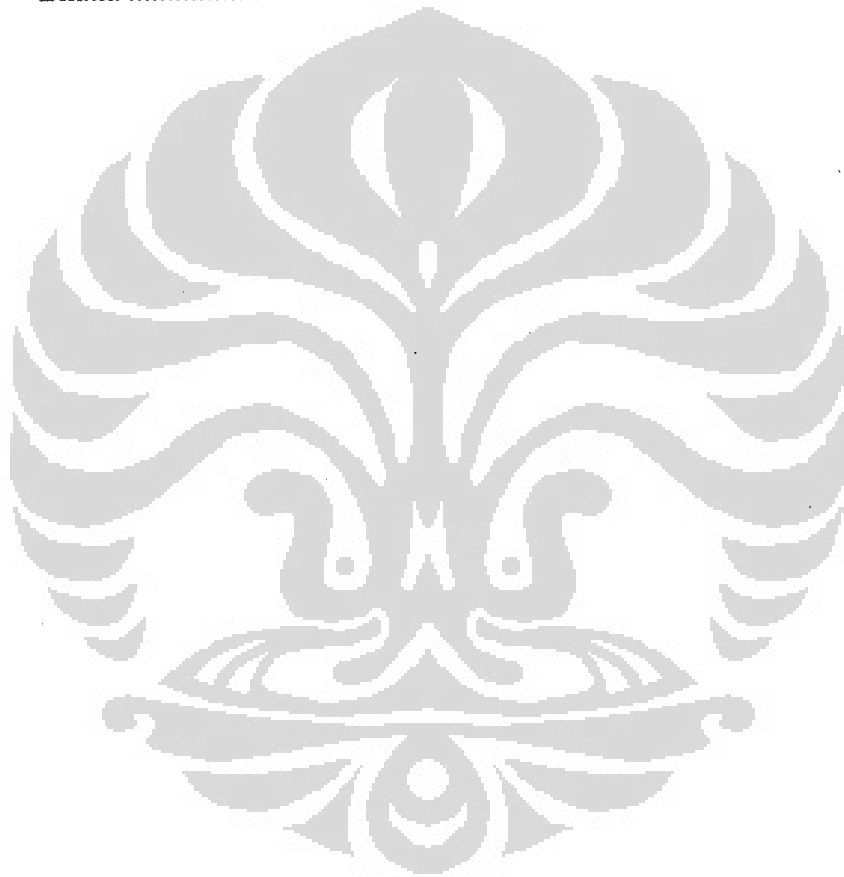
Gambar 2.1. Struktur Molekul Trigliserida.....	7
Gambar 2.2. Proses Reaksi Katalisis Heterogen	20
Gambar 2.3. Sisi Adsorpsi Asam Dan Sisi Adsorpsi Basa	23
Gambar 2.4. Sisi Asam Lewis Dan Bronted Pada Alumina.....	23
Gambar 2.5. Pemutusan Rantai Hidrokarbon Pada Perengkahan Katalitik	25
Gambar 2.6. Skema Alat Kromatografi Gas	27
Gambar 2.7. Skema Alat Spektrofotometer FTIR.....	28
Gambar 2.8. Skema Alat GC-MS.....	30
Gambar 3.1. Skema Penelitian.....	32
Gambar 3.2. Alat Perengkahan Katalitik	34
Gambar 4.1. Berat Minyak Sawit Teruapkan.....	45
Gambar 4.2. Grafik Laju alir Nitrogen Terhadap F/W Pada Suhu 270 °C.....	46
Gambar 4.3. Minyak Sawit Yang Terbentuk Pada Penentuan Suhu Pemanasan	47
Gambar 4.4. Bentuk Fisik Produk Perengkahan Katalitik Pada Berbagai Suhu.....	48
Gambar 4.5. Bentuk Fisik Residu Pada Perengkahan Katalitik	49
Gambar 4.6. Perbandingan Distribusi Produk Dengan Laju Alir Nitrogen 25 mL/Menit.....	50
Gambar 4.7. Perbandingan Distribusi Produk Dengan Laju Alir Nitrogen 50 mL/Menit.....	51
Gambar 4.8. Perbandingan Distribusi Produk Dengan Laju Alir Nitrogen 75 mL/Menit.....	51
Gambar 4.9. Perbandingan Distribusi Produk Dengan Laju Alir Nitrogen 100 mL/Menit.....	52
Gambar 4.10 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Perubahan Densitas.	55
Gambar 4.11. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Perubahan Viskositas	57
Gambar 4.12. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Perubahan TT ₅₀	59
Gambar 4.13. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Perubahan Bilangan Oktan.....	60

Gambar 4.13. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Perubahan Bilangan Oktan.....	60
Gambar 4.14. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Bilangan Oktan Dan Setana	61
Gambar 4.15. Pengaruh Suhu Reaksi dan Laju Alir Terhadap % Fraksi <i>Gasoline</i>	64
Gambar 4.16. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konsentrasi Gas CO	67
Gambar 4.17. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konsentrasi Gas CH ₄	68
Gambar 4.18. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konsentrasi Gas CO ₂	69
Gambar 4.19. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konsentrasi Gas Uap Air	70
Gambar 4.20. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konsentrasi Gas C ₂ H ₄	71
Gambar 4.21. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konsentrasi Gas C ₂ H ₆	72
Gambar 4.22. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Jumlah (Absorbansi) ikatan CH ₂	74
Gambar 4.23. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Jumlah (Absorbansi) ikatan CH ₃	75
Gambar 4.24. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Jumlah (Absorbansi) ikatan C=O.....	76
Gambar 4.25. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Jumlah (Absorbansi) ikatan R-CH ₃ ..	77
Gambar 4.26. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Jumlah (Absorbansi) ikatan R-(CH ₃) ₂	78
Gambar 4.27. % Kandungan Hidrokarbon Menurut Panjang Rantai.....	81
Gambar 4.28. Model Reaksi Perengkahan Katalitik	93
Gambar 4.29. Nilai Konstanta Laju Terhadap Perubahan Suhu Reaksi Pada Reaksi Trigliserida Menjadi <i>Gasoline</i>	94
Gambar 4.30. Nilai Orde Reaksi Terhadap Perubahan Suhu Reaksi Pada Reaksi Trigliserida Menjadi <i>Gasoline</i>	95
Gambar 4.31. Besar Konversi Pada Reaksi Trigliserida Menjadi <i>Gasoline</i> Terhadap Perubahan Laju Umpan Spesifik.....	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Asam Lemak Jenuh	8
Tabel 2.2. Asam Lemak Tidak Jenuh.....	9
Tabel 2.3. Komposisi Trigliserida Dalam Minyak Kelapa Sawit	10
Tabel 2.4. Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa Sawit	10
Tabel 2.5. Komposisi Senyawa Yang Tak Tersabunkan Dalam Minyak Sawit	11
Tabel 2.6. Komposisi Bensin Secara Umum.....	12
Tabel 2.7. Spesifikasi Bensin Yang Berlaku Di Indonesia	14
Tabel 2.8. Spesifikasi Katalis JRC-ALO-3	22
Tabel 3.1. Bentuk Penyajian Data Perengkahan Katalitik.....	37
Tabel 4.1 Berat Minyak Sawit Teruapkan Pada Suhu 270 °C.....	45
Tabel 4.2. Distribusi Produk Perengkahan Katalitik Pada Berbagai Suhu Reaksi Dan Laju Alir	50
Tabel 4.3. Nilai Densitas Pada Berbagai Suhu Reaksi.....	54
Tabel 4.4. Nilai Viskositas Pada Berbagai Suhu Reaksi	56
Tabel 4.5. Bilangan Oktan Pada Berbagai Suhu Reaksi	58
Tabel 4.6. % Fraksi <i>Gasoline</i> Pada Berbagai Suhu Dan Laju Reaksi	63
Tabel 4.7. Hasil Analisis GC Produk Gas Pada Berbagai Suhu Reaksi.....	66
Tabel 4.8. Absorbansi Berbagai Jenis Ikatan	73
Tabel 4.9. Spektra FTIR Produk Perengkahan Pada Berbagai Suhu Reaksi	74
Tabel 4.10. Persentase Tiap Senyawa Hidrokarbon Pada Produk Perengkahan Optimum Menurut Panjang Rantainya.....	79
Tabel 4.11. Persentase Tiap Senyawa Hidrokarbon Pada Produk <i>Biogasoline</i> Melalui Perengkahan Perengkahan Fasa Cair Skala Pilot 10 L (Nasikin, Dkk)	80
Tabel 4.12. Persentase Senyawa Hidrokarbon Pada Produk Perengkahan Menurut Jenisnya	82

Tabel 4.13. Nilai Konstanta Laju Dan Orde Reaksi Pada Reaksi Trigliserida Menjadi <i>Gasoline</i> Di Berbagai Suhu Reaksi	94
Tabel 4.14. Nilai Konstanta Laju Dan Orde Reaksi Pada Reaksi Trigliserida Menjadi Gas Di Berbagai Suhu Reaksi	96
Tabel 4.15. Energi Aktivasi Pada Model Reaksi Perengkahan	97
Tabel 4.16. Energi Aktivasi Pada Model Reaksi Perengkahan Pada Penelitian Bhatia	97



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada masa sekarang ini permintaan terhadap bahan bakar minyak (BBM) terus menerus mengalami peningkatan seiring dengan adanya pertambahan jumlah penduduk dan semakin tingginya tingkat ketergantungan akan energi pada bahan bakar minyak. Keadaan yang terjadi saat ini tidak didukung dengan ketersediaan cadangan/sumber minyak fosil yang cukup untuk memenuhi kebutuhan, dimana kondisinya saat ini sudah sangat menipis. Kondisi seperti ini memicu para peneliti untuk mencari sumber energi alternatif baru pengganti bahan bakar fosil yang dapat terus diperbaharui. Hal ini dapat dilakukan dengan mengganti bahan bakar fosil dengan bahan bakar terbarukan yang berasal dari tumbuhan (*renewable fuel*).

Gasoline yang digunakan saat ini merupakan jenis bahan bakar yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat dunia, termasuk Indonesia. Konsumsi *gasoline* terus menerus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor. Di Indonesia, produksi minyak mentah terus menurun yang diikuti dengan tingginya kenaikan harga minyak mentah dunia yang saat ini sudah mencapai kisaran US\$ 128 /barrel^[1], hal ini memicu kenaikan harga BBM termasuk *gasoline*. Oleh karena itu terdapat alasan yang semakin kuat untuk mencari produk BBM alternatif yang terbarukan.

Sejumlah tindakan telah dilakukan diantaranya adalah pemakaian biodiesel yang diperuntukkan untuk mesin diesel, dimana biodiesel dapat dihasilkan dari minyak tumbuhan, namun selain biodiesel terdapat usaha lain yang perlu diperhatikan, yaitu produksi bahan bakar bensin (*gasoline*) yang dapat diperbaharui, mengingat konsumsi bensin turut berperan serta dalam berbagai masalah terhadap ketersediaan bahan bakar. Salah satu cara dalam mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan memproduksi bahan bakar bensin yang berasal dari minyak nabati, yaitu *biogasoline*, dimana *biogasoline* dapat diproduksi dari minyak sawit.

Indonesia termasuk sebagai salah satu penghasil minyak sawit terbesar, dimana produksinya mencapai 7,83 juta ton per tahun ^[2]. Hal ini menunjukkan potensi yang besar terhadap produksi bahan bakar minyak yang berasal dari minyak sawit, karena Indonesia sangat potensial dalam produksi *biogasoline* yang berasal dari minyak sawit.

Beberapa penelitian mengenai proses produksi *biogasoline* dari minyak sawit telah dilakukan diantaranya adalah sintesis *biogasoline* dari minyak sawit melalui proses perengkahan pada fasa cair menggunakan katalis zeolit ^[3] dan katalis alumina ^[4], namun total yield yang didapat selalu rendah dan viskositas produk masih terlalu tinggi. Setelah itu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menghidrolisis senyawa ester yang terdapat dalam *biogasoline* menggunakan katalis zeolit ^[5], tetapi tidak menunjukkan hasil yang cukup baik dalam penurunan nilai viskositas dan densitas, kemudian penelitian dilanjutkan kembali dengan pembuatan *biogasoline* dari minyak sawit menggunakan katalis γ -Alumina ^[6], dan sintesis *biogasoline* dari minyak sawit melalui reaksi *hydrocracking* dengan katalis NiMo/Zeolit ^[7]. Beberapa penelitian tersebut menunjukkan, bahwa reaksi perengkahan minyak sawit pada fasa cair menunjukkan hasil yang kurang signifikan dalam hal penurunan viskositas dan peningkatan yield produk, kemungkinan hal ini disebabkan oleh reaksi perengkahan katalitik yang tidak terjadi secara optimal karena dilakukan dalam fasa cair dan masih bercampurnya produk yang terbentuk dengan triglisesida pada minyak sawit yang tidak terengkah. Kekurangan ini mungkin dapat diatasi dengan melakukan reaksi perengkahan dalam fasa gas karena katalis akan berfungsi lebih baik dan suhu reaksi dapat lebih tinggi dibandingkan dengan reaksi dalam fasa cair. Selain itu produk yang terbentuk juga terpisah dengan reaktan (minyak sawit), sehingga akan mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap kemurnian *biogasoline* dan penurunan viskositas, densitas *biogasoline* yang dihasilkan. Oleh karena itu untuk mendapatkan produk *biogasoline* dengan yield yang tinggi, viskositas dan densitas yang cukup rendah, sehingga sesuai dengan spesifikasi bensin komersil yang ada di pasaran, maka penelitian saat ini adalah melakukan sintesis *biogasoline* melalui reaksi perengkahan katalitik fasa gas.

Telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya mengenai pemakaian katalis alumina komersil, yaitu JRC-ALO (*Japan reference catalyst*) yang memberikan hasil yang cukup baik bila digunakan sebagai katalis pada reaksi perengkahan minyak sawit dan hasil terbaik diperoleh pada pemakaian katalis JRC-ALO-3^[8]. Berdasarkan laporan tersebut, maka penelitian ini akan menggunakan JRC-ALO-3 sebagai katalis pada reaksi perengkahan katalitik fasa gas.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah mengetahui kinerja reaksi perengkahan katalitik fasa gas dalam hubungannya terhadap perolehan yield, viskositas dan densitas produk *biogasoline* yang dihasilkan.

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mensintesis *biogasoline* dari minyak sawit melalui reaksi perengkahan katalitik pada fasa gas.
2. Mendapatkan kondisi operasi yang optimal, yaitu: temperatur pemanasan minyak sawit, laju alir nitrogen dan temperatur reaksi perengkahan katalitik
3. Melakukan perbandingan antara produk *biogasoline* hasil perengkahan dengan karakteristik bensin komersial
4. Melakukan studi kinetika reaksi perengkahan katalitik

1.4. Batasan Masalah

1. Bahan baku yang digunakan adalah minyak sawit mentah (*crude palm oil*) yang telah dihilangkan kadar airnya
2. Katalis yang digunakan adalah katalis alumina komersial (*Japan reference catalyst*), yaitu JRC-ALO-3
3. Pada penelitian ini reaksi perengkahan dilakukan dengan sistem kontinyu dan menggunakan reaktor unggun tetap (*fixed bed reactor*)

1.5. Sistematika Penulisan

Tesis ini ditulis dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi pendahuluan yang terdiri dari : latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Memberikan informasi mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini, seperti bahan baku/reaktan, katalis yang digunakan, reaksi perengkahan sampai dengan peralatan yang digunakan dalam analisis produk.

BAB III METODE PENELITIAN

Menjelaskan tahapan-tahapan, cara kerja, serta alat/bahan yang digunakan dari awal sampai dengan akhir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengemukakan hasil dari penelitian yang telah dilakukan dan menginformasikan analisis data dari hasil penelitian.

BAB V KESIMPULAN

Menyajikan kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit merupakan tanaman yang berbentuk pohon yang tingginya dapat mencapai 24 meter, akar tanaman kelapa sawit berupa akar serabut yang mengarah ke bawah dan ke samping, selain itu juga terdapat beberapa akar napas yang tumbuh mengarah ke samping atas untuk mendapatkan tambahan udara (*aerasi*)^[9].

Habitat asli tanaman kelapa sawit adalah daerah semak belukar. Kelapa sawit dapat tumbuh dengan baik di daerah tropis, tanaman ini tumbuh sempurna di ketinggian 0-500 m dari permukaan laut dengan kelembaban 80-90%^[9]. Kelapa sawit membutuhkan iklim dengan curah hujan stabil, 2000-2500 mm setahun^[9], yaitu daerah yang tidak tergenang air saat terjadi hujan dan tidak kekeringan saat kemarau. Pola curah hujan tahunan tersebut dapat mempengaruhi perilaku pembungaan dan produksi buah sawit. Di Indonesia penyebarannya terdapat di daerah Aceh, Pantai timur Sumatera, Jawa dan Sulawesi.

2.1.1. Potensi Perkembangan Kelapa Sawit

Indonesia termasuk salah satu dari beberapa negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia, namun saat ini Indonesia masih menduduki peringkat kedua setelah Malaysia. Pertumbuhan produksi minyak kelapa sawit di Indonesia diprediksikan akan meningkat untuk beberapa tahun kemudian, hal ini selain dipicu oleh permintaan minyak kelapa sawit sebagai bahan pangan, juga dipengaruhi oleh permintaan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku untuk produksi *biofuel*.

Sejak tahun 1978, perkembangan minyak kelapa sawit di Indonesia mengalami peningkatan yang cukup pesat. Telah terjadi peningkatan 25 kali lipat pada luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia selama 23 tahun^[10]. Data yang ada menunjukkan bahwa luas area perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun

1978 seluas 120 ribu Ha kemudian meningkat menjadi 2,975 juta Ha pada tahun 1999, dan diperkirakan akan meningkat 5 kali lipat sampai dengan akhir 2005^[10].

Data tersebut memberikan informasi yang cukup baik mengenai langkah dalam produksi *biofuel* khususnya *biogasoline* yang menggunakan minyak kelapa sawit sebagai bahan bakunya. Oleh karena itu dengan meningkatnya produksi minyak kelapa sawit diharapkan terdapat perkembangan pula terhadap teknologi dan pemanfaatan minyak kelapa sawit menjadi suatu produk yang memiliki nilai manfaat dan nilai jual yang lebih tinggi.

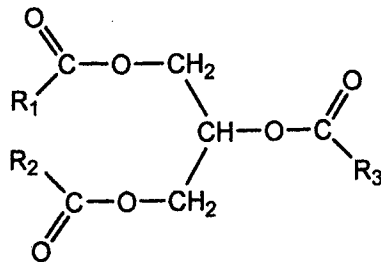
2.1.2. Pemanfaatan Kelapa Sawit

Bagian yang paling populer untuk diolah dari kelapa sawit adalah buahnya. Bagian daging buah menghasilkan minyak kelapa sawit mentah yang dapat diolah menjadi bahan baku minyak goreng, sabun, lilin ataupun produk yang berkaitan dengan bahan bakar yang dapat diperbaharui (*biofuel*), yaitu *biodiesel* dan *biogasoline*. Kelebihan minyak nabati dari kelapa sawit adalah harga yang murah, rendah kolesterol, dan memiliki kandungan karoten tinggi. Minyak sawit juga dapat diolah menjadi bahan baku margarin.

Minyak inti menjadi bahan baku minyak alkohol dan industri kosmetika. Bunga dan buahnya berupa tandan bercabang banyak, buahnya kecil, setelah matang akan berwarna merah kehitaman. Buah diproses dengan membuat lunak bagian daging buah dengan temperatur 90°C. Daging yang telah melunak dipaksa untuk berpisah dengan bagian inti dan cangkang dengan pressing pada mesin silinder berlubang. Daging inti dan cangkang dipisahkan dengan pemanasan dan teknik pressing. Setelah itu dialirkan ke dalam lumpur sehingga sisa cangkang akan turun ke bagian bawah lumpur^[13].

2.2. Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan suatu ester dari gliserol dan asam lemak dengan struktur seperti terlihat pada gambar 2.1. berikut ini.



Gambar 2.1. Struktur Molekul Trigliserida

Dimana R_1 , R_2 dan R_3 adalah rantai alkil dari asam-asam lemak.

Di alam, minyak atau lemak umumnya terdapat pada binatang dan tumbuhan. Berbagai bahan pangan seperti daging, ikan, telur, susu, buahan dan lain-lain mengandung minyak atau lemak yang umumnya dikonsumsi oleh manusia sehari-hari. Minyak atau lemak tersebut dikenal sebagai minyak atau lemak tersembunyi (*invisible fat*), sedangkan minyak atau lemak yang telah diekstrak dari bahan-bahan tersebut dan telah dimurnikan dikenal sebagai minyak atau lemak kasat mata (*visible fat*).

Berdasarkan sumbernya, minyak dan lemak digolongkan sebagai berikut ^[11] :

1. Bersumber dari tanaman (Minyak Nabati)
 - a. Biji-bijian palawija, misalnya jagung, kapas, kedelai, dan lainnya
 - b. Kulit buah tanaman tahunan, misalnya kelapa sawit, dan lainnya
 - c. Biji-bijian dari tanaman tahunan, misalnya kelapa, cokelat dan lainnya.
2. Bersumber dari hewan (Minyak atau lemak Hewani)
 - a. Susu hewan mamalia, misalnya susu sapi, kambing dan lainnya
 - b. Daging hewan ternak, misalnya lemak sapi, babi dan lainnya
 - c. Hasil laut, misalnya minyak ikan, minyak udang dan lainnya.

2.2.1. Komposisi Minyak dan Lemak

Minyak/lemak adalah suatu trigliserida yang tersusun dari gliserol dan asam-asam lemak. Komposisi asam lemak sangat mempengaruhi kualitas minyak/lemak

yang didapat. Asam lemak penyusun trigliserida berupa campuran dari berbagai macam asam lemak. Untuk menentukan urutan posisi dari asam lemak yang terikat dengan gliserol sangatlah sulit. Oleh karena itu, hanya dapat diketahui komposisinya melalui reaksi pemutusan trigliserida menjadi asam lemaknya, dan kemudian diketahui persen berat dari masing-masing asam lemak penyusunnya.

Asam lemak yang dijumpai di alam hampir selalu mempunyai atom karbon berjumlah genap. Sebagian besar asam lemak alam mempunyai rantai karbon tidak bercabang dan berbeda satu sama lain, dalam hal panjang rantai dan derajat ketidakteraturannya. Asam oleat merupakan asam lemak alam yang paling besar kelimpahannya, yang kemudian diikuti oleh asam palmitat, linoleat, miristat, stearat dan palmitoleat. Asam-asam lemak yang terdapat pada minyak atau lemak umumnya adalah :

Tabel 2.1. Asam Lemak Jenuh ^[12]

Nama Sistematis	Nama Trivial	Rumus Molekul
Asam Butanoat	Asam Butirat	C_3H_7COOH
Asam Heksanoat	Asam Kaproat	$C_5H_{11}COOH$
Asam Oktanoat	Asam Kaprilat	$C_7H_{15}COOH$
Asam Dekanoat	Asam Kaprat	$C_9H_{19}COOH$
Asam Dodekanoat	Asam Laurat	$C_{11}H_{23}COOH$
Asam Tetradekanoat	Asam Miristat	$C_{13}H_{27}COOH$
Asam Heksadekanoat	Asam Palmitat	$C_{15}H_{31}COOH$
Asam Oktadekanoat	Asam Stearat	$C_{17}H_{35}COOH$
Asam Ikosanoat	Asam Arakidat	$C_{19}H_{39}COOH$
Asam Dokosanoat	Asam Behenat	$C_{21}H_{43}COOH$
Asam Tetrakosanoat	Asam Lignoserat	$C_{23}H_{47}COOH$

Tabel 2.2.
Asam Lemak Tidak Jenuh ^[12]

Nama Sistematis	Nama Trivial	Rumus Molekul
Asam Tetradek-9-enoat	Asam Miristoleat	$C_{13}H_{27}COOH, \Delta^9$ cis
Asam Heksadek-9-enoat	Asam Palmitoleat	$C_{15}H_{29}COOH, \Delta^9$ cis
Asam Oktadek-9-enoat	Asam Oleat	$C_{17}H_{33}COOH, \Delta^9$ cis
Asam Oktadek-9,12-dienoat	Asam Linoleat	$C_{17}H_{31}COOH, \Delta^9, \Delta^{12}$ cis,cis
Asam Oktadek-9,12,15-trienoat	Asam Linolenat	$C_{17}H_{25}COOH, \Delta^9, \Delta^{12}, \Delta^{15}$ all cis
Asam Ikosa-6,9,12,5-tetraenoat	Asam Arakhidonat	$C_{19}H_{31}COOH, \Delta^5, \Delta^8, \Delta^{11}, \Delta^{14}$ all cis

2.2.2. Komposisi Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit merupakan minyak yang dihasilkan dari buah tanaman kelapa sawit. Minyak kelapa sawit adalah minyak semi padat yang memiliki komposisi yang tetap. Minyak kelapa sawit seperti umumnya minyak nabati lainnya merupakan senyawa yang tidak larut dalam air dengan komponen penyusunnya utamanya adalah suatu senyawa trigliserida dan nontrigliserida.

a. Senyawa Trigliserida

Seperti halnya lemak dan minyak lainnya, minyak kelapa sawit terdiri atas trigliserida yang merupakan ester dari gliserol dengan tiga molekul asam lemak. Trigliserida merupakan senyawa ester dari asam lemak dan gliserol yang berikatan (gambar 2). Bila $R_1 = R_2 = R_3$ atau ketiga asam lemak penyusunnya sama maka trigliserida ini disebut trigliserida sederhana, tetapi apabila salah satu atau lebih asam lemak penyusunnya tidak sama maka disebut trigliserida campuran.

Asam lemak merupakan rantai hidrokarbon yang setiap atom karbonnya mengikat satu atau dua atom hidrogen, kecuali atom karbon terminal mengikat tiga

atom hidrogen, sedangkan atom karbon terminal lainnya mengikat gugus karboksil. Asam lemak yang pada rantai hidrokarbonnya terdapat ikatan rangkap disebut asam lemak tidak jenuh dan apabila tidak terdapat ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya karbonnya disebut sebagai asam lemak. Semakin jenuh molekul asam lemak dalam molekul trigliserida, maka akan semakin tinggi titik beku atau titik cair minyak tersebut, sehingga pada suhu kamar biasanya berada dalam fase padat. Sebaliknya semakin tidak jenuh asam lemak dalam molekul trigliserida, maka semakin rendah pula titik leleh atau titik.cair minyak tersebut sehingga pada suhu kamar umumnya berada dalam fase cair.

Berikut ini adalah tabel dari komposisi trigliserida dan tabel komposisi asam lemak dari minyak kelapa sawit^[13]:

Tabel 2.3.

Komposisi Trigliserida Dalam Minyak Kelapa Sawit

Trigliserida	Jumlah (%)
Tripalmitin	3 - 5
Dipalmito – Stearine	1 - 3
Oleo – Miristopalmitin	0 - 5
Oleo – Dipalmitin	21 - 43
Oleo- Palmitostearine	10 - 11
Palmito – Diolein	32 - 48
Stearo – Diolein	0 - 6
Linoleo - Diolein	3 -12

Tabel 2.4.

Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa Sawit

Asam Lemak	Ikatan karbon	Jumlah (%)
Asam Laurat	(12:0)	0,5 - 1
Asam Palmitat	(16:0)	40 - 46
Asam Stearat	(18:0)	3,6 - 4,7
Asam Oleat	(12:0)	30 - 45
Asam Linoleat	(18:2)	7 - 11
Asam Linolenat	(18:3)	0,5 - 1

b. Senyawa non trigliserida

Selain trigliserida masih terdapat senyawa lain dalam minyak kelapa sawit dengan jumlah kecil, yaitu senyawa non trigliserida, dimana senyawa yang termasuk dalam non trigliserida antara lain : monogliserida, digliserida, fosfatida, karbohidrat, turunan karbonidrat., protein dan bahan-bahan berlendir atau getah (gum) serta zat-zat berwarna yang memberikan warna serta rasa dan bau yang tidak diinginkan.

Dalam proses pemurnian dengan penambahan alkali (biasanya disebut dengan proses penyabunan) beberapa senyawa non trigliserida ini dapat dihilangkan, kecuali beberapa senyawa yang disebut sebagai senyawa yang tak tersabunkan seperti tercantum dalam tabel 2.5. berikut ini ^[13]:

Tabel 2.5.

Komposisi Senyawa Yang Tak Tersabunkan Dalam Minyak Sawit

Senyawa	%	ppm
Karotenoida		
α - Karotenoida	36,2	
β - Karotenoida	54,4	500-700
γ - Karotenoida	3,3	
Likopene	3,8	
Xantophyl	2,2	
Tokoperol		
α - tokoperol	35	
γ - tokoperol	10	500-800
δ - tokoperol	35	
$\Sigma + \text{H} + \text{tokoperol}$	20	
Sterol		
Kolesterol	4	
Kompesterol	21	Mendekati
Stigmasterol	21	300
β - sitosterol	63	
Phospatida		
Alkohol		
Triterpenik alkohol	80	Mendekati
Alifatik alkohol	26	800

2.3. Bensin (*Gasoline*)

Bensin merupakan campuran senyawa hidrokarbon dengan rentang rantai karbon 5 s/d 12 (C_5-C_{12}) dengan kisaran titik didih 30 s/d 180 °C. Bensin dihasilkan dari distilasi fraksionasi minyak bumi, dimana pemisahannya didasarkan atas perbedaan titik didih, disilasi fraksionasi ini menghasilkan 25% bensin untuk setiap liter minyak bumi. Pada umumnya bensin digunakan sebagai konsumsi bahan bakar untuk kendaraan bermotor. Selain dari proses pengilangan minyak bumi bensin juga dapat diperoleh melalui proses perengkahan, reformasi, alkilasi dan isomerisasi, dimana proses tersebut dapat dilakukan dengan bahan baku hidrokarbon rantai pendek atau panjang. Tabel 2.6 menjelaskan komposisi bensin secara umum.

Tabel 2.6.
Komposisi Bensin Secara Umum ^[14]

No	Parameter	Komposisi
1.	Panjang rantai hidrokarbon	C5-C11
2.	Komposisi (% berat)	
	C	85-88
	H	12-15
	O	0
3.	Densitas (gr/mL pada 25°C)	0.72-0.78
4.	Viskositas (gr/mL pada 25°C)	0.037
5.	Titik didih (°C)	27-225
6.	Angka oktan	
	RON	90-100
	MON	81-90
	(RON+MON)/2	86-94

2.3.1. Kandungan Bensin

Kandungan bensin terdiri atas berbagai macam jenis senyawa hidrokarbon diantaranya, yaitu :

a. Paraffin

Paraffin adalah sebutan untuk alkana rantai lurus, paraffin merupakan hidrokarbon jenuh yang pada umumnya tidak mudah bereaksi dengan reagensia organik, karena sifatnya yang kurang reaktif ini, maka dinamakan paraffin. Paraffin berasal dari bahasa latin, yaitu (Latin : *parum affinis*)^[15] yang berarti affinitas kecil. Paraffin dengan rentang C₅ s/d C₁₈ pada suhu kamar berupa cair, sedangkan untuk rantai karbon lebih dari 18 berupa padatan. Jenis paraffin yang terkandung dalam bensin adalah paraffin dengan rentang karbon 5 s/d 11.

b. Naphtene

Naphtene merupakan jenis senyawa hidrokarbon jenuh dengan struktur rantai siklik, hidrokarbon jenis ini kadang disebut juga sebagai sikloparafin. Naphtene dapat diperoleh dari hasil hidrogenasi senyawa aromatis, seperti : benzena, toluena, xylene, dll. Jenis naphtene yang terkandung dalam bensin adalah sikloheksana, siklopentana, siklooktana dll^[15].

c. Olefin

Olefin merupakan jenis senyawa hidrokarbon tak jenuh dengan ikatan rangkap terbuka, seperti : etilena, propilena dan butilena. Olefin dapat diperoleh dari hasil produk *thermal cracking* dan *catalytic cracking* pada kilang minyak bumi. Olefin merupakan hidrokarbon yang bersifat reaktif, hal ini disebabkan oleh adanya ikatan rangkap atau tak jenuh, sehingga mudah berpolimerisasi membentuk suatu produk polimer, oleh karena itu olefin lebih digunakan ke dalam bahan baku petrokimia. Jenis olefin yang terkandung dalam bensin adalah olefin dengan rantai hidrokarbon 5 s/d 11^[15].

e. Aromatik

Aromatik merupakan senyawa hidrokarbon yang mempunyai struktur cincin dengan ikatan tak jenuh di dalamnya. Senyawa aromatik biasanya digunakan sebagai pelarut untuk senyawa nonpolar, contohnya adalah benzena. Benzena merupakan senyawa aromatik yang paling sederhana. Benzena merupakan salah satu senyawa aromatik yang terkandung dalam bensin, selain itu benzena tersubstitusi juga terkandung dalam bensin ^[15].

2.3.2. Spesifikasi Bensin

Sebelum digunakan pada mesin kendaraan bermotor, bensin harus memenuhi suatu spesifikasi yang menunjukkan suatu kondisi yang memenuhi persyaratan yang berlaku pada suatu negara, hal ini dikarenakan spesifikasi bensin di setiap negara berbeda-beda bergantung pada kondisi daerah, iklim dan kebijakan yang ditetapkan oleh negara yang bersangkutan. Spesifikasi adalah ketentuan yang menetapkan batas-batas kualitas suatu produk atau dapat juga diartikan sebagai ketentuan optimal yang dapat mengakomodasi kebutuhan ideal para pemakai serta kemampuan teknis dan ekonomis pihak pemasok.

Spesifikasi bensin yang berlaku di Indonesia ditetapkan oleh pemerintah melalui surat Keputusan Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi No.22K/72/DDJM/1990, dimana bensin yang beredar harus mempunyai persyaratan yang dijabarkan pada tabel 2.7 berikut ^[16].

Tabel 2.7.

Spesifikasi Bensin Premium Yang Berlaku Di Indonesia

No	Parameter	Spesifikasi	Metode Pengukuran
1.	Angka Oktan F1 (RON) Premium	Min. 87	ASTM D-2699
2.	Kadar TEL	Maks. 2.5	ASTM D-526

	(mL US gal)		
3.	Distilasi 10% vol evaporasi (°C) 50% vol evaporasi (°C) 90% vol evaporasi (°C) Titik didih akhir (°C) Residu (%vol)	Maks.74 Min. 88 Maks. 125 Maks.180 Maks.205 Min. 8 Maks. 2	ASTM D-86
4.	RVP pada 100 °F (psi)	Maks. 9	ASTM D-323
5.	Gedah Purna (mg/100 mL)	Maks. 4	ASTM D-381
6.	Periode Induksi (menit)	Min. 240	ASTM D-525
7.	Kadar Belerang (%massa)	Maks. 0.2	ASTM D-1266
8.	Korosi Bilah Tembaga	Maks. No 1	ASTM D-130
9.	Kandungan Merkaptan (%massa)	Maks. 0.0015	ASTM D-1299
10.	Warna	Kuning	
11.	Bau	Wajar	

2.3.3. Bilangan Oktan

Karakteristik utama yang penting untuk diketahui dalam bensin adalah sifat pembakarannya yang biasanya diukur dengan bilangan oktan. Bilangan oktan menunjukkan tingkat kemudahan bensin untuk mengalami pembakaran sendiri atau autoignisi. Semakin besar bilangan oktan maka bensin tersebut akan semakin sulit mengalami pembakaran sendiri, sehingga memperkecil peluang terjadinya ketukan atau *knocking* pada ruang bakar mesin. *Knocking* adalah peristiwa dimana bensin bensin terbakar sebelum piston mencapai kompresi maksimal atau sebelum busi memercikkan api pembakaran. *Knocking* dapat mengganggu kinerja mesin dan kerusakan pada mesin.

N-heptana adalah hidrokarbon rantai lurus yang mudah mengalami ketukan di dalam mesin bensin, karenanya n-heptana dinyatakan memiliki bilangan oktan sama dengan nol, sedangkan isooktana atau 2,2,4-trimetilpentana adalah hidrokarbon yang tidak mudah mengalami ketukan, sehingga dinyatakan memiliki bilangan oktan sama dengan 100^[17]. Bilangan oktan yang diuji pada bensin sama dengan banyaknya persen kandungan isooktana dalam bahan bakar acuan yang memberikan intensitas ketukan yang sama pada bensin tersebut. Jika suatu bensin memiliki bilangan oktan 88, maka bensin tersebut memiliki ketahanan terhadap ketukan yang sama dengan campuran 88% isooktana dan 12% n-heptana^[17], jadi semakin tinggi bilangan oktana maka semakin sulit bensin tersebut untuk terbakar sendiri, sehingga dapat dikatakan kualitas bensin semakin baik. Untuk mendapatkan bensin dengan bilangan oktan yang cukup tinggi biasanya dilakukan dengan^[18]:

1. Meningkatkan kandungan aromatis yang terdapat dalam bensin pada saat pengilangan minyak bumi dan melalui proses reformasi
2. Meningkatkan kandungan alkana bercabang
3. Menambahkan aditif seperti timbal, yaitu : *tetra ethyl lead* (TEL) dan *tetra methyl lead* (TML)
4. Mencampur bensin dengan suatu bahan yang memiliki bilangan oktan yang tinggi, contoh : alkohol dan eter.

2.3.4. Penentuan Bilangan Oktan

Bilangan oktan diukur dengan menggunakan mesin CFR (*cooperative Fuel Research*) yang dioperasikan pada kondisi tertentu, dimana bahan bakar dibandingkan dengan bahan bakar rujukan yang terbuat dari n-heptana yang mempunyai bilangan oktan nol dan isooktan dengan bilangan oktan 100 yang memberikan intensitas ketukan yang sama pada mesin uji. Pada saat penentuan bilangan oktan akan terdapat dua jenis bilangan oktan yang berhubungan dengan kondisi pengukuran, yaitu^[17]:

1. *Research octane number* (RON)

Research octane number (RON) adalah pengukuran bilangan oktan bensin yang diukur pada keadaan operasi sedang dan menggambarkan kecenderungan bensin untuk mengalami ketukan pada pengendaraan biasa (kecepatan mesin ± 600 rpm). Nilai RON diukur menggunakan metode ASTM D-2699

2. *Motor octane number* (MON)

Motor octane number (MON) adalah pengukuran bilangan oktan bensin yang diukur pada kondisi operasi yang lebih berat. MON menggambarkan kecenderungan bensin untuk mengalami ketukan pada tugas operasi berat dan kecepatan tinggi (kecepatan mesin ± 900 rpm). Nilai MON diukur menggunakan metode ASTM D-2700.

Bilangan oktan bensin yang telah diketahui pada umumnya didasarkan atas rata-rata penjumlahan antara bilangan RON dan MON, yaitu :

$$\text{Angka oktan} = \frac{RON + MON}{2} \quad (2.1)$$

Pada penelitian ini pengukuran bilangan oktan tidak dilakukan dengan metode RON dan MON, namun dengan metode korelasi antara bilangan setana dengan bilangan oktan, dimana persamaan korelasinya adalah sebagai berikut ^[14]:

$$ON = -0.8027 CN + 120.56 \quad (2.2)$$

Nilai CN didapat dengan menggunakan persamaan-persamaan ASTM D-976 sebagai berikut :

$$CN = CI - 2 \quad (2.3)$$

$$CI = 0.49083 + (1.06577X) - (0.0010552 X^2) \quad (2.4)$$

$$X = 97.833 (\log TT_{50})^2 + (2.2088 G \log TT_{50}) + 0.01247.G^2 - (423.51 \log TT_{50}) - 4.78008.G + 419.59 \quad (2.5)$$

Keterangan :

CI : Indeks setana (prediksi bilangan setana)

G : °API *gravity*

TT₅₀ : temperatur distilasi (°F) untuk 50% distilat ter-*recovery*

Nilai G atau °API *gravity* dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\text{°API} = \frac{141.5}{\text{sp.gr.60/60}^\circ F} - 131.5 \quad (2.6)$$

Nilai *specific gravity* dihitung dengan membandingkan nilai densitas produk yang telah dihitung sebelumnya dengan nilai densitas air pada suhu 60 °F (15,5 °C). Berdasarkan penelitian sebelumnya, hasil bilangan setana yang dihitung menggunakan persamaan-persamaan di atas rata-rata lebih besar 13,07 % dibandingkan dengan nilai sesungguhnya, oleh karena itu agar didapatkan nilai CN yang lebih akurat diperlukan faktor koreksi sebesar 1/1.307 atau 88.44% yang berguna sebagai koefisien (pengali) bilangan setana hasil perhitungan.

2.4. *Biogasoline*

Biogasoline merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin berbahan bakar bensin (*gasoline*) dengan bahan baku berasal dari minyak nabati, sehingga dapat disebut juga sebagai bahan bakar *renewable* (dapat diperbaharui). *Biogasoline* dihasilkan melalui proses perengkahan katalitik pada minyak sawit, dimana trigliserida yang terkandung dalam minyak sawit akan terengkah secara katalitik menjadi campuran senyawa penyusun *gasoline* (C₅ – C₁₁) [15]. Hambatan yang terdapat dalam produksi *biogasoline* adalah kebutuhan energi yang cukup besar dan sulitnya produk *biogasoline* untuk mencapai viskositas dan bilangan oktan yang sesuai dengan kriteria bensin eksisting.

Produksi *biogasoline* pada saat ini belum dapat mencapai skala industri karena beberapa alasan, diantaranya adalah biaya operasional yang belum mencapai titik ekonomis jika dibandingkan dengan operasional pada kilang minyak, harga minyak sawit selaku bahan baku yang terus meningkat seiring dengan kenaikan harga minyak mentah, sehingga memberikan kecenderungan untuk menjual minyak sawit mentah (CPO) daripada memproduksi *biogasoline*, harga produk *biogasoline* yang belum dapat menyaingi harga bensin komersial setelah dilakukan perhitungan terhadap keseluruhan biaya yang dibutuhkan dalam proses produksi *biogasoline*, adanya persaingan terhadap penggunaan bahan bakar alternatif lain yang cukup kompeten, yaitu gas alam dimana kondisinya cukup melimpah dan pemanfaatannya masih relatif sedikit di Indonesia.

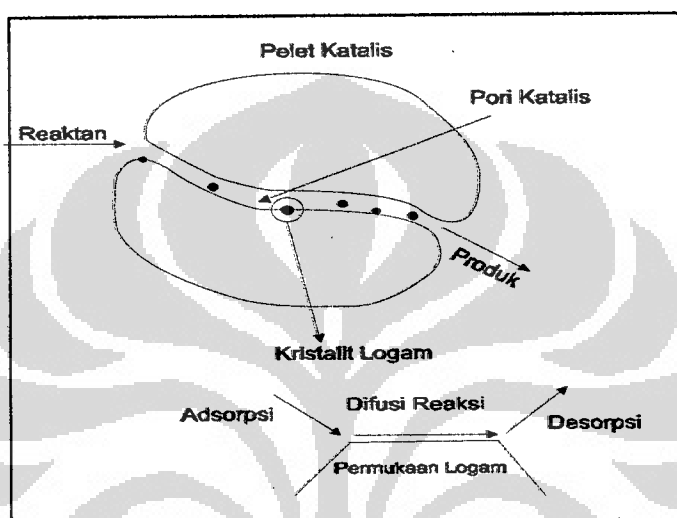
2.5. Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang mempunyai fasa yang berbeda dengan fasa medium reaktan dan produk dalam proses katalisis. Reaksi katalisis heterogen ini biasanya menggunakan katalis dari fasa padat yang berinteraksi dengan reaktan pada fasa yang berbeda yaitu cair atau gas, sehingga interaksi yang terjadi dapat berupa padat-cair atau padat-gas. Reaksi antara reaktan dengan katalis heterogen umumnya terjadi di permukaan katalis dan disebut kontak katalis^[19].

Secara umum katalis heterogen diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu oksida logam dan logam. Katalis oksida logam sering digunakan dalam katalis oksidasi karena aktivitasnya yang dapat bertindak sebagai asam dan basa. Katalis logam sering digunakan sebagai katalis hidrogenasi karena kemampuannya untuk mengadsorpsi hidrogen membentuk hidrida logam^[19].

Proses katalis heterogen lebih kompleks dibandingkan dengan katalis homogen karena katalis yang dipergunakan berbeda fasanya dengan reaktan sehingga katalis tidak terdistribusi secara merata dalam medium reaksi. Mengacu pada sistem dua fasa, baik gas-padat atau cair-padat dengan katalis sebagai fasa padat, reaksi katalisis heterogen melibatkan lima tahapan proses sebagai berikut^[19]:

1. Transport reaktan ke permukaan katalis.
2. Interaksi antara reaktan dengan katalis (adsorpsi).
3. Reaksi antara spesies teradsorpsi untuk menghasilkan produk.
4. Desorpsi produk dari permukaan katalis.
5. Transport produk menjauh dari katalis.



