



TESIS - TK185401

KONVERSI MINYAK NYAMPLUNG (*Callophyllum Inophyllum L.*) MENJADI *BIOFUEL* DENGAN PROSES HYDROCRACKING MENGGUNAKAN KATALIS $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

**ELVA FEBRIYANTI
02211850010013**

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd

Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020



TESIS-TK185401

**KONVERSI MINYAK NYAMPLUNG (*Callophyllum
Inophyllum L.*) MENJADI *BIOFUEL* DENGAN PROSES
HYDROCRACKING MENGGUNAKAN KATALIS $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$**

ELVA FEBRIYANTI
02211850010013

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNOLOGI PROSES
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

Di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

ELVA FEBRIYANTI

NRP: 02211850010013

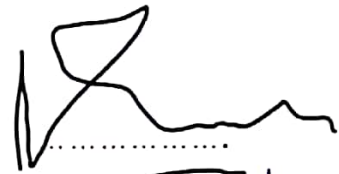
Tanggal Ujian: 6 Agustus 2020

Periode Wisuda: September 2020

Disetujui Oleh:

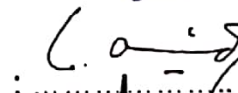
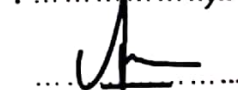
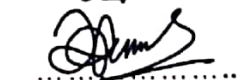
Pembimbing:

1. Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
NIP: 1950 04 28 1979 03 1002
2. Prof. Dr. Ir. Danawati Hari P, M.Pd


.....
Danawati
.....

Penguji

1. Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA
NIP: 1958 06 12 1984 03 1003
2. Firman Kurniawansyah, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D
NIP: 1977 05 29 2003 12 1002
3. Hikmatun Ni'mah, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP: 1984 10 10 2009 12 2006


:

:

:



Kepala Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem


Dr. Widiyastuti, S.T., M.T.

NIP: 1975 03 06 2002 12 2002

**KONVERSI MINYAK NYAMPLUNG (*Callophyllum Inophyllum L.*)
MENJADI BIOFUEL DENGAN PROSES HYDROCRACKING
MENGUNAKAN KATALIS NiMo/ γ -Al₂O₃**

Nama Mahasiswa : Elva Febriyanti
NRP : 02211850010013
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
Co-Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd

ABSTRAK

Keterbatasan bahan bakar fosil sebagai salah satu sumber energi yang tidak dapat diperbarui di Indonesia menjadikan wacana untuk menciptakan sumber alternatif dan terbarukan. Penelitian ini mempelajari pengaruh temperatur reaksi pada proses *hydrocracking* dari minyak nyamplung menjadi biofuel berdasarkan parameter konversi dan selektivitas dari komponen produk *biofuel*, serta mempelajari kinetika reaksi proses *hydrocracking* minyak nyamplung tersebut. Penelitian dilakukan dalam dua tahap yaitu preparasi katalis dan proses *hydrocracking* minyak nyamplung. Katalis γ -Al₂O₃ dipreparasi terhadap logam Ni dan Mo menggunakan metode *dry impregnation* (impregnasi kering) selanjutnya dikarakterisasi dengan *Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy* (EDX) menunjukkan bahwa kadar pada γ -Al₂O₃ (8,78 wt%) dan logam Ni (1,47 wt%), Mo (1,44 wt%), untuk luas permukaan dari γ -Al₂O₃ diperoleh dari analisa *Brunauer Emmet Teller* (BET) yaitu 120.765 – 185.491 m².g⁻¹ dan ukuran pori rata-rata adalah 0,229 cc/g. Reaksi *hydrocracking* dilaksanakan di dalam reaktor *batch* berpengaduk (Model 4563 *Parr Instrument Company*, ukuran 600 ml) yang diisi katalis sebanyak 10% dari volume minyak dan reaktor dilapisi dengan elemen pemanas. Kemudian minyak nyamplung sebanyak 300 ml dimasukkan ke dalam reaktor *batch*. Variasi temperatur antara 300 – 350°C, tekanan reaktor 10 bar setelah dialiri gas H₂ dan waktu reaksi 2 jam. Performa katalis terbaik yaitu pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% rasio 1:1 dengan konversi tertinggi yang dihasilkan sebesar 97,18% dan yield maksimum diperoleh pada produk gasoil sebesar 81.53%, dan konversi tertinggi pada gasoil sebesar 43.25% pada temperatur 350°C. Selektivitas *bio-gasoline*, *bio-kerosene*, dan *bio-gasoil* tertinggi sebesar 1,25%, 6,07%, dan 92,68% dengan menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% rasio 1:2 pada temperatur 350 °C. Komposisi utama senyawa dalam fraksi *bio-gasoil* meliputi *n-paraffin* yaitu *pentadecane* (C₁₅), *heptadecane* (C₁₇), dan *hexadecane* (C₁₆), kenaikan temperatur terlihat dapat mengurangi senyawa asam karboksilat dan *oxygenated compounds* lainnya. Model kinetika reaksi *hydrocracking* minyak nyamplung pada penelitian ini mengikuti reaksi orde satu pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% dengan dengan nilai k yang merupakan nilai slope dari regresi linier sebesar 0,02/menit atau sebagaimana ditulis 0.066/(menit.gram catalyst). Dan nilai R² sebesar 0,9877.