Gambar 2.2.
Proses Reaksi Katalisis Heterogen

Tahap 1 dan 5 melibatkan transport fisik. Pada tahap 2 dan 4 terdapat interaksi antara reaktan dan katalis yang melibatkan perubahan kimia. Tahap 3 merupakan tahap penurunan energi aktivasi reaksi.

Keuntungan menggunakan katalis heterogen antara lain ^[19]:

- Aktivitas dan selektifitas katalis tinggi.
- Katalis tidak mudah mengkorosi kolom reaksi atau reaktor.
- Dapat digunakan secara berulang.
- Antara katalis dan hasil reaksi mudah dipisahkan.
- Tidak ada masalah dalam pembuangan katalis yang telah dipakai. Dan aman bagi lingkungan.

2.5.1. Alumina

Alumina termasuk ke dalam kelompok oksida aluminium, baik oksida aluminium terhidrat maupun anhidrat. Alumina ditemukan di alam dalam bentuk hidroksida tidak murni dan merupakan penyusun utama bauksit. Alumina adalah sebutan untuk aluminium oksida dengan rumus molekul Al_2O_3 . Alumina dapat digunakan sebagai katalis pada reaksi perengkahan katalitik. 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 dalam bentuk amorf^[19].

Alumina transisi yang paling terkenal kegunaannya sebagai katalis adalah $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan $\eta\text{-Al}_2\text{O}_3$ ^[19]. Katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ memiliki luas permukaan dan pori-pori yang lebih besar daripada $\eta\text{-Al}_2\text{O}_3$. Katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ merupakan alumina transisi dan merupakan padatan metastabil dan dapat dibentuk melalui pemanasan $\text{Al}(\text{OH})_3$ pada suhu 500-800 °C. Pemanasan menyebabkan $\text{Al}(\text{OH})_3$ terdekomposisi menjadi suatu oksida dengan sistem mikropori dan luas permukaan yang besar^[19].

$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ merupakan kelompok alumina transisi yang paling banyak digunakan sebagai katalis dan adsorben. Hal ini disebabkan karena $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ mempunyai luas permukaan yang besar (120-300 m^2/g), volume pori yang besar (0,5 - 1 cm^3/g) dan diameter pori besar (3 - 12nm), serta stabil dalam proses katalisis^[19].

2.5.2. Katalis JRC-ALO-3

Katalis JRC-ALO-3 merupakan salah satu dari berbagai macam katalis alumina yang telah diproduksi secara komersial. Katalis ini diproduksi di Jepang, oleh karena itu JRC merupakan singkatan dari *Japan Reference Catalyst*. Katalis JRC-ALO-3 merupakan katalis alumina asam dengan struktur γ , sehingga katalis ini dapat diklasifikasikan sebagai katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Katalis ini mempunyai kandungan alumina yang tinggi (99,67 %) ^[24]. Katalis ini digunakan atas dasar keasamannya yang tinggi, sehingga sangat baik apabila digunakan untuk mengkatalisis reaksi

perengkahan, dimana reaksi perengkahan membutuhkan keasaman yang cukup tinggi dalam proses katalitik.

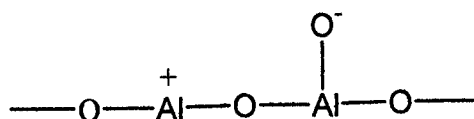
Pada penelitian terdahulu telah dibandingkan keefektifan antara katalis JRC-ALO-3 dan JRC-ALO-6 dalam reaksi perengkahan katalitik pada minyak sawit. Penelitian tersebut memberikan informasi bahwa katalis JRC-ALO-3 memberikan hasil yang lebih baik dalam hal yield fraksi gasoline, viskositas, dan bilangan oktan yang didapatkan dari produk reaksi perengkahan katalitik pada minyak sawit, oleh karena itu pada penelitian ini digunakan katalis JRC-ALO-3 Tabel 2.8 menjelaskan spesifikasi mengenai katalis JRC-ALO-3 ^[24].

Tabel 2.8.
Spesifikasi Katalis JRC-ALO-3

Variabel	Katalis JRC-ALO-3
% Fe ₂ O ₃	0.01
% SiO ₂	0.01
% Na ₂ O	0.3
% TiO ₂	0.01
% Cl	-
% Al ₂ O ₃	99.67
Struktur kristal	γ
Luas permukaan (m ² /gr)	128

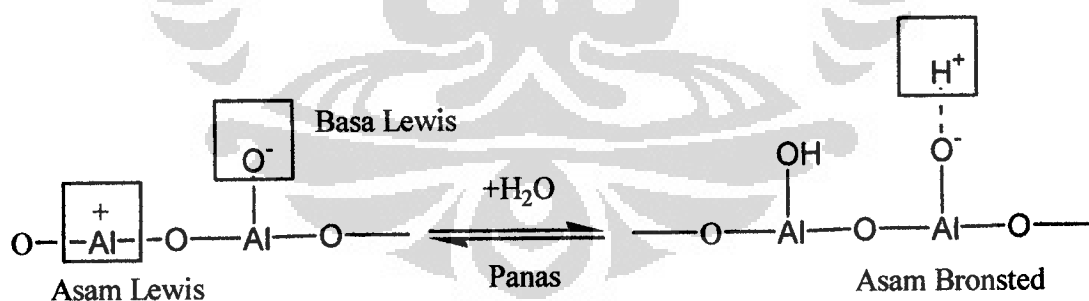
2.5.3. Keasaman Alumina

Katalis alumina mempunyai sisi adsorpsi yang sifatnya heterogen. Terdapat sisi adsorpsi asam dan sisi adsorpsi basa. Sisi-sisi permukaan ini dihasilkan dari dehidroksilasi permukaan alumina dengan suhu tinggi ^[22]. Untuk lebih jelasnya mengenai sisi adsorpsi asam dan sisi adsorpsi basa dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Sisi Adsorpsi Asam Dan Sisi Adsorpsi Basa

Sisi asam Lewis digambarkan sebagai koordinasi atom aluminium yang tidak lengkap dan terbentuk karena dehidrasi pada suhu tinggi, akibatnya akan terbentuk anion oksigen pada permukaan aluminium sebagai sisi basa Lewisnya. Sisi asam Bronsted digambarkan pada atom aluminium yang mengadsorpsi H_2O . Keelektronegatifan sisi asam Lewis akan menurun dengan adanya adsorpsi H_2O , karena pasangan elektron dari atom oksigen pada molekul air akan disumbangkan ke sisi Lewis, sehingga muatan negatif oksigen pada sisi basa menjadi lebih elektronegatif ^[26]. Asam Lewis juga dapat dikatakan sebagai sisi yang mampu menerima elektron, dan sisi asam Bronsted sebagai sisi yang dapat melakukan donor proton. Sisi asam Lewis dan Bronsted pada permukaan alumina dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Sisi Asam Lewis Dan Bronted Pada Alumina ^[19]

2.6. Reaksi Perengkahan Katalitik

Reaksi perengkahan merupakan sebutan untuk suatu reaksi organik yang melibatkan pemutusan rantai hidrokarbon, sehingga terjadi perubahan dari molekul hidrokarbon berat (rantai panjang) menjadi molekul hidrokarbon ringan (rantai

pendek) [27]. Pada kilang minyak, unit perengkahan merupakan unit yang berperan penting dan digunakan secara luas untuk mengkonversi minyak berat ke *gasoline* dan produk ringan lainnya yang memiliki nilai jual yang lebih tinggi. Pada pengilangan minyak, sumber hidrokarbon berat yang akan direngkahkan diperoleh dari fraksi *naptha* yang berasal dari hasil distilasi fraksionasi minyak mentah [27].

Reaksi perengkahan tidak ada yang bersifat tunggal dan spesifik, hal ini dapat diartikan bahwa reaksi perengkahan terjadi secara acak, tidak ada suatu molekul hidrokarbon yang terengkah menurut 1 mekanisme reaksi yang pasti. Molekul dapat terengkah di berbagai tempat bergantung pada jenis molekul hidrokarbon dan kondisi operasi.

Reaksi perengkahan hidrokarbon melibatkan terputusnya rantai tunggal (C-C) menghasilkan molekul dengan rantai hidrokarbon yang lebih pendek. Reaksi perengkahan terjadi secara endotermis, sehingga apabila dikaji secara termodinamika reaksi ini lebih diinginkan terjadi pada suhu tinggi. Pada awalnya reaksi perengkahan dilakukan hanya dengan menggunakan suhu tinggi (perengkahan termal), namun beberapa waktu kemudian terdapat metode lain, yaitu reaksi perengkahan katalitik dilakukan menggunakan katalis untuk mempercepat laju perengkahan, oleh karena itu secara umum reaksi perengkahan terdiri atas 2 macam metode, yaitu: reaksi perengkahan termal dan perengkahan katalitik [25].

Reaksi perengkahan katalitik merupakan suatu reaksi perengkahan dengan hadirnya katalis sebagai pemercepat laju reaksi perengkahan. Katalis yang biasa digunakan pada reaksi perengkahan katalitik merupakan katalis heterogen dengan keasaman yang cukup tinggi, yaitu katalis zeolit dan alumina. Reaksi perengkahan katalitik biasanya berlangsung pada kondisi atmosferik (1 atm) dengan rentang suhu 300 – 500 °C bergantung pada jenis katalis yang digunakan, dari rentang suhu operasi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan perengkahan termal menjadikan metode perengkahan katalitik lebih efektif dan efisien dalam hal konsumsi energi [25].

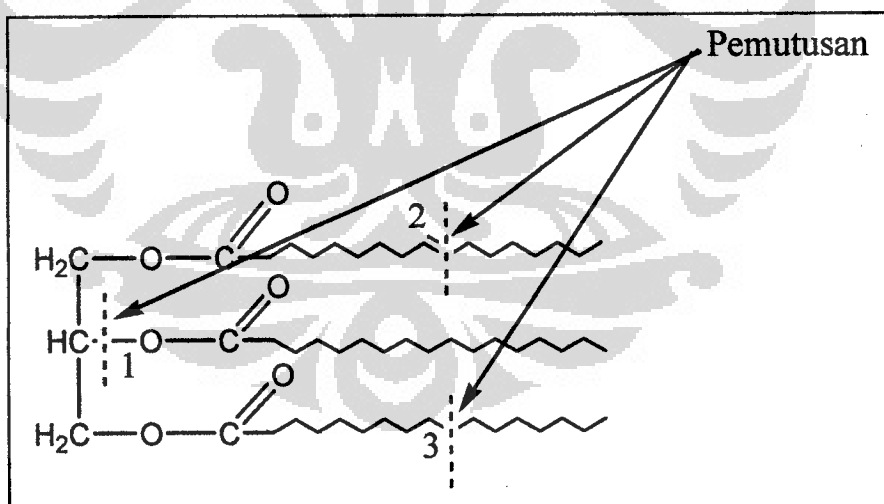
Reaksi perengkahan katalitik berlangsung melalui pembentukan suatu karbokation, dimana hidrokarbon akan terprotonasi oleh hadirnya asam bronsted/Lewis yang terdapat pada katalis. Struktur karbokation adalah struktur yang

tidak stabil, oleh karena itu akan terjadi pemutusan rantai hidrokarbon menjadi rantai yang lebih pendek.

Reaksi perengkahan katalitik terjadi melalui 3 langkah, yaitu : inisiasi, propagasi dan terminasi. Langkah inisiasi direpresentasikan sebagai tahap penyerangan terhadap sisi aktif katalis oleh molekul reaktan menghasilkan suatu karbokation. Langkah propagasi merupakan suatu tahap terjadinya perpindahan ion hidrida dari molekul reaktan menuju karbokation yang teradsorb. Terakhir langkah terminasi terjadi apabila karbokation yang teradsorb berubah membentuk suatu olefin dengan meninggalkan ion H^+ untuk memulihkan sisi aktif katalis [25].

Berikut ini adalah kemungkinan posisi terjadinya pemutusan rantai hidrokarbon pada molekul trigliserida yang terdapat dalam minyak sawit, yaitu [28]:

1. Pemutusan rantai karbon pada rantai utama trigliserida
2. Pemutusan pada ikatan rangkap hidrokarbon
3. Pemutusan pada ikatan tunggal hidrokarbon



Gambar 2.5.

Pemutusan Rantai Hidrokarbon Pada Reaksi Perengkahan Katalitik

2.7. Analisis Produk Perengkahan Katalitik

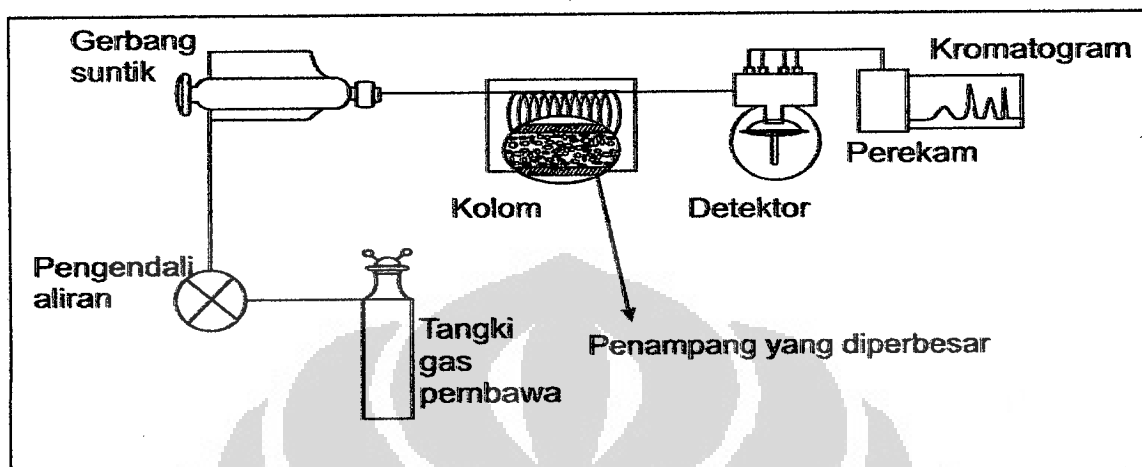
Produk hasil perengkahan katalitik dianalisis menggunakan instrumen kromatografi gas, spektrofotometri FTIR dan kromatografi gas spektroskopi massa.

2.7.1. Kromatografi Gas (*Gas chromatograph*)

Kromatografi merupakan teknik pemisahan zat cair yang lebih baik daripada distilasi dan ekstraksi. Dasar pemisahannya adalah pendistribusian sampel di antara 2 fasa, yaitu: fasa diam dan fasa gerak. Kromatografi gas menggunakan fasa gerak berupa gas dan fasa diamnya dapat berupa padatan atau cairan ^[29].

Proses pemisahan komponen-komponen sampel dalam kromatografi gas berlangsung di dalam kolom. Pemisahannya berdasarkan pada interaksi komponen sampel yang berupa gas dengan fasa diamnya. Interaksi berupa absorpsi atau partisi. Jika fasa diamnya berupa padatan berpori maka peristiwanya adalah absorpsi dan bila fasa diamnya berupa cairan maka peristiwanya adalah partisi gas-cair. Proses kromatografi gas sebenarnya mirip dengan proses gabungan ekstraksi dan distilasi.

Interaksi sampel dengan fasa diamnya (cair) yang akan menentukan berapa lama komponen sampel akan tertahan. Komponen yang mempunyai afinitas lebih rendah (tidak suka) akan keluar dari kolom terlebih dahulu, sedangkan komponen yang afinitasnya lebih besar (suka) terhadap fasa diamnya akan tertahan dan keluar kemudian. Waktu untuk sampel tertahan dalam kolom disebut waktu retensi (t_r). Waktu retensi setiap komponen dalam sampel berbeda-beda (spesifik) dan dapat digunakan untuk penentuan analisis kualitatif suatu komponen.



Gambar 2.6. Skema Alat Kromatografi Gas ^[29]

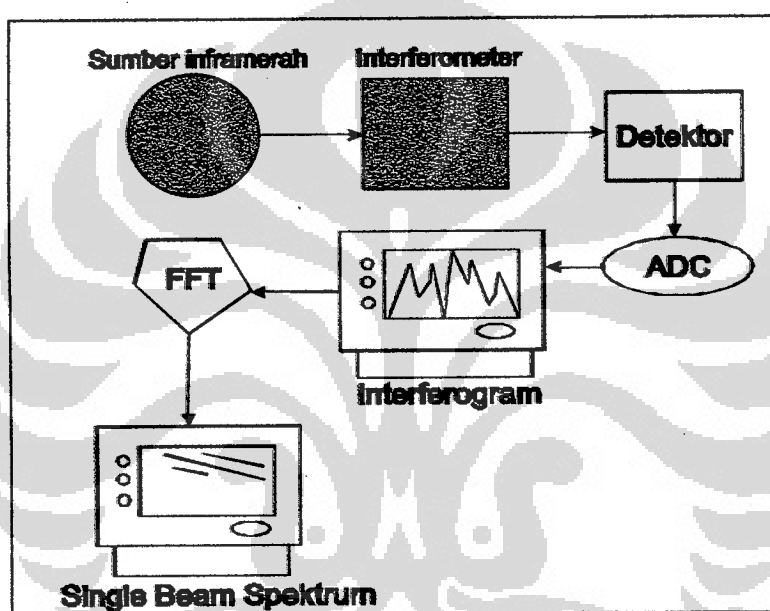
Peralatan kromatografi gas meliputi gas pembawa, pengatur aliran dan tekanan, tempat injeksi, kolom, detektor dan rekorder.

2.7.2. Spektrofotometri FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

Sejak tahun 1980-an spektrofotometri FTIR telah banyak dikembangkan sebagai instrumen analisis kimia baik kualitatif maupun kuantitatif. Spektrofotometri FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) menggunakan sebuah metode persamaan matematika yaitu Transform Fourier yang digunakan untuk konversi spektrum waktu ke spektrum frekuensi ^[30]. Daerah radiasi infra merah berkisar pada bilangan gelombang $10^4 - 100 \text{ cm}^{-1}$ atau panjang gelombang $100 - 1 \text{ }\mu\text{m}$. Energi radiasi infra merah berkisar pada $10^3 - 10^5 \text{ Joule/mol}$ dengan frekuensi berkisar pada $3 \times 10^{12} - 3 \times 10^{14} \text{ Hz}$. Molekul hanya menyerap frekuensi tertentu dari radiasi infra merah. Untuk dapat mengabsorpsi, molekul harus memiliki perubahan momen dipol, sebagai akibat dari vibrasi. Perbedaan radiasi medan listrik berinteraksi dengan molekul menimbulkan perubahan amplitudo sebagian gerakan molekul. Setiap tipe ikatan

yang berbeda mempunyai frekuensi vibrasi yang berbeda pula, maka tidak ada molekul yang berbeda strukturnya memiliki spektrum infra merah yang tepat sama.

Spektrofotometri FTIR biasanya digunakan untuk sampel dengan konsentrasi yang kecil dan pengukurannya lebih cepat dibandingkan dengan IR. Prinsip kerja FTIR tidak jauh berbeda dengan IR hanya kemampuan FTIR lebih baik daripada IR [27].



Gambar 2.7. Skema Alat Spektrofotometer FTIR^[30]

Prinsip kerja FTIR adalah sebagai berikut, suatu sumber infra merah akan mengemisikan energi infra merah dan berjalan melalui bagian optik dari spektrometer. Kemudian, gelombang sinar akan melewati interferometer dimana sinar tersebut dipisahkan dan digabungkan kembali untuk menghasilkan suatu pola interferensi. Lalu, intensitas dari frekuensi sinar ditransmisikan dan diukur oleh detektor. Hasil dari detektor adalah interferogram, yaitu suatu daerah waktu yang menggambarkan pola interferensi. Dengan adanya ADC (*analog to digital converter*) akan mengubah pengukuran tersebut menjadi suatu format digital yang dapat

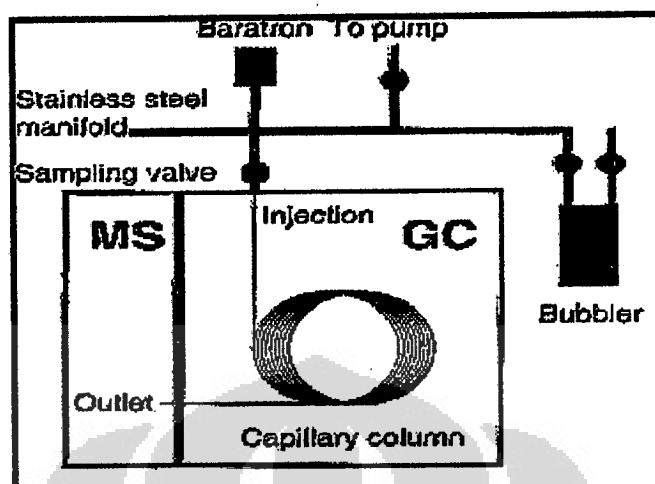
digunakan oleh komputer. Kemudian interferogram diubah menjadi suatu pita spektrum tunggal (*single beam spectrum*) oleh FFT (*Fast Fourier Transform*).

2.7.3. Kromatografi Gas Spektroskopi Massa (GCMS)

GC-MS yang banyak digunakan sebagai detektor telah dikembangkan sejak 1960-an. Dahulu penggunaannya masih terbatas untuk kepentingan laboratorium. Setelah dilengkapi secara komputerisasi, GC-MS saat ini telah dapat disederhanakan pengoperasian instrumen dan dipercepat waktu analisis sampelnya.

GC-MS adalah metode yang menggabungkan kromatografi gas dan spektroskopi massa untuk mengidentifikasi zat dalam sampel. Aplikasinya termasuk untuk deteksi obat-obatan, analisis lingkungan, investigasi ledakan, dan dapat digunakan di bandara guna mendeteksi barang maupun manusia. Metode analisis dilakukan dengan membandingkan konsentrasi massa atom dari spektrum yang dihasilkan. Terdapat dua macam analisis yang mungkin dilakukan, analisis spektrum perbandingan dan analisis spektrum *original* ^[31].

Analisis perbandingan membutuhkan perbandingan spektrum hasil dan spektrum literatur untuk melihat kemiripan karakteristik hasil dengan literatur. Analisis *original* menghasilkan puncak dominan yang menandakan total massa dari senyawa yang tidak diketahui. Nilainya dapat digunakan untuk menentukan rumus kimia berbagai macam unsur yang diasumsikan muncul pada senyawa. Pola isotop pada spektrum, dimana tiap unsur memiliki beberapa isotop yang spesifik, dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan berbagai unsur tersebut. Bila rumus kimia sudah sesuai dengan spektrum, maka struktur molekul dan tipe ikatan bisa diidentifikasi. Skema Alat GC-MS dapat dilihat pada Gambar 2.8.

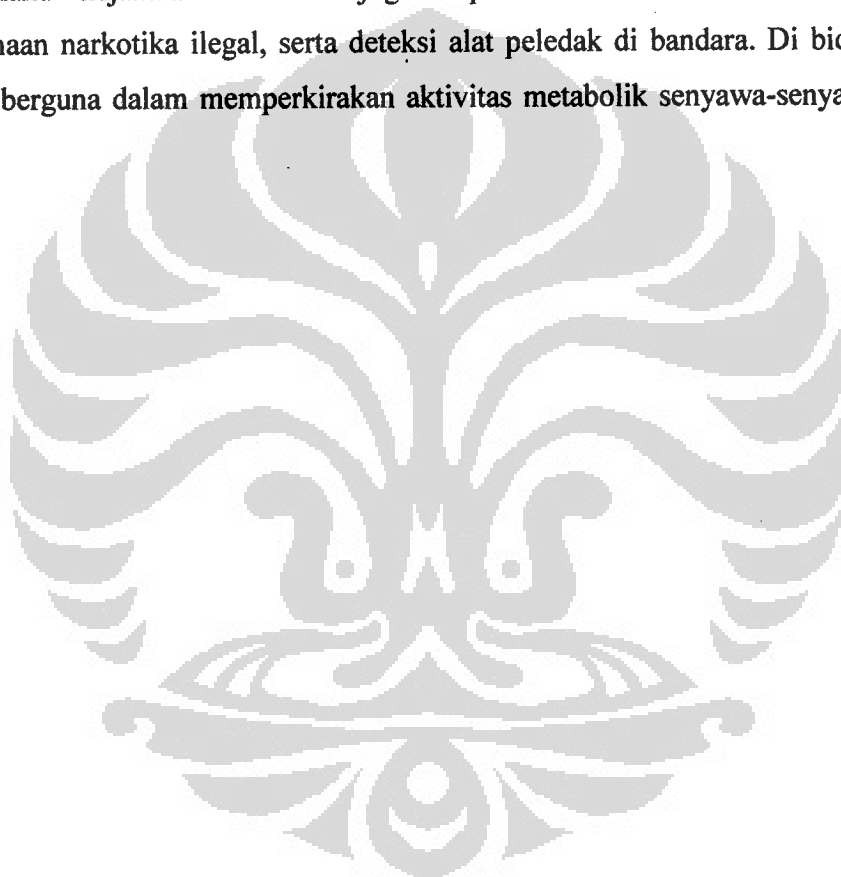


Gambar 2.8. Skema Alat GC-MS ^[31]

Prinsip kerja GC-MS dimulai dari senyawa sampel yang akan ditembak oleh arus elektron dan menyebabkan senyawa terpisah menjadi fragmen. Fragmen ini dapat lebih besar atau lebih kecil dari molekul aslinya. Fragmen sebenarnya adalah muatan ion dengan massa tertentu. Massa fragmen jika dibagi muatan disebut perbandingan massa per muatan (M/Z). M/Z biasanya mewakili berat molekul fragmen. Empat elektromagnet (quadropole) akan memfokuskan fragmen melewati celah menuju detektor. Quadropole diprogram oleh komputer untuk hanya mengarahkan fragmen M/Z tertentu yang melewati celah. Sisanya akan terpelempar menjauh. Komputer memiliki siklus quadropole untuk M/Z berbeda hingga semua daerah M/Z telah terdeteksi. Siklus ini berlangsung berkali-kali per detik. Setiap siklus disebut *scan*. Komputer merekam grafik pada setiap *scan*. Sumbu x mewakili rasio perbandingan M/Z . Sumbu y mewakili intensitas sinyal untuk setiap fragmen terdeteksi selama *scan*. Grafik ini disebut spektrum massa. Spektrum massa yang dihasilkan oleh senyawa kimia biasanya sama untuk setiap waktu. Oleh karena itu, spektrum massa sangat penting untuk mengidentifikasi senyawa. Komputer GC-MS memiliki literatur spektrum yang bisa digunakan untuk mengidentifikasi senyawa kimia yang tidak diketahui. Literatur akan membandingkan spektrum massa dari komponen sampel dan membandingkan dengan spektrum massa dari literatur.

Hasilnya berupa identifikasi bersama dengan probabilitas kemiripan secara statistik [31].

Aplikasi pemanfaatan GC-MS antara lain, dapat melacak polutan organik di lingkungan walaupun masih kurang sensitif terhadap pestisida dan herbisida. Dalam bidang forensik dan kriminal, GC-MS dapat digunakan untuk menganalisis partikel dari tubuh manusia sehingga dapat membantu menghubungkan antara tindak kriminal dan pelaku kejahatan. GC-MS juga dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi penggunaan narkoba ilegal, serta deteksi alat peledak di bandara. Di bidang obat-obatan, berguna dalam memperkirakan aktivitas metabolik senyawa-senyawa dalam obat.

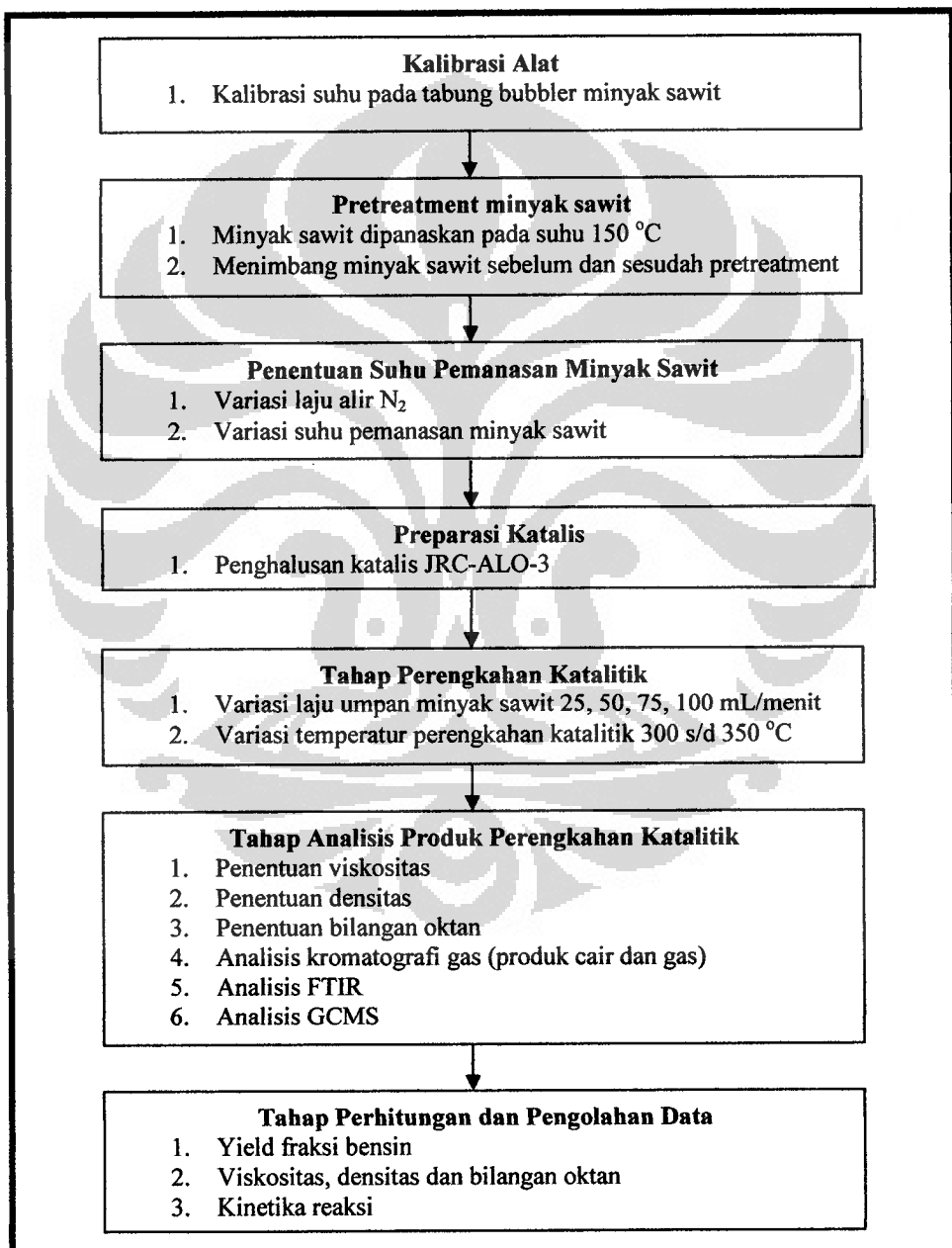


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Berikut ini dijabarkan secara umum mengenai skema pada penelitian ini, yaitu



Gambar 3.1. Skema Penelitian

3.2. Rancangan Percobaan

Pada rancangan percobaan akan dipaparkan lebih lanjut mengenai prosedur serta alat dan bahan yang diperlukan dalam setiap tahapan penelitian.

3.2.1. Tahap Kalibrasi Alat

Pada tahap ini dilakukan kalibrasi suhu pada pemanas tabung *bubbler* yang berisi minyak sawit. Prosedur yang dilakukan adalah dengan memanaskan 50 gram minyak sawit pada tabung *bubbler* yang dilengkapi dengan termokopel untuk mengetahui suhu aktual yang terjadi pada ruang pemanasan. Suhu pemanas dinaikkan setiap 10 °C sampai mencapai suhu 400 °C, dari hasil kalibrasi tersebut dapat dilihat perbedaan antara suhu yang dicapai pada ruang pemanasan dengan suhu yang dibutuhkan oleh pemanas, sehingga suhu pemanas dapat dijadikan acuan pada saat reaksi perengkahan berlangsung, selain itu dari hasil kalibrasi tersebut dapat pula dilihat besarnya energi yang hilang pada saat pemanasan.

3.2.2. Tahap Pretreatment Minyak Sawit

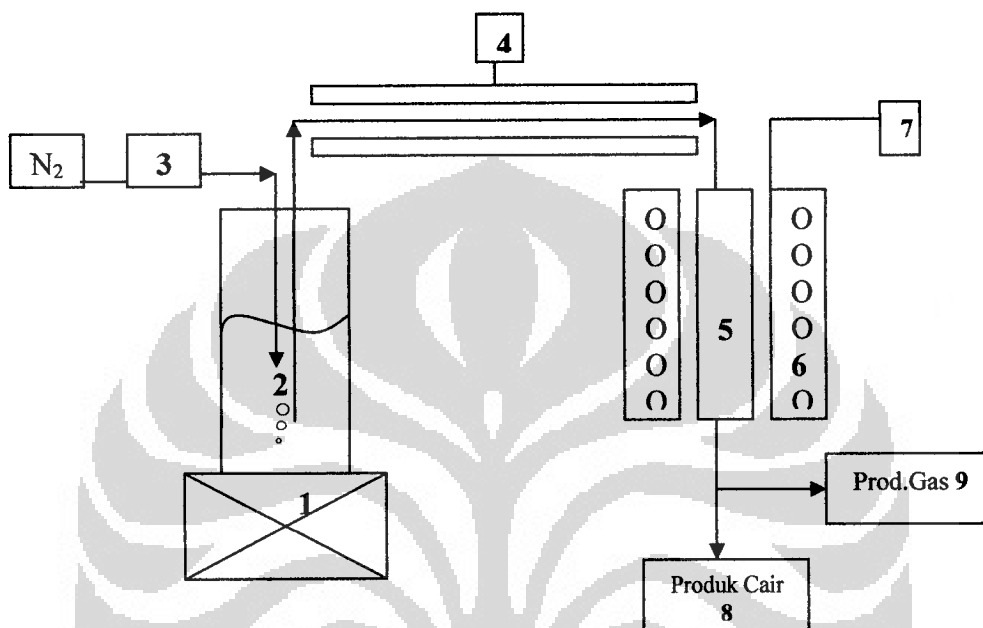
Tahap pretreatment dilakukan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam minyak sawit, sehingga dapat dipastikan bahwa reaktan yang mengalir bersama aliran nitrogen adalah trigliserida. Berikut ini akan dijabarkan prosedur pretreatment minyak sawit, antara lain :

- a.. Mengisi minyak sawit ke dalam tabung yang dilengkapi dengan pemanas
- b. Memanaskan minyak sawit s/d suhu di atas titik didih air yaitu, 150 °C
- c. Menimbang selisih minyak sawit sebelum dan sesudah pretreatment

3.2.3. Tahap Penentuan Suhu Pemanasan Minyak Sawit

Alat perengkahan katalitik menggunakan sistem kontinyu, dimana minyak sawit yang telah hilang kadar airnya, dipanaskan pada suhu konstan yang mendekati titik didihnya kemudian dialirkan sejumlah nitrogen dengan laju alir tertentu, sehingga nitrogen membawa sejumlah minyak sawit yang berada

dalam fasa gas untuk selanjutnya menuju reaktor, setelah itu dihasilkan sejumlah produk yang pada akhirnya melewati suatu kondensor. Produk cair yang didapatkan kemudian ditampung dan ditimbang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat skema alat perengkan katalitik (Gambar 3.2).



Gambar 3.2. Alat Perengkan Katalitik

Keterangan :

- | | |
|--------------------------------|--------------------------|
| 1. Pemanas <i>bubbler</i> | 6. Furnace reaktor |
| 2. Tabung <i>bubbler</i> | 7. termokopel |
| 3. Flow meter | 8. Penampung produk cair |
| 4. Koil (lilitan) pemanas pipa | 9. Gas bag |
| 5. Reaktor | |

Percobaan pada tahap ini dilakukan tanpa menggunakan katalis, dengan adanya prosedur ini dapat diketahui seberapa besar minyak sawit yang dapat terbawa oleh aliran nitrogen, selain itu dapat diketahui pula temperatur optimum yang digunakan untuk pemanasan minyak sawit pada proses perengkan katalitik. Untuk lebih jelasnya berikut ini akan dijabarkan prosedur pada tahap penentuan suhu pemanasan minyak sawit, antara lain :

1. Merangkai alat perengkahan katalitik
2. Menimbang minyak sawit sebanyak 50 gram
3. Mengisi tabung *bubbler* dengan minyak sawit yang telah ditimbang
4. Memanaskan minyak sawit s/d mendekati suhu titik didihnya, yaitu : 250 °C
5. Mengalirkan gas nitrogen dengan melakukan variasi laju alir 25 s/d 100 mL/menit
6. Waktu uji coba *blank test* dilakukan selama 1 jam untuk setiap variasi laju alir nitrogen
7. Mengulang uji coba *blank test* dengan variasi suhu pemanasan minyak sawit 250 s/d 300 °C

Alat dan bahan yang digunakan pada tahap kalibrasi adalah :

1. Alat perengkahan katalitik
2. Minyak sawit 50 gram
3. Gas nitrogen

3.2.4. Tahap Preparasi Katalis

Tahap preparasi katalis merupakan tahap persiapan katalis sebelum digunakan pada reaksi perengkahan katalitik, dimana pada tahap ini dilakukan penghalusan katalis yang sebelumnya berbentuk pelet menjadi bentuk serbuk, hal ini perlu dilakukan untuk memperluas area kontak antara reaktan dengan permukaan katalis, selain itu juga dapat memberikan keseragaman bentuk pada katalis. Alat dan bahan yang digunakan antara lain:

1. Katalis JRC-ALO-3
2. Mortir / penghalus

3.2.5. Tahap Perengkahan Katalitik

Tahap ini merupakan bagian utama dari seluruh percobaan, Prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Pada tahap ini katalis JRC-ALO-3 yang telah dipreparasi sebelumnya seberat 1 gram dimasukkan ke dalam reaktor unggun tetap
- b. Memanaskan minyak sawit yang telah dihilangkan kadar airnya pada tabung *bubbler* s/d suhu optimum yang telah ditentukan pada tahap blank test, yaitu 270 °C
- c. Memanaskan reaktor yang berisi katalis JRC-ALO-3 s/d suhu terjadinya perengkahan katalitik yaitu 300 °C ^[20,23]
- d. Memberikan sistem pendinginan dengan menggunakan es pada keluaran produk
- e. Mengalirkan gas nitrogen dengan variasi laju alir, yaitu : 25, 50, 75 dan 100 mL/menit ^[21]
- f. Menjaga laju alir nitrogen agar selalu konstan pada sistem kontinyu yang terus berjalan untuk setiap variasi suhu reaktor selama 1 jam
- g. Menampung produk cair yang telah terbentuk selama 1 jam, kemudian ditimbang beratnya
- h. Ulangi prosedur c s/d f dengan menaikkan suhu reaktor 10 °C s/d suhu 350 °C ^[20, 23]

Bentuk penyajian data dalam reaksi perengkahan katalitik dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1.
Penyajian Data Hasil Perengkahan Katalitik

No	T _{reaktor} (°C)	Berat produk (gr)					
		25 mL/mnt		50 mL/mnt		75 mL/mnt	
		Cair	gas	Cair	gas	Cair	gas
1.	300	X	X	X	X	X	X
2.	310	X	X	X	X	X	X
3.	320	X	X	X	X	X	X
4.	330	X	X	X	X	X	X
5.	340	X	X	X	X	X	X
5.	350	X	X	X	X	X	X

3.2.6. Tahap Analisis Produk Perengkahan Katalitik

Tahap ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan produk yang terbentuk hasil perengkahan katalitik dengan karakteristik bensin *eksisting*. Analisis yang dilakukan antara lain sbb :

a. Penentuan Viskositas

Penentuan viskositas dilakukan dengan menggunakan viscometer Ostwald 500 dan mencatat waktu yang diperlukan suatu fluida untuk mencapai batasan tertentu. Prosedur yang dilakukan mengenai penentuan viskositas antara lain :

1. Memasukkan sampel ke dalam viskometer melalui ujung reservoir kecil. Mengisi sampel sampai reservoir kecil pada bagian atas, kemudian tahan permukaan sampel dalam viskometer dengan penghisap karet
2. Mengukur viskositas sampel pada suhu ruang dengan melonggarkan penghisap karet pelan-pelan agar permukaan cairan dalam viskometer

turun. Pada saat permukaan cairan sampai pada batas atas reservoir kecil bagian bawah, aliran cairan dalam viskometer mulai dilepaskan dan waktu mulai dihitung sampai cairan dalam reservoir habis.

3. Menghitung viskositas sampel dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\pi.r^4 .g.h.\rho l}{g.Vl} \dots\dots\dots(3.1)$$

4. Mengulang prosedur untuk semua sampel

b. Penentuan Densitas

Pengukuran densitas dilakukan bertujuan untuk menganalisis perubahan densitas yang terjadi pada produk hasil perengkahan bila dibandingkan dengan minyak sawit murni. Pengukuran densitas dilakukan pada suhu 50 °C, mengingat minyak sawit pada kondisi suhu ruang berada dalam fasa padat. Densitas ditentukan dengan menggunakan alat piknometer dengan volume 10 mL. Rincian prosedur dalam penentuan densitas adalah sbb :

1. Menimbang massa piknometer kosong
2. Memasukkan sampel pada suhu 50 °C ke dalam piknometer sampai penuh
3. Menutup piknometer dan memastikan bahwa tidak ada gelembung udara dalam sampel
4. Menimbang massa piknometer yang berisi sampel
5. Menghitung besar densitas

$$\text{Densitas (gr/ml)} = (\text{massa piknometer} + \text{sampel}) / \text{volume piknometer}$$

c. Penentuan Bilangan Oktana

Penentuan bilangan oktana ditentukan dengan metode korelasi antara bilangan setana dengan bilangan oktana yang telah diketahui pada penelitian sebelumnya ^[14].

Secara rinci prosedur penentuan bilangan oktana adalah :

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan
2. Memasukkan 10 mL solar ke dalam distilasi (kalibrasi)
Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui penyimpangan CN yang ditimbulkan oleh alat dengan CN literatur adalah 45
3. Memanaskan kolom secara bertahap
4. Mencatat data temperatur pada termokopel pada saat solar terevaporasi sebanyak 50 %
5. Memasukkan nilai yang didapat ke dalam persamaan :

$$CI = 0,49083 + (1,06577 \cdot x) - (0,0010552 \cdot x^2) \dots\dots\dots (3.2)$$

dimana,

$$x = 97,833 (\log TT_{50})^2 + (2,2088 \cdot G \cdot \log TT_{50}) + 0,01247 \cdot G^2 - (42351 \cdot \log TT_{50}) - 4,78 \cdot G + 419,59 \dots\dots\dots (3.3)$$

dimana,

CI : Indeks setana atau prediksi dari bilangan setana

G : API *gravity*

TT₅₀ : Temperatur distilasi dalam derajat Fahrenheit untuk 50% distilat terecovery

CN : CI - 2

6. Mengulangi prosedur 1 s/d 5 sebanyak 3 kali untuk solar
7. Mengulangi prosedur 1 s/d 6 untuk bensin premium dan sampel produk perengkahan katalitik
8. Melakukan regresi harga-harga yang didapat
9. Plot ON vs 1/CN dan mencari persamaan garisnya

Alat dan bahan yang digunakan pada tahap ini adalah sebagai berikut :

1. Kolom distilasi
2. Pipet volum
3. Gelas ukur
4. Beaker glass
5. Termokopel
6. Furnace
7. Pompa sirkulasi air
8. Ember
9. Solar, bensin premium dan sampel perengkahan katalitik
10. Air pendingin (kondenser)

d. Analisis kromatografi gas (GC)

Analisis kromatografi gas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar fraksi bensin yang terdapat dalam produk cair hasil perengkahan katalitik. Instrumen kromatografi gas yang digunakan adalah kromatografi gas jenis Shimadzu GC-9A dengan detektor FID (*flame ionized detector*) dan kolom adalah SE-30 sepanjang 3 m. Berikut ini akan dijabarkan kondisi operasi dalam pengoperasian kromatografi gas, antara lain adalah :

Kolom	: SE-30
Gas pembawa	: Nitrogen
T _{awal} kolom	: 40 °C/menit selama 3 menit
T _{akhir} kolom	: 200 °C
Laju pemanasan	: 5 °C
T _{injektor}	: 150 °C
Detektor	: <i>Flame ionized detector</i>

e. Analisis FTIR (*Fourier Transform Infra red*)

Analisis FTIR dilakukan untuk mengetahui jenis ikatan yang terdapat dalam produk perengkahan katalitik. Berikut ini adalah prosedur dalam analisis FTIR yaitu :

1. Mengaktifkan *software winfirst* dan lakukan scanning pada keadaan FTIR belum terisi sampel
2. Mengoleskan sampel yang akan diuji pada wadah kaca di dalam FTIR
3. Melakukan scanning sampel menggunakan software winfirst
4. Hasil *scanning* dapat dilihat pada tampilan komputer

f. Analisis Kromatografi Gas Dan Spektroskopi Massa (GCMS)

Analisis kromatografi gas dan spektroskopi massa dilakukan untuk mengetahui bermacam jenis kandungan senyawa yang terdapat dalam sampel produk perengkahan katalitik secara spesifik, dengan adanya analisis ini dapat diketahui persentase untuk tiap jenis senyawa yang terkandung dalam produk perengkahan katalitik.