Kata kunci: *hydrocracking*, minyak nyamplung, *biofuel*, katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃

**CONVERSION OF NYAMPLUNG OIL (*Callophyllum Inophyllum L.*) TO
BIOFUEL WITH HYDROCRACKING PROCESS USING
NiMo/ γ -Al₂O₃ CATALYST**

By : Elva Febriyanti
Student Identity Number : 02211850010013
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
Co-Supervisor : Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd

Abstract

The limitations of fossil fuels as one of the non-renewable energy sources in Indonesia make the discourse to create alternative and renewable sources. This research studies the effect of reaction temperature on the hydrocracking process of nyamplung oil into biofuel based on conversion parameters and component selectivity of biofuel products, as well as studying the reaction kinetics of the nyamplung oil hydrocracking process. The research was conducted in two stages, namely the catalyst preparation and the nyamplung oil hydrocracking process. The γ -Al₂O₃ catalyst was prepared for Ni and Mo metals using the dry impregnation method and then characterized by Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy (EDX) showing that the levels in γ -Al₂O₃ (8,78 wt%) and Ni metals (1,47 wt%), Mo (1,44 wt%), for the surface area of γ -Al₂O₃ obtained from the Brunauer Emmet Teller (BET) analysis, which is 120,765-185,491 m².g⁻¹ and the average pore size is 0.229 cc/g. The hydrocracking reaction is carried out in a stirred batch reactor (Model 4563 Parr Instrument Company, 600 ml size) which is a catalyst by 10% of the volume of oil and the reactor is coated with a heating element. Then 300 ml nyamplung oil is put into a batch reactor. Temperature variations between 300-350°C, reactor pressure 10 bar after gas H₂ injected and the reaction time is 2 hours. The best performance of the catalyst is the NiMo/ γ -Al₂O₃ catalyst 15% with a 1: 1 ratio with the highest conversion produced at 97.18% and the maximum yield obtained for gasoil products of 81.53%, and the highest conversion at gasoil of 43.25% at 350°C. The highest selectivity of bio-gasoline, bio-kerosene, and bio-gasoil was 1,25%, 6,07%, and 92,68% using a NiMo/ γ -Al₂O₃ catalyst of 15% 1:2 ratio at 350 °C. The main composition of compounds in the bio-gasoil fraction includes n-paraffin, namely pentadecane (C₁₅), heptadecane (C₁₇), and hexadecane (C₁₆), an increase in temperature seems to reduce carboxylic acid compounds and other oxygenated compounds. The kinetic model of the nyamplung oil hydrocracking reaction in this study followed a first-order reaction on a 15% NiMo/ γ -Al₂O₃ catalyst with a k value which was the slope value of the linear regression of 0.02/minute or as written 0.066 / (minute.gram catalyst). And the R² value is 0.9877.