3.2.7. Tahap Perhitungan dan Pengolahan Data

a. Penentuan Viskositas

Viskositas dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot g \cdot h \cdot \rho \cdot t}{g \cdot V \cdot l} \dots \dots \dots (3.5)$$

Atau

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\rho_1 t_1}{\rho_2 t_2} \dots \dots \dots (3.6)$$

b. Penentuan Densitas

Densitas dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

Densitas (gr/ml) = (massa piknometer + sampel) / volume piknometer

c. Penentuan Bilangan oktana

Memasukkan nilai TT_{50} ke dalam persamaan 3.2 dan 3.3.

d. Analisis Kromatografi Gas (GC)

Analisis kromatografi gas dilakukan terhadap produk cair dan gas. Analisis produk cair dilakukan untuk mengetahui seberapa besar yield fraksi bensin yang terbentuk dari produk hasil perengkahan, sedangkan analisis gas dilakukan untuk mengetahui berbagai jenis komponen gas yang terdapat dalam produk gas. Output yang didapatkan dari analisis kromatografi gas adalah berupa puncak (*peak*) yang dapat diidentifikasi secara kuantitatif dan kualitatif berdasarkan waktu retensinya dan luas area yang dihasilkan. Untuk mengetahui besarnya fraksi bensin yang terbentuk pada sampel produk cair hasil perengkahan dilakukan penjumlahan keseluruhan luas area puncak yang terdapat pada rentang bensin premium sebagai standar, dimana dalam hal ini rentang waktu retensi standar bensin terdapat pada menit ke 1 s/d menit ke 28.

e. Analisis Kromatografi Gas dan Spektroskopi Massa (GCMS)

Hasil yang diperoleh dari analisis kromatografi gas dan spektroskopi massa (GCMS) adalah berupa puncak yang dapat diidentifikasi secara kuantitatif dan kualitatif, namun perbedaannya pada kromatografi gas biasa, yaitu *output* yang dihasilkan dapat membedakan secara spesifik jenis suatu senyawa dan persentasenya yang terkandung dalam suatu sampel. Hal ini memberikan kemudahan, sehingga diperoleh data yang akurat mengenai bermacam jenis senyawa yang terkandung dalam sampel tersebut. Yield fraksi *gasoline* dapat dihitung dengan menjumlahkan persentase senyawa hidrokarbon yang termasuk dalam rentang *gasoline*, yaitu : C5 s/d C11.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini berisi pembahasan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan beserta hasil analisisnya. Seperti yang telah diketahui sebelumnya bahwa tahap penelitian terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu : tahap kalibrasi alat pemanas, pretreatment minyak sawit, *blank test*, preparasi katalis, perengkahan katalitik, analisis produk perengkahan katalitik, perhitungan dan pengolahan data.

4.1. Kalibrasi Alat Pemanas

Kalibrasi alat pemanas dilakukan untuk mengetahui besarnya suhu pemanasan yang diperlukan untuk memanaskan minyak sawit agar berubah menjadi fasa uap dan mudah untuk terbawa oleh aliran nitrogen. Dari hasil kalibrasi didapatkan bahwa terdapat kehilangan panas sejumlah $\pm 50\%$ pada pemanasan tabung *bubbler* minyak sawit, hal ini disebabkan karena bahan yang digunakan pada tabung *bubbler* adalah *stainless steel*. Kurva dan data tahap kalibrasi alat pemanas dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.2. Pretreatment Minyak Sawit

Tahap pretreatment minyak sawit dilakukan bertujuan untuk menghilangkan air yang terkandung dalam minyak sawit. Tahap ini mutlak dilakukan untuk memastikan bahwa umpan uap yang terbawa pada proses perengkahan adalah senyawa trigliserida, selain itu juga untuk meminimalisir gangguan yang terjadi pada tahap perengkahan, dan diperolehnya data yang akurat mengenai perhitungan berat produk yang terbentuk pada perengkahan katalitik.

Prosedur yang dilakukan adalah dengan memanaskan minyak sawit pada suhu di atas titik didih air, kemudian dialirkan gas nitrogen selama 1 jam untuk memindahkan uap air yang terbentuk menuju tabung kondensat. Setelah itu air yang terbentuk ditimbang dan dapat diketahui persentase rata-rata air yang terkandung dalam 50 gram minyak sawit.

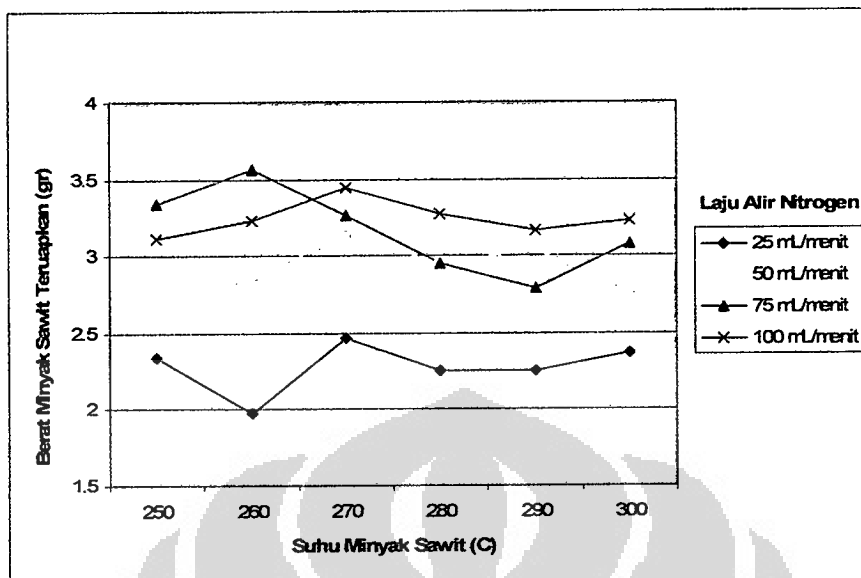
Dari hasil percobaan diperoleh bahwa air yang terkandung dalam 50 gram minyak sawit bervariasi, yaitu antara 1 s/d 3 gram, oleh karena itu dapat ditarik kesimpulan bahwa rata-rata kandungan air yang terdapat dalam minyak sawit adalah ± 2 s/d 6 %.

4.3. Penentuan Suhu Pemanasan Minyak Sawit

Tahap ini merupakan uji coba sistem kontinyu apabila dilakukan tanpa adanya kehadiran katalis pada reaktor. Penentuan suhu pemanasan minyak sawit dilakukan dengan memanaskan minyak sawit pada suhu mendekati titik didihnya, kemudian uap yang terbentuk dialirkan dengan nitrogen menuju reaktor, yang pada akhirnya didapatkan sejumlah minyak sawit yang terkondensasi. Prosedur ini dilakukan dengan memvariasikan suhu pemanasan minyak sawit dan laju alir nitrogen. Dengan adanya prosedur ini dapat diketahui seberapa besar minyak sawit yang dapat terbawa pada tiap suhu pemanasan dan laju alir nitrogen tertentu.

Hasil yang didapatkan pada tahap ini adalah didapatkannya sejumlah minyak sawit dengan berat bervariasi bergantung pada suhu dan laju alir nitrogen. Gambar 4.1. menunjukkan berat minyak sawit yang diperoleh pada berbagai suhu pemanasan minyak sawit dan laju alir nitrogen.

Hasil pada tahap ini memberikan kesimpulan, bahwa suhu pemanasan yang optimum untuk menguapkan minyak sawit adalah 270 °C. Hal ini didasarkan atas jumlah berat produk yang diperoleh pada berbagai variasi suhu pemanasan minyak sawit. Setelah didapatkan suhu optimum pemanasan, kemudian dilakukan uji coba kembali pada suhu 270 °C untuk memastikan laju umpan minyak sawit yang dapat terbawa pada variasi laju alir nitrogen. Tabel 4.1 menyajikan data hasil berat minyak sawit teruapkan pada suhu pemanasan 270 °C pada berbagai laju alir nitrogen.



Gambar 4.1. Berat Minyak Sawit Teruapkan Terhadap Variasi Suhu Pemanasan Dan Laju Alir Nitrogen

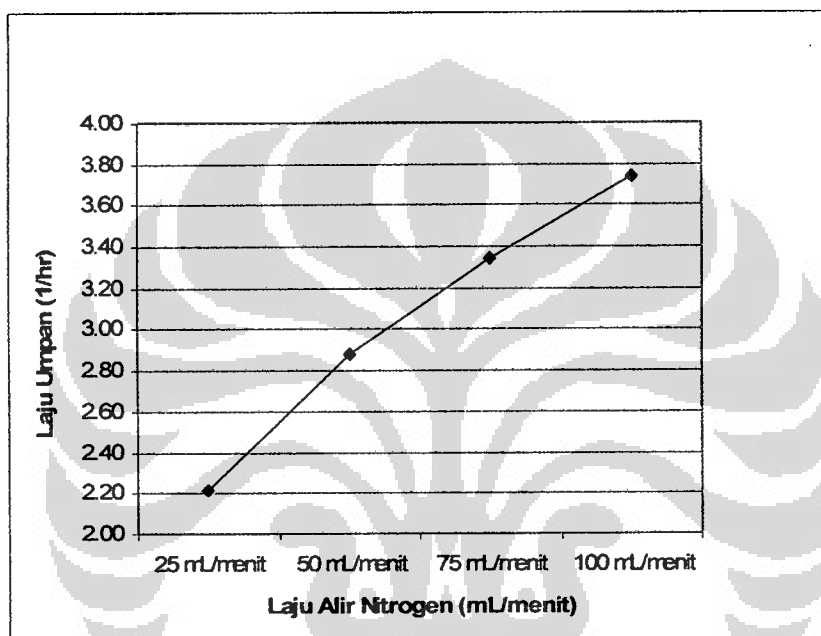
Berat minyak sawit yang teruapkan pada suhu 270 °C untuk tiap laju alir nitrogen dijumlahkan dan dirata-ratakan (Tabel 4.1), sehingga dapat dihitung laju umpan (*Feed/Weight of catalyst, F/W*) untuk setiap laju alir nitrogen. Pemilihan suhu pemanasan minyak sawit pada suhu 270 °C, dilakukan atas dasar kondisi optimum dalam hal konsumsi energi dan batasan terhadap adanya pembentukan deposit karbon pada tabung *bubbler* reaktan apabila menggunakan suhu yang terlalu tinggi, sehingga menyebabkan jumlah reaktan berkurang.

Tabel 4.1

Penentuan Berat Minyak Sawit Teruapkan Pada Suhu 270 °C

No	T _{cpo}	Berat Minyak Sawit Teruapkan (gr)			
		Laju Alir Nitrogen			
		25 mL/menit	50 mL/menit	75 mL/menit	100 mL/menit
1	270	2.47	3.12	3.26	3.44
2	270	2.21	2.67	3.57	4.09
3	270	1.97	2.85	3.19	3.68
F / W		2.22	2.88	3.34	3.74

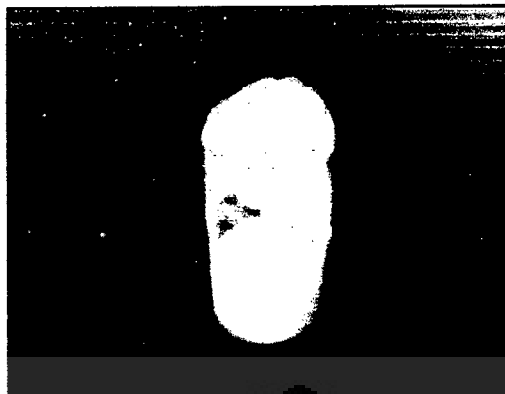
Gambar 4.2 menjelaskan grafik antara laju alir nitrogen terhadap laju umpan (F/W) pada suhu pemanasan minyak sawit 270 °C, dari grafik tersebut terlihat bahwa dengan adanya kenaikan laju alir nitrogen terjadi peningkatan dalam laju umpan. Hal ini sesuai dengan kenyataan, dimana laju umpan spesifik merupakan perbandingan antara laju umpan (gr/hr) dengan berat katalis (gr).



Gambar 4.2.

Grafik Antara Laju Alir Nitrogen Terhadap Laju Umpan (F/W) Pada Suhu Pemanasan Minyak Sawit 270 °C

Hasil yang didapatkan pada penentuan berat minyak sawit teruapkan adalah cairan berwarna kuning kental dengan endapan berwarna keputihan. Hal ini dapat diartikan, bahwa pada lapisan atas merupakan asam lemak tak jenuh, sedangkan endapan putih adalah asam lemak jenuh, karena asam lemak tak jenuh berada dalam fasa cair pada rentang suhu kamar, sedangkan asam lemak jenuh berada dalam fasa padat. Gambar 4.3 berikut ini menunjukkan produk yang terbentuk hasil penentuan berat minyak sawit teruapkan.



Gambar 4.3.

Minyak Sawit Yang Terbentuk Pada Tahap Penentuan Suhu Pemanasan

4.4. Preparasi Katalis

Tahap ini dilakukan dengan menghaluskan katalis yang sebelumnya berbentuk pelet menjadi bentuk serbuk. Hal ini dilakukan agar tidak ada rongga yang terbentuk pada unggun reaktor yang menjadikan reaksi perengkahan tidak berlangsung secara uniform. Selain itu juga untuk mengefektifkan luas kontak antara uap trigliserida dan katalis.

4.5. Perengkahan Katalitik

Tahap ini merupakan tahap yang paling utama dari keseluruhan rangkaian penelitian. Perengkahan katalitik dilakukan dengan sistem kontinyu menggunakan reaktor unggun tetap yang berisi 1 gram katalis JRC-ALO-3. Waktu perengkahan dibatasi selama 1 jam untuk setiap variasi suhu dan laju alir, untuk memberikan keakuratan pada perhitungan dan penetapan laju umpan minyak sawit yang masuk.

Hasil yang didapat dari perengkahan katalitik dapat berupa produk cair (OLP) dan gas, produk cair terdiri atas fraksi, diesel, *gasoline*, asam lemak bebas dan trigliserida yang belum terkonversi. Sedangkan fraksi gas terdiri atas, gas CO, CO₂, dan gas CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆, C₃H₈, C₄H₈, dan C₄H₁₀. Hal ini dapat diketahui dari hasil yang diperoleh pada analisis gas menggunakan kromatografi gas.

Produk hasil perengkahan katalitik berwarna kuning, dan bertambah gelap seiring dengan naiknya suhu reaksi. Hal ini disebabkan oleh mulai terbentuknya *coke*

pada suhu tinggi dan terjadi deaktivasi pada katalis yang menyebabkan reaksi perengkahan tidak terjadi secara optimal sehingga masih banyak produk fraksi berat yang sedikit bercampur dengan pembentukan padatan karbon (*coke*). Gambar 4.4 memperlihatkan bentuk fisik produk hasil perengkahan katalitik.



Gambar 4.4.

Bentuk Fisik Produk Perengkahan Katalitik Pada Berbagai Suhu Reaksi Dari Kiri Ke Kanan Berturut-Turut, 300 S/D 350 °C

Produk hasil perengkahan katalitik jika hanya dilihat secara fisik jauh lebih bersifat encer jika dibandingkan dengan reaktannya, yaitu minyak sawit yang bersifat lebih kental bahkan terkadang memadat, hal ini menandakan bahwa reaksi perengkahan telah terjadi dengan baik, hidrokarbon rantai panjang telah terputus menjadi hidrokarbon rantai pendek dan produk hasil perengkahan katalitik didominasi oleh senyawa hidrokarbon dengan ikatan rangkap. Hal ini dapat diketahui berdasarkan informasi bahwa senyawa hidrokarbon jenuh berada dalam bentuk semi padat pada suhu ruang dan semakin memadat seiring dengan adanya penambahan jumlah ikatan karbon, sedangkan senyawa hidrokarbon tak jenuh berada dalam fasa cair dan semakin kental dengan adanya penambahan jumlah ikatan karbon.

Reaktan yang berada di dalam *bubbler* dan belum/tidak terbawa oleh aliran nitrogen merupakan residu yang berisi trigliserida, berbagai macam asam lemak bebas, produk *viscous*, Tar dan deposit karbon yang terbentuk akibat adanya pemanasan secara terus-menerus pada suhu tinggi. Gambar 4.5. memperlihatkan bentuk fisik residu yang tersisa pada reaksi perengkahan katalitik.



Gambar 4.5.

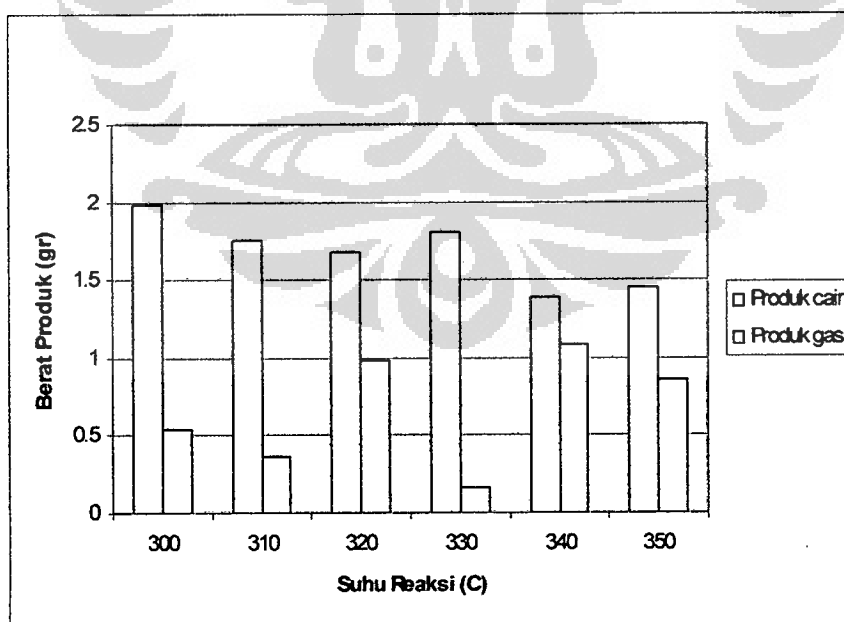
Bentuk Fisik Residu Pada Reaksi Perengkahan Katalitik

Produk hasil perengkahan katalitik dibedakan menjadi 2 jenis produk, yaitu : produk gas dan produk cair. Jumlah produk gas dapat diketahui dari selisih antara umpan yang masuk ke dalam reaktor dengan produk cair yang terbentuk. Produk gas dapat terbentuk akibat adanya aktivitas katalitik yang sangat baik pada katalis, sehingga hidrokarbon yang pada awalnya mempunyai rantai yang sangat panjang dapat terputus menjadi senyawa hidrokarbon dengan rantai yang sangat pendek, yaitu pada rentang C_1 s/d C_4 , dimana hidrokarbon rentang C_1 s/d C_4 dalam suhu ruang berada dalam fasa gas. Tabel 4.2 menyajikan distribusi produk cair dan gas pada berbagai variasi suhu dan laju alir nitrogen.

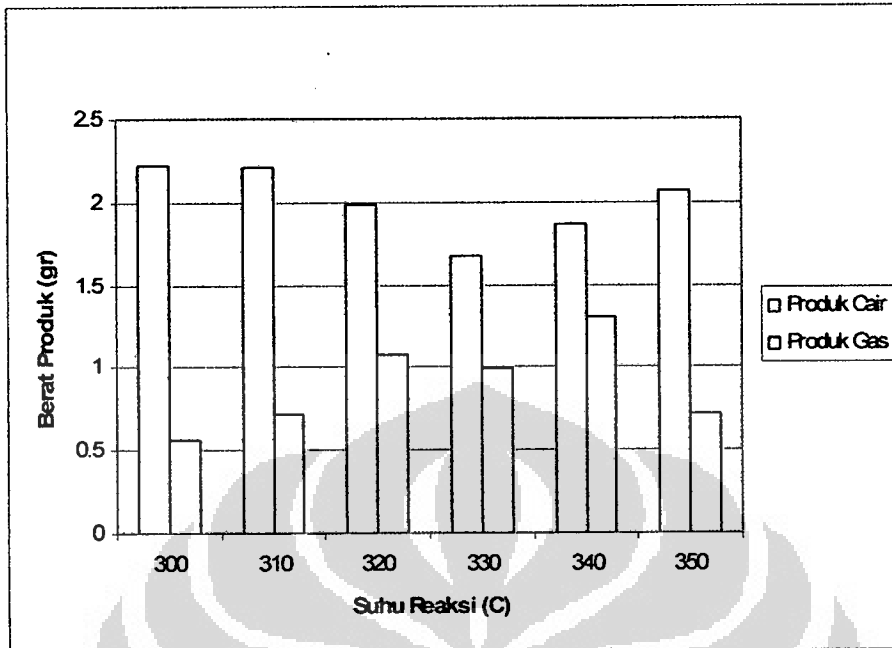
Tabel 4.2. Distribusi Produk Perengkahan Katalitik Pada Berbagai Suhu Reaksi & Laju Alir Nitrogen

No	Treaktor (°C)	Produk Cair (gr)				Produk Gas (gr)			
		Laju Alir Nitrogen				Laju Alir Nitrogen			
		25 mL/menit	50 mL/menit	75 mL/menit	100 mL/menit	25 mL/menit	50 mL/menit	75 mL/menit	100 mL/menit
1	300	1.98	2.23	2.31	2.29	0.54	0.56	0.65	0.57
2	310	1.76	2.21	2.21	2.33	0.37	0.72	0.81	0.62
3	320	1.68	1.98	2.46	2.54	0.99	1.08	0.43	0.67
4	330	1.81	1.67	2.19	1.97	0.17	0.99	0.6	0.78
5	340	1.39	1.87	1.96	2.17	1.08	1.3	1.25	0.8
6	350	1.45	2.07	2.11	1.95	0.86	0.72	1.21	1.23

Tabel 4.2. memberikan informasi secara keseluruhan terhadap distribusi produk yang terbentuk pada berbagai variasi laju alir dan suhu reaksi (perengkahan). Gambar 4.6 s/d 4.9 menjelaskan perbandingan distribusi produk pada berbagai laju alir nitrogen.

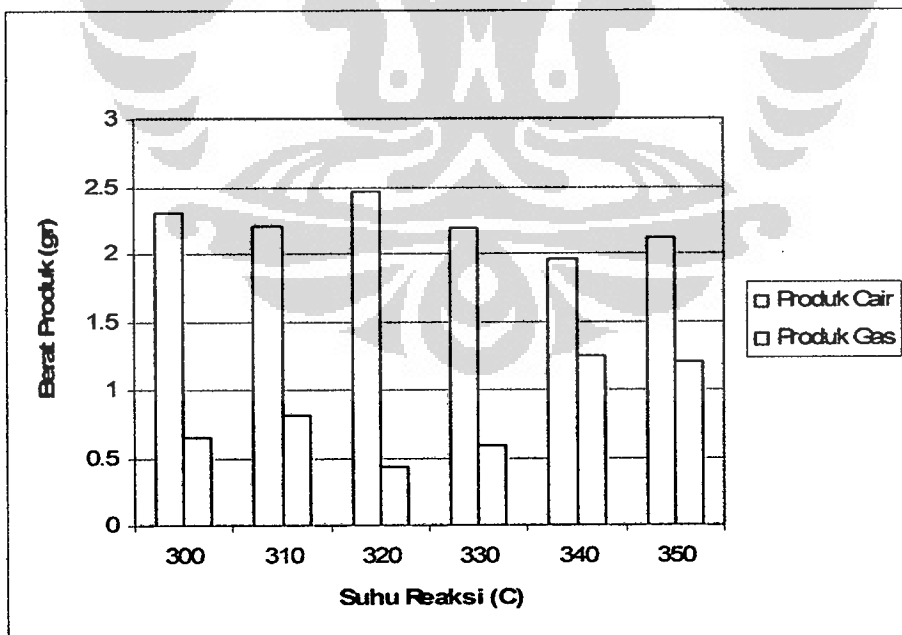


Gambar 4.6. Perbandingan Distribusi Produk Dengan Laju Alir Nitrogen 25 mL/Menit



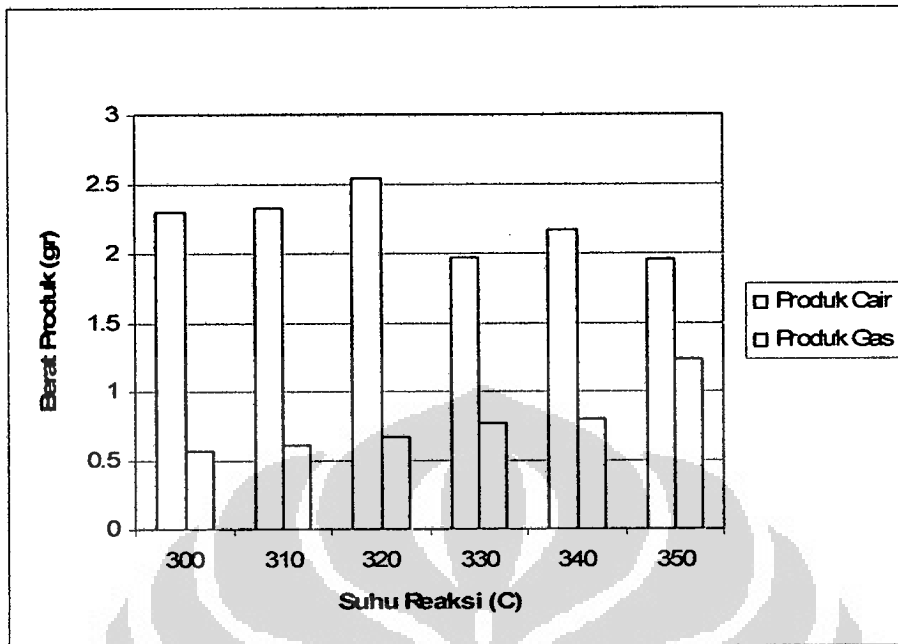
Gambar 4.7.

Perbandingan Distribusi Produk Dengan Laju Alir Nitrogen 50 mL/Menit



Gambar 4.8.

Perbandingan Distribusi Produk Dengan Laju Alir Nitrogen 75 mL/Menit



Gambar 4.9.

Perbandingan Distribusi Produk Dengan Laju Alir Nitrogen 100 mL/Menit

Pada laju alir nitrogen 25 mL/menit (Gambar 4.6) dapat dilihat, bahwa yield produk gas tertinggi terbentuk pada saat suhu reaksi 340 °C, yaitu 1,08 gram, sedangkan yield produk cair tertinggi terjadi pada saat suhu reaksi 300 °C, yaitu 1,98 gram. Hasil yang didapatkan ini mempunyai kecenderungan, bahwa dengan adanya peningkatan suhu reaksi maka terjadi pula kenaikan pada produk gas disertai dengan penurunan produk cair. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilaporkan oleh Bhatia dkk^[32].

Secara umum keseluruhan produk hasil reaksi perengkahan memberikan informasi, bahwa dengan meningkatnya suhu reaksi, maka terjadi peningkatan produk gas disertai dengan penurunan jumlah produk cair. Hal ini disebabkan oleh probabilitas terjadinya *secondary cracking* (perengkahan lanjutan) yang semakin tinggi dengan adanya peningkatan suhu reaksi, sehingga proses perengkahan hidrokarbon terjadi melalui beberapa tahap s/d tahap penghasilan produk dengan rantai yang sangat pendek, yaitu pada rentang hidrokarbon fraksi gas ($C_1 - C_4$).

Hasil yang diperoleh dari produk perengkahan katalitik pada berbagai variasi laju alir nitrogen juga memberikan kecenderungan bahwa dengan adanya kenaikan laju alir nitrogen, maka produk gas yang dihasilkan juga mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena dengan adanya peningkatan laju alir nitrogen, maka terjadi penurunan waktu tinggal reaktan di dalam reaktor yang menyebabkan reaktan terlalu cepat berada di dalam pori katalis, sehingga semakin memperkecil probabilitas terjadinya *secondary cracking* (perengkahan lanjutan), oleh karena itu produk gas yang dihasilkan juga semakin menurun. Hubungan ini sesuai dengan penelitian yang telah dilaporkan oleh *Bhatia dkk* [32].

Aktivitas katalitik pada katalis alumina umumnya dipengaruhi oleh suhu reaksi katalitik dan tingkat keasaman pada katalis, karena proses katalitik pada katalis alumina didasarkan oleh adanya adsorpsi asam Lewis/Bronsted pada sisi aktif katalis, sehingga menyebabkan senyawa hidrokarbon yang melewati pori katalis menjadi bermuatan positif atau membentuk karbokation. Karbokation merupakan spesi yang tidak stabil dan ikatan antar hidrokarbon cenderung melemah akibat adanya ikatan yang kuat antara katalis dengan senyawa hidrokarbon dan kemudian dengan hadirnya suhu pada aktivitas katalitik tersebut memberikan energi yang cukup untuk memutus ikatan antar hidrokarbon, dimana reaksi pemutusan hidrokarbon merupakan reaksi endotermik yang membutuhkan cukup energi untuk dapat melampaui energi aktivasi. Akhirnya senyawa hidrokarbon terputus menjadi senyawa yang lebih pendek ataupun sangat pendek apabila terdapat suhu dan keasaman yang cukup tinggi di sepanjang pori katalis, sehingga menyebabkan terjadinya perengkahan lanjutan menjadi senyawa hidrokarbon fasa gas atau rentang C_1 s/d C_4 .

4.6. Analisis Produk Perengkahan Katalitik

Produk hasil perengkahan katalitik dianalisis melalui beberapa tahap diantaranya, yaitu: analisis viskositas, densitas, bilangan oktan, kromatografi gas (GC), FTIR dan kromatografi gas spektroskopi massa (GCMS).

4.6.1. Densitas

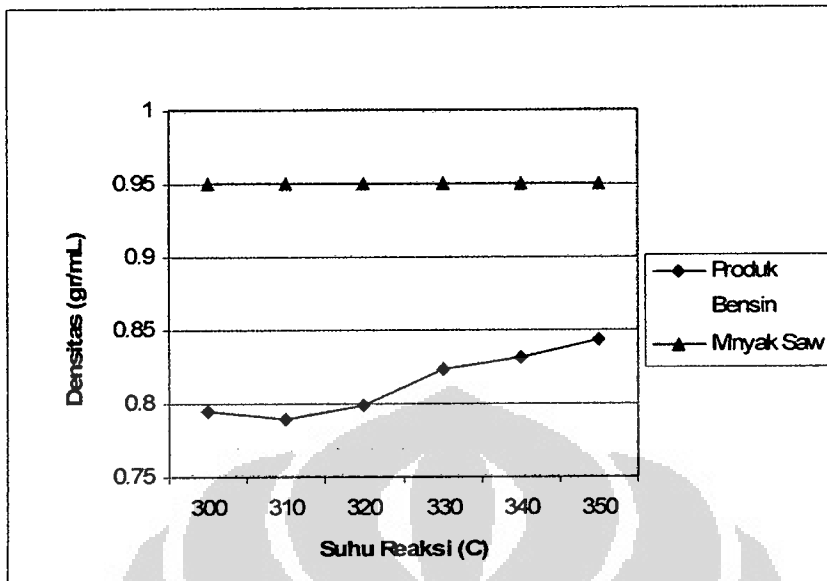
Analisis densitas dilakukan sebagai salah satu parameter dalam perbandingan produk perengkahan terhadap bensin komersial. Untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar produk *biogasoline* diharapkan mempunyai karakteristik yang mirip dengan bensin komersial yang telah ada dipasaran. Analisis densitas dilakukan terhadap produk perengkahan pada berbagai suhu reaksi.

Hasil yang didapatkan terjadi kecenderungan peningkatan densitas dengan semakin meningkatnya suhu reaksi. Tabel 4.3 dan Gambar 4.10 berikut ini menjelaskan pengaruh suhu reaksi terhadap perubahan nilai densitas.

Tabel 4.3.
Nilai Densitas Pada Berbagai Suhu Reaksi

T (°C)	ρ (gr/mL)		
	Produk	Bensin	Minyak Sawit
300	0.79	0.77	0.95
310	0.79	0.77	0.95
320	0.80	0.77	0.95
330	0.82	0.77	0.95
340	0.83	0.77	0.95
350	0.84	0.77	0.95

Dari hasil yang didapatkan densitas yang paling rendah diperoleh pada suhu reaksi 310 °C, yaitu sebesar 0,789 gr/mL, sedangkan densitas tertinggi diperoleh pada suhu 350 °C, yaitu 0,843 gr/mL.



Gambar 4.10.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Perubahan Densitas

Hasil analisis densitas menunjukkan bahwa reaksi perengkahan telah terjadi secara signifikan, hal ini dicirikan oleh turunnya densitas yang cukup besar jika dibandingkan dengan densitas minyak sawit. Densitas produk perengkahan berada pada rentang 0,79 s/d 0,85, hal ini menandakan bahwa produk yang didapatkan hampir memenuhi kriteria densitas pada bensin komersial, dimana densitas bensin komersial berada pada 0.77 gr/mL.

Densitas produk yang diperoleh saat ini lebih baik dibandingkan dengan densitas yang dihasilkan pada produk perengkahan fasa cair yang umumnya berkisar pada $\pm 0,9$ gr/mL. Hal ini menandakan bahwa reaksi perengkahan minyak sawit yang dilakukan dalam fasa gas cukup baik dalam menurunkan nilai densitas.

Grafik pada Gambar 4.10 menjelaskan bahwa terjadi peningkatan nilai densitas yang cukup besar dari suhu reaksi 320 °C menuju 330 °C, peristiwa ini disebabkan pada suhu reaksi di atas 330 °C produk yang terbentuk mulai bercampur dengan deposit karbon atau dikenal dengan istilah *coke*. *Coke* dapat terbentuk karena adanya pemanasan (terbakarnya) senyawa hidrokarbon pada suhu tinggi yang menyebabkan terjadinya penurunan rasio antara H/C, sehingga menghasilkan padatan

karbon. Bercampurnya padatan karbon pada produk hasil perengkahan menyebabkan terjadinya peningkatan nilai densitas secara signifikan.

Coke merupakan salah satu batasan yang cukup penting untuk diperhatikan dalam reaksi perengkahan katalitik, karena *coke* juga terbentuk pada permukaan katalis sehingga menutupi sebagian pori katalis. Terbentuknya *coke* pada permukaan katalis disebabkan karena terjadinya suatu kondisi, dimana senyawa trigliserida yang cukup besar tidak mampu untuk melewati pori katalis yang menyebabkan trigliserida tersebut akan tertahan pada pori katalis, kemudian terbakar membentuk karbon yang menutupi pori katalis, sehingga menyebabkan terdeaktivasinya katalis. Hal ini dapat diindikasikan dengan terbentuknya warna hitam pada katalis, oleh karena itu katalis yang telah digunakan sebaiknya diganti secara berkala apabila telah terjadi *coking* yang cukup tinggi pada katalis.

4.6.2. Viskositas

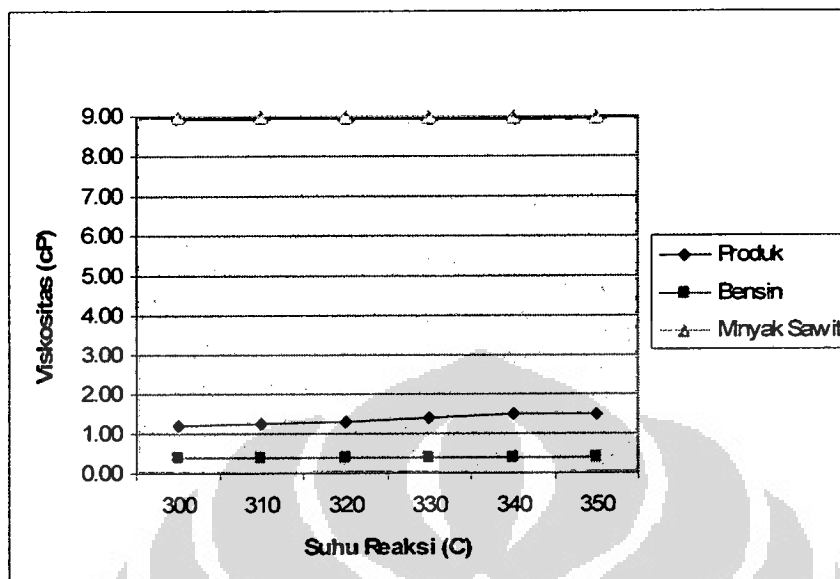
Analisis viskositas merupakan parameter yang penting dalam perbandingan produk perengkahan terhadap bensin komersial. Viskositas menjadi faktor yang cukup dominan sebagai karakteristik perbandingan terhadap bahan bakar komersial. Analisis viskositas dilakukan pada produk berbagai suhu reaksi.

Hasil analisis viskositas menunjukkan, bahwa dengan adanya peningkatan suhu reaksi terjadi kenaikan viskositas. Tabel 4.4 dan Gambar 4.11 menjelaskan hubungan suhu reaksi terhadap perubahan nilai viskositas.

Tabel 4.4.

Nilai Viskositas Pada Berbagai Suhu Reaksi

T	v (cSt, mm ² /s)	μ (cP)		
		Produk	Bensin	Minyak Sawit
300	1.51	1.20	0.4	9
310	1.60	1.26	0.4	9
320	1.60	1.28	0.4	9
330	1.70	1.39	0.4	9
340	1.79	1.49	0.4	9
350	1.79	1.51	0.4	9



Gambar 4.11.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Perubahan Viskositas

Hasil analisis viskositas menunjukkan bahwa reaksi perengkahan telah terjadi secara signifikan, hal ini ditandai oleh adanya penurunan viskositas yang cukup besar bila dibandingkan dengan viskositas minyak sawit, namun viskositas produk belum mencapai viskositas bensin komersil yang diinginkan, dimana dari data yang telah diketahui sebelumnya viskositas bensin komersial adalah 0.004 P. Viskositas produk terendah dicapai pada suhu 300 °C, yaitu 0.01198 P. Viskositas produk yang cukup rendah membuktikan bahwa reaksi perengkahan melalui fasa gas mempunyai kemampuan yang lebih baik dalam penurunan nilai viskositas. Hal ini dapat diketahui berdasarkan laporan pada penelitian fasa cair yang telah dilakukan sebelumnya, dimana viskositas produk yang dihasilkan berada pada kisaran $\pm 0,08$ P.

Adanya peningkatan viskositas dengan meningkatnya suhu reaksi juga disebabkan oleh adanya kenaikan densitas, karena densitas berbanding lurus dengan viskositas. Pada dasarnya yang mempengaruhi viskositas adalah jenis kandungan hidrokarbon dalam produk cair, dimana jika kandungan hidrokarbon dengan ikatan jenuh semakin tinggi, maka terjadi pula peningkatan viskositas. Hal ini didasarkan

jenuh akan membentuk suatu cairan kental atau bahkan semipadat. Viskositas juga dapat disebabkan oleh hadirnya deposit karbon pada produk perengkahan yang menyebabkan cairan bersifat lebih kental.

4.6.3. Bilangan Oktan

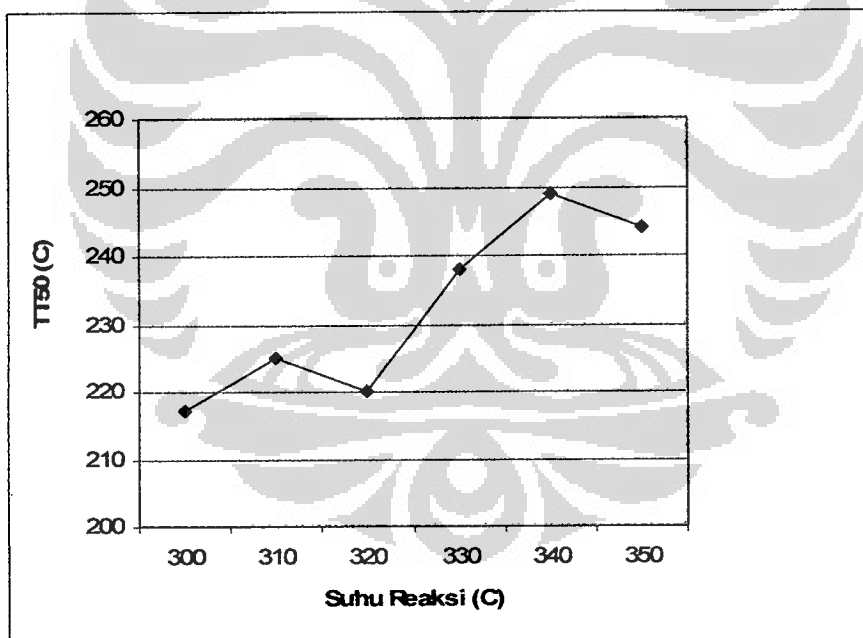
Setelah mengetahui besarnya nilai densitas dan viskositas produk yang mendekati karakteristik dari bensin komersial. Parameter lain yang penting untuk diperhatikan adalah bilangan oktan. Bilangan oktan didefinisikan sebagai suatu ukuran ketahanan bahan bakar terhadap terjadinya *autoignition* (pembakaran sendiri) sebelum dipicu oleh pusat api pada mesin bensin. Bilangan oktan diukur menggunakan alat destilasi, dimana produk perengkahan didistilasi kemudian temperturnya dicatat pada saat hasil distilat berjumlah 50% dari jumlah awalnya. Tabel 4.5 menyajikan TT_{50} (temperatur pada saat destilat 50%) dan bilangan oktan yang dihitung dari persamaan 3.2 dan 3.3.

Tabel 4.5.
Bilangan Oktan Pada Berbagai Suhu Reaksi

Suhu Reaksi (°C)	TT_{50}		x	CI	CN	CN koreksi	ON
	°C	°F					
300	217	423	16.882	18.18	16.18	14.31	109.07
310	225	437	19.050	20.41	18.41	16.28	107.49
320	220	428	17.699	19.02	17.02	15.06	108.48
330	238	460	22.506	23.94	21.94	19.41	104.98
340	249	480	25.369	26.85	24.85	21.98	102.92
350	244	471	24.075	25.54	23.54	20.82	103.85

Hasil analisis bilangan oktan menunjukkan bahwa terdapat peningkatan nilai TT_{50} dengan meningkatnya suhu reaksi. Kenaikan nilai TT_{50} mempunyai arti yang sebanding dalam kenaikan nilai titik didih. Peningkatan nilai TT_{50} disebabkan oleh semakin meningkatnya kandungan senyawa hidrokarbon yang mempunyai titik didih yang tinggi, sehingga dibutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk mendapatkan hasil distilat sebesar 50% dari jumlah awalnya. Titik didih senyawa hidrokarbon

distilat sebesar 50% dari jumlah awalnya. Titik didih senyawa hidrokarbon meningkat seiring dengan adanya penambahan jumlah ikatan karbon, oleh karena itu meningkatnya titik didih dapat diartikan juga sebagai meningkatnya kandungan rantai hidrokarbon yang lebih panjang pada produk hasil perengkahan. Selain dari panjang rantai karbon, titik didih juga meningkat didasarkan atas kandungan berbagai macam jenis senyawa hidrokarbon, dimana titik didih meningkat berturut-turut dari senyawa hidrokarbon bercabang < alkena < alkana. Dari keseluruhan penjelasan tersebut dapat diartikan bahwa meningkatnya TT_{50} disebabkan oleh semakin meningkatnya kandungan hidrokarbon rantai panjang atau alkana dan alkena pada produk hasil perengkahan. Grafik pada Gambar 4.12 berikut ini menjelaskan perubahan suhu reaksi terhadap nilai TT_{50} pada produk perengkahan.



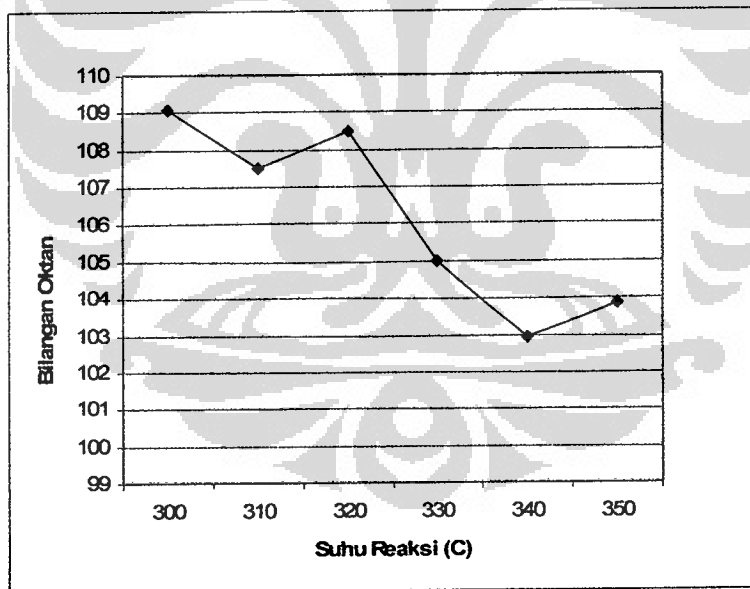
Gambar 4.12.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Perubahan TT_{50}

Pada dasarnya keseluruhan hasil analisis mempunyai informasi yang saling berhubungan, dimana semakin meningkatnya suhu reaksi terjadi peningkatan densitas dan viskositas yang berarti kandungan rantai hidrokarbon jenuh/panjang semakin

tinggi hal ini dibuktikan kembali dengan semakin meningkatnya nilai TT_{50} , sehingga memberikan validasi terhadap hasil analisis densitas dan viskositas yang telah dilakukan sebelumnya.