Keywords: hydrocracking, nyamplung oil, biofuel, NiMo/ γ -Al₂O₃ catalyst.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahrabbi'alamiin,

Thesis yang berjudul **Konversi Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*) Menjadi Biofuel dengan Proses Hydrocracking Menggunakan Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃** telah selesai disusun. Adapun thesis ini merupakan salah satu syarat dalam rangka menyelesaikan pendidikan S2 di Departemen Teknik Kimia FTIRS-ITS. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA dan ibu Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd., selaku dosen pembimbing yang selalu sabar, penuh pengertian dan memberikan kepercayaan sepenuhnya kepada penulis selama proses studi, penelitian hingga penulisan thesis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA., Firman Kurniawansyah, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D., dan ibu Hikmatun Ni'mah, S.T., M.Sc., Ph.D selaku tim dosen penguji yang telah memberikan saran selama proses ujian hasil sehingga penulis dapat menyusun thesis ini.
3. Untuk Alm. ayahanda, ibunda dan kakak saya tercinta yang selalu memberikan semangat, dan menyisipkan doa untuk penulis sehingga Allah Subhanahu Wa Ta'ala memberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan studi dan menyusun thesis ini.
4. Rekan-rekan anggota grup riset laboratorium (yaitu: Afrida N Aini, Aryelvia, Aldilla Bayu, Eka, dan Ibu Izza) yang telah banyak membantu dan mendukung penulis, dan semua teman di Laboratorium Proses Reaksi Kimia dan Konversi Biomassa yang selalu memberikan semangat dan bantuan.

Dengan ini penulis sangat mengharapkan saran yang membangun untuk penyempurnaan penelitian ini selanjutnya. Besar harapan kami semoga buku thesis ini dapat memberikan kontribusi bagi ilmu pengetahuan.

Surabaya, Agustus 2020
Penyusun,

Elva Febriyanti

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR NOTASI	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	4
I.3 Tujuan Penelitian.....	4
I.4 Manfaat Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Permasalahan Energi di Indonesia.....	7
2.2 Bahan Bakar Minyak (BBM).....	8
2.2.1 Bensin (gasoline).....	9
2.2.2 Minyak Tanah	11
2.2.3 Bahan Bakar Diesel.....	11
2.3 Minyak Nyamplung (<i>Callophyllum Inophyllum L.</i>).....	11
2.4 Perengkahan (<i>Cracking</i>) Minyak Nabati.....	14
2.4.1 Mekanisme Reaksi Pada Hydroprocessing <i>Biofuel</i>	15
2.4.2 Perengkahan Hidro (<i>HydrocrackIng</i>).....	16
2.5 Mekanisme Reaksi <i>Hydrocracking</i> Trigliserida	20
2.6 Katalis Pada Proses <i>Hydrocracking</i>	22
2.6.1 Preparasi Katalis.....	24
2.6.2 Karakterisasi Katalis.....	25
2.7 Alumina (Al_2O_3).....	26
2.7.1 Gamma-Alumina ($\gamma-Al_2O_3$).....	27
2.8 Logam dalam Gamma-Alumina ($\gamma-Al_2O_3$).....	28
2.8.1 Logam Ni.....	28
2.8.2 Logam Molibdenum.....	29
2.8.3 Katalis NiMo/ $\gamma-Al_2O_3$	30

2.9 Penelitian Terdahulu	32
2.10 Model Kinetika Reaksi <i>Hydrocracking</i>	32
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 Bahan dan Alat	38
3.3.1 Bahan	38
3.3.2 Alat	39
3.2 Kondisi Operasi dan Variabel Penelitian	41
3.2.1 Variabel Tetap	42
3.2.2 Variabel Berubah	42
3.3 Parameter yang Dianalisa	43
3.3.1 Bahan Baku Minyak Nyamplung	43
3.3.2 Katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃	43
3.3.3 Produk Hidrokarbon (<i>Biofuel</i>)	43
3.4 Prosedur Penelitian	43
3.4.1 Pretreatmen Minyak Nyamplung	43
3.4.2 Uji FFA Minyak Nyamplung	43
3.4.3 Pembuatan Katalis	45
3.4.4 Karakterisasi Katalis	47
3.4.5 Proses <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung Menjadi <i>Biofuel</i>	48
3.4.6 Analisa Produk Hidrokarbon Cair	50
3.4.7 Metodologi Kinetika Reaksi Minyak Nyamplung	50
3.4.8 Perhitungan Yield Produk	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Persiapan Bahan	52
4.1.1 Persiapan Bahan Baku Minyak Nyamplung	53
4.2 Preparasi Katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃	58
4.3 Karakterisasi Katalis γ -Al ₂ O ₃ dan NiMo/ γ -Al ₂ O ₃	60
4.3.1 Karakterisasi Katalis Melalui BET	60
4.3.2 Analisis Metode <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	62
4.4 Produk <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung	64
4.4.1 Analisa GC-MS Bahan Bakar Komersial SPBU	64
4.4.2 Hasil Analisa GC-MS Produk <i>Biofuel</i> dari Minyak Nyamplung	67

4.4.3 Pengaruh Katalis Terhadap Komposisi Hidrokarbon dari <i>Biofuel</i> Pada Proses <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung.....	76
4.4.4 Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Konversi Produk <i>Biofuel</i> Pada Proses <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung.....	79
4.4.5 Pengaruh Rasio dan <i>loading</i> Logam Katalis Terhadap Yield dan Selektivitas Produk <i>Biofuel</i>	81
4.4.6 Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Selektivitas <i>Biofuel</i>	86
4.5 Model Kinetika Reaksi <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung Pada Katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃	87
BAB V KESIMPULAN	43
DAFTAR PUSTAKA	IX
APPENDIKS A	A-1
APPENDIKS B	B-1
APPENDIKS C	C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Konsumsi Energi Nasional	8
Gambar 2.2 Minyak Nyamplung, Biji, dan Pohon Nyamplung.....	13
Gambar 2.3 Tahap Mekanisme Proses <i>Hydrotreating</i> Trigliserida	16
Gambar 2.4 Mekanisme Reaksi <i>Hydrocracking</i> Trigliserida	18
Gambar 2.5 Skema Dua Jalur Menghilangkan Oksigen dari Tg	19
Gambar 2.6 Reaksi Pada Proses <i>Hydrocracking</i>	21
Gambar 2.7 Bagan Fungsi Katalis <i>Hydrocracking</i>	23
Gambar 2.8 Urutan Transformasi Termal Alumina	26
Gambar 2.9 Dua Lapis Pertama Struktur γ -Al ₂ O ₃	27
Gambar 2.10 Mekanisme Katalisis Heterogen Pada Reaksi Hidrogenasi	29
Gambar 2.11 Jalur Reaksi Hidrogenasi Trigliserida	33
Gambar 2.12 Model Kinetika Reaksi Konversi Trigliserida	34
Gambar 2.13 Model Kinetika dari Reaksi <i>Hydrocracking</i>	35
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahap Proses Penelitian	38
Gambar 3.2 Peralatan Kalsinansi	40
Gambar 3.3 Peralatan Proses <i>Hydrocracking</i>	41
Gambar 3.4 Diagram Alir Prosedur Preparasi γ -Al ₂ O ₃	44
Gambar 3.5 Diagram Alir Prosedur Preparasi Katalis Ni-Mo/ γ -Al ₂ O ₃	45
Gambar 3.6 Diagram Alir Proses <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung	46
Gambar 3.7 Diagram Alir Prosedur Preparasi Katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃	47
Gambar 3.8 Diagram Alir Prosedur Proses <i>Hydrocracking</i>	50
Gambar 4.1 Proses <i>Degumming</i> Minyak Nyamplung	54
Gambar 4.2 Perbedaan Hasil Minyak Nyamplung Sebelum dan Sesudah <i>Degumming</i>	54
Gambar 4.3 Spektra GC-MS Minyak Nyamplung Setelah <i>Degumming</i>	56
Gambar 4.4 Spektra GC_MS Minyak Nyamplung Tidak di <i>Degumming</i>	57
Gambar 4.5 Tahapan Preparasi Katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃	60
Gambar 4.6 Difaktogram Katalis γ -Al ₂ O ₃	63
Gambar 4.7 Difaktogram XRD Katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃	63
Gambar 4.10 Kromatogram GCMS Bahan Bakar Komersial Bensin	65
Gambar 4.11 Kromatogram GCMS Bahan Bakar Komersial Kerosen	66
Gambar 4.12 Kromatogram GCMS Bahan Bakar Komersial <i>Gasoil</i> (solar)	66