Turunnya nilai bilangan oktan seiring dengan kenaikan suhu reaksi pada dasarnya disebabkan oleh semakin meningkatnya nilai TT_{50} . Pada umumnya yang mempengaruhi turunnya nilai bilangan oktan adalah masih tingginya kandungan senyawa hidrokarbon rantai panjang dan alkana (hidrokarbon jenuh) pada produk. Hal ini turut pula membenarkan analisis densitas dan viskositas yang telah dilakukan sebelumnya, bahwa densitas dan viskositas cenderung meningkat akibat semakin meningkatnya kandungan hidrokarbon rantai lurus. Grafik pada Gambar 4.13 berikut ini menjelaskan hubungan antara kenaikan suhu reaksi terhadap perubahan nilai bilangan oktan pada produk perengkahan.

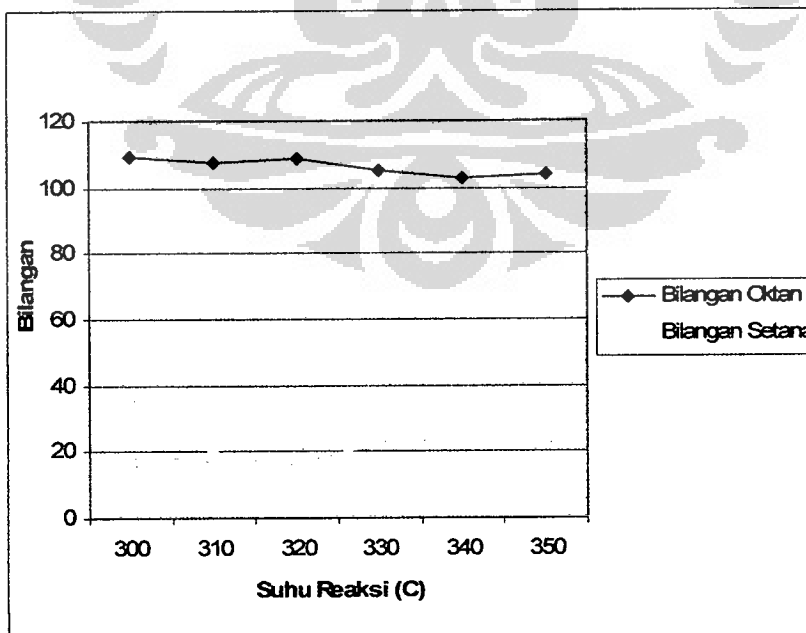


Gambar 4.13.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Perubahan Bilangan Oktan

Bilangan oktan diperoleh melalui persamaan 3.2 dan 3.3. Dari hasil yang didapat menunjukkan, bahwa terdapat hubungan yang berbanding terbalik antara nilai bilangan setana dengan bilangan oktana. Pada dasarnya senyawa-senyawa

hidrokarbon yang menaikkan bilangan setana akan menurunkan nilai bilangan oktan, karena perhitungan bilangan setana didasarkan atas tingkat kemudahan suatu hidrokarbon untuk terjadinya pengapian. Bilangan setana diperlukan untuk mengetahui kualitas bahan bakar pada mesin diesel, karena sistem pembakaran mesin diesel hanya mengandalkan sistem kompresi pada ruang bakar untuk terjadinya pengapian pada bahan bakar, oleh karena itu karakteristik bahan bakar yang diinginkan harus mempunyai kemampuan *self-ignition* (pengapian) tinggi yang ditunjukkan dengan tingginya bilangan setana. Semakin tinggi bilangan setana pada bahan bakar semakin baik bahan bakar tersebut digunakan pada mesin diesel, sedangkan karakteristik bahan bakar yang diinginkan pada mesin bensin justru kecenderungan bahan bakar tersebut untuk tidak terjadinya pengapian *prematur*. Oleh karena itu apabila bilangan setana suatu bahan bakar meningkat, maka nilai bilangan oktan yang didapatkan akan cenderung menurun. Hal ini telah dibuktikan berdasarkan hasil analisis bilangan setana pada produk perengkahan. Hubungan antara bilangan setana dan bilangan oktana produk perengkahan dengan meningkatnya suhu reaksi disajikan pada Gambar 4.14 berikut ini.



Gambar 4.14.

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis ini menunjukkan bilangan oktan yang tertinggi diperoleh pada suhu reaksi 300 °C, dimana nilai bilangan oktan yang didapatkan adalah 109. Hal ini disebabkan produk perengkahan pada suhu tersebut mempunyai kandungan rantai hidrokarbon jenuh yang paling rendah. Kemungkinan rendahnya kandungan rantai hidrokarbon jenuh disebabkan oleh produk yang telah berisomerisasi membentuk senyawa rantai alkana bercabang atau aromatik, dimana dari informasi yang telah diketahui sebelumnya menunjukkan, bahwa senyawa rantai alkana bercabang dan aromatik mempunyai nilai bilangan oktana yang cukup tinggi. Oleh karena itu dapat ditarik kesimpulan umum, bahwa produk isomerisasi terbaik diperoleh pada suhu reaksi 300 °C.

4.6.4. Kromatografi Gas (GC)

Analisis kromatografi gas (GC) dilakukan untuk mengidentifikasi produk gas dan produk cair yang terbentuk pada reaksi perengkahan, namun spesifikasi alat kromatografi gas yang digunakan berbeda. Untuk produk cair analisis dilakukan dengan alat GC menggunakan kolom *SE-30* yang dilengkapi dengan detektor FID (*Flame Ionized Detector*), sedangkan produk gas menggunakan alat GC dengan kolom *Porapak-Q* dilengkapi dengan detektor TCD (*Thermal Conductivity Detector*)

4.6.4.1. Analisis Produk Cair

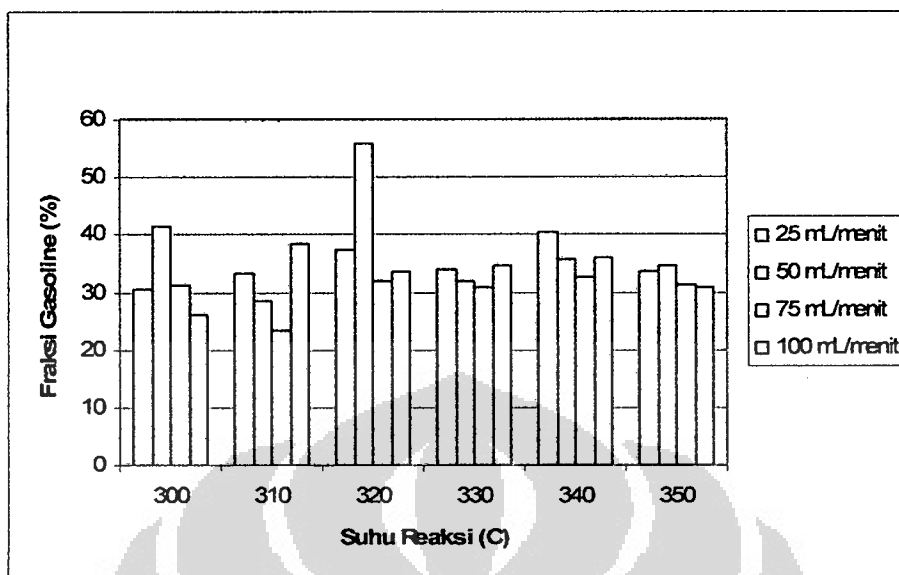
Analisis kromatografi gas dilakukan untuk mengetahui besarnya % fraksi *gasoline* reaksi perengkahan pada berbagai suhu reaksi dan laju alir nitrogen. Hal ini dapat dilakukan dengan membandingkan kromatogram GC standar bensin komersial dengan kromatogram produk perengkahan katalitik. Kromatogram standar bensin komersial dapat dilihat pada Lampiran 2. Dari kromatogram standar tersebut menunjukkan bahwa rentang waktu retensi bensin adalah dari 0 – 28,897 menit, hal ini memberikan informasi, bahwa waktu retensi yang berada di atas 28,897 menit merupakan waktu rentang untuk fraksi yang lebih berat, sehingga dengan analisis kromatografi gas dapat dihitung besarnya %fraksi *gasoline* pada produk perengkahan.

Waktu analisis menggunakan kromatografi gas dilakukan sampai keadaan kolom mencapai keadaan stabil atau dapat diartikan tidak ada lagi puncak yang muncul pada kromatogram. Waktu rata-rata yang diperoleh sampai dengan kondisi tidak adanya lagi peak yang muncul pada kromatogram adalah ± 50 menit. Data mengenai kromatogram GC produk perengkahan pada berbagai laju alir nitrogen dan suhu reaksi dapat dilihat pada Lampiran 3-26. Tabel 4.6. berikut ini menjabarkan % fraksi *gasoline* produk perengkahan pada berbagai suhu reaksi dan laju alir nitrogen.

Tabel 4.6.
% Fraksi *Gasoline* Pada Berbagai Suhu Reaksi Dan Laju Alir Nitrogen

Laju alir/Suhu reaksi	300 (°C)	310 (°C)	320 (°C)	330 (°C)	340 (°C)	350 (°C)
25 mL/menit	30.48	33.21	37.38	33.85	40.47	33.57
50 mL/menit	41.34	28.29	55.73	31.86	35.74	34.74
75 mL/menit	31.24	23.30	32.02	30.90	32.72	31.16
100 mL/menit	26.17	38.34	33.47	34.55	35.90	30.94

Hasil analisis GC produk cair menunjukkan, bahwa seiring dengan meningkatnya suhu reaksi besarnya % fraksi *gasoline* cenderung mengalami peningkatan. Kondisi operasi yang menghasilkan % fraksi *gasoline* yang paling optimum adalah pada laju alir 50 mL/menit dengan suhu reaksi 320 °C, yaitu dengan konversi sebesar 55.73%. Gambar 4.15 berikut ini menjelaskan hubungan besarnya % fraksi *gasoline* terhadap perubahan suhu reaksi dan laju alir nitrogen.



Gambar 4.15.

Pengaruh Suhu Reaksi Dan Laju Alir Nitrogen Terhadap Fraksi *Gasoline*

Grafik pada Gambar 4.15 memberikan informasi, bahwa adanya peningkatan laju alir akan terjadi kecenderungan dalam penurunan % fraksi *gasoline*. Hal ini disebabkan oleh dengan semakin meningkatnya laju alir, maka waktu tinggal reaktan di dalam reaktor akan semakin cepat, sehingga proses perengkahan berjalan kurang sempurna yang menyebabkan produk yang terbentuk pada laju alir yang lebih tinggi masih mempunyai kandungan senyawa hidrokarbon yang cukup panjang, oleh karena itu terjadi penurunan % fraksi *gasoline* dengan meningkatnya laju alir nitrogen.

Grafik di atas menunjukkan, bahwa produk dengan % fraksi *gasoline* paling optimum berada pada laju alir 50 mL/menit. Kejadian ini tidak sesuai dengan teori yang menyatakan, bahwa dengan adanya peningkatan laju alir, maka % konversi *gasoline* akan cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh reaksi perengkahan yang terjadi menghasilkan fasa gas yang cukup besar pada laju alir yang sangat rendah, sehingga menurunkan % fraksi *gasoline*. Terbentuknya fasa gas disebabkan karena terjadinya *secondary cracking* pada saat reaksi perengkahan. Probabilitas terjadinya *secondary cracking* (perengkahan lanjutan) semakin tinggi dengan semakin rendahnya laju alir nitrogen, karena waktu tinggal reaktan di dalam

pori katalis cukup lama, sehingga reaktan akan terengkah secara berulang menghasilkan hidrokarbon fraksi gas pada rentang C_1 s/d C_4 .

Grafik pada Gambar 4.15 menunjukkan, bahwa suhu reaksi perengkahan yang paling optimum adalah $320\text{ }^\circ\text{C}$. Hal ini menjelaskan, bahwa dengan adanya kenaikan suhu reaksi akan meningkatkan % fraksi *gasoline*, namun terdapat batas optimum dimana dengan adanya peningkatan suhu reaksi lebih lanjut, maka akan menurunkan % fraksi *gasoline*. Hal ini disebabkan oleh karena adanya pembentukan gas hidrokarbon rentang C_1 s/d C_4 pada suhu reaksi yang cukup tinggi. Suhu reaksi yang terlalu tinggi akan menyediakan energi yang cukup besar dalam reaksi perengkahan karena reaksi perengkahan merupakan reaksi endotermik, yang membutuhkan sejumlah energi untuk bereaksi, sehingga terjadi kondisi *overcrack* yang menyebabkan produk yang didapatkan adalah senyawa hidrokarbon dengan rantai yang sangat pendek. Apabila suhu reaksi yang digunakan terlalu rendah, maka akan mengakibatkan kurangnya energi yang dibutuhkan untuk merengkahkan reaktan. Kondisi tersebut menyebabkan reaktan tidak terengkah secara baik, sehingga produk yang dihasilkan masih mengandung senyawa hidrokarbon rantai panjang. Oleh karena itu dari hasil analisis GC diperoleh kesimpulan, bahwa laju alir dan suhu reaksi optimum diperoleh berturut-turut pada 50 mL/menit dan $320\text{ }^\circ\text{C}$.

4.6.4.2. Analisis Produk Gas

Produk yang dihasilkan dalam reaksi perengkahan katalitik tidak seluruhnya cair, seperti yang telah dijelaskan pada analisis sebelumnya, bahwa produk perengkahan katalitik juga dapat berupa gas. Produk gas yang dihasilkan dianalisis menggunakan kromatografi gas (GC) untuk mengetahui jenis komponen yang terdapat dalam gas tersebut. Analisis produk gas dilakukan di setiap suhu reaksi. Hasil kromatogram GC untuk produk gas dapat dilihat pada Lampiran 27-32.

Kromatogram GC dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan berdasarkan waktu retensi, dimana waktu retensi menunjukkan waktu yang dibutuhkan suatu senyawa tertentu untuk terlepas keluar kolom. Pemisahan pada kolom GC dapat terjadi karena terdapat perbedaan afinitas antara

senyawa dengan kolom. Senyawa dengan tingkat affinitas yang rendah terhadap kolom akan keluar terlebih dahulu dibandingkan dengan senyawa yang mempunyai affinitas yang lebih tinggi, oleh karena itu waktu retensi yang dibutuhkan juga semakin kecil untuk senyawa dengan affinitas yang rendah.

Analisis kualitatif dapat dilakukan dengan membandingkan waktu retensi sampel terhadap waktu retensi berbagai macam standar gas. Standar gas yang dicobakan diantaranya adalah udara, gas CO, CO₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₆, C₃H₆, C₃H₈ dan uap air (H₂O). Hasil yang diperoleh ternyata untuk berbagai macam standar gas mempunyai urutan waktu retensi berturut-turut dari yang terendah, yaitu CO, udara, CH₄, CO₂, uap air (H₂O), C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆ dan C₃H₈. Dari hasil urutan standar tersebut digunakan sebagai identifikasi kualitatif berbagai macam komponen gas yang terdapat dalam produk gas hasil perengkahan katalitik.

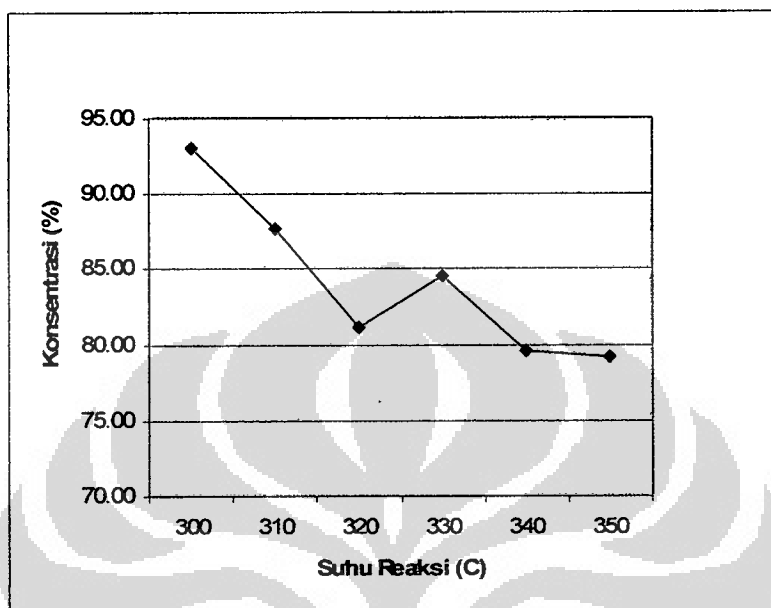
Analisis kuantitatif dilakukan atas dasar besarnya luasan *peak* (puncak) area yang muncul pada kromatogram. Puncak kromatogram merepresentasikan besarnya konsentrasi senyawa yang terdeteksi pada detektor. Semakin besar luas puncak, maka semakin besar pula konsentrasi suatu senyawa yang terdeteksi oleh detektor, dimana detektor yang digunakan pada analisis ini adalah detektor TCD (*thermal conductivity detector*). Tabel 4.7 berikut ini menjabarkan hasil analisis GC produk gas pada berbagai suhu reaksi.

Tabel 4.7.

Hasil Analisis GC Produk Gas Pada Berbagai Suhu Reaksi

Suhu Reaksi (°C)	CO (%)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	H ₂ O (%)	C ₂ H ₄ (%)	C ₂ H ₆ (%)
300	93.03	0.26	6.37	0.33	-	-
310	87.61	0.35	10.79	0.52	0.74	-
320	81.15	0.52	13.25	0.41	4.66	-
330	84.52	0.41	14.11	0.52	0.44	-
340	79.59	-	19.22	0.60	0.59	-
350	79.13	0.37	13.67	0.38	1.50	4.94

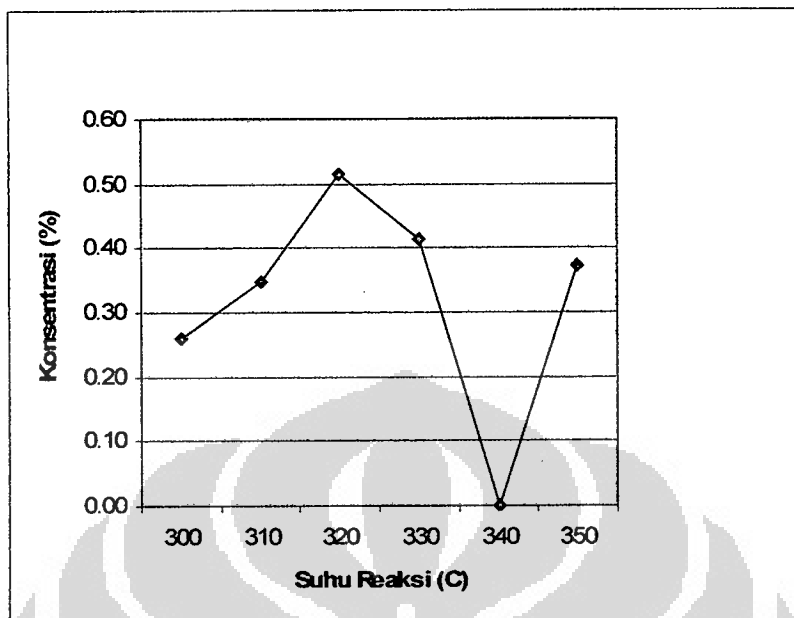
Gambar 4.16 s/d 4.21 menyajikan hubungan antara peningkatan suhu reaksi terhadap persentase masing-masing komponen gas pada produk perengkahan.



Gambar 4.16.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konsentrasi Gas CO

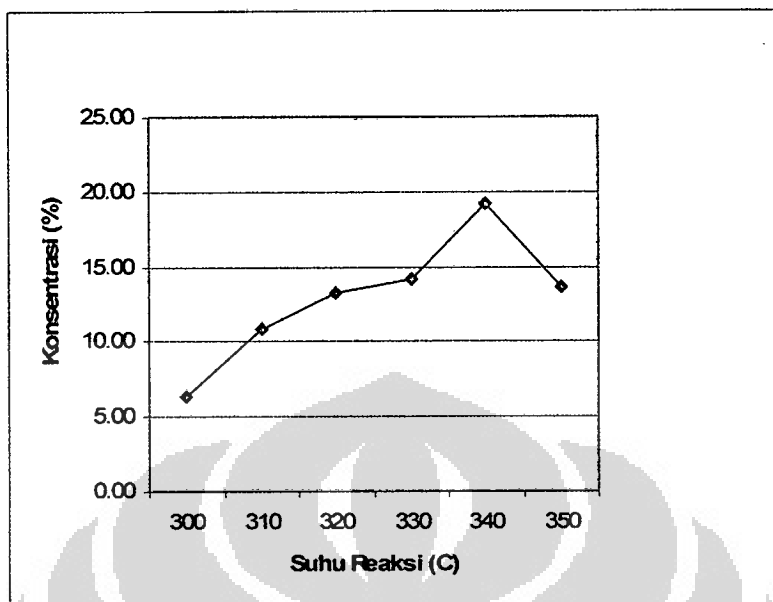
Produk gas hasil perengkahan minyak sawit didominasi oleh gas karbonmonoksida (CO) yang merupakan kandungan tertinggi pada produk gas. Gas ini dapat terbentuk karena adanya pemutusan tak sempurna terhadap senyawa hidrokarbon sehingga dihasilkan gas CO atau karena adanya pemutusan gugus karbonil (C=O) yang terdapat pada trigliserida. Pada gambar 4.16 terlihat adanya kecenderungan penurunan jumlah konsentrasi gas CO dengan adanya peningkatan suhu reaksi. Kondisi yang menghasilkan konsentrasi gas CO tertinggi adalah pada suhu reaksi 300 °C. Kecenderungan dalam penurunan konsentrasi gas CO diakibatkan oleh adanya perubahan terhadap pemutusan yang lebih sempurna menghasilkan gas karbondioksida (CO₂) dengan meningkatnya suhu reaksi atau pemutusan pada gugus karbonil (C=O) menghasilkan gas CO₂ lebih disukai pada suhu reaksi yang lebih tinggi.



Gambar 4.17.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konsentrasi Gas CH₄

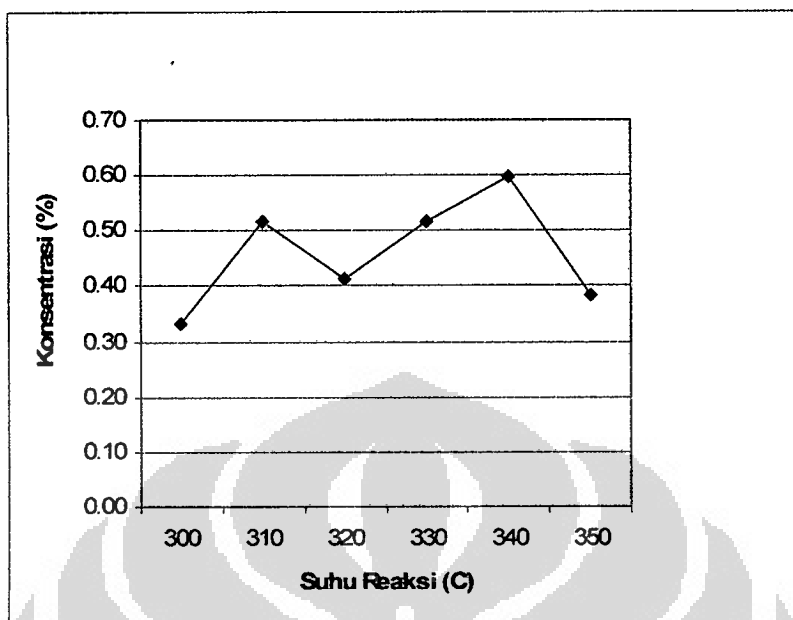
Gas metana (CH₄) dapat dihasilkan karena adanya perengkahan/pemutusan pada hidrokarbon ujung atau adanya perengkahan lanjutan terhadap etana, propana (rantai hidrokarbon lain yang lebih panjang). Dari Gambar 4.17 terlihat, bahwa terjadi peningkatan konsentrasi CH₄ s/d suhu reaksi 320 °C, kemudian terjadi penurunan s/d suhu 340 °C. Kondisi tertinggi dalam produksi gas CH₄ adalah pada suhu reaksi 320 °C, sedangkan kondisi terendah pada suhu reaksi 340 °C. Fenomena ini tidak dapat dijelaskan secara spesifik karena tidak ada kecenderungan tertentu dalam perubahan konsentrasi CH₄, namun pada dasarnya dengan meningkatnya suhu reaksi akan terbentuk CH₄ dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena semakin tingginya suhu reaksi, maka semakin besar bahkan lebih dari cukup untuk memutus ikatan hidrokarbon sampai dengan rantai yang paling pendek (CH₄)



Gambar 4.18.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konsentrasi Gas CO₂

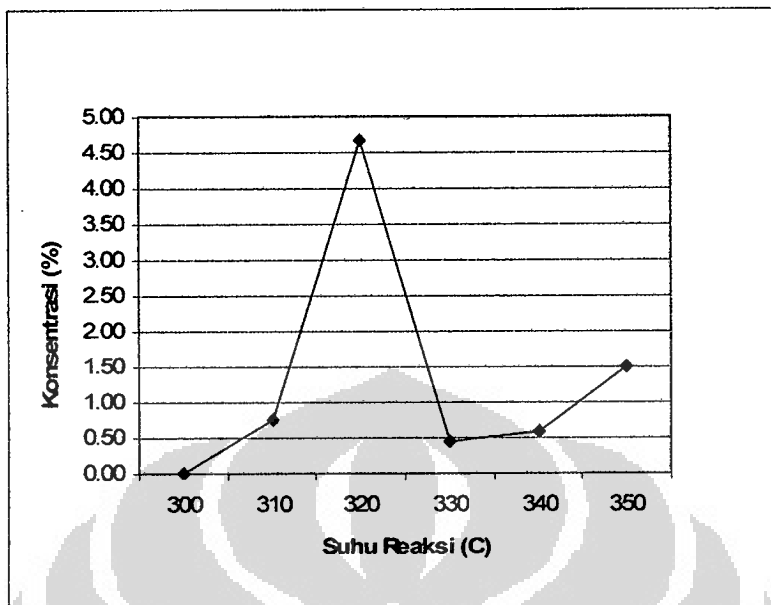
Gambar 4.18 memperlihatkan, bahwa dengan meningkatnya suhu reaksi, maka akan terjadi peningkatan konsentrasi gas karbondioksida (CO₂) pada produk gas. Pada dasarnya gas CO₂ dapat dihasilkan akibat adanya pemutusan/perengkahan sempurna pada gugus ester (COOR) yang terdapat pada trigliserida atau gugus karboksilat (COOH) pada asam lemak bebas. Dari gambar dapat disimpulkan, bahwa kondisi yang menghasilkan produksi gas CO₂ tertinggi adalah pada suhu reaksi 340 °C. Kecenderungan dengan meningkatnya konsentrasi gas CO₂ disebabkan oleh terdapatnya energi yang cukup untuk memutus ikatan ester dan karboksilat tersebut membentuk CO₂ dengan adanya kenaikan suhu reaksi. Hal ini dibuktikan dengan konsentrasi CO₂ yang sangat rendah pada suhu reaksi 300 °C.



Gambar 4.19.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konsentrasi Uap Air

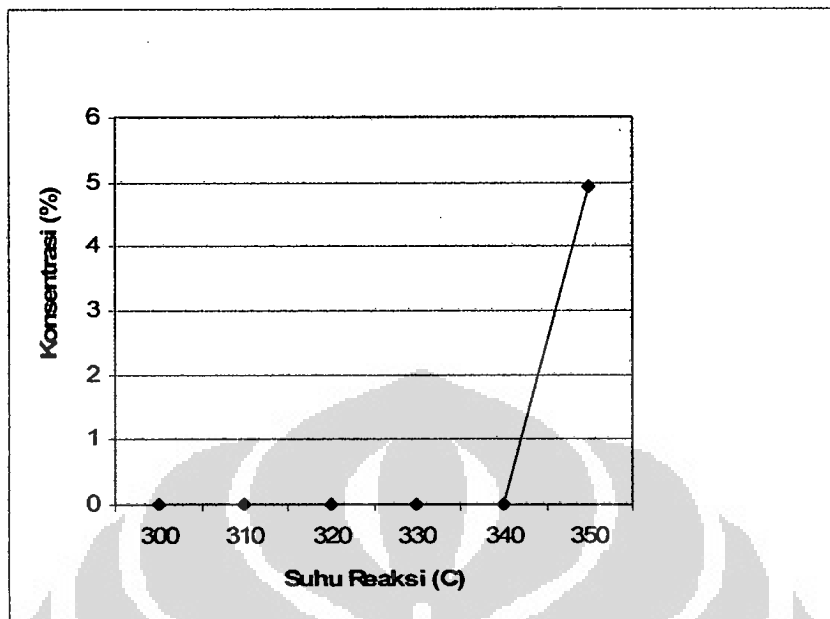
Gambar 4.19 menjelaskan, bahwa produksi uap air (H_2O) tertinggi terjadi pada suhu reaksi 340 °C. Uap air dapat dihasilkan dari dehidrasi asam lemak bebas yang terdapat pada trigliserida. Pada dasarnya asam lemak bebas apabila terengkah akan membentuk hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek, gas CO dan uap air. Kontribusi yang tinggi terhadap produksi gas CO pada perengkahan asam lemak bebas akan selalu diikuti dengan produksi uap air, namun produksi uap air yang terjadi tidak sebanding dengan gas CO yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena adanya reaksi H_2O terhadap karbokation yang terbentuk pada katalis menyebabkan terbentuknya senyawa hidrokarbon dengan *substituen* (cabang) hidroksil atau karbonil (dapat berupa: aldehyd, keton atau karboksilat), oleh karena itu konsentrasi uap air yang terbentuk tidak sebanding dengan konsentrasi gas CO yang dihasilkan. Fenomena perubahan konsentrasi uap air pada produk gas tidak dapat dijelaskan secara spesifik karena tidak adanya kecenderungan yang signifikan pada perubahan konsentrasi uap air dengan meningkatnya suhu reaksi.



Gambar 4.20.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konsentrasi Gas C₂H₄

Gambar 4.20 memperlihatkan, bahwa produksi gas etilen (C₂H₄) tertinggi terjadi pada suhu reaksi 320 °C. Gas C₂H₄ dapat terbentuk karena adanya pemutusan pada gugus utama trigliserida, menghasilkan hidrokarbon C₂ dengan ikatan rangkap atau pemutusan pada senyawa hidrokarbon yang lebih panjang. Pada dasarnya senyawa hidrokarbon tak jenuh (alkena) lebih mudah terbentuk daripada senyawa hidrokarbon jenuh (alkana). Hal ini disebabkan oleh adanya stabilisasi pada karbokation membentuk hidrokarbon alkena. Fenomena ini dapat dibuktikan dari hasil GCMS, dimana jenis produk yang terbentuk didominasi oleh senyawa hidrokarbon tak jenuh. Keseluruhan hal ini membuktikan bahwa produk gas C₂H₄ lebih mudah terbentuk dibandingkan dengan gas C₂H₆, jika membandingkannya dengan Gambar 4.21. Gambar 4.20 juga memberikan kesimpulan adanya kecenderungan dalam peningkatan produksi gas C₂H₄. Hal ini disebabkan oleh adanya energi yang semakin cukup dalam perengkahan membentuk gas C₂H₄ dengan adanya peningkatan suhu reaksi.



Gambar 4.21.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konsentrasi Gas C_2H_6

Gambar 4.21 memberikan penjelasan, bahwa pada suhu 300 s/d 340 tidak terjadi produksi gas etana (C_2H_6). Terbentuknya gas C_2H_4 dapat terjadi akibat pemutusan pada rantai jenuh atau adanya perpindahan hidrida menuju karbokation, sehingga terbentuk senyawa alkana, dalam hal ini adalah gas C_2H_6 . Pembentukan gas C_2H_6 lebih sulit untuk tercapai jika dibandingkan dengan gas C_2H_4 . Hal ini disebabkan pada umumnya karbokation terstabilkan dengan membentuk hidrokarbon tak jenuh (alkena), sedangkan penstabilan dengan perpindahan hidrida menuju karbokation lebih sukar dan jarang terjadi, oleh karena itu produksi gas C_2H_4 lebih mudah. Gambar 4.21 memperlihatkan gas C_2H_6 mulai terbentuk pada suhu 350 °C. Hal ini memberikan kesimpulan bahwa gas C_2H_6 lebih mudah terbentuk pada suhu tinggi.

4.6.5. Analisis FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

Analisis FTIR dilakukan untuk mengetahui berbagai jenis ikatan yang terdapat dalam produk perengkahan. Prinsip kerjanya didasarkan atas serapan suatu ikatan senyawa terhadap sinar inframerah pada panjang gelombang tertentu kemudian diukur intensitas (tingkat) serapannya yang dinyatakan sebagai absorbansi.

Hasil spektrum FTIR dapat digunakan sebagai analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan mengidentifikasi serapan suatu jenis gugus/ikatan pada bilangan gelombang tertentu, sehingga dari analisis kualitatif dapat diketahui ikatan/gugus apa saja yang terdapat dalam produk. Hasil analisis kuantitatif dapat dilakukan dengan melihat tingkat serapan (absorbansi) terhadap suatu jenis ikatan. Absorbansi didasarkan atas besarnya energi inframerah pada panjang gelombang tertentu yang diserap oleh suatu gugus/ikatan tertentu, semakin besar energi yang diserap pada panjang gelombang tertentu, maka semakin banyak pula jumlah ikatan yang terdapat dalam senyawa tersebut, oleh karena itu tingkat absorbansi dapat direpresentasikan sebagai jumlah (banyaknya) gugus/ikatan tertentu pada suatu senyawa. Tabel 4.8 menyajikan jenis ikatan dengan serapannya pada bilangan gelombang tertentu.

Tabel 4.8.

Absorbansi Berbagai Jenis Ikatan Pada Bilangan Gelombang Tertentu

No	Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
1	CH ₂	2931
2	CH ₃	2854
3	C=O	1712
4	R-CH ₃	1457
5	R-(CH ₃) ₂	1110

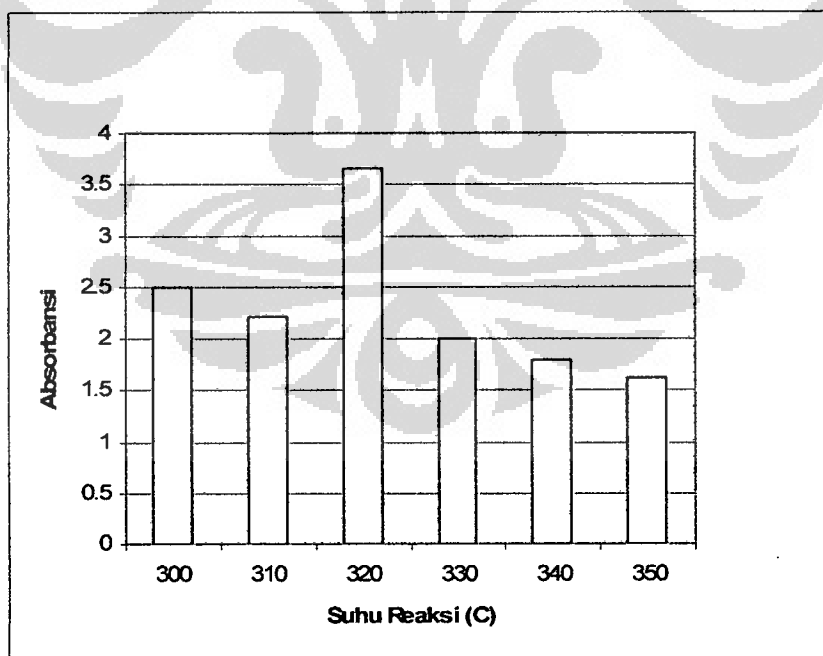
Analisis FTIR dilakukan terhadap produk pada berbagai suhu reaksi. Hasil spektrum FTIR dapat dilihat pada Lampiran 33-39. Tabel 4.9 berikut ini menyajikan hasil analisis kualitatif dan kuantitatif spektra FTIR produk perengkahan pada berbagai suhu reaksi.

Tabel 4.9.

Spektra FTIR Produk Perengkahan Pada Berbagai Suhu Reaksi

No	Suhu Reaksi (°C)	Absorbansi Jenis Ikatan				
		CH ₂	CH ₃	C=O	R-CH ₃	R-(CH ₃) ₂
1	Minyak Sawit	1,1	1,1	1	0,95	0,8
2	300	2,5	1,75	0,75	0,6	0,1
3	310	2,2	1,4	1,5	0,5	0,1
4	320	3,65	2	3,5	0,7	0,15
5	330	2	1,4	1,5	0,5	0,1
6	340	1,8	1,25	1,2	0,5	0,1
7	350	1,62	1	0,4	0,4	0,18

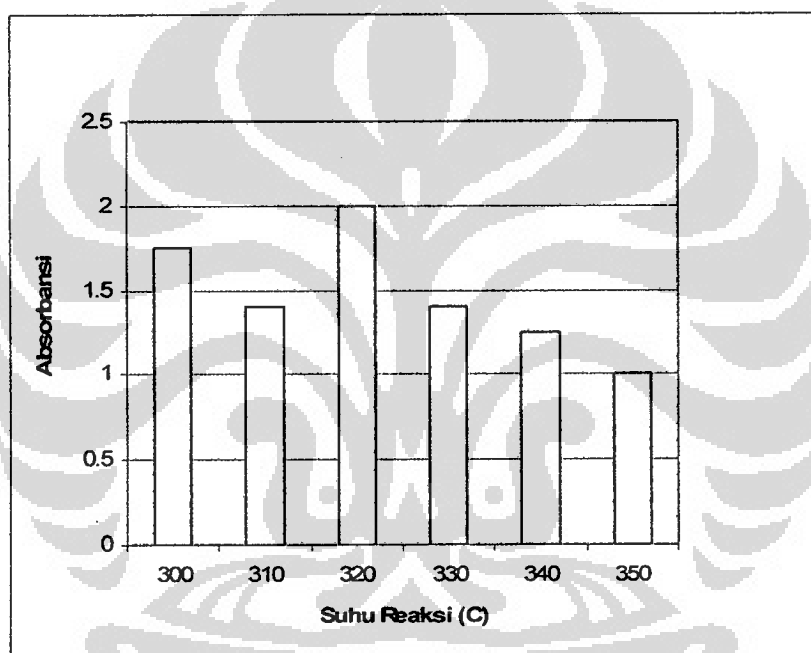
Tabel di atas menjelaskan perbandingan absorbansi tiap ikatan yang terdapat pada masing-masing produk perengkahan di berbagai suhu reaksi. Jenis ikatan yang dianalisis adalah ikatan-ikatan yang mempunyai pengaruh yang cukup signifikan dalam identifikasi produk perengkahan. Gambar 4.22 s/d 4.26 berikut ini menjelaskan perubahan jumlah (absorbansi) tiap jenis ikatan terhadap kenaikan suhu reaksi.



Gambar 4.22.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Jumlah (Absorbansi) Ikatan CH₂

Grafik pada Gambar 4.22 dapat dilihat, bahwa terjadi kecenderungan pengurangan ikatan CH_2 dengan meningkatnya suhu reaksi. Hal ini disebabkan oleh adanya kuantitas perengkahan yang semakin tinggi pada senyawa trigliserida dengan meningkatnya suhu reaksi, namun terdapat perbedaan yang cukup mencolok dimana pada suhu reaksi $320\text{ }^\circ\text{C}$ justru jumlah ikatan CH_2 paling besar, hal ini mungkin disebabkan oleh kandungan senyawa yang terkandung dalam produk perengkahan suhu $320\text{ }^\circ\text{C}$ sebagian besar merupakan produk hidrokarbon rantai lurus.

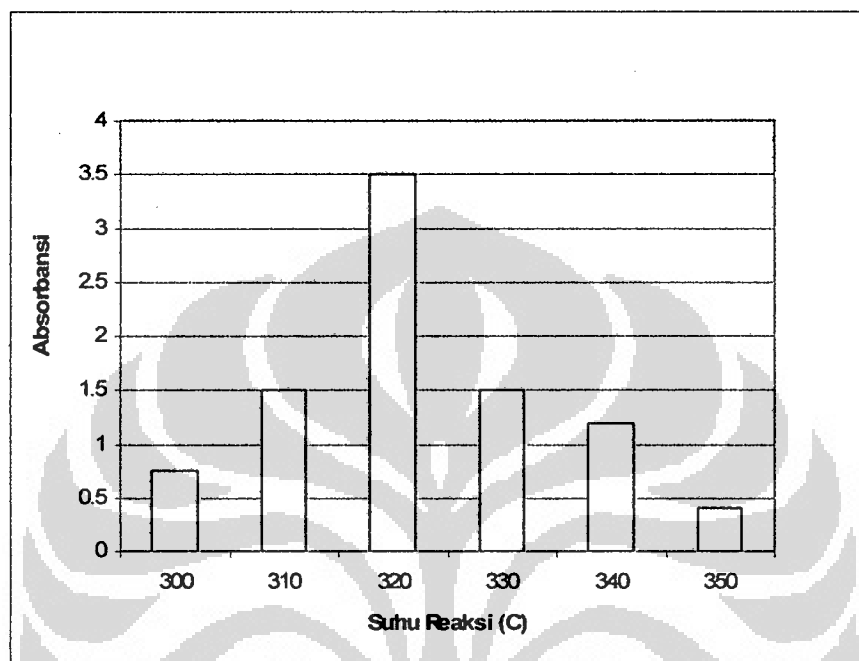


Gambar 4.23.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Jumlah (Absorbansi) Ikatan CH_3

Pada dasarnya jumlah ikatan CH_3 menunjukkan banyaknya senyawa hidrokarbon yang telah terputus pada reaksi perengkahan, hal ini dapat diketahui atas dasar bahwa gugus CH_3 merupakan gugus yang paling ujung pada suatu senyawa hidrokarbon, sehingga dengan jumlahnya yang semakin banyak menunjukkan tingginya hidrokarbon yang terengah, namun Gambar 4.23 justru menunjukkan kecenderungan ikatan CH_3 yang semakin berkurang dengan adanya kenaikan suhu

reaksi. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya pembentukan *coke* (kokas) pada suhu yang lebih tinggi sehingga mengurangi jumlah gugus CH_3 pada produk.

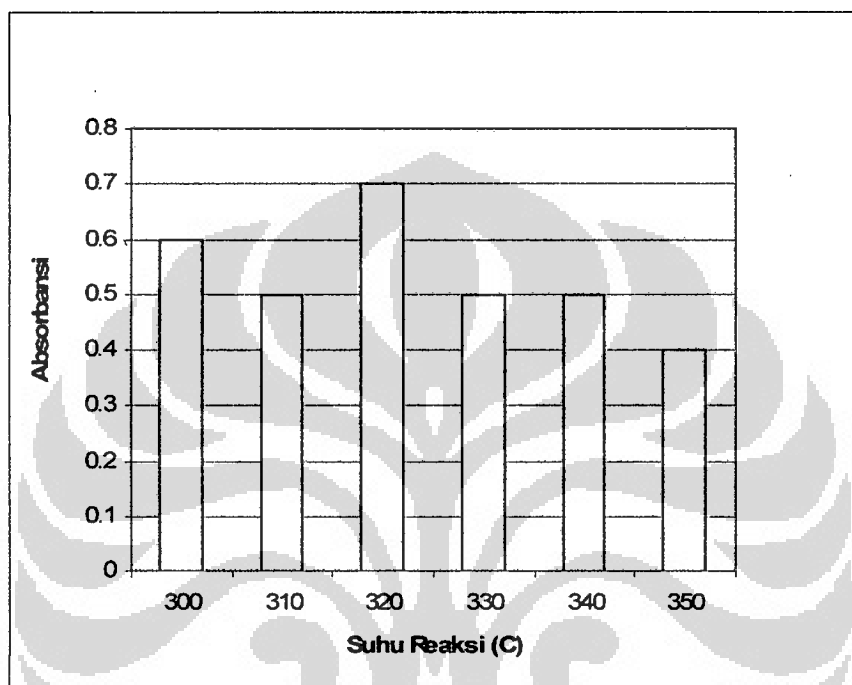


Gambar 4.24.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Jumlah (Absorbansi) Ikatan C=O

Grafik pada Gambar 4.24 menunjukkan, bahwa terjadi kenaikan dan penurunan jumlah ikatan C=O. Ikatan C=O yang teridentifikasi merupakan total keseluruhan berbagai macam ikatan karbonil (C=O) yang terdapat dalam produk perengkahan. Perubahan jumlah ikatan C=O didasarkan atas banyaknya gugus CO yang putus dan berubah menjadi gas CO dan CO_2 . Semakin tinggi suhu reaksi, maka ikatan C=O yang berubah menjadi gas CO dan CO_2 juga semakin banyak, namun kenyataan yang diperoleh justru berbeda, dimana pada suhu 300 s/d 320 jumlah ikatan C=O justru sedikit, hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya adisi gugus CO oleh asam menjadi gugus hidroksi (C-OH), sedangkan pada suhu di atas 320 °C, hasil yang didapatkan sesuai dengan asumsi bahwa semakin meningkatnya suhu reaksi maka ikatan C=O yang berubah menjadi gas CO dan CO_2 juga semakin

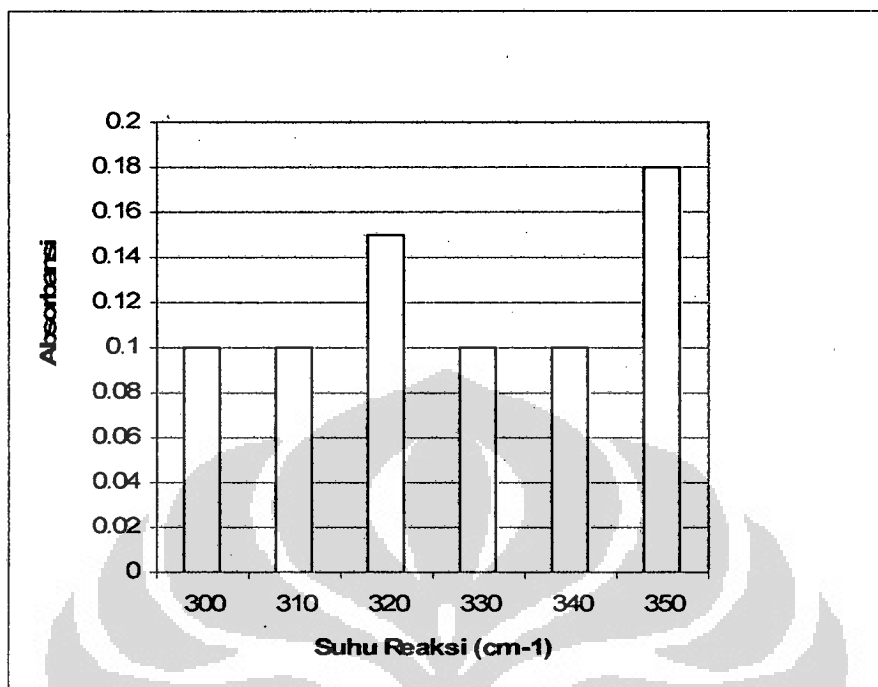
banyak. Produk perengkahan yang paling optimum terhadap ikatan C=O adalah produk pada suhu 320 °C, kejadian ini sesuai dengan kenyataan, bahwa fraksi *gasoline* terbesar adalah pada suhu reaksi 320 °C.



Gambar 4.25.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Jumlah (Absorbansi) Ikatan R-CH₃

Gambar 4.25 menggambarkan perubahan jumlah ikatan R-CH₃ terhadap peningkatan suhu reaksi. Pada dasarnya munculnya ikatan R-CH₃ mengindikasikan adanya reaksi isomerisasi pada saat proses perengkahan. Isomerisasi terjadi karena adanya adisi suatu alkil pada karbokation yang terputus pada saat proses perengkahan berlangsung. Dari hasil analisis FTIR menjelaskan, bahwa proses isomerisasi berlangsung cukup baik pada kondisi suhu reaksi 320 °C karena hal ini dapat diketahui dengan tingginya jumlah ikatan R-CH₃ pada produk tersebut.



Gambar 4.26.

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Jumlah (Absorbansi) Ikatan R-(CH₃)₂

Gambar 4.26 memberikan gambaran mengenai pengaruh perubahan suhu reaksi terhadap jumlah ikatan R-(CH₃)₂. Munculnya ikatan R-(CH₃)₂ pada produk perengkahan juga disebabkan oleh adanya reaksi isomerisasi pada saat terbentuknya karbokation dalam reaksi perengkahan. Dari hasil analisis FTIR terhadap jumlah ikatan R-(CH₃)₂ menjelaskan, bahwa semakin meningkatnya suhu reaksi, maka terjadi kecenderungan yang semakin meningkat terhadap reaksi isomerisasi dengan gugus R-(CH₃)₂. Selain itu diperoleh kesimpulan, bahwa suhu 350 °C merupakan suhu optimum dalam isomerisasi gugus R-(CH₃)₂.

4.6.6. Analisis Kromatografi Gas Dan Spektroskopi Massa (GCMS)

Analisis Kromatografi gas dan spektroskopi massa (GCMS) dilakukan untuk mengetahui bermacam jenis kandungan yang terdapat dalam produk perengkahan untuk fraksi *gasoline* yang paling optimum, yaitu pada suhu 320 °C dan laju alir 50 mL/menit. Hasil analisis GCMS memberikan informasi kandungan hidrokarbon secara spesifik sesuai dengan berat molekulnya, kemudian dari berbagai macam senyawa hidrokarbon yang terdapat di dalamnya dapat diklasifikasikan menurut panjang rantai hidrokarbon. Tabel 4.10 berikut ini menyajikan persentase tiap senyawa hidrokarbon menurut panjang rantainya. Hasil kromatogram dan analisis GCMS dapat dilihat pada Lampiran 40-47.

Tabel 4.10.

Persentase Tiap Senyawa Hidrokarbon Pada Produk Perengkahan Optimum Menurut Panjang Rantainya

No	Panjang Rantai Hidrokarbon	Persentase (%)
1	C7	0.98
2	C8	6.36
3	C9	9.68
4	C10	12.46
5	C11	16.52
6	C12	6.78
7	C13	10.64
8	C14	11.22
9	C15	13.74
10	C16	2.34
11	C17	7.97
12	C18	0.51
13	C19	0.82

Hasil analisis GCMS menunjukkan bahwa persentase terbesar yang terkandung dalam produk adalah senyawa hidrokarbon dengan panjang rantai 11 (C₁₁), sedangkan yang terendah adalah kandungan senyawa hidrokarbon dengan panjang rantai C₁₈. Hal ini mempunyai kemiripan dengan hasil data GCMS produk *biogasoline* skala pilot 10 L dengan reaksi perengkahan fasa cair pada penelitian yang

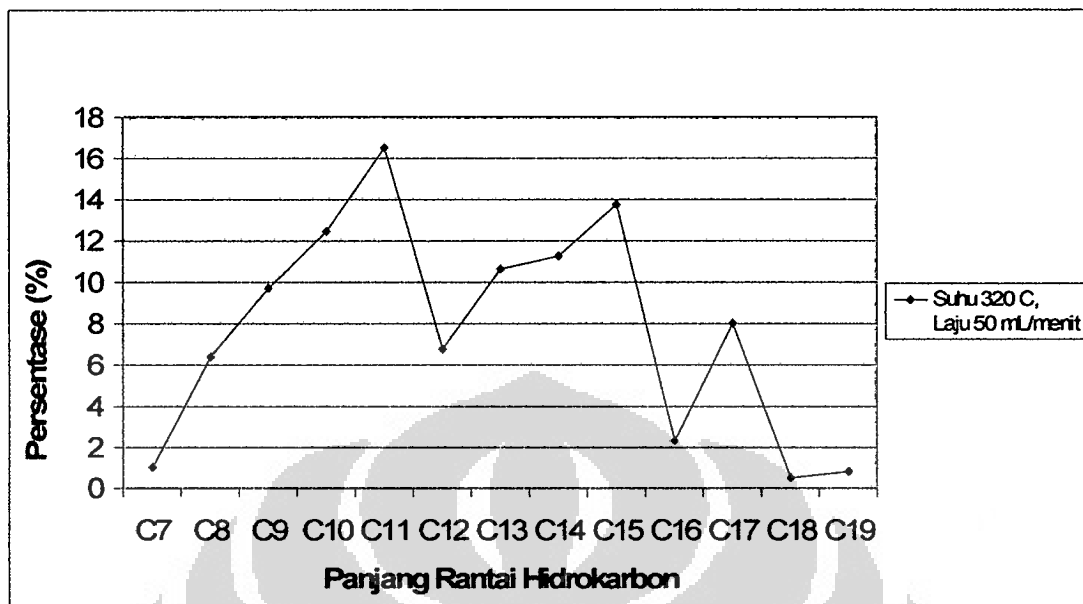
telah dilakukan Nasikin, dkk ^[37]. Tabel berikut menyajikan persentase tiap hidrokarbon menurut panjang rantainya menurut laporan yang didapatkan oleh Nasikin, dkk.

Tabel 4.11.

Persentase Tiap Senyawa Hidrokarbon Pada Produk Biogasoline Melalui Perengkahan Fasa Cair Skala Pilot 10 L (Penelitian Nasikin, Dkk)

No	Panjang Rantai Hidrokarbon	Persentase (%)
1	C1-C4	5.9
2	C5	0.22
3	C6	1.29
4	C7	5.27
5	C8	11.62
6	C9	9.42
7	C10	12.33
8	C11	16.98
9	C12	3.73
10	C13	4.06
11	C14	4.05
12	C15	6.71
13	C16	5.39
14	C17	1.81
15	C18	2.01
16	C19	0.09

Tabel 4.11^[37] memperlihatkan bahwa kandungan tertinggi pada produk perengkahan fasa cair adalah senyawa hidrokarbon C₁₁, yaitu dengan persentase 16,98. Hal ini mempunyai kesamaan yang cukup tepat dengan hasil yang telah didapatkan pada penelitian ini, yaitu kandungan tertinggi pada produk perengkahan fasa gas adalah senyawa hidrokarbon dengan panjang C₁₁ dengan persentase 16,52. Kandungan terendah pada produk yang telah dilaporkan oleh Nasikin, dkk adalah senyawa hidrokarbon C₁₉, sedangkan pada penelitian ini adalah hidrokarbon C₁₈. fraksi *gasoline* pada penelitian Nasikin, dkk mempunyai persentase sebesar 57 %, sedangkan penelitian ini fraksi *gasoline* yang terbentuk adalah 46 %.



Gambar 4.27.

% Kandungan Hidrokarbon Menurut Panjang Rantai

Gambar 4.27 memberikan informasi mengenai perubahan persentase senyawa hidrokarbon menurut panjang rantainya. Dari Gambar tersebut dapat diketahui, bahwa kandungan tertinggi pada produk cair hasil perengkahan adalah senyawa hidrokarbon C_{11} . Hasil analisis ini juga memberikan informasi mengenai besar % fraksi *gasoline* pada produk, dimana fraksi *gasoline* dapat diketahui dengan menjumlahkan persentase senyawa hidrokarbon yang berada pada rentang C_5 s/d C_{11} , sehingga % Fraksi *gasoline* yang didapatkan adalah 46 %. Hasil perhitungan % fraksi *gasoline* tersebut menunjukkan perbedaan pada analisis GC, dimana % fraksi *gasoline* yang didapatkan melalui analisis GC adalah sebesar 55 %. Perbedaan ini disebabkan karena tidak adanya informasi yang cukup spesifik yang dapat mengetahui panjang rantai hidrokarbon pada analisis GC.

Hasil analisis GCMS juga dapat memberikan informasi mengenai besarnya persentase jenis senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam produk perengkahan tersebut, jika jenis senyawa hidrokarbon diklasifikasikan menjadi 4 bagian, yaitu

Alkana, Alkena, Siklik dan Aromatis. Tabel 4.12 menjelaskan besar % tiap jenis senyawa hidrokarbon tersebut.

Tabel 4.12.

Persentase Senyawa Hidrokarbon Pada Produk Perengkahan Menurut Jenisnya

No	Jenis Hidrokarbon	Persentase (%)
1	Alkana	37.65
2	Alkena (olefin)	55.38
3	Siklik	6.22
4	Aromatik	0.77

Tabel 4.11 menjelaskan, bahwa terdapat perbedaan persentase yang cukup mencolok antara jenis senyawa hidrokarbon. Dari informasi tersebut dapat disimpulkan bahwa kandungan utama produk perengkahan fasa gas adalah senyawa jenis alkena dan alkana, dimana senyawa jenis alkena mempunyai kontribusi yang cukup signifikan terhadap peningkatan bilangan oktan, sedangkan senyawa alkana justru memberikan penurunan bilangan oktan. Selain itu diketahui pula, bahwa senyawa siklik dan aromatik mempunyai kemampuan dalam peningkatan bilangan oktan.

Hasil analisis bilangan oktan yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan, bahwa produk pada suhu 320 °C mempunyai bilangan oktan 108. Oleh karena itu dapat disimpulkan, bahwa persentase jenis hidrokarbon maupun panjang rantai dengan komposisi sesuai pada tabel 4.10 dan 4.12 memberikan kontribusi terhadap besar nilai bilangan oktan sebesar 108.

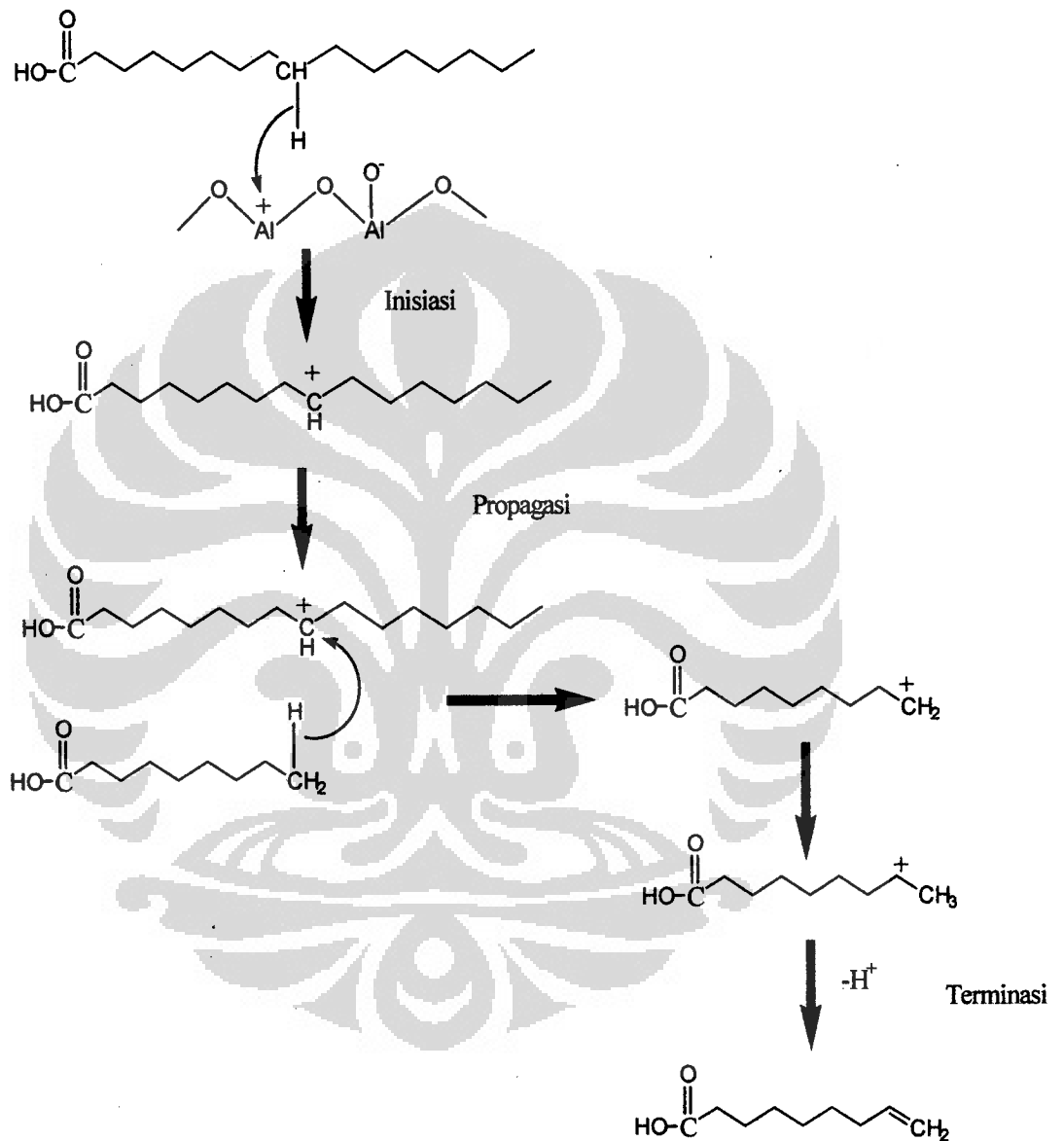
4.7. Mekanisme Reaksi Perengkahan Katalitik

Reaksi perengkahan katalitik disebut juga sebagai reaksi bulk karena reaktannya yang cukup meruah atau dapat diartikan reaktannya berada dalam jumlah besar dengan tingkat campuran yang tinggi. Trigliserida yang terkandung dalam minyak sawit adalah senyawa yang sangat besar dan terbagi lagi menjadi beberapa asam lemak bebas dengan panjang rantai hidrokarbon berkisar antara 14-18. Kondisi tersebut memberikan gambaran, bahwa tidak ada satu mekanisme reaksi yang spesifik terhadap reaksi perengkahan. Mekanisme reaksi yang dapat diberikan pada dasarnya adalah kondisi secara umum atau tahapan yang umumnya terjadi pada reaksi perengkahan.

Reaksi perengkahan katalitik pada umumnya terjadi melalui pembentukan karbokation. Karbokation dapat terbentuk oleh akibat adanya penerimaan muatan positif atau ion H^+ dari katalis alumina. Karbokation yang terbentuk pada permukaan katalis disebut juga sebagai tahap pemulaian (inisiasi). Karbokation ini dapat menginduksi senyawa hidrokarbon lainnya dengan membentuk karbokation baru, sehingga disebut juga sebagai tahap penjaralan (propagasi). Karbokation yang terbentuk pada ujung-ujung hidrokarbon berada dalam kondisi yang tidak stabil, sehingga akan menstabilkan diri dengan jalan memindahkan ion hidrida (*hidrida shift*), sehingga muatan positif hidrokarbon akan berpindah ke tengah-tengah untuk mengakomodasi adanya pendorong (pemencaran) elektron oleh atom karbon tetangga yang mampu menstabilkan muatan positif tersebut. Karbokation merupakan ion positif hidrokarbon yang tidak stabil dan akan segera menstabilkan diri dengan cara pelepasan H^+ . Tahap ini disebut juga sebagai tahap penghentian (terminasi). Oleh karena itu dapat disimpulkan, bahwa proses perengkahan katalitik secara umum terbagi menjadi 3 tahapan, yaitu :

1. Inisiasi (pemulaian)
2. Propagasi (penjaralan)
3. Terminasi (penghentian)

Berikut ini adalah penjelasan lebih lanjut mengenai tahap inisiasi, propagasi dan terminasi karbokation pada perengkahan katalitik.



Seperti yang telah dijelaskan pada Bab sebelumnya, bahwa terdapat 3 kemungkinan terjadinya pemutusan pada proses perengkahan katalitik, yaitu :

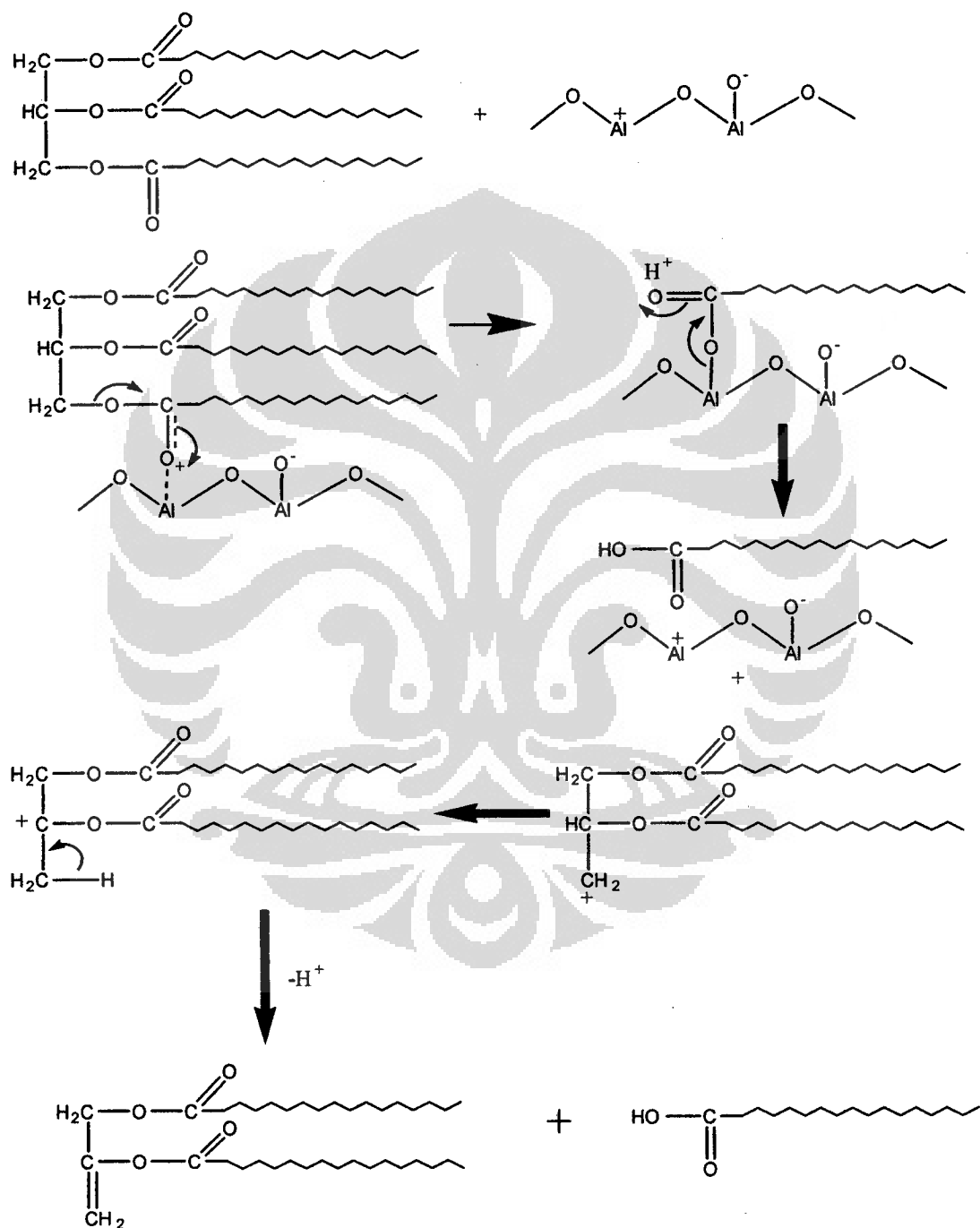
1. Pemutusan pada rantai utama
2. Pemutusan pada ikatan hidrokarbon jenuh
3. Pemutusan pada ikatan hidrokarbon tak jenuh

Pemutusan pada 3 jenis ikatan hidrokarbon tersebut disimpulkan berdasarkan adanya kereaktifan pada gugus/ikatan tersebut terhadap sisi aktif katalis atau dapat disebut juga sebagai adanya tingkat kemampuan suatu ikatan dalam menerima muatan positif atau ion H^+ yang berasal dari katalis. Berikut ini adalah penjelasan yang lebih rinci mengenai ketiga pemutusan tersebut.

a. Pemutusan Pada Rantai Utama

Pemutusan pada rantai utama diawali dengan adanya serangan elektron bebas oleh atom oksigen gugus karbonil trigliserida terhadap muatan positif pada katalis. Serangan tersebut menyebabkan gugus karbonil tersebut terprotonasi, sehingga akan terbentuk hidrokarbon positif (karbokation) pada ujung atom oksigen. Muatan positif tersebut akan segera distabilkan oleh adanya perpindahan elektron menuju atom positif karbonil. Kondisi ini menyebabkan atom karbon pada karbonil menjadi bermuatan positif. Pembentukan muatan positif pada atom karbon akan segera distabilkan pula oleh dengan adanya pemberian elektron oleh atom oksigen pada gugus ester trigliserida. Pemberian elektron ini akan melepas ikatan ester ($COO-C$) pada trigliserida, sehingga menyebabkan terputusnya pada rantai trigliserida utama. Trigliserida yang terputus akan membentuk karbokation dan akan terstabilkan dengan adanya pelepasan ion H^+ membentuk ikatan rangkap. Hidrokarbon yang telah terstabilkan dan menempel pada permukaan katalis akan mampu mengikat H^+ hasil pelepasan oleh trigliserida yang terstabilkan, sehingga akan memprotonasi ikatan karbonil yang memberikan efek pelemahan terhadap ikatan antara katalis dengan hidrokarbon sehingga elektron akan berpindah menuju keadaan semula dan muatan positif akan terbentuk kembali pada permukaan katalis.

Berikut ini adalah mekanisme reaksi perengkahan katalitik dengan pemutusan pada rantai utama.

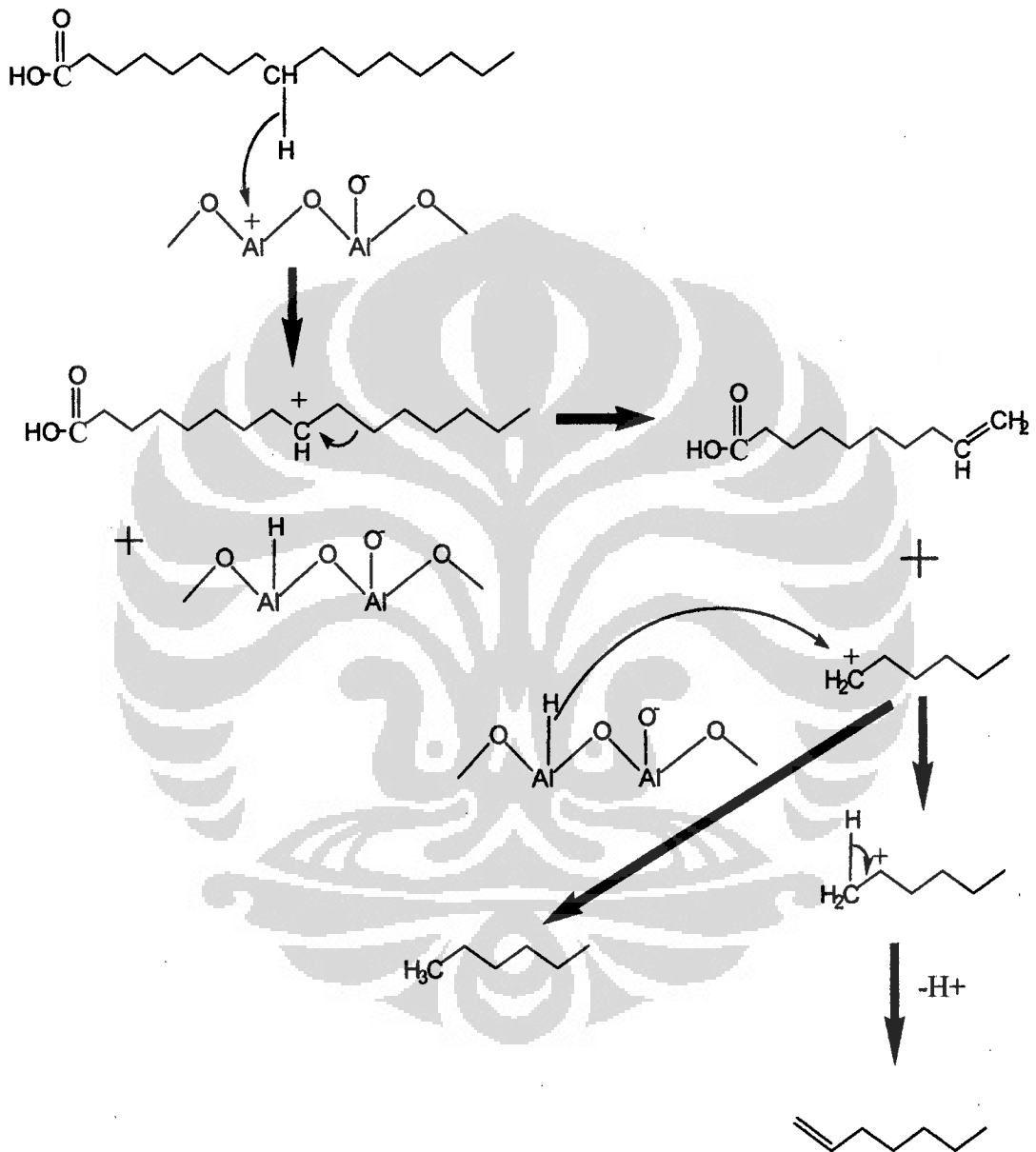


b. Pemutusan Pada Ikatan Hidrokarbon Jenuh

Pemutusan pada ikatan hidrokarbon jenuh (tunggal) terjadi dengan dimulainya perpindahan hidrida (-H) yang terdapat pada hidrokarbon menuju permukaan katalis. Perpindahan hidrida ini akan menyebabkan hidrokarbon bermuatan positif atau terbentuk karbokation. Karbokation yang terbentuk akan terstabilkan dengan adanya perpindahan elektron pada atom karbon tetangga, sehingga mengakibatkan terputusnya senyawa hidrokarbon dengan rantai yang lebih panjang menjadi senyawa hidrokarbon alkena (ikatan rangkap) dan karbokation baru.

Karbokation baru yang telah terbentuk akan dapat terstabilkan dengan 2 jalan, yaitu : perpindahan hidrida pada permukaan katalis menuju karbokation tersebut, dimana hidrida pada permukaan katalis terbentuk pada awal terjadinya proses katalitik dan pelepasan ion H^+ pada karbokation. Kedua jalan ini akan menghasilkan 2 produk yang berbeda, dimana produk yang terstabilkan dengan adanya perpindahan hidrida dari permukaan katalis menuju karbokation akan membentuk senyawa hidrokarbon dengan ikatan jenuh (alkana) dan katalis akan kembali membentuk keadaan semula, sedangkan produk yang terstabilkan dengan jalan pelepasan ion H^+ akan membentuk senyawa hidrokarbon dengan ikatan tak jenuh (alkena). Sebelum alkena terbentuk didahului terlebih dahulu oleh adanya perpindahan hidrida internal yang berkontribusi terhadap penstabilan karbokation atau muatan positif pada hidrokarbon.

Berikut ini adalah mekanisme reaksi perengkahan katalitik dengan pemutusan pada ikatan hidrokarbon jenuh.



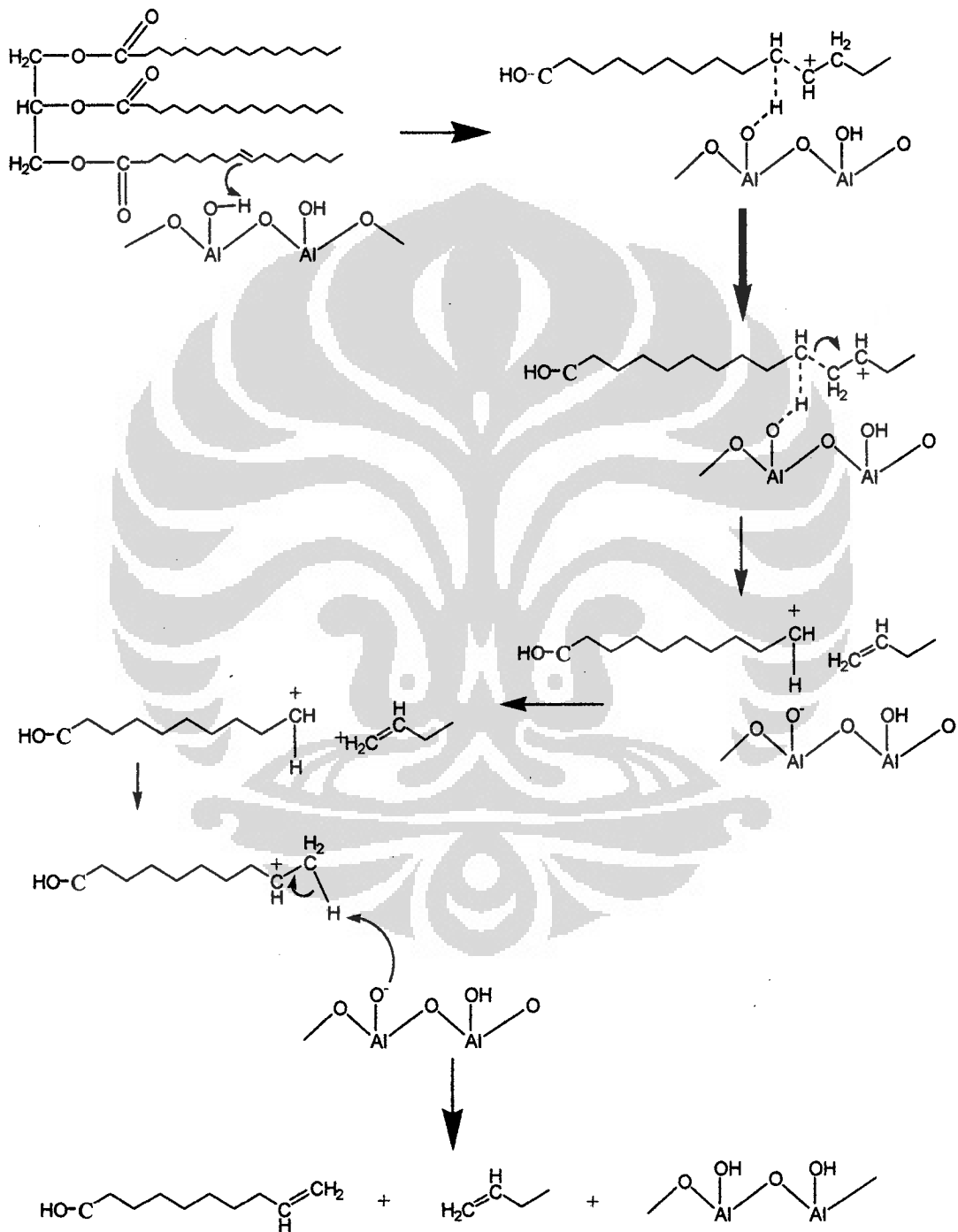
c. Pemutusan Pada Ikatan hidrokarbon Tak Jenuh

Pemutusan pada ikatan hidrokarbon tak jenuh diawali oleh adanya serangan elektron oleh ikatan rangkap terhadap H^+ atau asam Bronsted yang terdapat pada permukaan katalis. Akibat hal tersebut menyebabkan terbentuknya karbokation pada atom karbon ikatan rangkap yang kekurangan elektron, serangan tersebut juga mengakibatkan adanya ikatan antara hidrogen pada katalis dengan karbon ikatan rangkap.

Adanya ikatan pada asam Bronsted akan melemahkan ikatan antar karbon yang sebelumnya merupakan ikatan rangkap. Hal ini disebabkan karena adanya perpindahan pasangan elektron menuju atom karbon yang kekurangan elektron. Perpindahan pasangan elektron tersebut akan memutus ikatan antar karbon, dan akan membentuk senyawa alkena baru dengan rantai yang lebih pendek disertai dengan pembentukan karbokation baru.

Muatan positif pada karbokation baru akan menstabilkan diri dengan jalan perpindahan ion hidrida internal, sehingga memindahkan muatan positif menuju antara kedua atom karbon, oleh karena itu muatan positif akan lebih terstabilkan dengan adanya pemencaran elektron oleh kedua atom karbon. Karbokation tersebut akan menuju pada keadaan yang lebih stabil dengan melepaskan ion H^+ , sehingga akan terbentuk senyawa alkena baru. Ion H^+ yang telah terlepas dari hidrokarbon akan diikat kembali oleh katalis sebagai asam Bronsted yang membentuk keadaan awal karena pada dasarnya katalis tidak dikonsumsi dan fungsi katalis hanya sebagai pemercepat laju reaksi dengan menurunkan energi aktivasi pada reaksi perengkahan apabila dilakukan secara termal (*thermal cracking*).

Berikut ini adalah mekanisme reaksi perengkahan katalitik dengan pemutusan pada ikatan hidrokarbon tak jenuh.



4.8. Studi Kinetika Reaksi Perengkahan Katalitik

Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan sebelum kajian kinetika perengkahan dilakukan, yaitu mengenai aliran massa reaktan pada peristiwa adsorpsi, karena reaksi pada katalis heterogen berlangsung melalui proses adsorpsi, oleh karena itu perpindahan massa reaktan terjadi melalui 2 tahap diantaranya, yaitu :

1. Transfer massa reaktan dari fasa bulk menuju lapisan film antara katalis dan fasa bulk
2. Transfer massa reaktan disepanjang pori katalis

Untuk dapat mengetahui kinetika reaksi perengkahan, adanya proses adsorpsi pada reaksi katalitik mempengaruhi kinetika secara keseluruhan, oleh karena itu proses adsorpsi terhadap 2 tahanan yang terjadi pada kedua perpindahan massa yang telah disebutkan di atas harus diminimalisir sekecil mungkin.

Kedua tahanan yang terjadi dapat diabaikan dengan memberikan kondisi sebagai berikut :

1. Tahanan pada perpindahan massa reaktan dari fasa bulk menuju lapisan film dapat diatasi dengan mengatur besarnya laju umpan. Laju umpan (F/W) yang harus digunakan, dimana tahanan tersebut dapat diabaikan adalah pada 2 s/d 4 (hr^{-1}), sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Bhatia^[33].
2. Tahanan pada perpindahan massa di sepanjang pori katalis, dapat diatasi dengan memperkecil ukuran partikel, karena dengan memperkecil ukuran partikel, maka memperpendek jarak lintasan pada pori sehingga dapat diasumsikan tidak terdapat adanya perbedaan konsentrasi di sepanjang pori katalis. Rentang ukuran partikel yang digunakan untuk mengatasi tahanan tersebut adalah 0,25 – 0,36 mm atau 20 - 40 ASTM mesh^[34], dimana pada penelitian ini partikel katalis yang dipakai besarnya adalah kurang dari 40 Mesh.

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini disebut juga sebagai reaktor differensial. Hal yang perlu diperhatikan pada reaktor differensial adalah seluruh ujung harus tertutupi oleh partikel katalis, sehingga tidak ada gas yang melalui saluran kosong yang menyebabkan reaktan tidak bereaksi secara homogen. Laju alir volumetrik menuju katalis dijaga selalu konstan, sehingga dengan mengetahui berat katalis yang digunakan (W), maka laju reaksi per unit massa katalis (r_A) dapat dihitung. Berikut ini adalah persamaan-persamaan yang terkait dengan studi kinetika.

$$[\text{Laju.umpan.masuk}] - [\text{Laju.umpan.keluar}] + [\text{laju.perubahan}] = [\text{laju.akumulasi}] \dots\dots(4.1)$$

$$[F_{A0}] - [F_{Ae}] + \left[\left(\frac{\text{laju.reaksi}}{\text{massa.katalis}} \right) (\text{massa.katalis}) \right] = 0 \dots\dots\dots(4.2)$$

$$F_{A0} - F_{Ae} + (r_A)(W) = 0 \dots\dots\dots(4.3)$$

$$-r_A = \frac{F_{A0} - F_{Ae}}{W} \dots\dots\dots(4.4)$$

$$-r_A = \frac{F_{A0} X}{W} \dots\dots\dots(4.5)$$

Studi kinetika reaksi perengkahan katalitik dianalisis menggunakan metode *Least-square*^[35]. Metode analisis ini cukup baik untuk digunakan dalam menentukan parameter hukum laju yang terdiri atas, orde reaksi (α), konstanta laju reaksi (k) dan Energi aktivasi (E_a). Berikut ini adalah persamaan yang digunakan pada metode *Least-square*^[35].

$$-\frac{dF}{dW} = -r_{A0} = k \cdot C_{A0}^\alpha \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\ln(-r_{A0}) = \ln k + \alpha \cdot \ln C_{A0} \dots\dots\dots(4.2)$$

jika,

$Y = \ln(-r_{A0})$, $a = \ln k$, $b = \alpha$, dan $X = \ln C_{A0}$, maka :

$$Y = a + b.X \dots \dots \dots (4.3)$$

Persamaan *least-square* berikut digunakan untuk mengetahui nilai a dan b pada N percobaan :

$$\sum_{i=1}^N Y_i = Na + b \sum_{i=1}^N X_i \dots \dots \dots (4.4)$$

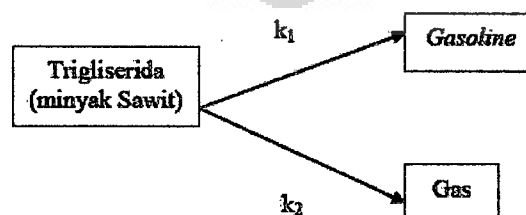
$$\sum_{i=1}^N X_i Y_i = a \sum_{i=1}^N X_i + b \sum_{i=1}^N X_i^2 \dots \dots \dots (4.5)$$

Dimana,

i = percobaan ke-

Substitusi nilai yang diperoleh menggunakan persamaan 4.1 ke dalam persamaan 4.4 dan 4.5 menghasilkan dua buah persamaan yang dapat diselesaikan dengan cara eliminasi kedua persamaan tersebut, sehingga didapatkan dua variabel a dan b , dimana telah dijelaskan sebelumnya a dan b berturut-turut adalah $\ln k$ (konstanta laju) dan α (orde).

Teknik *lump* (pemotongan) digunakan pada studi kinetika ini untuk mengestimasi parameter kinetik yang terdapat pada reaksi perengkahan. Model reaksi perengkahan yang digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.28.

Model Reaksi Perengkahan Katalitik

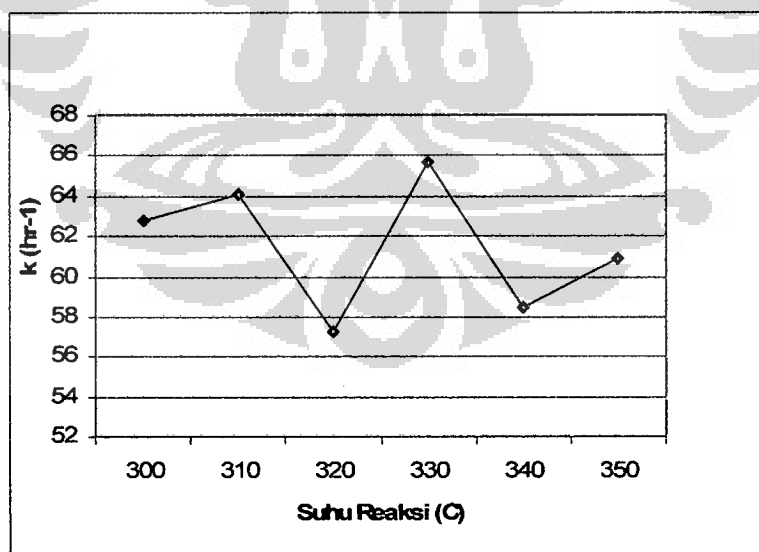
Kedua model yang telah diberikan di atas akan dicari masing-masing parameter kinetiknya menggunakan metode *least-square*. Tabel 4.13 menjabarkan nilai konstanta laju reaksi dan orde reaksi pada berbagai suhu reaksi untuk reaksi trigliserida menjadi *gasoline*.

Tabel 4.13

Nilai Konstanta Laju Dan Orde Reaksi Pada Reaksi Trigliserida Menjadi *Gasoline* Di Berbagai Suhu Reaksi

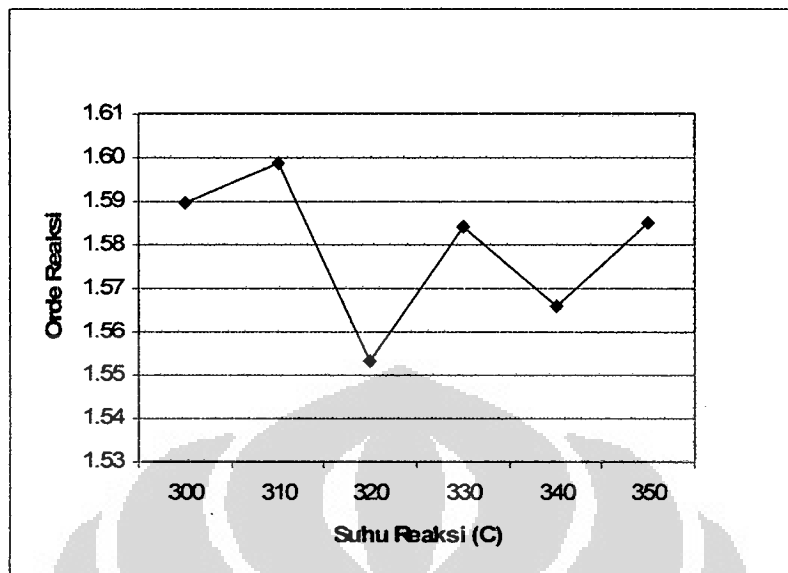
No	Suhu Reaksi (°C)	Orde Reaksi	Konstanta laju reaksi, k_1 (hr ⁻¹)
1	300	1.590	62.714
2	310	1.599	64.028
3	320	1.553	57.217
4	330	1.584	65.707
5	340	1.566	58.428
6	340	1.585	60.916

Gambar 4.29 berikut memperlihatkan hubungan antara peningkatan suhu reaksi terhadap perubahan nilai konstanta laju reaksi.