Gambar 4.13 Langkah-langkah Hydrotreating Trigliserida dalam Minyak Nyamplung Menggunakan Katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃	68
Gambar 4.14 Spektra GCMS Menggunakan Katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ 15% (1:1) dan (1:2) pada Temperatur 300 °C	70
Gambar 4.15 Spektra GCMS Menggunakan Katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ 15% (1:1) dan (1:2) pada Temperatur 350 °C	72
Gambar 4.16 Spektra GCMS Menggunakan Katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ 10% (1:2) dan γ -Al ₂ O ₃ Pada Temperatur 350 °C	73
Gambar 4.17 Spektra GCMS Menggunakan Katalis Katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ 10% pada Temperatur 300 °C	75
Gambar 4.18 Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Komposisi Hidrokarbon NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ loading logam 15% selama 2 jam	76
Gambar 4.19 Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Komposisi Hidrokarbon dengan menggunakan katalis γ -Al ₂ O ₃ selama 2 jam.	77
Gambar 4.20 Gambar 4.19 Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Komposisi Hidrokarbon dengan menggunakan katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ dan loading logam 10% selama 2 jam	78
Gambar 4.21 P Pengaruh katalis γ -Al ₂ O ₃ (murni) dan NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ terhadap konversi total produk biofuel pada proses <i>hydrocracking</i>	79
Gambar 4.22 Pengaruh temperatur reaksi terhadap konversi masing-masing produk biofuel menggunakan katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ 10% dan (b) NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ 15%	80
Gambar 4.23 Pengaruh rasio dan <i>loading</i> logam terhadap yield produk menggunakan katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ pada temperatur 300 °C	81
Gambar 4.24 Pengaruh rasio dan <i>loading</i> logam terhadap yield produk menggunakan katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ pada temperatur 350 °C	82
Gambar 4.25 Pengaruh rasio dan <i>loading</i> terhadap selektivitas produk menggunakan katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ pada temperatur 300 °C	83
Gambar 4.26 Pengaruh rasio dan <i>loading</i> logam terhadap selektivitas produk menggunakan katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ pada temperatur 350 °C	84
Gambar 4.27 Pengaruh temperatur terhadap selektivitas produk biofuel dengan menggunakan katalis γ -Al ₂ O ₃	85
Gambar 4.28 Grafik hubungan antara selektivitas produk gasolin terhadap waktu reaksi pada katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ loading 10% dan 15%	86
Gambar 4.29 Model kinetika reaksi untuk konversi trigliserida	88
Gambar 4.30 Grafik hubungan antara $-\ln(1-X_{Tg})$ terhadap waktu	90