Gambar 4.29.

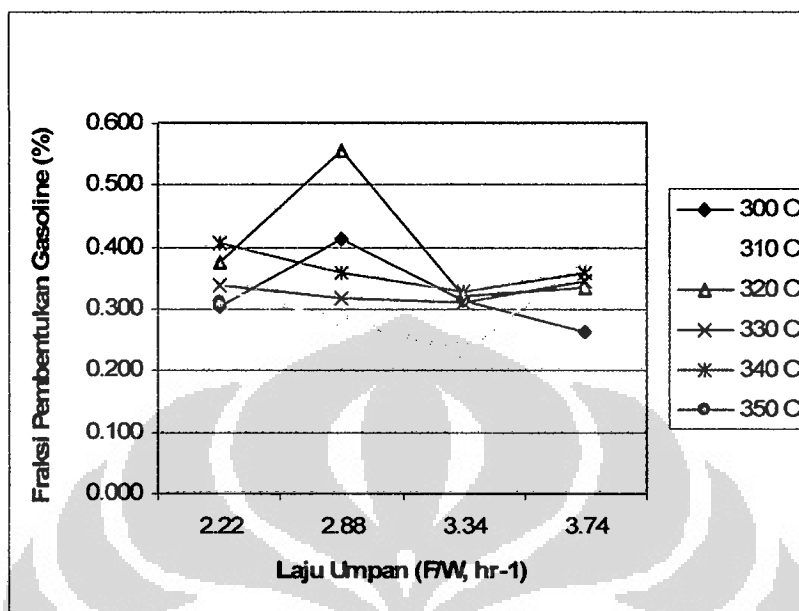
Nilai Konstanta Laju Reaksi Terhadap Perubahan Suhu Reaksi Pada Reaksi Trigliserida Menjadi *Gasoline*



Gambar 4.30.

Nilai Orde Reaksi Terhadap Perubahan Suhu Reaksi Pada Reaksi Trigliserida Menjadi *Gasoline*

Penelitian yang telah dilaporkan sebelumnya oleh Subhash bhatia ^[34], menunjukkan konstanta laju reaksi dan orde reaksi yang diperoleh menggunakan katalis HZSM-5 pada rentang suhu 400-450 °C adalah berturut-turut 5-8 hr⁻¹ dan 1-2 . Hal ini menunjukkan, bahwa dengan meningkatnya suhu reaksi terjadi peningkatan laju reaksi dan orde reaksi. Penelitian lain juga telah melaporkan ^[36], bahwa pada rentang suhu reaksi 350-450 °C menggunakan katalis MCM-41 terjadi peningkatan nilai konstanta laju pada rentang 9-30 hr⁻¹. Jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada penelitian ini terjadi perubahan nilai konstanta laju dan orde reaksi yang tidak beraturan dengan meningkatnya suhu reaksi pada reaksi trigliserida → *gasoline* sesuai dengan Tabel 4.12. Hal ini disebabkan oleh adanya perubahan nilai konversi trigliserida menjadi *gasoline* yang tidak beraturan. Gambar 4.31 menampilkan nilai konversi pada reaksi trigliserida → *gasoline* terhadap perubahan laju umpan (F/W).



Gambar 4.31.

Besar Fraksi Pembentukan *Gasoline* Pada Reaksi Trigliserida Menjadi *Gasoline* Terhadap Perubahan Laju Umpan

Pada reaksi trigliserida menjadi gas diperoleh konstanta laju dan orde reaksi yang besarnya hampir menyerupai reaksi trigliserida menjadi *gasoline*. Tabel 4.14 berikut ini menyajikan nilai konstanta laju dan orde reaksi di berbagai suhu reaksi.

Tabel 4.14.

Nilai Konstanta Laju Reaksi Dan Orde Reaksi Pada Reaksi Trigliserida Menjadi Gas Di Berbagai Suhu Reaksi

No	Suhu Reaksi (°C)	Orde Reaksi	Konstanta laju reaksi, k_2 (hr ⁻¹)
1	300	1.667	70.196
2	310	1.655	69.535
3	320	1.634	65.002
4	330	1.663	73.408
5	340	1.562	58.201
6	350	1.576	60.002

Penelitian yang telah dilaporkan oleh Subhash Bhatia mengenai reaksi trigliserida menjadi gas pada suhu 400-450 °C menggunakan katalis ZSM-5 diperoleh konstanta laju reaksi pada rentang 0,3-1,1^[34]. Penelitian lain juga melaporkan, bahwa konstanta laju reaksi menggunakan katalis MCM-41 pada rentang suhu 350-450 °C adalah 1,8-5,2 hr⁻¹^[36]. Hal ini cukup berbeda jika dibandingkan dengan nilai konstanta laju reaksi trigliserida menjadi gas pada penelitian ini, yaitu 58-73 hr⁻¹ dengan orde reaksi 1,5-1,6.

Hasil yang diperoleh pada parameter kinetika memberikan informasi mengenai energi aktivasi pada kedua model reaksi, dimana energi aktivasi yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15.
Energi Aktivasi Pada Kedua Model Reaksi Perengkahan

No	Reaksi	Ea (Kj/mol)
1	Trigliserida -> <i>gasoline</i>	1.65
2	Trigliserida -> gas	47.45

Tabel 4.15 tersebut memberikan informasi, bahwa reaksi trigliserida menjadi gas mempunyai energi aktivasi yang jauh lebih besar dari reaksi trigliserida menjadi *gasoline*, hal ini sesuai dengan penelitian Subhash bhatia yang disajikan pada Tabel berikut^[34].

Tabel 4.16.
Energi Aktivasi Model Reaksi Perengkahan Pada Penelitian Subhash Bhatia

No	Reaksi	Ea (Kj/mol)
1	Trigliserida -> <i>gasoline</i>	14
2	Trigliserida -> gas	85

Kesimpulan yang diperoleh terhadap perhitungan besarnya energi aktivasi (Ea), yaitu untuk mengubah trigliserida menjadi *gasoline* diperlukan energi yang jauh lebih kecil dibandingkan, jika dibandingkan dengan trigliserida menjadi gas.

Selain itu dari hasil yang diperoleh juga dapat ditentukan masing-masing konstanta Arrhenius melalui regresi persamaan berikut :

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{R} \frac{1}{T} \dots\dots\dots(4.6)$$

menjadi,

$$y = a + bx \dots\dots\dots(4.7)$$

sehingga didapatkan nilai $a = \ln A$, untuk reaksi Trigliserida \rightarrow Gasoline, didapatkan nilai $a = 4,146$, oleh karena itu nilai $A = e^{4,146}$. Kesimpulan yang dapat diambil dari perhitungan ini, yaitu nilai konstanta Arrhenius untuk reaksi trigliserida \rightarrow gasoline pada rentang suhu 300-350 °C adalah 63,180.

Pada reaksi Trigliserida \rightarrow gas, didapatkan nilai $a = 4,3067$, oleh karena itu nilai $A = e^{4,3067}$. Kesimpulan yang dapat diambil dari perhitungan ini, yaitu nilai konstanta Arrhenius untuk reaksi trigliserida \rightarrow gas pada rentang suhu 300-350 °C adalah 74,195.

BAB V

KESIMPULAN

1. Penelitian ini telah membuktikan, bahwa reaksi perengkahan fasa gas cukup signifikan dalam menurunkan viskositas dan densitas dibandingkan dengan fasa cair, hal ini ditunjukkan dengan nilai viskositas dan densitas optimum yang hampir mendekati spesifikasi bensin komersial berturut-turut, yaitu : 0,0119 P dan 0,789 gr/mL
2. Kondisi operasi optimum dalam reaksi perengkahan fasa gas adalah pada suhu reaksi 320 °C dan laju alir 50 mL/menit, dengan % fraksi *gasoline* sebesar 55,73%
3. Kondisi optimum terhadap suhu yang dibutuhkan untuk menguapkan minyak sawit adalah 270 °C
4. Seluruh produk perengkahan yang didapatkan pada penelitian ini mempunyai bilangan oktan di atas bensin komersial, yaitu pada rentang 103 s/d 109. Hal ini membuktikan bahwa perengkahan fasa gas cukup baik dalam peningkatan bilangan oktan
5. Produk gas tertinggi dicapai pada suhu 340 °C, membuktikan bahwa semakin tinggi suhu reaksi produk gas akan semakin meningkat
6. Hasil analisis GCMS menunjukkan bahwa kandungan utama dalam produk perengkahan adalah senyawa alkena (olefin)
7. Nilai konstanta laju reaksi k_1 (reaksi : trigliserida \rightarrow *gasoline*) pada suhu 300-350 °C, berada pada rentang 57-65 hr⁻¹, dengan orde reaksi pada rentang 1,553-1,599, sedangkan nilai konstanta laju reaksi k_2 (reaksi : trigliserida \rightarrow gas) pada suhu 300-350 °C, berada pada rentang 60-73 hr⁻¹, dengan orde reaksi pada rentang 1,562-1,667
8. Energi aktivasi pada reaksi trigliserida menjadi *gasoline* dan reaksi trigliserida menjadi gas, berturut-turut, yaitu : 1,65 dan 47,45 kJ/mol, dengan konstanta Arrhenius berturut-turut : 63,180 dan 74,195

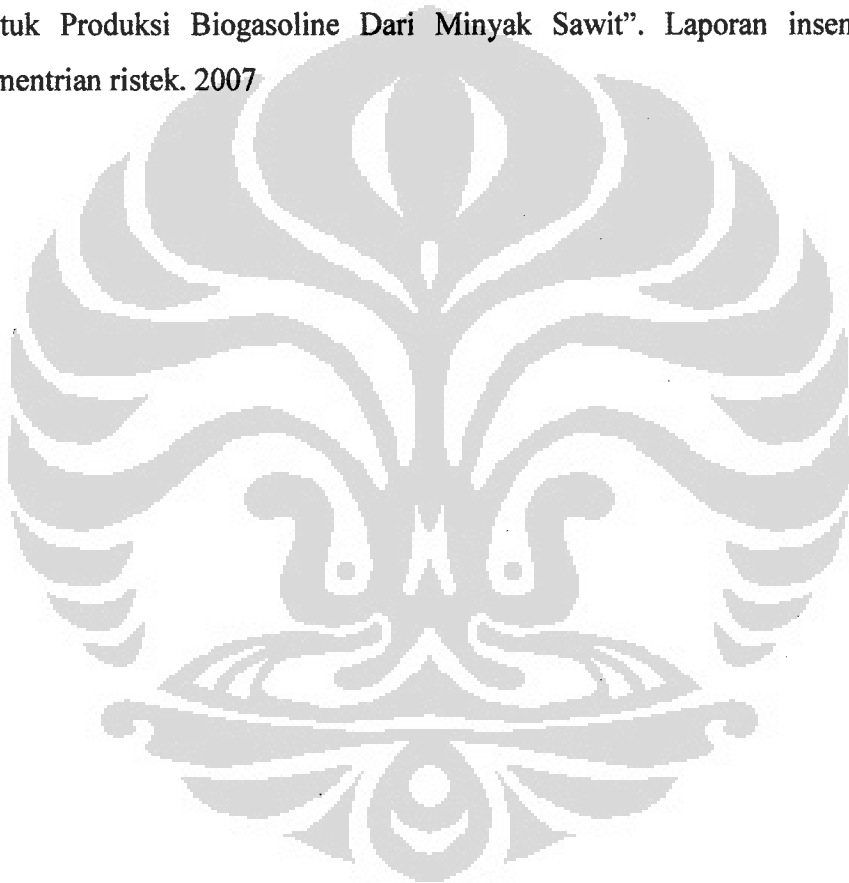
Daftar Pustaka

1. D.Chandra. "Harga Minyak Mentah Melambung Tinggi". *Harian Umum Media Indonesia*. 19 Mei 2008
2. Anonim, *crude palm oil* . www.fahutan.s5.com/sept/sept004.htm
3. M.Nasikin, A.Wahid dan S.Setiawan, "Pembuatan *Biogasoline* dari Minyak Sawit dengan Katalis Zeolit Alam". *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*, Semarang, pp.C-20. Juli 2005
4. M.Nasikin dan S.Chitra. "Kekuatan Asam katalis dan Pengaruhnya terhadap Reaksi Katalisis Asam yang Terjadi pada Trigliserida". *Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*. pp.KR. 16. 2004
5. I.Onggo. "Peningkatan Angka Oktana Melalui Reaksi Hidrolisis Senyawa Ester Dalam *Biogasoline* Minyak Sawit Dengan Katalis H-Zeolit". Skripsi Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok. 2006
6. D.A.Mawardi. "Pembuatan *Biogasoline* Dari Minyak Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik Dengan Katalis γ -Alumina". Skripsi Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok. 2006
7. A.Wijanarko, M.A.Hirsaman, and M.Nasikin. " *Biogasoline Production From palm Oil By Hydrocracking Using NiMo/Zeolite Catalysts* ". *Japan-Indonesia Bilateral Symposium on Sustainable Engineering*, Yogyakarta, May 14. 2007
8. A.Moestika. "Pembuatan *Biogasoline* Dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Dengan Menggunakan Katalis Alumina". Skripsi Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 2004
9. Wikipedia Indonesia. "Ensiklopedia Berbahasa Indonesia". 2008, diambil dari : www.wikipedia.org
10. Anonim. "Gambaran Umum Produksi Minyak Sawit". 2005, diambil dari: <http://www.deptan.go.id>.

11. S.Ketaren. "Pengantar Teknologi Minyak Dan Lemak Pangan". UI press. Jakarta. 1986
12. T.Robinson. "Organik Tumbuhan Tinggi". Edisi keenam. ITB. Bandung. 1995
13. N.Pasaribu. "Minyak Buah Kelapa Sawit". *Repository* Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara. 2004
14. M.Dewayani. "Pembuatan *Biogasoline* Dari Palm Oil Metil Ester Melalui Reaksi Perengkahan Dengan *Inisiator* Metil Etil Keton Peroksida Dan Katalis Asam Sulfat". Skripsi Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok, Januari. 2005
15. R.J.Fessenden, J.S.Fessenden. *Organic chemistry*. Wadsworth Asian Student Edition. USA. 1981
16. Anonim. http://www.pertamina.com/Indonesia/head_office/hilir_ppdn/product.html
17. Jasifi. "Perkembangan Dalam Spesifikasi Bensin". Lembaran Publikasi Lemigas NO.1. Jakarta. 1998
18. J.G.Speight. *The chemistry and technology of petroleum*. Marcel Dekker, inc. New York, 1991
19. R.L.Augustine. *Heterogeneous Catalysts for the Synthetic Chemistry*. Marcel Dekker, Inc. New York. 1996
20. S.Katikaneni, dkk. *Performance Of Aluminophosphate Molecular Sieve Catalyst For The Production Of Hydrocarbon From Wood-Derived And Vegetable Oils. Energy And Fuels*. Vol 9, hal 1065-178.1995
21. Y.S.Ooi. "Catalytic Conversion Of Palm Oil-Based Fatty Acid Mixture To Liquid Fuel". *School Of Chemical Engineering*, Universiti Sains Malaysia, Penang. Malaysia. 2004
22. K.Tanabe, et. al. "Solid Acid and Base Catalyst". *Catalyst Science And Technology, Vol.2*. New York. 1981
23. T.Ardianto. "Konversi Katalitik Minyak Sawit Hidrokarbon Gasoline Menggunakan Katalis Campuran ZSM-5/Alumina: Pengaruh Penambahan

- Senyawa ABE". Skripsi Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Januari. 2007
24. *Japan Reference Catalyst Manual Book*
 25. C.Galligan. *Catalytic Cracking Of Jet Propellant-10*. Universite Laval Quebec. 2005
 26. S.Bhatia. *Zeolite Catalysis Principles And Applications*. CRC Press, Inc. Florida. United States. 1988
 27. J.H.Gary. "Petroleum Refining Technology And Economics". *Third edition*. Marcel Dekker inc. New York. 1994
 28. Wikipedia. "Cracking chemistry ".*The Free encyclopedia*. Diambil dari : www.wikipedia.org
 29. H.M.Nair, E.J.Bonelli. "Dasar Kromatografi Gas". Terbitan ke-5. Terj. Dari *Basic Gas Chromatography*, oleh Dr. Kosasih Padmawinata. Bandung: Penerbit ITB. 1988
 30. www.nrel.gov. *Measurement and Characterization Fourier-Transform Infrared and Raman Spectroscopy*
 31. [www. Epichem.com](http://www.Epichem.com). *Gas Chromatography Mass Spectroscopy in CVD Precursor Analysis*
 32. T.Farouq, S.Bhatia. "Catalytic Conversion Of Palm Oil To Hydrocarbons : Performance Of Various Zeolite Catalysts" .*School Of Chemical Engineering, Universiti Sains Malaysia, Perak. Malaysia. 1994*
 33. Y.S.Ooi, R.Zakaria, A.R.Mohammed, and S.Bhatia. "Catalytic Cracking of Used Palm Oil and Palm Oil Fatty Acids Mixture for the Production of Liquid Fuel: Kinetic Modeling". *School Of Chemical Engineering, Universiti Sains Malaysia, Perak. Malaysia. 2004*
 34. J.Yang, Y.Liu, C.Chang. " Detailed Kinetics Of Fischer Tropsch Synthesis On An Industrial Fe-Mn Catalyst". *Journal IndEngChemRes*. Vol 42. Hal 5066-5099. 2003
 35. H.S.Fogler. "Elements of chemical reaction engineering". *Third edition*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 1999

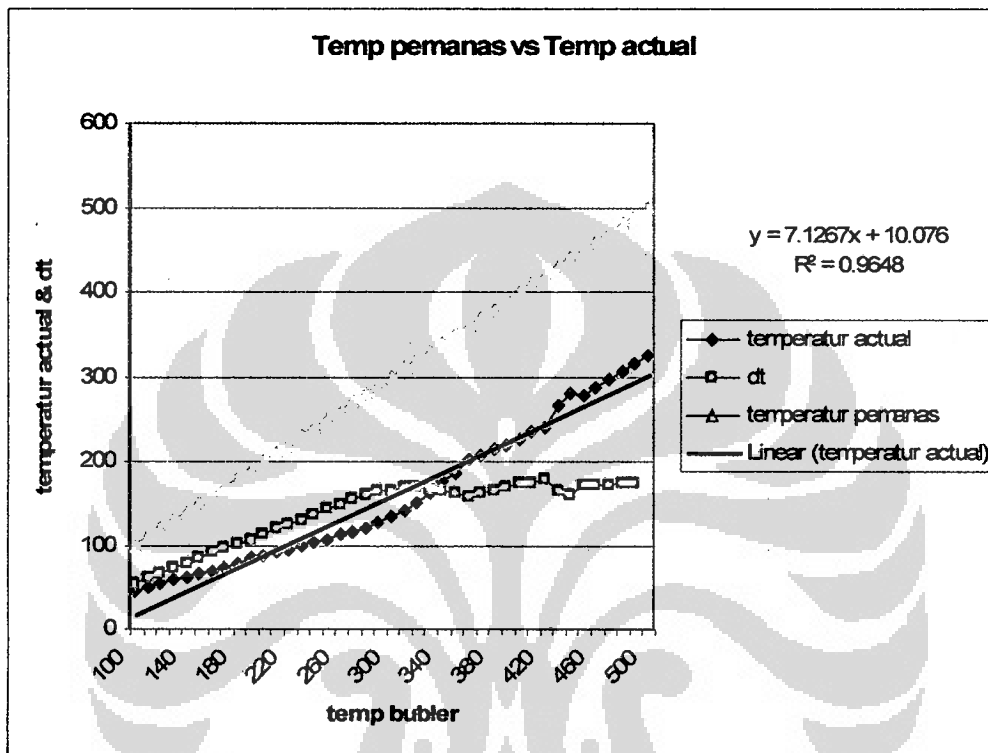
36. I.Yared, H.Kurniawan, N.Wibisono And S.Ismadji. "Modeling Of Liquid Hydrocarbon Fuel Production From Palm Oil Via Catalytic Cracking Using MCM-41 As Catalyst". *Department Of Chemical Engineering, Faculty Of Engineering, Widya Mandala Surabaya, Catholic University, Kalijudan, Surabaya. 2008*
37. M.Nasikin, dkk."Perancangan Konstruksi Dan Uji Coba Reaktor Skala Pilot Untuk Produksi Biogasoline Dari Minyak Sawit". Laporan insentif 2007 kementrian ristek. 2007



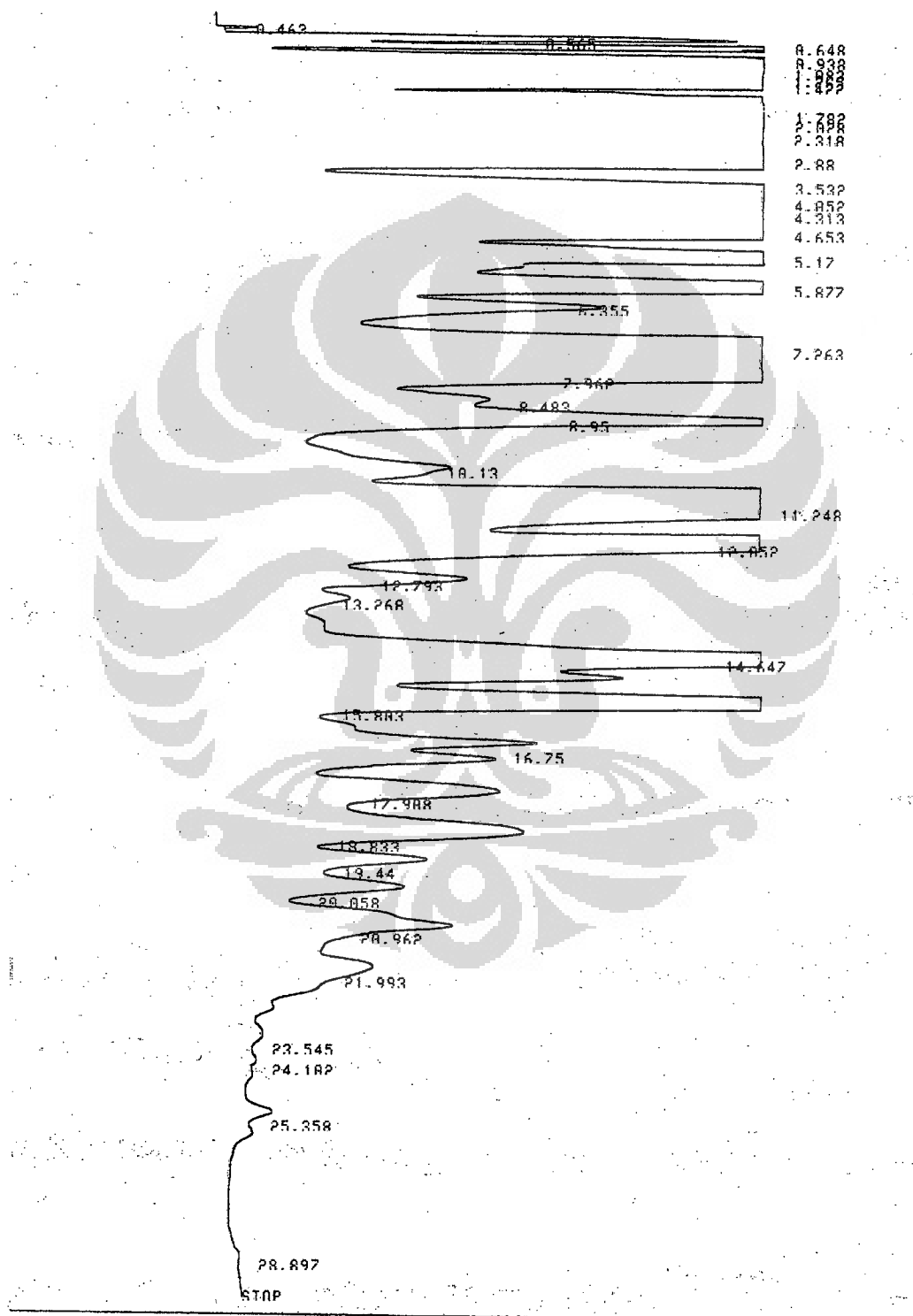


Lampiran 1

(Hasil Kalibrasi Pemanas Pada Tabung Bubbler)



Lampiran 2
(Kromatogram GC, Standar Gasoline)



Lampiran 3

(Kromatogram GC, F = 25 mL/menit; T = 300 °C)

PKUR	TIME	AREA	SK	INDEN	CONC	NAME
1	0.055	92			0.0001	
2	0.232	39			0.0000	
3	0.428	25			0.0000	
4	0.542	95	Y		0.0000	
5	0.753	558	Y		0.0029	
6	0.86	15	Y		0.0001	
7	1.188	102705			0.5607	
8	1.662	14057	Y		0.077	
9	2.183	45124	Y		0.205	
10	2.268	49248	Y		0.2452	
11	2.762	7173	Y		0.0372	
12	3.382	15206	Y		0.086	
13	4.019	21923	Y		0.1136	
14	4.46	165121	Y		0.8602	
15	4.872	169433	Y		0.8781	
16	5.555	22564	Y		0.1169	
17	6.17	4993	Y		0.0259	
18	7.022	28992			0.1309	
19	8.275	324640	Y		1.6823	
20	8.748	457264	Y		2.3701	
21	10.907	48662	Y		0.2607	
22	12.23	211438	Y		1.0956	
23	12.642	386318	Y		2.007	
24	13.803	27292	Y		0.1419	
25	13.623	9486	Y		0.0492	
26	14.242	57209	Y		0.2991	
27	14.825	24930	Y		0.1292	
28	15.807	198092	Y		1.0107	
29	16.235	218355	Y		1.1213	
30	16.988	16565	Y		0.2031	
31	17.282	20941	Y		0.2676	
32	17.827	59821	Y		0.3059	
33	19.765	1124490			5.8222	
34	21.23	128176	Y		0.6487	
35	22.822	320512			1.6609	
36	24.413	28029	Y		0.4092	
37	25.24	651660	Y		3.3768	
38	27.198	26390	Y		0.2052	
39	28.343	694342	Y		3.5999	
40	29.919	221612	Y		1.2002	
41	31.342	257220	Y		1.343	
42	33.236	1582345	Y		8.085	
43	35.398	4027058	Y		20.7649	
44	37.15	448111	Y		2.3221	
45	38.112	1235307	Y		6.4066	
46	40.282	222828	Y		1.4282	
47	41.82	1232596	Y		6.9102	
48	44.157	728250	Y		3.7222	
TOTAL		19297288			100	

Lampiran 4

(Kromatogram GC, F = 25 mL/menit; T = 310 °C)

NO	WAKTU	AREA	PK	LOKASI	CONTOH	REMARK
1	0.125	182			0.0002	
2	0.52	2450			2.0233	
3	0.597	9228	V		0.007	
4	1.013	1272234	S		1.6984	
5	1.512	12451	T		0.0155	
6	1.892	212385	V		0.2227	
7	2.462	216823	V		0.2822	
8	2.482	31464	V		0.032	
9	3.032	39422	V		0.0794	
10	3.682	152386	V		0.2227	
11	3.927	622517	V		0.9851	
12	4.267	702114	SU		0.9436	
13	4.262	2628	T		0.0002	
14	5.07	19525	TU		0.0261	
15	5.272	11225	T		0.0153	
16	6.252	105221			0.1412	
17	8.012	1217952	V		1.7381	
18	8.322	1714461	V		2.222	
19	10.767	149292	V		0.1992	
20	12.132	742120	V		0.99	
21	12.582	1272067	V		1.8387	
22	13.252	22217	V		0.1222	
23	14.227	213409	V		0.2272	
24	14.682	25422	V		0.114	
25	15.222	642103	V		0.8512	
26	17.172	322214	V		0.9265	
27	17.282	222222	V		0.2092	
28	18.532	7222	V		0.0122	
29	19.222	5226222	V		7.1212	
30	21.202	869712	V		0.25	
31	22.952	1222126			1.8212	
32	24.522	322265	V		0.4222	
33	25.922	2212992			3.7222	
34	27.232	252217	V		0.4222	
35	27.462	2922272	V		2.9257	
36	30.262	1162622	V		1.551	
37	21.302	10222120	V		25.1252	
38	22.227	5730227	V		2.5269	
39	25.252	12222222	V		2.8222	
40	27.29	1152212	V		1.525	
41	32.242	2922222	V		0.9255	
42	42.202	2121247	V		2.9125	
43	10.121	22965152			122	

Lampiran 5

(Kromatogram GC, F = 25 mL/menit; T = 320 °C)

PKNO	TIME	AREA	HZ	INDO	CONC	MARK
1	0.067	258377			0.024	
2	1.31	12565			0.0076	
3	2.123	291040			0.1521	
4	2.323	229256	V		0.0814	
5	2.405	18148			0.0071	
6	3.533	81269			0.0219	
7	4.252	82609			0.0245	
8	4.717	1475558	V		0.5741	
9	5.102	1105528	V		0.4301	
10	5.722	152805	V		0.0593	
11	6.325	35896	V		0.0144	
12	7.128	226299	V		0.0829	
13	8.025	258948	V		0.0951	
14	8.828	318412	V		0.1214	
15	9.225	309318	V		0.1154	
16	12.229	1590231	V		0.619	
18	12.692	3016150	V		1.1735	
19	13.263	4251722	V		1.8916	
20	15.55	13224068	V		4.486	
21	18.238	5952170	V		2.0122	
22	19.722	9284843	V		3.0376	
23	21.418	7765992	V		2.8132	
24	22.512	6022858	V		2.2667	
25	25.318	18110924	V		6.2625	
26	27.02	3786022	V		1.4731	
27	28.35	12273745	V		3.2871	
28	29.795	8502734	V		2.5224	
29	31.112	46428024	V		12.9543	
30	33.222	21217760	V		6.2553	
31	35.222	44892622	V		17.1552	
32	37.268	3296288	V		1.127	
33	38.2	13740225	V		5.0422	
34	39.167	6766649	V		2.355	
35	41.527	8147255	V		1.2245	
36	46.222	11233452	V		4.5661	
37	52.523	2282268	V		0.8804	
38	54.123	1262402	V		0.502	
TOTAL		257013622			100	

Lampiran 6

(Kromatogram GC, F = 25 mL/menit; T = 330 °C)

NO	TIME	AREA	HA	FRND	CONC.	NAME
1	0.172	42			0.0001	
2	0.247	242			0.0005	
3	0.523	1662	Y		0.0022	
4	0.698	15092			0.0001	
5	1.122	372372	Y		0.5042	
6	1.522	85129	Y		0.1102	
7	1.823	22013	Y		0.0294	
8	2.003	204264	Y		0.2799	
9	2.167	267427	Y		0.3552	
10	2.56	23420	Y		0.0442	
11	3.262	30021	Y		0.1079	
12	3.913	126222	Y		0.1614	
13	4.244	235206	Y		1.1732	
14	4.767	774792	Y		1.0352	
15	5.122	95295	Y		0.1250	
16	5.127	19001	Y		0.0202	
17	7.02	122475			0.1765	
18	8.242	1102212	Y			
19	8.742	2045272	Y		1.3899	
20	10.913	180225	Y		0.2402	
21	12.262	252752	Y		1.1224	
22	12.692	1542002	Y		2.0052	
23	13.242	109215	Y		0.1452	
24	13.247	34692	Y		0.2462	
25	13.292	232222	Y		0.3099	
26	14.662	25002	Y		0.4152	
27	15.002	622722	Y		0.4152	
28	16.222	722106	Y		0.922	
29	17.202	410922	Y		0.532	
30	17.912	227252	Y		0.2152	
31	19.242	5190210	Y		6.921	
32	21.315	522212	Y		2.2172	
33	22.052	1221472			1.2222	
34	24.222	220942	Y		0.4312	
35	25.532	2062111	Y		2.7992	
36	27.222	244202			0.2252	
37	28.452	2045151	Y		4.0519	
38	30.022	1170242	Y		0.5611	
39	31.422	12566006	Y		24.2222	
40	35.222	544202	Y		7.2222	
41	35.742	16996575	Y		22.664	
42	37.422	849174	Y		1.1222	
43	38.252	2523422	Y		0.3622	
44	40.22	1961042	Y		2.6149	
45	42.222	2002422	Y		2.2902	
TOTAL		74992602				
					100	

Lampiran 7

(Kromatogram GC, F = 25 mL/menit; T = 340 °C)

NO	WAKTU	IDENTIFIKASI	STATUS	WAKTU	IDENTIFIKASI
1	0.582	183		0.882	
2	0.77	938		0.880	
3	1.187	2885390	R F	2.6726	
4	1.252	15731	T	0.8152	
5	2.243	12235	T	0.81	
6	2.248	289603	TU	0.2206	
7	2.438	208278	TU	0.193	
8	2.992	18231	T	0.81	
9	3.658	29292	T	0.8272	
10	4.312	23048	TU	0.8888	
11	4.758	144390	TU	1.4076	
12	5.132	1056617	TU	1.8286	
13	5.608	92222	TU	0.8558	
14	5.75	84801	TU	0.8843	
15	6.337	23571	TU	0.8929	
16	7.12	150551	T	0.1386	
17	8.382	2568224	V	2.4924	
18	8.858	2288262	V	3.2812	
19	12.953	326219	V	0.3272	
20	11.282	174242	V	0.1701	
21	12.248	1318261	V	1.2834	
22	12.665	2312332	V	2.258	
23	13.382	180591	V	0.1292	
24	14.225	388271	V	0.4825	
25	15.829	962152	V	0.9362	
26	16.208	238382	V	0.7194	
27	18.937	423119	TU	0.4762	
28	17.815	306918	V	0.3961	
29	19.732	2589821	V	2.4883	
30	21.172	695906	V	0.6223	
31	22.818	1201122	V	1.2882	
32	24.36	475946	V	0.4622	
33	25.297	3161184	V	2.8274	
34	27.2	578222	V	0.6824	
35	28.31	382782A	V	3.8861	
36	29.697	1457882	V	1.4125	
37	31.352	28716252	V	20.1688	
38	33.18	3625811	V	5.4261	
39	35.572	19213116	V	19.2288	
40	37.19	1382264	V	1.35	
41	38.868	4865882	V	3.9574	
42	41.807	5299886	V	5.2461	
43	46.122	2285226	V	2.2282	
TOTAL		58228032		100	

Lampiran 8

(Kromatogram GC, F = 25 mL/menit; T = 350 °C)

NO	TIME	AREA	PK	IDENT	CONC	NAME
1	1.578	25			0.0001	
2	1.925	3561			0.0026	
3	1.08	2631646	TV		5.582	
4	2.122	3132	T		0.0066	
5	2.295	5993	TV		0.0126	
6	2.262	6329	T		0.0134	
7	2.258	1992	T		0.004	
8	2.258	42215	T		0.0002	
9	3.935	72755	TV		0.1543	
10	5.657	10542	TV		0.0224	
11	6.257	3730	TV		0.0073	
12	7.177	32901	T		0.0217	
13	7.808	15098	TV		0.032	
14	8.207	240439	TV		0.5101	
15	8.205	465207	TV		0.9284	
16	10.005	9228	TV		0.0207	
17	11.127	38205	T		0.1023	
18	12.330	429553	TV		0.8629	
19	12.762	860798	TV		1.8262	
20	13.237	17278	TV		0.0267	
21	14.395	147022	TV		0.3156	
22	15.013	468157	T		0.9932	
23	16.423	556100	TV		1.2421	
24	17.45	34285	TV		0.0738	
25	17.952	139360	TV		0.2956	
26	19.253	3046660			6.4634	
27	21.317	932514	V		0.7479	
28	22.975	1147276	V		2.4241	
29	24.52	242268			0.5151	
30	25.948	2228319	V		4.7232	
31	27.327	240030	V		0.5299	
32	28.462	2232240	V		4.7269	
33	28.847	674932	V		1.4625	
34	31.42	10791904	V		22.8946	
35	33.765	3403532	V		7.2209	
36	35.667	7676600	V		16.7057	
37	38.225	2130692	V		6.5202	
38	38.237	5944923	V		4.1261	
39	41.022	1025374	V		2.1233	
40	42.162	2459387	V		5.2127	
41	43.905	569294	V		0.9980	
42	47.042	732632	V		1.5543	
TOTAL		47136964			100	

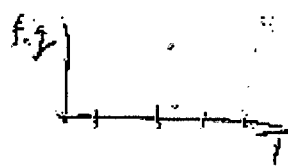
Lampiran 9

(Kromatogram GC, F = 50 mL/menit; T = 300 °C)

ANALISA KROMATOGRAFIS C-263
 SAMPEL NO 8
 WAKTU RETENSI 3

FELF
 METILANOL 41

PKNO	TIME	AREA	MS	CONA	CONC	AMNF
1	0.477	5289			0.0102	
2	0.663	5399	SV		0.1027	
3	0.875	57	T		0.0001	
4	1.027	1428262	SV		2.2342	
5	1.658	37399	F		0.0585	
6	2.358	86597	V		0.025	
7	2.777	693319	SV		1.0836	
8	2.783	18668	T		0.0245	
9	2.975	128485	V		0.2002	
10	4.015	100728	V		0.1575	
11	4.477	91855	V		1.4353	
12	4.887	132392	SV		2.0493	
13	5.537	23087	T		0.026	
14	6.212	35258	T		0.0551	
15	7.29	44855	T		0.0693	
16	7.327	22471	T		0.0351	
17	7.742	110353	V		0.1298	
18	8.377	109572	V		1.2845	
19	8.787	1617976	SV		2.8227	
20	9.938	10382	F		0.0287	
21	10.13	28777	T		0.4221	
22	12.942	92545	V		1.4472	
23	13.622	1009220	SV		2.2227	
24	13.742	11191	T		0.0175	
25	14.19	225234	V		0.2533	
26	14.647	92514	V		0.1346	
27	15.915	988542	V		1.4075	
28	16.332	128725	V		2.012	
29	17.248	216314	V		0.4964	
30	17.875	324982	V		0.5072	
31	19.28	1951522	V		1.9041	
32	19.777	327282	V		5.2714	
33	21.22	511514	V		0.7935	
34	22.87	1925329	V		3.0093	
35	24.44	325758	V		0.5091	
36	25.842	2599263	V		4.0624	
37	27.178	172256	V		0.2723	
38	28.242	2184925	V		3.4164	
39	29.932	499212	V		0.7204	
40	31.21	10221220	V		15.9742	
41	32.392	2551422	V		3.9826	
42	35.605	1422269	V		2.4012	
43	37.222	1282706	V		1.9622	
44	38.167	2221472	V		4.4253	
45	42.862	4097984	V		0.8226	
46	42.718	1328012	V		2.2912	
TOTAL		62922556			100	



Lampiran 10

(Kromatogram GC, F = 50 mL/menit; T = 310 °C)

PKNO	TIME	AREA	HK	ISIAN	CONC	HAARF
1	0.033	209			0.0003	
2	0.588	807			0.001	
3	0.768	3093			0.0047	
4	1.012	5472	✓		0.0082	
5	1.178	360327	✓		0.6205	
6	1.2	10152	✓		0.0174	
7	2.147	123369	✓		0.2227	
8	2.215	162261	✓		0.2851	
9	2.229	91291	✓		0.1725	
10	2.42	65349	✓		0.1294	
11	4.09	20079	✓		0.107	
12	4.548	512362	✓		0.6233	
13	5.268	523454	✓		0.6257	
14	5.652	60750	✓		0.0232	
15	6.292	63100	✓		0.0159	
16	7.177	76462	✓		0.0929	
17	7.298	25926	✓		0.1024	
18	8.292	950988	✓		1.1548	
19	8.877	1212214	✓		1.5948	
20	11.08	101592	✓		0.1221	
21	12.355	641916	✓		0.7796	
22	12.222	1152412	✓		1.1995	
23	13.422	69972	✓		0.0085	
24	13.828	23231	✓		0.0223	
25	14.27	121275	✓		0.2009	
26	14.742	69716	✓		0.0247	
27	16.228	525716	✓		0.6992	
28	16.452	614321	✓		0.7462	
29	17.292	322684	✓		0.4283	
30	17.92	219562	✓		0.2667	
31	19.292	3511842	✓		5.0003	
32	21.253	526769	✓		0.6207	
33	23	1387052	✓		1.6245	
34	24.562	282240	✓		0.4216	
35	25.962	2720525	✓		3.1762	
36	27.25	259716	✓		0.4369	
37	22.285	1059402	✓		2.716	
38	30.073	1482640	✓		1.7024	
39	31.513	12412692	✓		22.2211	
40	33.227	3992069	✓		7.1677	
41	35.77	10214712	✓		22.0411	
42	37.437	1271996	✓		1.6662	
43	38.212	3860724	✓		4.6222	
44	39.267	1122655	✓		1.3262	
45	40.932	2023344	✓		2.5002	
46	42.19	5264677	✓		6.3936	
47	46.802	1902122	✓		2.2532	
TOTAL		82342596			100	

Lampiran 11

(Kromatogram GC, F = 50 mL/menit; T = 320 °C)

NO	WAKTU	AREA	IDENTIFIKASI	KONCENTRASI
1	0.282	10432		0.0091
2	0.438	10489	SO	0.0092
3	0.820	104	T	0.0001
4	0.93	2744887	S	2.2784
5	1.880	25476	T	0.0228
6	1.615	8369	TU	0.0047
7	1.91	971958	V	0.0811
8	2.062	1298490	V	1.2286
9	2.537	125868	V	0.1102
10	2.78	33777	V	0.0291
11	3.025	286840	V	0.2327
12	3.33	154818	V	0.1443
13	3.732	337321	V	0.2950
14	4.148	2402242	V	2.108
15	4.564	1012361	V	0.6295
16	5.292	240491	V	0.2281
17	5.467	122181	V	0.1587
18	6.832	255651	V	0.2229
19	7.168	243619	V	0.2133
20	7.572	442495	V	0.3919
21	8.152	3306854	V	2.3367
22	8.642	4760966	SO	4.169
23	9.385	38239	T	0.0032
24	9.797	82262	T	0.072
25	10.455	64778	T	0.0582
26	11.128	186125	TU	0.0929
27	12.122	2923882	V	2.5608
28	12.628	8289827	SO	4.6321
29	13.688	94822	T	0.0088
30	14.188	236792	V	0.6977
31	14.597	368825	V	0.3221
32	15.352	848828	V	0.2042
33	15.988	2259428	V	2.3292
34	16.247	3192284	V	2.8214
35	17.123	1587210	V	1.3198
36	17.828	1285919	V	1.066
37	18.865	153833	V	0.4835
38	19.487	2206738	V	2.0218
39	19.722	8912282	V	7.1912
40	21.258	1984765	V	1.6632
41	22.432	6662485	V	5.8165
42	23.485	1480958	V	1.2962
43	25.982	7399322	V	6.4798
44	27.202	1040641	V	0.9102
45	28.413	6412882	V	5.6152
46	29.465	1052818	V	1.2226
47	31.945	14424555	V	10.004
48	33.223	8998010	V	8.2522
49	35.605	8232677	V	7.2966
50	37.3	544228	V	0.4811
51	38.247	2094863	V	2.5149
52	42.148	4822428	V	8.8228
53	46.882	1032711	V	0.9082
TOTAL		11419292		100

Lampiran 12

(Kromatogram GC, F = 50 mL/menit; T = 330 °C)

NO	WAKTU	KEKONTRASIFAN	KEKONTRASIFAN	KEKONTRASIFAN	KEKONTRASIFAN	KEKONTRASIFAN
NO	WAKTU	KEKONTRASIFAN	KEKONTRASIFAN	KEKONTRASIFAN	KEKONTRASIFAN	KEKONTRASIFAN
NO	WAKTU	KEKONTRASIFAN	KEKONTRASIFAN	KEKONTRASIFAN	KEKONTRASIFAN	KEKONTRASIFAN
1	0.282	10434				0.0091
2	0.435	10489	SO			0.0092
3	0.823	104	T			0.0001
4	0.93	2711287	S			2.2984
5	1.382	25476	T			0.0228
6	1.515	8269	TU			0.0027
7	1.91	921958	V			0.0011
8	2.062	1399490	V			1.2284
9	2.527	125868	V			0.1182
10	2.78	133277	V			0.0291
11	3.025	266240	V			2.2327
12	3.33	154812	V			0.1443
13	3.732	337221	V			0.2954
14	4.148	9482242	V			2.108
15	4.568	3014261	V			2.6295
16	5.222	268491	V			0.2281
17	5.947	122181	V			0.1582
18	6.822	255651	V			0.2229
19	7.168	243619	V			0.2123
20	7.572	112495	V			0.3919
21	8.153	3308854	V			2.3767
22	8.642	4760966	SO			1.169
23	9.385	38239	T			0.0218
24	9.792	82262	T			0.027
25	10.455	64776	T			0.0862
26	11.128	186125	TU			0.0929
27	12.122	2923802	V			2.5608
28	12.628	8289827	SO			1.6321
29	13.408	91827	T			0.048
30	14.103	236792	V			0.6977
31	14.597	368825	V			0.3821
32	15.352	848824	V			0.3032
33	15.908	2559428	V			2.3222
34	16.247	1192701	V			0.2215
35	17.123	1587210	V			1.3192
36	17.888	1285319	V			1.056
37	18.865	168833	V			0.4825
38	19.487	2236730	V			2.9218
39	19.822	2212227	V			2.1912
40	21.258	1920765	V			1.6638
41	22.402	6562485	V			5.8165
42	24.485	1480952	V			1.2962
43	25.982	7299522	V			5.4295
44	27.202	1040041	V			0.9102
45	28.413	6412683	V			3.6153
46	29.965	1052210	V			3.2224
47	31.343	11424555	V			10.004
48	32.228	8998010	V			5.2522
49	35.605	8322677	V			7.2966
50	37.3	529428	V			0.4811
51	38.267	2894863	V			2.5349
52	42.148	4022478	V			3.2228
53	46.883	1072711	V			0.9852
TOTAL		11418929				100

Lampiran 13

(Kromatogram GC, F = 50 mL/menit; T = 340 °C)

NO	TIME	AREA	PK	TANDA	CONC	ASAS
1	0.722	136			0	
2	1.142	2221246	S		2.2696	
3	2.262	1031	T		0.0013	
4	2.452	1267	TV		0.0023	
5	2.902	2606	J		0.0032	
6	3.322	1700	TV		0.0021	
7	4.302	5572	T		0.0056	
8	5.842	83893	TV		0.1029	
9	8.242	135478	TV		0.1562	
10	5.74	37163	TV		0.0461	
11	6.49	11629	TV		0.0143	
12	7.222	87351	J		0.036	
13	8.572	152455	T		0.0201	
14	9.022	715125	SU		0.2202	
15	10.152	10722	T		0.0122	
16	11.262	70592	T		0.0069	
17	12.432	742570			0.0914	
18	12.862	1541168	SU		1.097	
19	13.912	13543	T		0.0162	
20	14.492	267282	V		0.3162	
21	16.072	927973			1.1422	
22	16.802	1906972	V		1.2029	
23	18.032	305523	V		0.4322	
24	19.922	9523432	V		6.0626	
25	21.262	771224	V		0.9699	
26	23.022	2569958	V		2.1622	
27	24.892	623301	V		0.8226	
28	26.002	1200406	V		0.7057	
29	27.362	264903	V		1.0642	
30	28.522	3041022	V		0.2058	
31	30.092	1536726	V		1.2316	
32	31.54	12630166	V		23.013	
33	33.022	6430009	V		0.0326	
34	35.245	12096120	V		15.821	
35	37.213	6122432	V		2.3623	
36	41.123	1151231	V		1.4128	
37	42.002	3031579	V		0.3662	
38	43.992	550222	V		0.2723	
39	47.152	1192208	V		1.4621	
TOTAL		8124348			1.00	

Lampiran 14

(Kromatogram GC, F = 50 mL/menit; T = 350 °C)

PKNA	TIME	AREA	PK	ISIRI	CONC	NAME
1	0.213	129			0.0007	
2	0.992	2126959	S		2.2327	
3	1.85	56242	T		0.0774	
4	1.988	75409	TV		0.0973	
5	2.402	4538	T		0.0059	
6	2.822	46241	T		0.0597	
7	3.442	14927	TV		0.0197	
8	3.727	237461	TV		0.2359	
9	4.12	327482	TV		0.4347	
10	4.857	39165	TV		0.0324	
11	5.322	23574	TV		0.0222	
12	5.382	70713	T		0.0911	
13	5.91	31948	TV		0.0411	
14	7.123	20770	TV		0.0768	
15	7.242	378253	T		0.4269	
16	8.352	923918	TV		1.282	
17	9.11	56318	V		0.0729	
18	9.512	33989	V		0.0432	
19	10.822	124542			0.1426	
20	12.05	226418	V		1.0551	
21	12.93	1249748	SV		1.6898	
22	12.62	16219	T		0.0217	
23	14.16	152180	V		0.196	
24	14.56	26342	V		0.1112	
25	15.278	324226			1.3625	
26	16.31	1297203	V		1.671	
27	17.282	295837	V		0.3241	
28	19.292	2408185	V		4.2794	
29	21.242	544397	V		0.7019	
30	22.062	2494796	V		3.1222	
31	24.593	613124	V		0.7278	
32	25.942	4146099	V		3.3485	
33	27.272	937307	V		1.2073	
34	28.482	5552846	V		7.1525	
35	30.062	1928162	V		2.4733	
36	31.442	12702388	V		16.3692	
37	32.782	1412281	V		2.224	
38	33.293	6089982	V		7.7412	
39	35.733	7789486	V		10.4332	
40	36.212	5292046	V		6.2165	
41	37.792	6288554	V		6.1864	
42	41.122	1390296	V		2.3492	
43	42.282	4723224	V		6.0589	
44	45.292	891212	V		1.0322	
45	37.198	1672614	V		2.1622	
TOTAL		27635495			100	

Lampiran 15

(Kromatogram GC, F = 75 mL/menit; T = 300 °C)

CHROMATOGRAPH REPORT No. 3 C-262 FILE No. 41

PKNO	TIME	AREA	PK	INDO	CONC.	UNIT
1	0.587	649			0.0007	
2	0.77	5932	Y		0.0065	
3	1.222	61272			0.0667	
4	1.385	61285	Y		0.0667	
5	1.693	50342	Y		0.0549	
6	2.132	297028	Y		0.3237	
7	2.297	232212	Y		0.2531	
8	2.792	22215	Y		0.0229	
9	3.403	22547	Y		0.0291	
10	4.032	105712	Y		0.1153	
11	4.332	334122	Y		0.3624	
12	4.572	297222	Y		0.3237	
13	5.572	108261	Y		0.1196	
14	6.122	19725	Y		0.0212	
15	7.072	121621			0.1324	
16	8.29	152619	Y		1.7128	
17	8.765	2652922	Y		2.9493	
18	10.902	121292	Y		0.1326	
19	12.225	272203	Y		0.3237	
20	12.685	1646207	Y		1.7932	
21	13.292	99734	Y		0.1087	
22	13.672	41932	Y		0.0457	
23	14.222	216922	Y		0.2364	
24	14.605	108227	Y		0.1192	
25	15.822	252526			0.2724	
26	16.215	262021	Y		0.2823	
27	17.152	427229	Y		0.4657	
28	17.842	312220	Y		0.3323	
29	19.22	1132743	Y		1.2245	
30	19.75	4524672	Y		4.9226	
31	21.212	552226	Y		0.6225	
32	22.242	1692192	Y		1.8512	
33	23.41	311269	Y		0.3372	
34	25.812	2522654	Y		2.7523	
35	27.192	511606	Y		0.5572	
36	28.232	2792182	Y		3.1394	
37	29.912	1672925	Y		1.8243	
38	31.22	2104726	Y		2.2279	
39	32.21	2139426	Y		2.2802	
40	35.602	2222222	Y		2.4222	
41	37.192	1402226	Y		1.5261	
42	38.12	4181420	Y		4.557	
43	41.82	5272135	Y		5.7992	
44	44.245	1922172	Y		2.1226	
TOTAL		91257262			122	

Lampiran 16

(Kromatogram GC, F = 75 mL/menit; T = 310 °C)

Sampel No. 2. C-262

Metode No. 1

Sampel No. 1A

PKW	TIME	AREA	HE	UNIT	CONC	UNIT
1	0.482	132982	S		0.7774	
2	0.867	225	T		0.0021	
3	1.112	174066	SU		0.4726	
4	2.7	221	T		0.0014	
5	3.013	11102	V		0.0602	
6	3.537	22564	V		0.1234	
7	5.64	3310			0.0121	
8	7.187	82674			0.2925	
9	7.692	110622	V		0.6051	
10	8.608	11222	V		0.0612	
11	10.222	11990	V		0.0656	
12	11.622	182610			0.5522	
13	12.102	196472	V		1.2742	
14	12.3	29122	V		0.1652	
15	12.88	12622	V		0.2122	
16	15.522	122922	V		0.506	
17	16.012	121722	V		0.222	
18	17.522	32124	V		0.1212	
19	19.327	292122	V		0.2691	
20	21.012	92222	V		0.322	
21	22.712	259922			1.2221	
22	24.252	126122	V		0.6922	
23	25.702	266022	V		4.19	
24	27.132	171322	V		0.922	
25	28.622	290122	V		0.222	
26	29.812	322222	V		1.9221	
27	31.122	4276252	V		22.3222	
28	32.562	1229222	V		7.3222	
29	35.422	2210222	V		12.102	
30	38.602	2701522	V		14.7222	
31	41.722	1626522	V		0.2922	
32	46.222	412224	V		0.2621	
JATAI		12221222			120	

Lampiran 17

(Kromatogram GC, F = 75 mL/menit; T = 320 °C)

SHARAFIYAH & C-862

REPORT NO 11

NO OF
METRAN 41

PKNO	TIME	AREA	HW	TANA	ASAP	NAHF
1	0.268	39				0.0001
2	0.52	80				0.0001
3	0.697	2202				0.0001
4	1.137	17148	SV			0.0227
5	1.387	155	T			0.0002
6	1.417	136	T			0.0002
7	1.617	2962				0.0041
8	1.737	5216	V			0.0079
9	2.03	49349	V			0.0628
10	2.195	62288	V			0.0885
11	2.692	7703	V			0.0107
12	3.212	23206	V			0.0321
13	3.92	14231	V			0.0192
14	4.4	148882	V			0.202
15	4.8	202346	V			0.2804
16	5.512	30892	V			0.0421
17	6.102	16127	V			0.0223
18	6.997	76791				0.1062
19	7.683	28823	V			0.0358
20	8.203	662297	V			0.4401
21	8.663	292627	SV			1.1052
22	9.887	10155	T			0.0141
23	10.932	95388				0.1327
24	12.123	659049	V			0.9128
25	12.557	1122719	SV			1.6232
26	12.613	9065	T			0.0126
27	14.15	225727	V			0.3123
28	18.208	724986				1.0177
29	16.213	271490	V			1.3481
30	17.212	116380	V			0.1613
31	17.249	222361	V			0.3912
32	19.26	944323	V			1.3079
33	19.642	2929042	SV			4.0608
34	21.08	355524	V			0.7694
35	22.762	2184358	V			3.0265
36	24.317	546966	V			0.7523
37	25.727	4262113	V			5.6322
38	27.023	732719	V			1.0228
39	28.237	4916392	V			6.0823
40	29.823	1804625	V			2.0034
41	31.282	15783626	V			21.2521
42	32.42	1478430	V			2.0382
43	33.542	5226123	V			2.2325
44	35.422	1272291	V			12.6160
45	37.523	5102500	V			7.065
46	40.242	1229952	V			1.9107
47	41.783	3901552	V			5.4022
48	46.51	2011816	V			2.7845
TOTAL		72222054				100

Lampiran 18

(Kromatogram GC, F = 75 mL/menit; T = 330 °C)

NO	WAKTU	RT	PK	AREA	CONC	REMARK
1	0.577	221			0.0000	
2	0.747	2504	V		0.0029	
3	1.067	215000	R		2.4242	
4	1.607	6779	T		0.0077	
5	2.025	155070	T		0.1755	
6	2.178	198664	TY		0.1793	
7	2.625	2532	TU		0.004	
8	0.225	25714	T		0.0404	
9	3.832	45747	T		0.0504	
10	4.255	628147	V		0.7042	
11	4.658	294976	SU		0.2984	
12	5.498	9174	T		0.0104	
13	6.91	91626	V		0.1036	
14	8.142	1230566	V		1.3907	
15	8.632	1249999	V		1.9777	
16	10.815	128324	V		0.1529	
17	12.147	212777	V		0.2055	
18	19.582	1521976	V		1.72	
19	14.177	185979	V		0.2102	
20	14.557	23922	V		0.0949	
21	15.828	276626	V		0.2942	
22	16.272	592391	V		0.7023	
23	17.188	412690	V		0.4732	
24	17.81	263839	V		0.2982	
25	19.723	5582254	V		6.2315	
26	21.195	666606	V		0.7302	
27	22.838	1279685	V		1.2833	
28	24.398	588240	V		0.5744	
29	25.81	3251231	V		3.7074	
30	27.192	424432	V		0.5367	
31	28.333	3478035	V		3.9907	
32	29.915	1538220	V		1.7826	
33	31.36	20228279	V		22.6437	
34	32.197	6611261	V		7.4717	
35	35.6	19535464	V		22.0270	
36	37.125	1399630	V		1.5010	
37	38.148	4125021	V		4.7184	
38	41.882	5562975	V		6.2708	
39	46.303	12055861	V		13.3284	
TOTAL		28424536			100	

Lampiran 19

(Kromatogram GC, F = 75 mL/menit; T = 340 °C)

NO	TIME (min)	AREA	IDENTIFICATION	PERCENTAGE
1	0.113	9250		
2	0.525	888		
3	0.887	19062		
4	1.002	256425	AV	1.1976
5	1.432	4221	T	0.0067
6	1.59	2520	TV	0.0056
7	1.275	161030	V	0.2549
8	1.907	193143	V	0.3058
9	2.307	22185	V	0.0529
10	2.798	56095	V	0.0888
11	2.925	18247	V	0.029
12	2.305	25425	V	0.0577
13	2.607	220734	V	0.4445
14	3.938	259206	V	0.5587
15	4.325	49139	V	0.0783
16	5.265	27999	V	0.0427
17	6.257	59348	V	0.1098
18	6.558	45311	V	0.0717
19	6.923	35470	V	0.053
20	7.607	496266	V	0.7867
21	8.11	719204	V	1.1387
22	8.825	51191	V	0.081
23	9.328	27193	V	0.0431
24	10.208	28639	V	0.0453
25	10.71	42905	V	0.0774
26	11.825	645427	V	1.0219
27	12.29	960307	SV	1.5205
28	18.422	11982	T	0.019
29	18.927	127472	V	0.1725
30	14.85	57549	V	0.0812
31	15.605	287524	V	0.4585
32	16.108	290737	V	0.4594
33	17.15	112209	V	0.1786
34	17.97	196015	V	0.3103
35	19.39	2812725	V	3.9267
36	21.045	254278	V	0.5533
37	22.742	1906943	V	3.0191
38	24.273	322911	V	0.6021
39	25.232	3269320	V	5.0924
40	27.075	507224	V	0.8463
41	28.277	3441868	V	7.0125
42	29.245	1384524	V	2.1922
43	31.212	11021611	V	12.6490
44	32.422	1300563	V	2.2757
45	33.575	4920090	V	7.2083
46	35.81	11299498	V	18.0479
47	37.527	4910100	V	7.2739
48	40.792	1960615	V	1.9542
49	41.202	2689233	V	5.3400
50	46.592	2418031	V	3.8222
TOTAL		63161950		100

Lampiran 20

(Kromatogram GC, F = 75 mL/menit; T = 350 °C)

NO	RT	AREA	HK	IDENT	CONC	NAME
1	0.702	194			0.0002	
2	1.097	475149	G		1.6225	
3	1.267	2763	T		0.0098	
4	2.007	2646	TU		0.0129	
5	2.892	9318	T		0.0082	
6	3.509	795	T		0.0026	
7	3.728	13313	T		0.0544	
8	4.238	64229	U		0.2279	
9	4.975	274	V		0.0012	
10	5.562	3384	U		0.0127	
11	6.813	16977			0.0583	
12	7.082	182923	U		0.541	
13	8.337	341809	U		1.2139	
14	10.625	20794			0.1094	
15	11.932	249319			0.2719	
16	12.372	578222	BU		2.0532	
17	13.47	2272	T		0.0079	
18	14.018	22252	U		0.2991	
19	15.705	226334			0.9743	
20	16.12	374144	U		1.3227	
21	16.74	51961	U		0.1845	
22	17.202	14385	V		0.0529	
23	17.67	114125	U		0.4053	
24	19.582	2145809	U		7.6172	
25	21.032	832159	V		3.2729	
26	22.722	672799	U		2.3929	
27	24.252	142489			0.506	
28	25.692	1349552	U		4.7679	
29	27.102	112022			0.392	
30	28.222	1172899	U		2.1654	
31	29.792	206382	V		1.022	
32	31.142	2092913	U		25.1922	
33	33.55	1748400	V		6.2092	
34	35.402	4641264	V		16.4829	
35	37.052	705790	V		2.6026	
36	38.912	498502	U		1.742	
37	38.525	1715634	U		6.0929	
38	41.052	1212068	V		4.2056	
39	46.225	928822	U		3.4639	
40	51.052	531271	V		1.8974	
TOTAL		28157926			100	

Lampiran 21

(Kromatogram GC, F = 100 mL/menit; T = 300 °C)

NO	TIME	AREA	PK	NAME	CONC	NAME
1	0.998	17267			0.1949	
2	1.177	98420	✓		1.1052	
3	1.437	24731	✓		0.2776	
4	2.127	118424	✓		1.3292	
5	5.154	2241			0.0231	
6	5.563	948	✓		0.0106	
7	7.228	18992			0.2132	
8	8.422	29042	✓		0.2259	
9	9.527	8133	✓		0.0912	
10	11.642	57857			0.6395	
11	12.872	46423	✓		0.521	
12	13.727	27754	✓		0.3113	
13	15.755	98981	✓		1.1129	
14	17.722	3234			0.0419	
15	19.579	870426			7.3262	
16	21.018	186524	✓		2.0934	
17	22.77	241952	✓		2.7185	
18	24.229	121699	✓		1.2639	
19	25.622	225132	✓		2.527	
20	28.447	232162	✓		2.7372	
21	31.078	377277	✓		3.8621	
22	35.275	3385465	✓		32.9959	
23	41.692	1292185	✓		14.5659	
24	43.825	827188	✓		10.2938	
TOTAL		8910822			100	

Lampiran 22

(Kromatogram GC, F = 100 mL/menit; T = 310 °C)

KROMATOPRAF C-868		GIEF		41		
SAMPLIF NO 8		MFTYNO				
REFRASI NO 6						
PKNO	TTRF	ARFA	KC	TONO	CONC	SAMP
1	0.733		36			6
2	1.239	202222	S		0.2325	
3	2.08	1447	I		0.0819	
4	2.252	1291	IV		0.2072	
5	2.927		25	T	0	
6	3.275	2061	IV		0.2024	
7	4.082	5072	T		0.0859	
8	4.825	106727	V		0.1232	
9	4.912	157015	V		0.1821	
10	5.575	38272	V		0.0445	
11	6.142	2322	U		0.2097	
12	7.077	47874			0.0552	
13	8.22	576588	V		0.5827	
14	8.702	1102788	SU		1.2882	
15	9.022	4122	T		0.0849	
16	10.022	107762	T		0.125	
17	12.147	847432			0.9229	
18	12.573	2163412	SU		2.5892	
19	12.592	8156	T		0.0895	
20	14.162	353476	V		0.4222	
21	15.792	1100655	V		1.2764	
22	15.212	1219252	V		1.8302	
23	16.222	315472	V		0.3659	
24	17.722	578216	V		0.6642	
25	18.652	2220225	V		9.2249	
26	21.022	1192262	V		1.324	
27	22.742	2222236	U		3.2216	
28	24.272	2222294	U		1.2227	
29	25.72	5272022	U		6.2224	
30	27.112	224252	V		0.2225	
31	28.42	4567222	V		5.2222	
32	29.222	1402112	V		1.6262	
33	31.222	26262722	U		22.4604	
34	32.55	5222172	V		6.2222	
35	35.452	12222222	V		14.9042	
36	37.022	1222222	V		1.552	
37	37.922	2222222	V		3.2221	
38	41.52	2222272	V		2.6629	
39	42.322	1016222	V		1.1294	
TOTAL		86219162			100	

Lampiran 23

(Kromatogram GC, F = 100 mL/menit; T = 320 °C)

NO	WAKTU	RTN	PK	ISIAN	CONC	NAME
1	0.585	76				
2	0.527	62	V			
3	0.723	223				
4	1.017	3400771	S			0.0001
5	1.567	1277	T			1.5051
6	1.657	10577	T			0.0006
7	2.137	8566	TV			0.005
8	2.22	324	T			0.0026
9	2.42	2436	TV			0.0002
10	2.263	15202	T			0.006
11	4.293	170375	TV			0.0022
12	4.7	291214	TV			0.0004
13	5.227	16486	TV			0.1186
14	5.992	7101	TV			0.0028
15	6.22	72263	T			0.0024
16	8.15	81025	TV			0.0342
17	8.618	1492533	TV			0.4064
18	9.744	20796	TV			2.2049
19	10.813	130606	T			0.0099
20	11.308	50014	T			0.0616
21	12.107	392729	T			0.0274
22	12.54	2202105	TV			0.1882
23	13.199	16458	T			1.2752
24	14.117	450094	V			0.0022
25	15.723	1375933	V			0.2165
26	16.23	2100937	V			0.7038
27	16.862	1227094	V			1.0294
28	17.255	1557341	V			0.3295
29	18.502	3140449	V			2.235
30	19.203	12208508	V			1.426
31	21.113	2191399	V			5.0092
32	22.002	5471009	V			1.0244
33	24.302	2392293	V			2.3894
34	25.205	15490545	V			1.1294
35	27.3	3191404	V			7.2112
36	28.57	10023908	V			1.5064
37	29.22	32522712	VF			4.7542
38	31.398	42213836	VF			13.2219
39	32.063	12367502	V			19.9244
40	35.542	32091352	V			6.4036
41	37.097	2620696	V			15.324
42	37.992	6459314	V			1.269
43	41.642	7126453	V			3.0486
44	46.222	9491463	V			3.3626
						1.1758
TOTAL		211274944				

Lampiran 24

(Kromatogram GC, F = 100 mL/menit; T = 330 °C)

ХРОМАТОГРАМ C-26A
 РАСПИСАНИЕ
 REPORT No 9

ПТИЦА
 МЕТАН

В
 А1

PEAK	TIME	AREA	PK	NAME	CHNC	NAME
1	0.5	99				0.0001
2	0.562	64	V			0.0001
3	0.722	104				0.0001
4	1.09	386				0.0004
5	1.421	47				0
6	1.832	1172				0.0012
7	1.962	1465	V			0.0014
8	2.202	637				0.0006
9	2.842	484	U			0.0005
10	2.782	633	V			0.0006
11	3.202	72010				0.0757
12	3.842	80254	U			0.0799
13	4.642	16228	U			0.0161
14	5.352	3085	V			0.002
15	6.045	46672				0.0429
16	7.682	279131	V			0.0526
17	8.285	1342392	U			1.0196
18	10.515	262202				0.02637
19	11.262	148282	V			0.1464
20	11.822	913944	V			0.0884
21	12.312	1668645	U			1.6402
22	13.002	121422	V			0.1625
23	13.925	502042	V			0.4994
24	15.662	1221422	V			1.0204
25	16.912	1890062	V			1.0125
26	16.722	622079	V			0.6214
27	17.652	842007	V			0.5362
28	18.632	266241	U			0.2422
29	19.612	2115991	U			6.9952
30	21.832	1023042	V			1.0242
31	22.752	2997952	V			2.3371
32	24.3	988079	U			0.9712
33	25.222	5668275	V			5.3222
34	27.092	1222045	V			1.2591
35	28.22	6296255	V			6.2224
36	29.852	2522442	U			2.4954
37	31.2	22231946	V			22.4422
38	32.522	2667124	U			0.5205
39	25.422	1626992	V			16.5239
40	32.172	2522224	V			2.3229
41	32.922	1324072	U			1.3122
42	32.522	2222521	V			2.2219
43	41.222	2142326	V			2.0222
44	46.322	1422252	U			1.4522
TOTAL		101225192				102

Lampiran 25

(Kromatogram GC, F = 100 mL/menit; T = 340 °C)

KROMATOGRAM C-266		FILE		A	
SAMPLE NO 0		METHOD		41	
REPORT NO 12					
NO	TIME	AREA	Hz	CONC	NAME
1	0.49	234		0.0002	
2	0.58	90	U	0.0001	
3	0.723	119		0.0001	
4	0.955	2280160	S F	6.1296	
5	2.697	9577	T	0.0093	
6	3.9	802	T	0.0002	
7	5.273	19119		0.0026	
8	7.588	6605		0.0064	
9	8.085	22215	U	0.0212	
10	8.258	1512	U	0.0015	
11	9.388	1398		0.0016	
12	10.622	12852		0.0112	
13	11.797	360992		0.0318	
14	12.263	622262	U	0.6167	
15	13.407	22160	U	0.0196	
16	13.912	28222	U	0.0262	
17	14.388	69098	U	0.0622	
18	15.655	1178455	U	1.1426	
19	16.02	1924851	U	1.5419	
20	17.027	273915	U	0.2664	
21	17.672	660130	U	0.4685	
22	19.562	4594985	U	4.4784	
23	20.973	864992	U	0.8461	
24	22.752	4102177	U	4.004	
25	24.328	953562	U	0.9286	
26	25.225	2012002	U	2.0662	
27	27.053	1234929	U	1.3011	
28	28.273	2822817	U	2.6322	
29	29.825	2561325	U	2.4921	
30	31.912	15195865	U	14.2114	
31	33.565	10234278	U	10.5595	
32	35.375	16212526	U	15.9022	
33	37.512	2548442	U	0.3511	
34	40.723	2262650	U	2.2162	
35	41.882	6282622	U	0.609	
36	45.325	1192967	U	1.1682	
37	46.523	2544220	U	2.4298	
TOTAL		10260220		102	

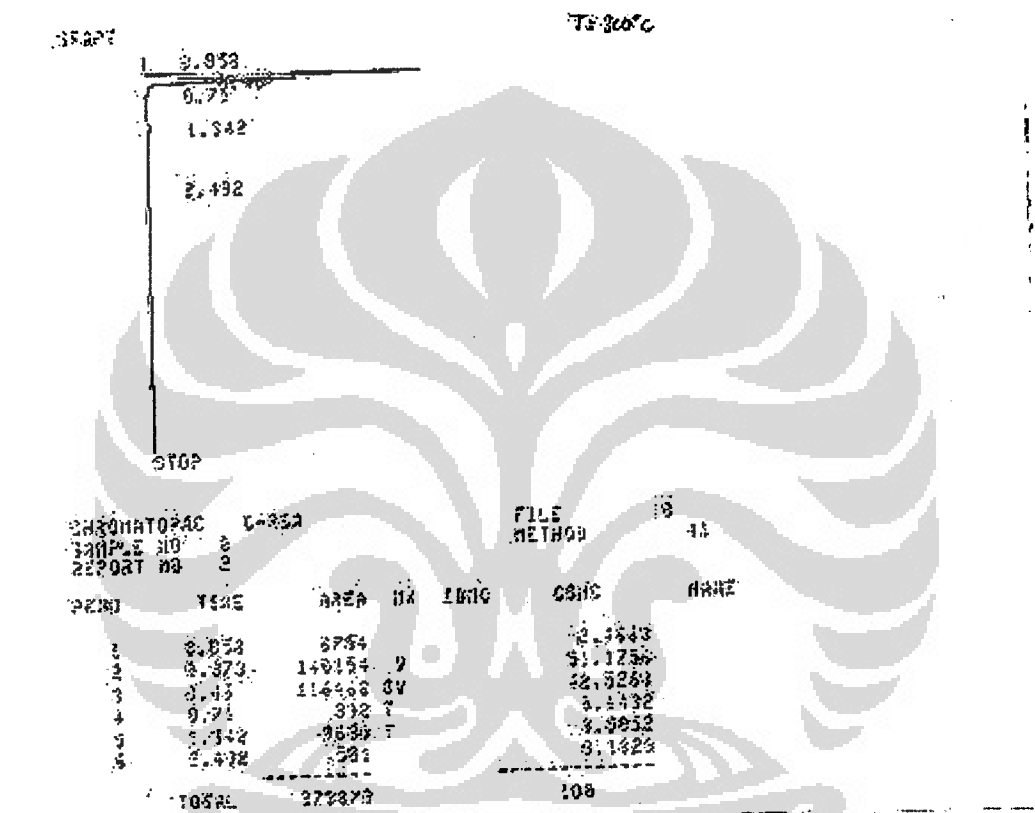
Lampiran 26

(Kromatogram GC, F = 100 mL/menit; T = 350 °C)

KROMATOGRAF: 6-266		FILE: 1		METRAN: 41	
SAMPLE NO: A					
REFRAT: 00 1					
PKNO	TIME	AREA	Hz	COND	NAME
1	0.342	29	V		0.3000
2	0.362	10	V		0.3000
3	0.415	28	V		0.3000
4	0.478	139	V		0.3000
5	0.773	67	V		0.3000
6	0.823	45	V		0.3000
7	0.957	14	V		0.3000
8	1.11	1812395	V		0.3000
9	2.418	265	T		0.3000
10	2.893	34	T		0.3000
11	3.617	2134	TU		0.3000
12	4.375	435	T		0.3000
13	4.777	14870	T		0.3000
14	5.167	29176	TU		0.3000
15	5.827	4889	TU		0.3000
16	6.327	3722	T		0.3000
17	7.17	15225	T		0.3000
18	7.582	9719	TU		0.3000
19	7.967	9219	TU		0.3000
20	8.417	128132	TU		0.3000
21	8.858	192322	TU		0.3000
22	9.5	11229	TU		0.3000
23	9.982	9885	TU		0.3000
24	10.708	4894	T		0.3000
25	11.272	6913	T		0.3000
26	12.238	8291	T		0.3000
27	12.675	373806	V		0.3000
28	13.772	19546	V		0.3000
29	14.19	4822	V		0.3000
30	14.598	25879	V		0.3000
31	15.345	29599	V		0.3000
32	15.893	28291	V		0.3000
33	16.382	42430	V		0.3000
34	17.25	26192	V		0.3000
35	17.872	59326	V		0.3000
36	18.102	52177	V		0.3000
37	18.202	62458	V		0.3000
38	19.322	359818	V		0.3000
39	19.702	628359	V		0.3000
40	21.113	245242	V		0.3000
41	22.52	466192	V		0.3000
42	22.812	618608	V		0.3000
43	24.427	229212	V		0.3000
44	25.813	1792307	V		0.3000
45	27.122	512884	V		0.3000
46	28.367	2757715	V		0.3000
47	29.908	577281	V		0.3000
48	31.298	3185040	V		0.3000
49	32.622	2472519	V		0.3000
50	35.82	3211772	V		0.3000
51	37.592	1982271	V		0.3000
52	41.377	2223239	V		0.3000
53	48.742	268247	V		0.3000
Total		2568226			100

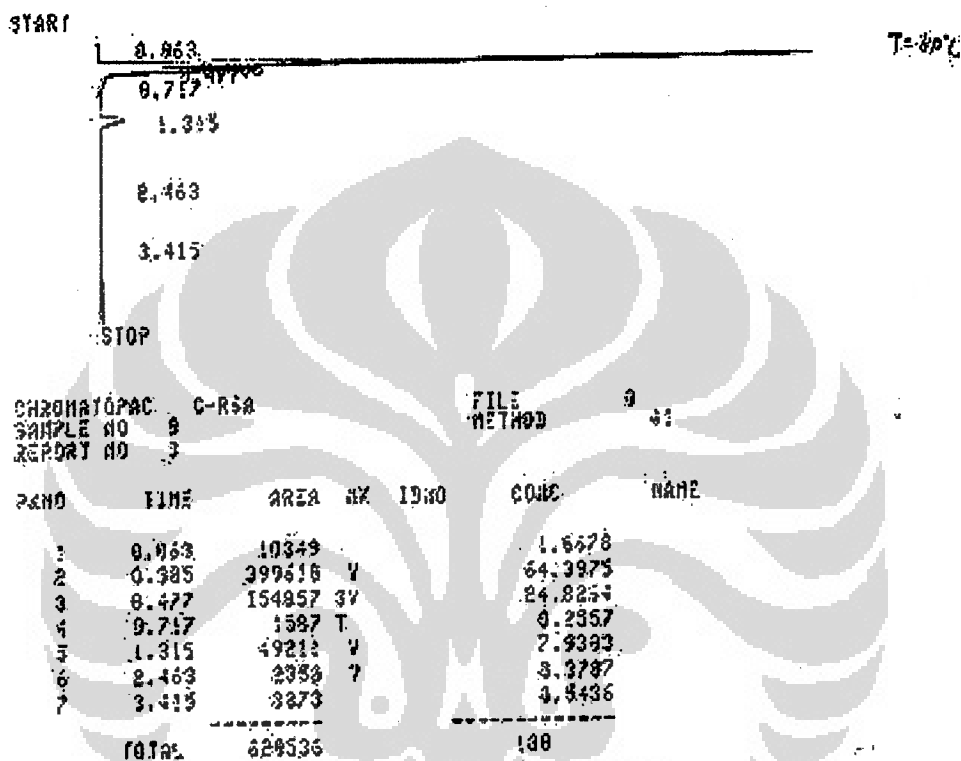
Lampiran 27

(Kromatogram GC Produk Gas; T = 300 °C)



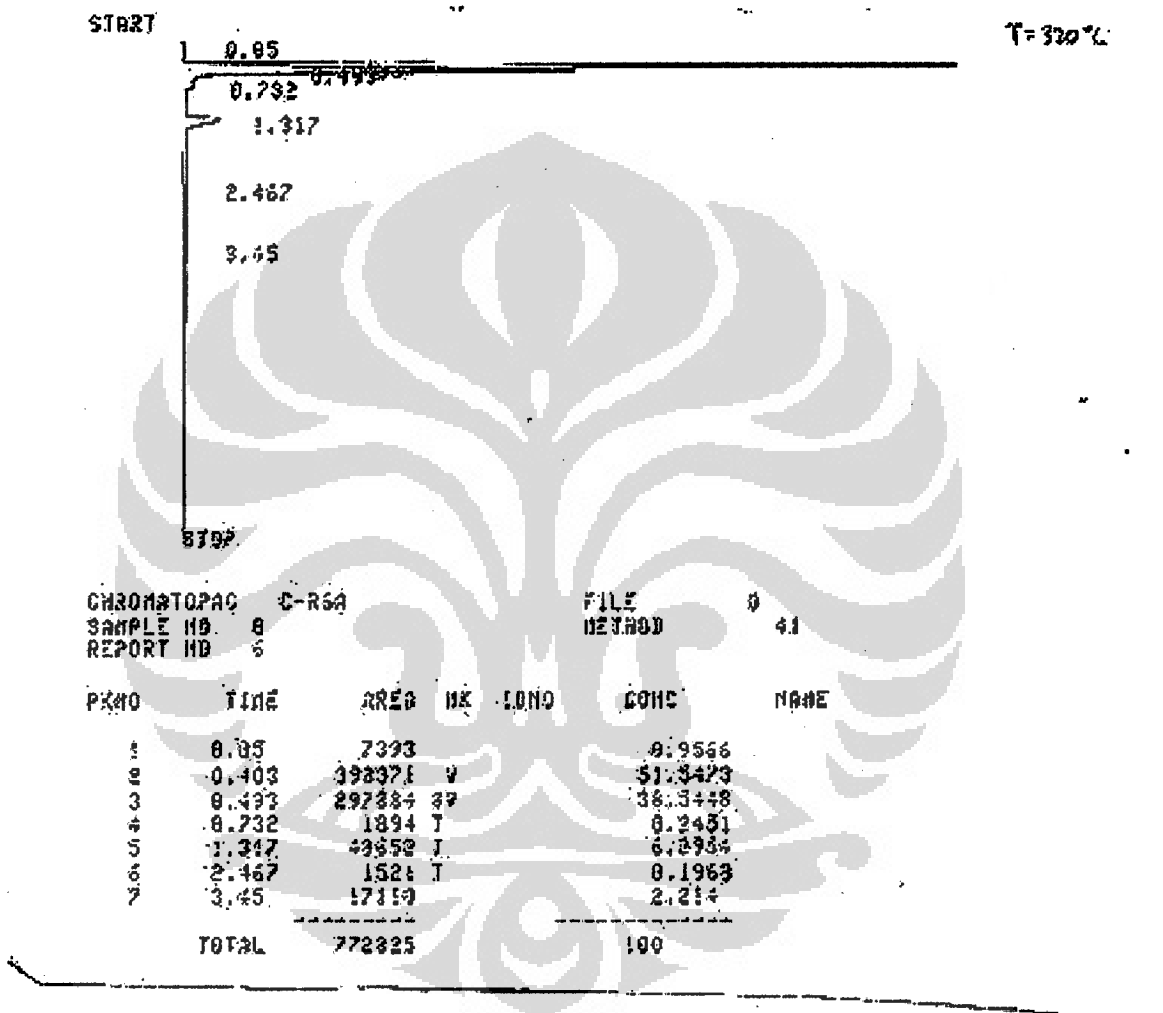
Lampiran 28

(Kromatogram GC Produk Gas; T = 310 °C)



Lampiran 29

(Kromatogram GC Produk Gas; T = 320 °C)



Lampiran 30

(Kromatogram GC Produk Gas; T = 330 °C)

330
 ERROR 1: INVALID SYNTAX
 START

T = 330°C

0.852
 0.393
 1.328
 2.463
 3.4

STOP

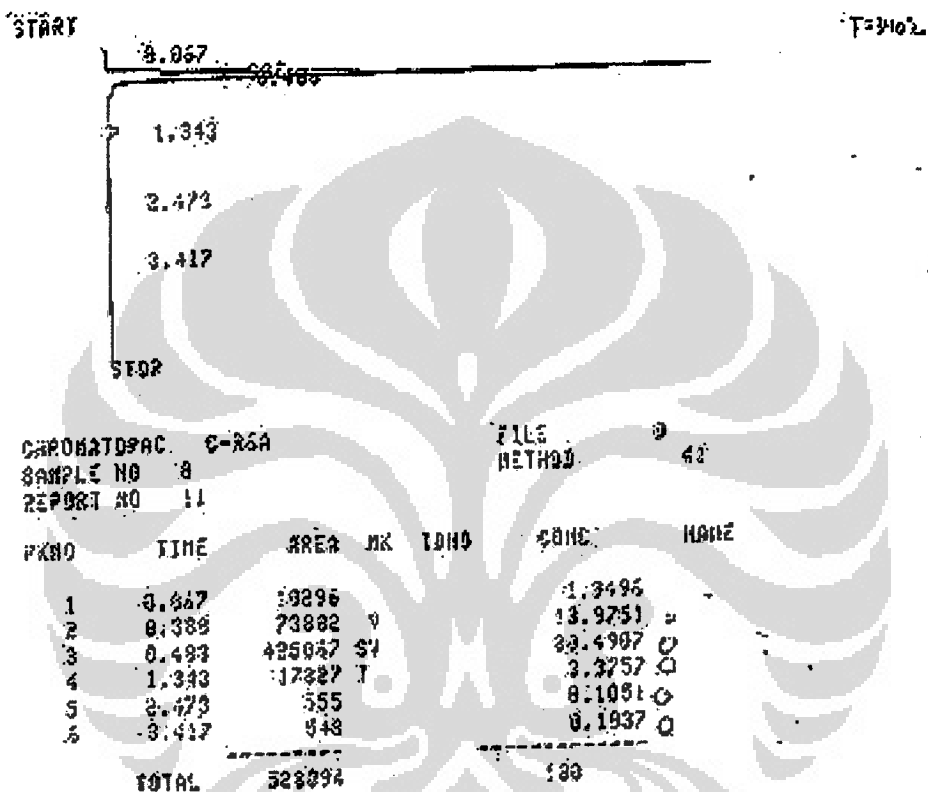
CHROMATOPAC G-26A
 SAMPLE NO 0
 REPORT NO 3

FILE 9.
 METHOD 45

PKNO	TIME	AREA	PK	IDNO	CONC	NAME
1	0.852	8840			1.3391	
2	0.393	195111	Y		30.7256	
3	0.405	397374	SY		62.8684	
4	0.735	958	T		0.1501	
5	1.328	32744	T		3.1392	
6	2.463	1196	T9		0.1874	
7	3.4	1022	T9		0.1601	
TOTAL		672244			100	

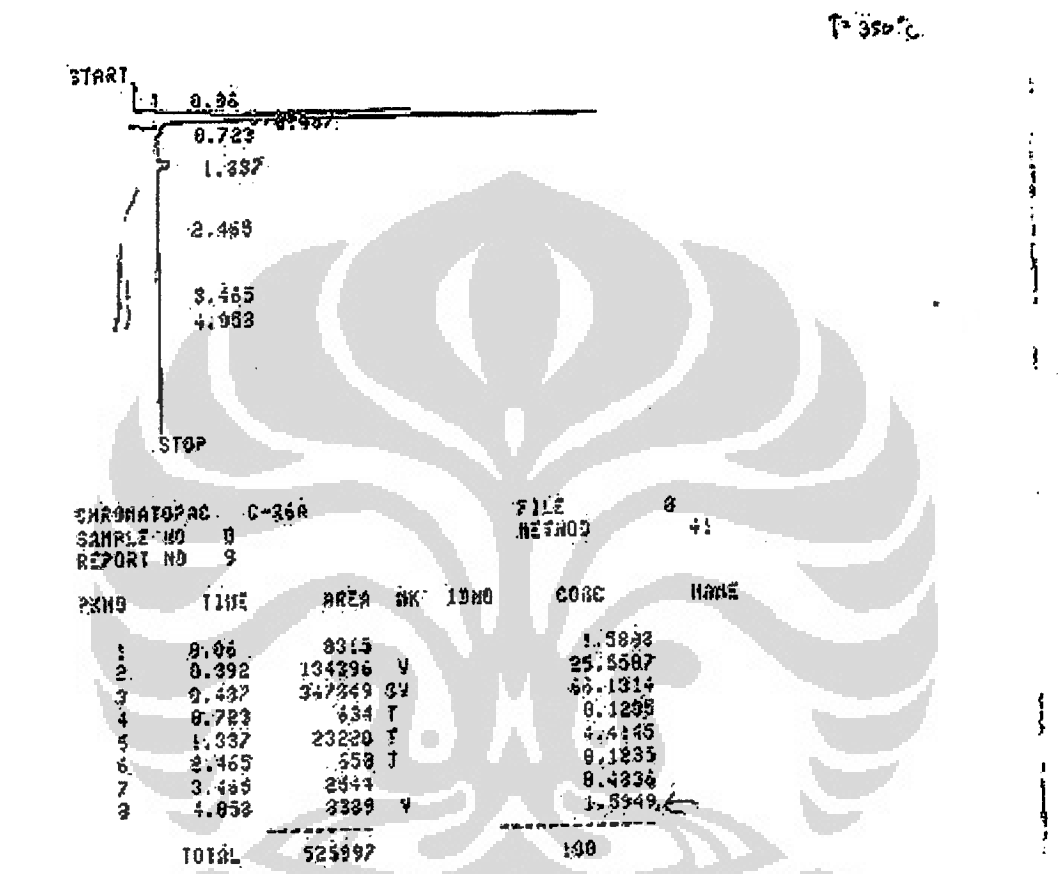
Lampiran 31

(Kromatogram GC Produk Gas; T = 340 °C)

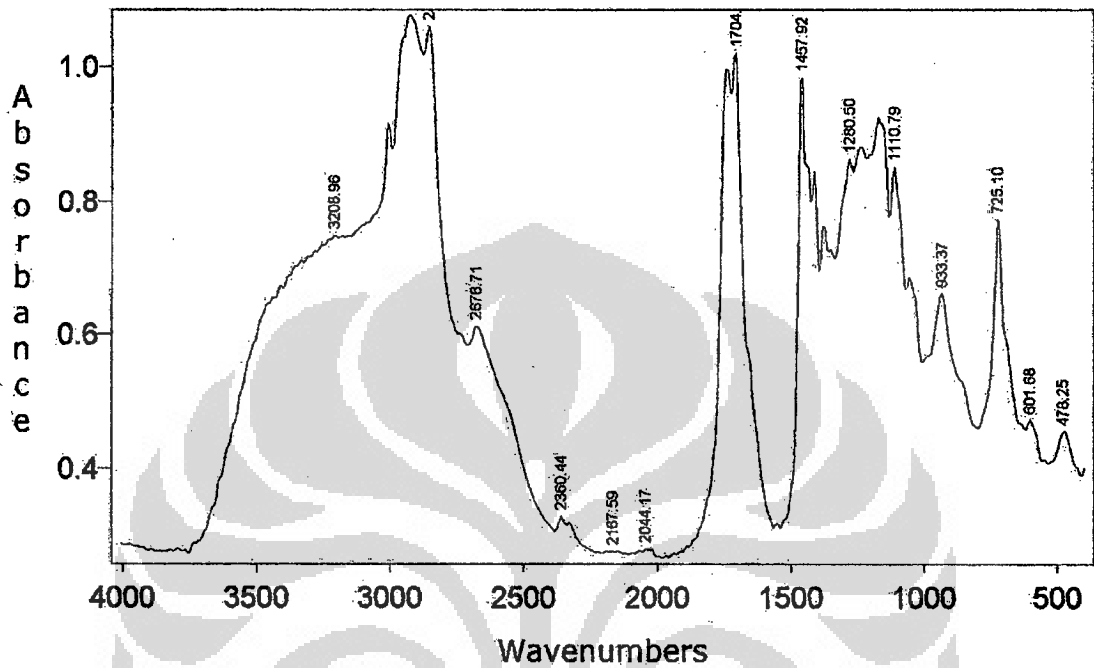


Lampiran 32

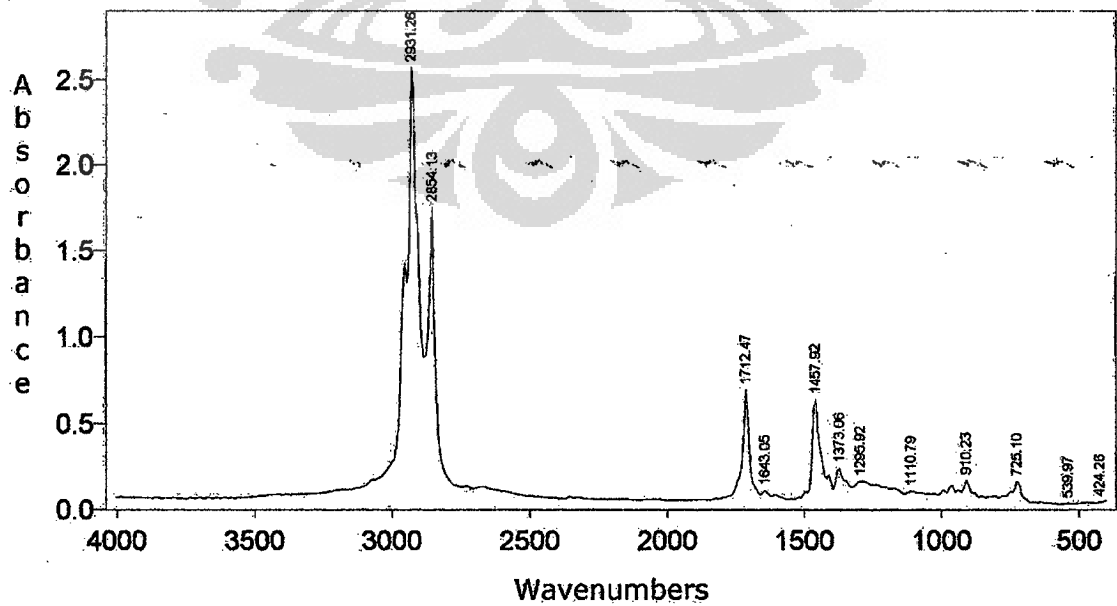
(Kromatogram GC Produk Gas; T = 350 °C)



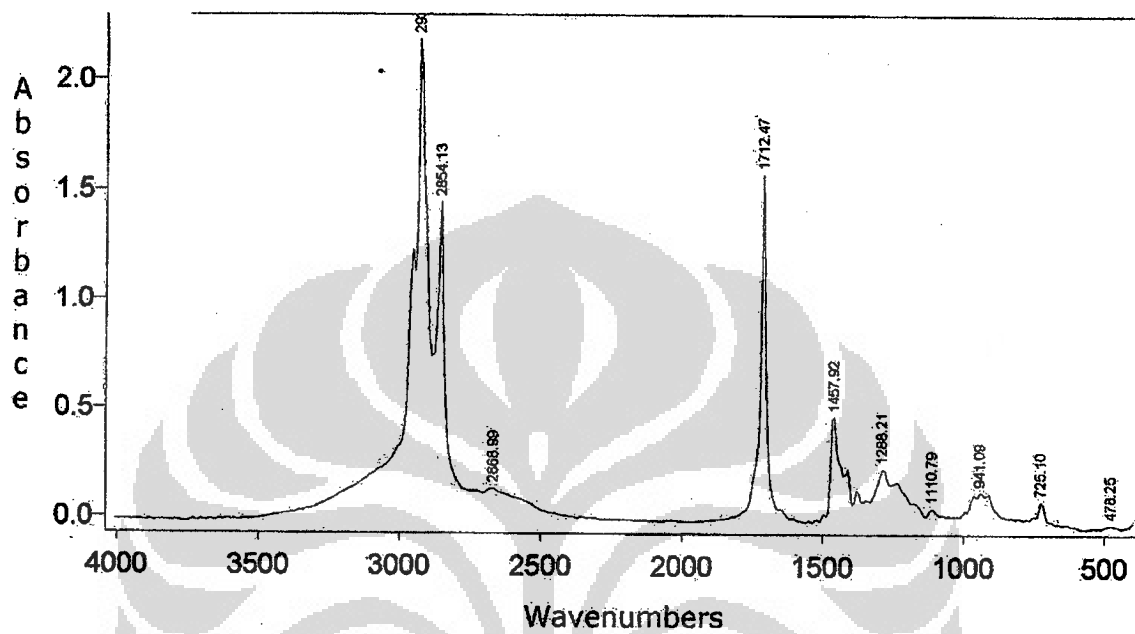
Lampiran 33
(FTIR Minyak Sawit)



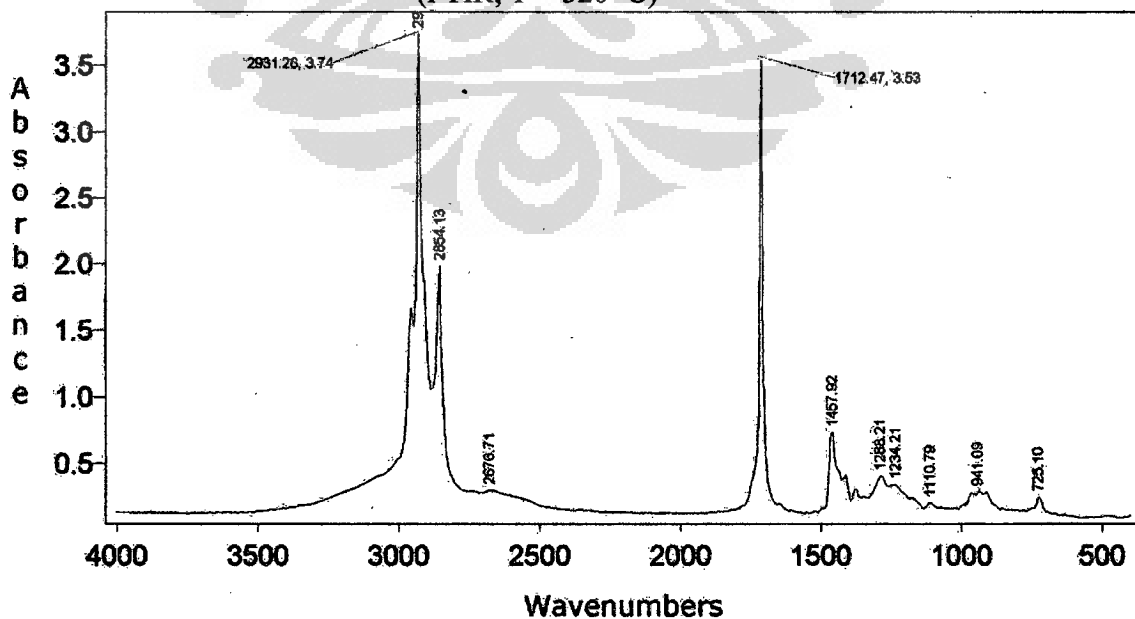
Lampiran 34
(FTIR T = 300 °C)



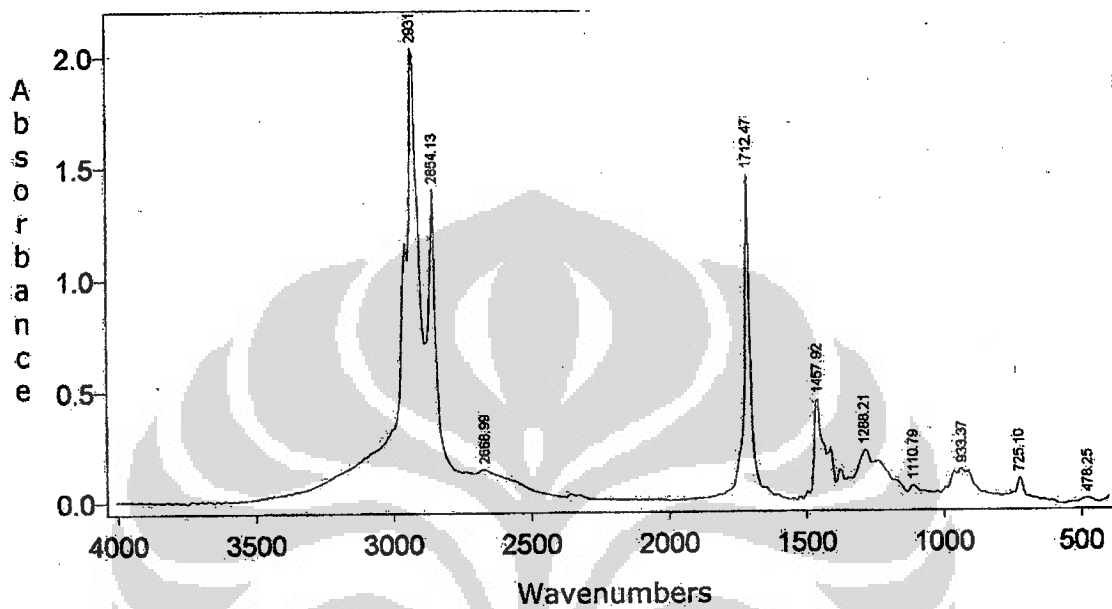
Lampiran 35
(FTIR, T = 310 °C)



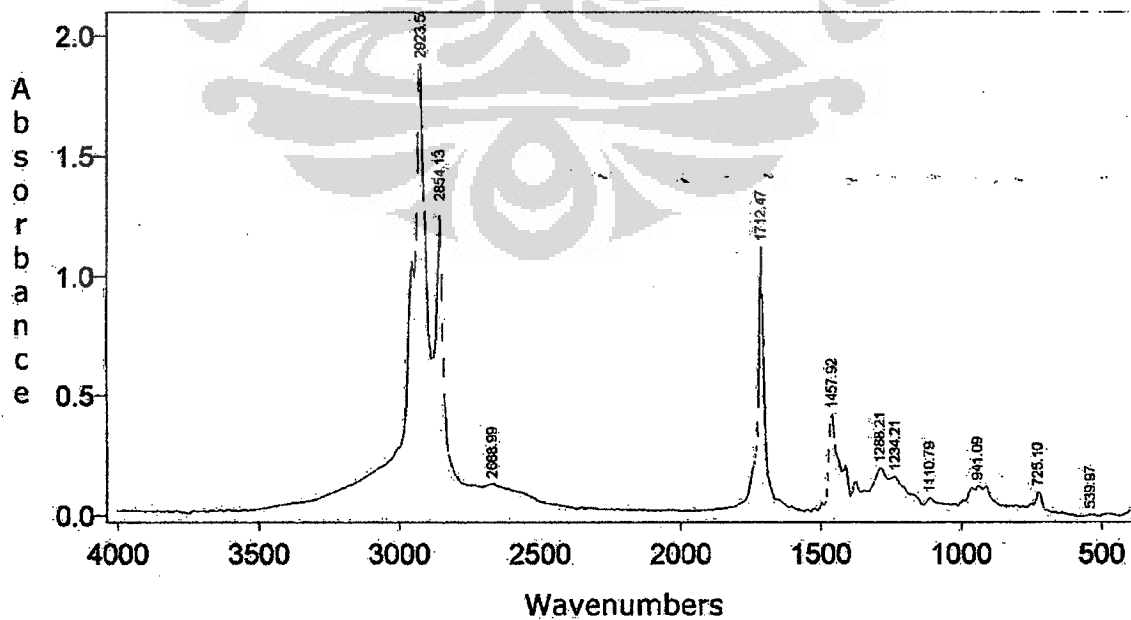
Lampiran 36
(FTIR, T = 320 °C)



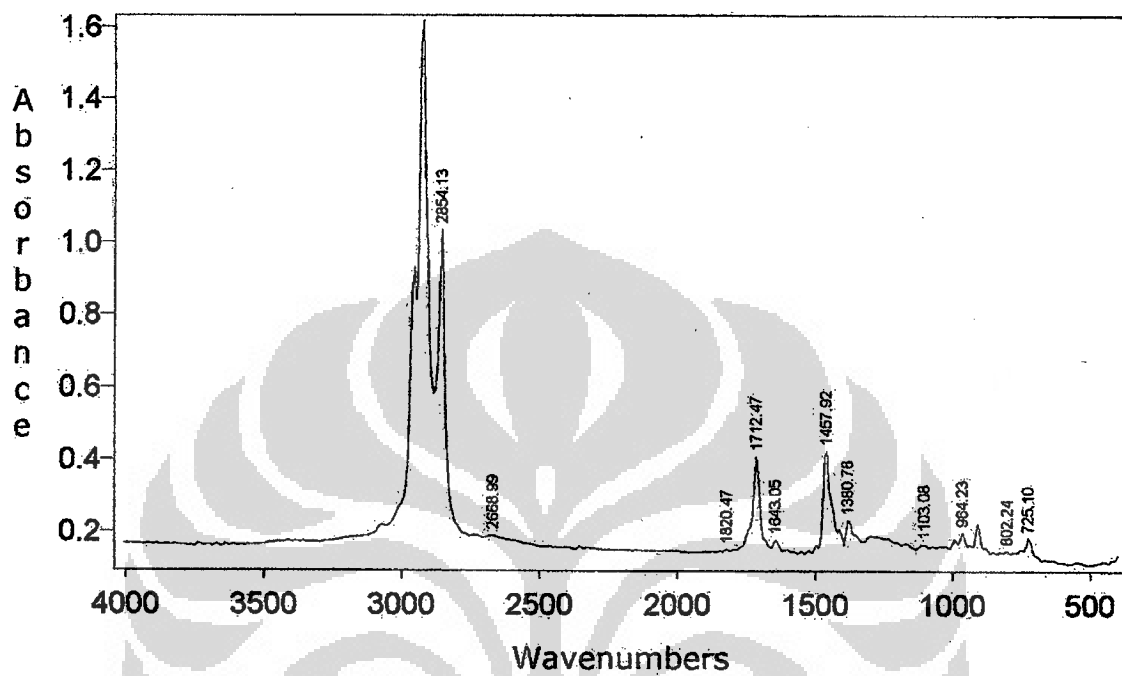
Lampiran 37
(FTIR, T = 330 °C)



Lampiran 38
(FTIR, T = 340 °C)

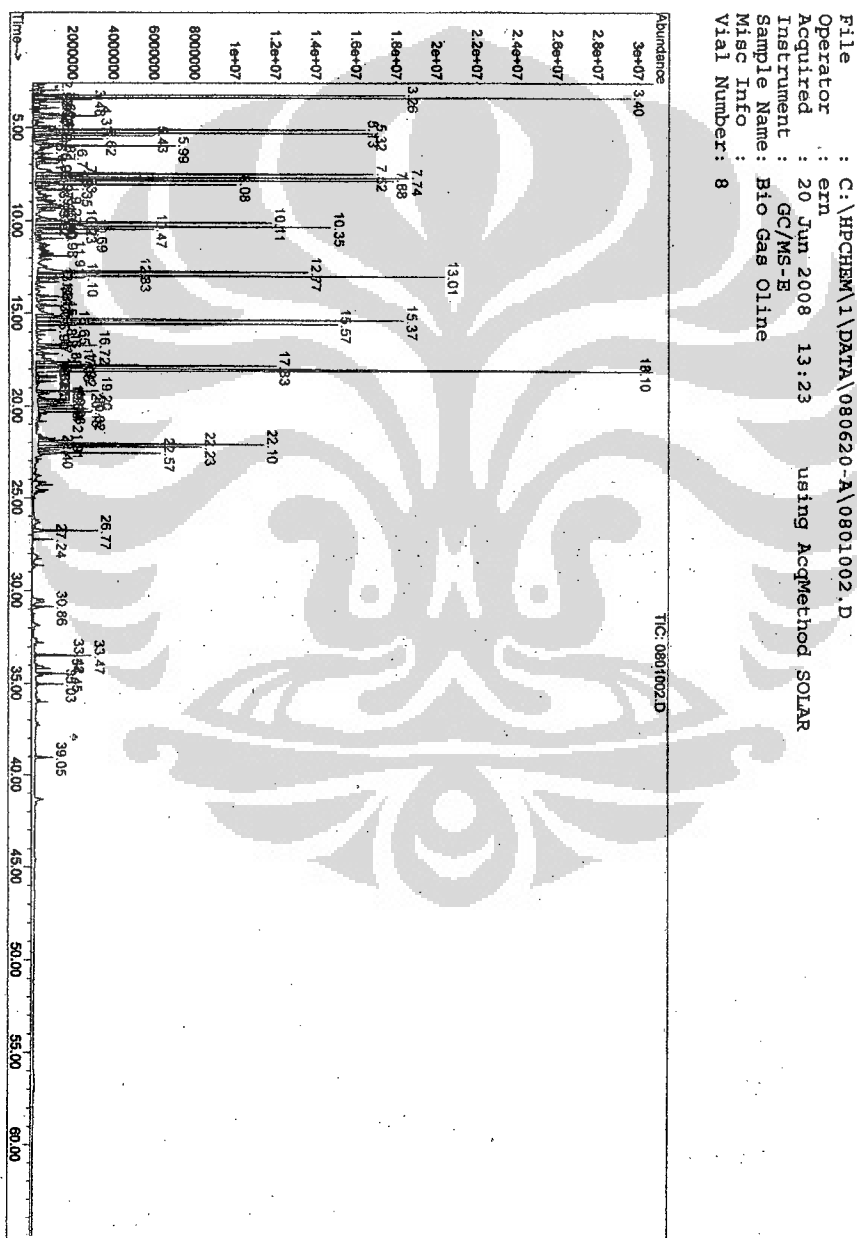


Lampiran 39
(FTIR, T = 350 °C)



Lampiran 40

(Kromatogram GCMS)



Lampiran 41

(Data Analisis GCMS, Lanjutan)

Information from Data File:

File: C:\HPCHEM\1\DATA\080620-A\0801002.D
 Operator: ern
 Date Acquired: 20 Jun 2008 13:23
 Method File: SOLAR
 Sample Name: Bio Gas Oline
 Misc Info:
 Vial Number: 8

Search Libraries: C:\DATABASE\WILEY275.L Minimum Quality: 100

Unknown Spectrum: Apex

Integration Events: Chemstation Integrator - autoint1.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	2.98	0.19	C:\DATABASE\WILEY275.L → C ₆ Cyclohexene, 1-ethyl- (CAS) \$\$ 1-E Cyclohexene, 1-ethyl- (CAS) \$\$ 1-E Cyclohexane, ethylidene- (CAS) \$\$	10012 10013 10025	001453-24-3 001453-24-3 001003-64-1	93 93 81
2	3.25	2.48	C:\DATABASE\WILEY275.L → C ₉ 1-Nonene (CAS) \$\$ n-Non-1-ene \$\$ N 1-Nonene (CAS) \$\$ n-Non-1-ene \$\$ N Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl- (	18185 18186 18242	000124-11-8 000124-11-8 041977-37-1	97 96 95
3	3.40	4.40	C:\DATABASE\WILEY275.L → C ₉ Nonane (CAS) \$\$ n-Nonane \$\$ Shells Nonane (CAS) \$\$ n-Nonane \$\$ Shells Nonane (CAS) \$\$ n-Nonane \$\$ Shells	19787 19795 19792	000111-84-2 000111-84-2 000111-84-2	96 95 94
4	3.48	0.35	C:\DATABASE\WILEY275.L → C ₉ cis-2-Nonene \$\$ (Z)-2-C9H18 (E)-2-Nonene \$\$ 2-Nonene, (E)- (CA (E)-2-Nonene \$\$ 2-Nonene, (E)- (CA	18364 18190 18189	006434-77-1 006434-78-2 006434-78-2	97 96 96
5	3.62	0.27	C:\DATABASE\WILEY275.L → C ₉ cis-2-Nonene \$\$ (Z)-2-C9H18 (E)-2-Nonene \$\$ 2-Nonene, (E)- (CA cis-3-Nonene \$\$ (Z)-3-C9H18 \$\$ 3-N	18364 18189 18357	006434-77-1 006434-78-2 020237-46-1	97 96 95
6	3.94	0.19	C:\DATABASE\WILEY275.L → C ₆ Cyclohexane, propyl- (CAS) \$\$ Prop Cyclohexane, propyl- (CAS) \$\$ Prop Cyclohexane, propyl- (CAS) \$\$ Prop	18272 18268 18269	001678-92-8 001678-92-8 001678-92-8	95 94 91
7	4.26	0.33	C:\DATABASE\WILEY275.L → C ₈ 4-Octyne, 2-methyl- (CAS) \$\$ 2-Met Cyclopentene, 4-methyl- (CAS) \$\$ 4 Cyclopentene, 3-methyl- (CAS) \$\$ 3	16935 2469 2465	010306-94-2 001759-81-5 001120-62-3	72 53 53
8	4.38	0.67	C:\DATABASE\WILEY275.L → C ₆ Hexanal, 2-ethyl- (CAS) \$\$ 2-Ethyl Hexanal, 2-ethyl- (CAS) \$\$ 2-Ethyl 1,3-Cyclobutanediol, 2,2,4,4-tetra	19446 19450 31117	000123-05-7 000123-05-7 003010-96-6	83 74 64
9	4.49	0.36	C:\DATABASE\WILEY275.L → C ₆ 1-propyl-1-cyclohexene 1-Octyne (CAS) \$\$ Hexylacetylene \$ 1-Octyne (CAS) \$\$ Hexylacetylene \$	17013 9907 9904	000000-00-0 000629-05-0 000629-05-0	90 59 50

0801002.D SOLAR.M Tue Jun 24 10:46:08 2008

Page 1

Lampiran 42

(Data Analisis GCMS, Lanjutan)

10	4.94	0.21	C:\DATABASE\WILEY275.L	7-Octen-2-one (CAS)	17908	003664-60-6	46
				7-Octen-2-one (CAS)	17909	003664-60-6	46
				o-Ethyl toluene \$\$ 1-Ethyl-2-methy	15054	000611-14-3	38
11	5.13	3.06	C:\DATABASE\WILEY275.L	1-Decene (CAS) \$\$ Dec-1-ene \$\$ n-1	28262	000872-05-9	96
				1-Decene (CAS) \$\$ Dec-1-ene \$\$ n-1	28265	000872-05-9	95
				1-Decene (CAS) \$\$ Dec-1-ene \$\$ n-1	28260	000872-05-9	92
12	5.33	3.28	C:\DATABASE\WILEY275.L	Decane (CAS) \$\$ n-Decane \$\$ Isodec	30005	000124-18-5	96
				Decane (CAS) \$\$ n-Decane \$\$ Isodec	30015	000124-18-5	95
				Decane (CAS) \$\$ n-Decane \$\$ Isodec	30013	000124-18-5	95
13	5.44	0.95	C:\DATABASE\WILEY275.L	5-Decene (CAS)	28272	019689-19-1	97
				4-Decene (CAS)	28271	019689-18-0	96
				2-Decene, (E)- (CAS) \$\$ (E)-2-Dece	28269	020063-97-2	94
14	5.61	0.69	C:\DATABASE\WILEY275.L	4-Decene (CAS)	28271	019689-18-0	95
				2-Decene, (Z)- (CAS) \$\$ (Z)-2-Dece	28267	020348-51-0	95
				2-Decene, (E)- (CAS) \$\$ (E)-2-Dece	28269	020063-97-2	94
15	5.87	0.39	C:\DATABASE\WILEY275.L	1,3-Nonadiene, (E)- (CAS) \$\$ 1,TRA	16917	056700-77-7	80
				1,3-Octadiene	10089	001002-33-1	64
				Cyclohexene (CAS) \$\$ Cyclohex-1-en	2480	000110-83-8	64
16	5.99	1.21	C:\DATABASE\WILEY275.L	1-Hexanol, 2-ethyl- (CAS) \$\$ 2-Eth	21138	000104-76-7	90
				1-Hexanol, 2-ethyl- (CAS) \$\$ 2-Eth	21128	000104-76-7	90
				2 ETHYL HEXANOL	21216	000104-76-7	86
17	6.41	0.19	C:\DATABASE\WILEY275.L	Cyclopropene, 1-butyl-2-ethyl- (CA	16958	050915-91-8	59
				Cyclopentene, 1-(3-methylbutyl)- (	26715	037689-15-9	59
				6,6-Dimethyl-2,3-diazabicyclo[3.1.	9712	068914-93-2	53
18	6.71	0.48	C:\DATABASE\WILEY275.L	Cyclohexane, methylene- (CAS) \$\$ M	5286	001192-37-6	64
				Cyclohexane, methylene- (CAS) \$\$ M	5288	001192-37-6	64
				Cyclohexene, 1-methyl- (CAS) \$\$ 1-	5270	000591-49-1	52
19	6.92	0.31	C:\DATABASE\WILEY275.L	Ethanone, 1-phenyl- (CAS) \$\$ Aceto	14858	000098-86-2	87
				Ethanone, 1-phenyl- (CAS) \$\$ Aceto	14860	000098-86-2	83
				Ethanone, 1-phenyl- (CAS) \$\$ Aceto	14872	000098-86-2	80
20	7.51	4.36	C:\DATABASE\WILEY275.L	1-Undecene (CAS) \$\$ n-1-Undecene \$	40842	000821-95-4	96
				1-Dodecene (CAS) \$\$ Adacene 12 \$\$	53755	000112-41-4	91
				1-Tetradecene (CAS) \$\$ n-Tetradec-	81322	001120-36-1	90
21	7.63	0.50	C:\DATABASE\WILEY275.L	5-Undecene, (E)- (CAS) \$\$ (E)-5-Un	40860	000764-97-6	91
				5-Undecene, (Z)- (CAS) \$\$ cis-5-Un	40856	000764-96-5	90
				Cyclopropane, 1-butyl-1-methyl-2-p	40909	041977-34-8	87

Lampiran 43

(Data Analisis GCMS, Lanjutan)

22	7.74	4.13	C:\DATABASE\WILEY275.L					
			Undecane (CAS) \$\$ n-Undecane \$\$ He	42751	001120-21-4	96		
			Undecane (CAS) \$\$ n-Undecane \$\$ He	42760	001120-21-4	95		
			Undecane (CAS) \$\$ n-Undecane \$\$ He	42757	001120-21-4	94		
23	7.88	3.56	C:\DATABASE\WILEY275.L					
			5-Undecene (CAS)	40857	004941-53-1	98		
			4-Undecene, (E)- (CAS) \$\$ (E)-4-Un	40855	000693-62-9	96		
			5-Undecene, (E)- (CAS) \$\$ (E)-5-Un	40859	000764-97-6	94		
24	7.97	0.24	C:\DATABASE\WILEY275.L					
			Phenol, 2,5-dimethyl- (CAS) \$\$ 2,5	15738	000095-87-4	78		
			Phenol, 2,6-dimethyl- (CAS) \$\$ 1-H	15742	000576-26-1	59		
			Phenol, 2,6-dimethyl- (CAS) \$\$ 1-H	15741	000576-26-1	59		
25	8.09	1.84	C:\DATABASE\WILEY275.L					
			5-Undecene (CAS)	40857	004941-53-1	97		
			5-Undecene, (E)- (CAS) \$\$ (E)-5-Un	40859	000764-97-6	95		
			4-Undecene, (E)- (CAS) \$\$ (E)-4-Un	40855	000693-62-9	94		
26	8.35	0.47	C:\DATABASE\WILEY275.L					
			1,7-Octadiene (CAS) \$\$ Octa-1,7-di	9936	003710-30-3	72		
			Cyclohexene (CAS) \$\$ Cyclohex-1-en	2474	000110-83-8	72		
			Cyclohexene (CAS) \$\$ Cyclohex-1-en	2476	000110-83-8	72		
27	8.95	0.19	C:\DATABASE\WILEY275.L					
			Linoleic acid	162062	000060-33-3	64		
			Dihydrocarvone \$\$ Cyclohexanone, 2	38208	005948-04-9	64		
			TRANS-DIHYDROCARVONE	37934	005948-04-9	59		
28	9.27	0.59	C:\DATABASE\WILEY275.L					
			E,E-2,4-undecene \$\$ 2,4-Undecadien	38547	066717-32-6	87		
			Z,E-2,4-undecene \$\$ 2,4-Undecadien	38546	066717-37-1	72		
			Hept-2-yn-1-al	9854	001846-67-9	64		
29	9.36	0.28	C:\DATABASE\WILEY275.L					
			Cyclopentane, 1,2-dimethyl-3-(1-me	26731	006983-03-5	53		
			Spiro[3.4]octan-5-one (CAS) \$\$ SPI	16758	010468-36-7	52		
			7-13C-METHYLENE-CYCLOHEXANE	5297	033717-96-3	52		
30	9.92	0.28	C:\DATABASE\WILEY275.L					
			1-Octene, 3,7-dimethyl- (CAS) \$\$ 2	28304	004984-01-4	35		
			2-Undecene, 8-methyl-, (Z)- (CAS)	53795	074630-44-7	35		
			Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl- (	18242	041977-37-1	30		
31	10.00	0.34	C:\DATABASE\WILEY275.L					
			3-Decanone (CAS) \$\$ DECAN-3-ONE \$\$	42465	000928-80-3	64		
			3-DECANONE	42663	000928-80-3	53		
			3-DECANOL	44300	001565-81-7	47		
32	10.11	3.29	C:\DATABASE\WILEY275.L					
			1-Dodecene (CAS) \$\$ Adacene 12 \$\$	53755	000112-41-4	97		
			1-Dodecene (CAS) \$\$ Adacene 12 \$\$	53759	000112-41-4	97		
			1-Dodecene (CAS) \$\$ Adacene 12 \$\$	53751	000112-41-4	96		
33	10.22	0.58	C:\DATABASE\WILEY275.L					
			3-Dodecene, (Z)- (CAS) \$\$ trans-3-	53766	007239-23-8	97		
			3-Dodecene, (E)- (CAS) \$\$ trans-3-	53769	007206-14-6	97		
			3-Dodecene, (Z)- (CAS) \$\$ trans-3-	53765	007239-23-8	96		

Lampiran 44
(Data Analisis GCMS, Lanjutan)

34	10.35	3.14	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			DODECANE	55993	000000-00-0	97	
			Dodecane (CAS) \$\$ n-Dodecane \$\$ Ba	55940	000112-40-3	96	
			Dodecane (CAS) \$\$ n-Dodecane \$\$ Ba	55926	000112-40-3	96	
35	10.47	1.04	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			2-Dodecene, (Z)- (CAS)	53763	007206-26-0	97	
			2-Dodecene, (E)- (CAS)	53764	007206-13-5	94	
			5-Dodecene, (Z)- (CAS)	53771	007206-28-2	93	
36	10.69	0.56	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			2-Dodecene, (Z)- (CAS)	53763	007206-26-0	97	
			3-Dodecene, (Z)- (CAS) \$\$ trans-3-	53765	007239-23-8	95	
			4-DODECENE, CIS/TRANS \$\$ 4-Dodecen	53750	002030-84-4	95	
37	10.98	0.30	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			Cyclododecene (CAS)	26799	003618-12-0	87	
			trans-bicyclo[4.2.0]octane \$\$ Bicy	10071	063296-41-3	52	
			Bicyclo[3.1.0]hexane (CAS) \$\$ Nort	2484	000285-58-5	50	
38	11.91	0.32	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			2,4-Dodecadiene, (E,Z)- (CAS)	51708	074685-27-1	81	
			E,E-2,4-undecene \$\$ 2,4-Undecadien	38547	066717-32-6	50	
			3-Decen-2-ol, (Z)- (CAS) \$\$ CIS-DE	42504	069668-91-3	47	
39	12.77	3.87	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			1-Tridecene (CAS) \$\$ n-Tridec-1-en	67378	002437-56-1	98	
			1-Tridecene (CAS) \$\$ n-Tridec-1-en	67377	002437-56-1	95	
			Cyclododecene (CAS)	53904	000294-62-2	94	
40	12.83	0.99	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			2-Undecanone (CAS) \$\$ 2-Hendecanon	55749	000112-12-9	95	
			2-UNDECANONE	55824	000112-12-9	95	
			2-Undecanone (CAS) \$\$ 2-Hendecanon	55751	000112-12-9	94	
41	13.01	5.45	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			Tridecane (CAS) \$\$ n-Tridecane \$\$	69452	000629-50-5	98	
			Tridecane (CAS) \$\$ n-Tridecane \$\$	69451	000629-50-5	97	
			Tridecane (CAS) \$\$ n-Tridecane \$\$	69450	000629-50-5	96	
42	13.10	0.37	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			4-Nonene, 5-butyl- (CAS) \$\$ 5-n-Bu	67391	007367-38-6	83	
			1-Tridecene (CAS) \$\$ n-Tridec-1-en	67375	002437-56-1	74	
			1-Tridecene (CAS) \$\$ n-Tridec-1-en	67376	002437-56-1	72	
43	13.33	0.26	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			1-Undecene (CAS) \$\$ n-1-Undecene \$	40842	000821-95-4	93	
			2-Dodecene, 2-methyl- (CAS)	67382	055103-82-7	91	
			1-Undecene (CAS) \$\$ n-1-Undecene \$	40844	000821-95-4	89	
44	14.11	0.26	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			6-Tridecene (CAS)	67380	024949-38-0	51	
			6-TETRADECENE, CIS \$\$ 6-Tetradecen	81335	041446-61-1	47	
			7-Tetradecene, (Z)- (CAS)	81337	041446-60-0	47	
45	14.30	0.25	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			Cyclopropane, 1,1-dimethyl-2-(1-me	38512	056701-50-9	59	
			Z-3-hexenyl 2-hydroxypropanoate	57095	000000-00-0	50	
			3-Octyne, 2-methyl- (CAS)	16928	055402-15-8	45	

0801002.D SOLAR.M Tue Jun 24 10:46:14 2008

Page 4

Lampiran 45

(Data Analisis GCMS, Lanjutan)

46	14.60	0.27	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			Methylenecyclooctane \$\$ Methyl-ene	17009	003618-18-6	38	
			4,5-Nonadiene (CAS)	16924	000821-74-9	30	
			(-)-TRANS PINANE \$\$ Bicyclo[3.1.1]	26821	000473-55-2	30	
47	15.17	0.62	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			7-Tetradecene, (E)- (CAS)	81339	041446-63-3	93	
			6-TETRADECENE, CIS \$\$ 6-Tetradecen	81335	041446-61-1	93	
			7-Tetradecene, (Z)- (CAS)	81337	041446-60-0	93	
48	15.37	5.28	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			1-Tetradecene (CAS) \$\$ n-Tetradec-	81325	001120-36-1	99	
			1-Pentadecene (CAS) \$\$ Pentadec-1-	96249	013360-61-7	98	
			1-Tetradecene (CAS) \$\$ n-Tetradec-	81322	001120-36-1	98	
49	15.57	3.57	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			Tetradecane (CAS) \$\$ n-Tetradecane	83536	000629-59-4	98	
			Tetradecane (CAS) \$\$ n-Tetradecane	83544	000629-59-4	98	
			Tetradecane (CAS) \$\$ n-Tetradecane	83548	000629-59-4	97	
50	15.65	0.34	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			3-Tetradecene, (Z)- (CAS)	81332	041446-67-7	98	
			3-Tetradecene, (E)- (CAS)	81333	041446-68-8	97	
			5-Tetradecene, (E)- (CAS)	81334	041446-66-6	97	
51	15.89	0.26	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			3-Tetradecene, (Z)- (CAS)	81332	041446-67-7	98	
			3-Tetradecene, (E)- (CAS)	81333	041446-68-8	95	
			5-Tetradecene, (E)- (CAS)	81334	041446-66-6	94	
52	16.72	0.77	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			1-Tetradecene (CAS) \$\$ n-Tetradec-	81324	001120-36-1	92	
			Cyclotetradecane (CAS)	81384	000295-17-0	86	
			1-Tetradecene (CAS) \$\$ n-Tetradec-	81325	001120-36-1	84	
53	16.88	0.36	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			Cyclopentene, 1-(3-methylbutyl)- (	26715	037689-15-9	53	
			4-Octyne, 2-methyl- (CAS) \$\$ 2-Met	16935	010306-94-2	50	
			2-Cyclopentene-1-undecanoic acid,	162051	003552-12-3	50	
54	17.18	0.29	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			2-METHYL-3-HEXYNE \$\$ 3-Hexyne, 2-m	5202	036566-80-0	49	
			2-METHYL-3-HEXYNE \$\$ 3-Hexyne, 2-m	5203	036566-80-0	49	
			Cyclohexene, 1-pentyl- (CAS) \$\$ 1-	38516	015232-85-6	49	
55	17.66	0.63	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			Cyclododecane (CAS)	53904	000294-62-2	91	
			1-TETRADECANOL	100074	000000-00-0	87	
			1-Tetradecanol (CAS) \$\$ Alfol 14 \$	100051	000112-72-1	87	
56	17.82	3.26	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			1-Tridecene (CAS) \$\$ n-Tridec-1-en	67375	002437-56-1	99	
			1-Pentadecene (CAS) \$\$ Pentadec-1-	96252	013360-61-7	96	
			1-Hexadecene (CAS) \$\$ Cetene \$\$ 1-	110844	000629-73-2	94	
57	17.92	0.48	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			2-Tridecanone (CAS) \$\$ Methyl unde	83376	000593-08-8	94	
			2-TRIDECANONE	83428	000000-00-0	94	
			2-Tridecanone (CAS) \$\$ Methyl unde	83377	000593-08-8	94	

0801002.D SOLAR.M Tue Jun 24 10:46:16 2008

Page 5

Lampiran 46

(Data Analisis GCMS, lanjutan)

58	18.10	12.36	C:\DATABASE\WILEY275.L ² Pentadecane (CAS) \$\$ n-Pentadecane Pentadecane (CAS) \$\$ n-Pentadecane pentadecane	98312 98301 98340	000629-62-9 000629-62-9 000629-62-9	98 98 98
59	18.37	0.21	C:\DATABASE\WILEY275.L 1-ETHYL-2-METHYL CYCLODODECANE \$\$ 1-Pentadecene (CAS) \$\$ Pentadec-1- 1-Pentadecene (CAS) \$\$ Pentadec-1-	96268 96252 96249	022681-52-3 013360-61-7 013360-61-7	93 91 90
60	18.45	0.22	C:\DATABASE\WILEY275.L Cyclohexene, 4-methyl- (CAS) \$\$ 4- 2,4-Hexadienal (CAS) \$\$ Sorbaldehy Cyclohexene, 1-methyl- (CAS) \$\$ 1-	5279 5104 5269	000591-47-9 000142-83-6 000591-49-1	47 47 47
61	18.66	0.20	C:\DATABASE\WILEY275.L 2-(2'-Methyl-1'-propenyl)-1-vinylc 1,6-Octadiene, 2,7-dimethyl- (CAS) 3,4-Nonadiene (CAS)	37737 26672 16923	091531-48-5 040195-09-3 037050-03-6	59 53 53
62	19.20	0.64	C:\DATABASE\WILEY275.L n-Nonylcyclohexane \$\$ Nonylcyclohe n-Heptadecylcyclohexane \$\$ Heptade Cyclohexane, undecyl- (CAS) \$\$ Und	96279 194631 124585	002883-02-5 019781-73-8 054105-66-7	87 80 80
63	19.66	0.38	C:\DATABASE\WILEY275.L 1H-Indene, octahydro-5-methyl- (CA 1-Dodecyne (CAS) \$\$ 1-C12H22 1-pentadecyne \$\$ 1-Penatdecyne	26831 51701 94206	019744-64-0 000765-03-7 000765-13-9	72 53 52
64	19.70	0.36	C:\DATABASE\WILEY275.L Cyclododecene, (Z)- (CAS) \$\$ (Z)-C Cyclododecene, (E)- (CAS) \$\$ (E)-C 7(E)-DODECENYL ACETATE \$\$ 7-Dodece	51744 51746 112510	001129-89-1 001486-75-5 016695-41-3	87 87 86
65	19.84	0.66	C:\DATABASE\WILEY275.L 3-Hexadecene, (Z)- (CAS) \$\$ cis-3- 3-Hexadecene, (Z)- (CAS) \$\$ cis-3- Cyclohexadecane (CAS)	110849 110848 110868	034303-81-6 034303-81-6 000295-65-8	99 98 92
66	19.98	0.57	C:\DATABASE\WILEY275.L 7-Hexadecene, (Z)- (CAS) 9-Octadecene, (E)- (CAS) 1-Pentadecene (CAS) \$\$ Pentadec-1-	110850 137623 96249	035507-09-6 007206-25-9 013360-61-7	99 91 91
67	20.15	0.50	C:\DATABASE\WILEY275.L 1-Hexadecene (CAS) \$\$ Cetene \$\$ 1- 1-Hexadecene (CAS) \$\$ Cetene \$\$ 1- 1-Heptadecene (CAS) \$\$ Hexahydroap	110844 110840 124594	000629-73-2 000629-73-2 006765-39-5	99 99 99
68	20.33	0.61	C:\DATABASE\WILEY275.L Hexadecane (CAS) \$\$ n-Hexadecane \$ Hexadecane (CAS) \$\$ n-Hexadecane \$ HEXADECANE	112855 112851 112890	000544-76-3 000544-76-3 000000-00-0	98 97 97
69	21.91	0.38	C:\DATABASE\WILEY275.L 1,13-Tetradecadiene (CAS) 6(Z),9(E)-Heptadecadiene 1,13-Tetradecadiene (CAS)	78994 122442 78993	021964-49-8 000000-00-0 021964-49-8	91 89 89

Lampiran 47

(Data Analisis GCMS, lanjutan)

70	22.10	3.15	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			8-Heptadecene	124603	002579-04-6	99	
			Heptadec-8-ene	124600	000000-00-0	98	
			8-Heptadecene	124604	054290-12-9	98	
71	22.23	2.30	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			8-Heptadecene	124603	002579-04-6	99	
			8-Heptadecene	124604	054290-12-9	98	
			Heptadec-8-ene	124600	000000-00-0	98	
72	22.40	0.27	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			1-Heptadecene (CAS) \$\$ Hexahydroap	124591	006765-39-5	99	
			1-Heptadecene (CAS) \$\$ Hexahydroap	124595	006765-39-5	98	
			8-Heptadecene	124603	002579-04-6	95	
73	22.57	1.24	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			Heptadecane (CAS) \$\$ n-Heptadecane	126478	000629-78-7	98	
			Heptadecane (CAS) \$\$ n-Heptadecane	126471	000629-78-7	98	
			Heptadecane (CAS) \$\$ n-Heptadecane	126476	000629-78-7	97	
74	26.78	0.81	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			2-Heptadecanone (CAS)	139374	002922-51-2	98	
			2-Tridecanone (CAS) \$\$ Methyl unde	83379	000593-08-8	78	
			2-Tridecanone (CAS) \$\$ Methyl unde	83374	000593-08-8	64	
75	27.24	0.20	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			Hexadecanoic acid, methyl ester (C	153629	000112-39-0	99	
			Hexadecanoic acid, methyl ester (C	153619	000112-39-0	98	
			Hexadecanoic acid, methyl ester (C	153621	000112-39-0	98	
76	30.86	0.15	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			9-Octadecenoic acid, methyl ester	175229	002462-84-2	99	
			9-Octadecenoic acid, methyl ester,	175241	001937-62-8	99	
			10-Octadecenoic acid, methyl ester	175246	013481-95-3	99	
77	33.43	0.18	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			9-Nonadecene	150258	000000-00-0	97	
			Cyclotetracosane (CAS)	203771	000297-03-0	96	
			1-Nonadecene (CAS)	150251	018435-45-5	94	
78	33.47	0.33	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			9-Nonadecene	150258	000000-00-0	98	
			1-Hexadecene (CAS) \$\$ Cetene \$\$ 1-	110840	000629-73-2	96	
			Cyclotetracosane (CAS)	203771	000297-03-0	95	
79	34.45	0.32	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			13-Hexacosyne (CAS) \$\$ HEXACOSYNE-	218292	034291-68-4	94	
			cis-11-Hexadecen-1-yl acetate	163745	000000-00-0	90	
			11-Hexacosyne (CAS) \$\$ HEXACOSYNE-	218293	034291-69-5	87	
80	35.03	0.16	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			10-Nonadecanone \$\$ Di-n-nonyl keto	163838	000504-57-4	60	
			10-Nonadecanone \$\$ Di-n-nonyl keto	163837	000504-57-4	58	
			10-Nonadecanone \$\$ Di-n-nonyl keto	163836	000504-57-4	52	
81	39.05	0.22	C:\DATABASE\WILEY275.L				
			2-HYDROXY-6,2'-DIETHYLAZOBENZENE \$	139162	064287-85-0	87	
			1-Mercapto-2-heptadecanone	167042	076078-79-0	52	
			1-Mercapto-2-heptadecanone	167041	076078-79-0	52	