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Konsumsi BBM dalam Negeri.....	1
Tabel 2.1 Analisis Elementer Minyak Bumi.....	9
Tabel 2.2. Standar Mutu BBM Jenis RON 88.....	10
Tabel 2.3 Sifat Fisika dan Kimia Minyak Nyamplung	13
Tabel 2.4 Kandungan Asam Lemak Minyak Nyamplung.....	14
Tabel 2.5 Sifat Fisik Biodiesel dari Beberapa Minyak Nabati	14
Tabel 2.6 Perbandingan Proses Perengkahan.....	15
Tabel 2.7 Properti Element Molibdenum.....	30
Tabel 4.1 Komposisi Asam Lemak Minyak Nyamplung Sebelum dan Setelah <i>Degumming</i> Pada Hydrocracking.....	55
Tabel 4.2 Sifat Fisika dan Kimia Minyak Nyamplung Sebelum dan Setelah <i>Degumming</i>	57
Tabel 4.3 Sifat Katalis γ -Al ₂ O ₃ dan NiMo/ γ -Al ₂ O ₃	60
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Analisa GCMS Minyak Nyamplung Menggunakan Katalis γ -Al ₂ O ₃ dan NiMo/ γ -Al ₂ O ₃	75
Tabel 4.5 Jumlah Selektivitas Produk Gasolin Terhadap Waktu Reaksi.....	88

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

r_{Tg}	: laju reaksi pada trigliserida
t	: waktu, menit
T	: temperatur. °C
X_{Tg}	: fraksi konversi asam karboksilat
k	: konstanta kecepatan reaksi k_1, k_2, k_3 , (konsentrasi) ⁽¹⁻ⁿ⁾ (waktu) ⁻¹
S	: surface area
t_{max}	: waktu maksimum
FFA	: asam lemak bebas (%)
η	: viskositas dinamik (g/cm.s) atau (cP)
V_k	: viskositas kinematik (m ² /s) atau (cSt)
ρ	: massa jenis (g/mL)
ρ_{minyak}	: densitas minyak gram/ml
BBM	: Bahan Bakar Minyak
Ni	: Nickel
Mo	: Molybdenum
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$: Aluminium oxide anhydrous atau gamma-alumina/(γ -alumina)
BET	: <i>Brunauer Emmet Teller</i>
BJH	: <i>Barrett-Joyner-Halenda</i>
SEM	: <i>Scanning Electron Microscopy</i>
XRD	: <i>X-Ray Diffraction</i>
EDX	: <i>Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy</i>
GC-MS	: <i>Gas Chromatography Mass Spectrometry</i>
RT	: <i>Retention Time</i>
$\frac{dC_A}{dt}$: Laju konsentari reaktan A
C_A	: konsentrasi A
C_{A0}	: konsentrasi mula-mula reaktan A

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengan tingkat kehidupannya. Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Ini terjadi di semua sektor yang meliputi sektor industri, transportasi, komersial, dan rumah tangga. Sektor transportasi adalah salah satu sektor terbesar dalam mengkonsumsi energi dibandingkan dengan sektor lain yang masih bergantung pada bahan bakar fosil (Kementerian ESDM, 2018). Bahan bakar minyak (BBM) memegang posisi yang sangat dominan dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Komposisi konsumsi energi nasional saat ini adalah BBM : 52,50%; Gas: 19,04%; Batubara: 21,52%; Air:3,73%; Panas Bumi: 3,01%; dan Energi Baru: 0,2%. Kondisi demikian terjadi sebagai akibat dari kebijakan subsidi masa lalu terhadap bahan bakar minyak dalam upaya memacu percepatan pertumbuhan ekonomi (Kholiq, 2015). Konsumsi BBM di Indonesia yang semakin meningkat pada tahun 2006 s.d. 2014 dipengaruhi oleh semakin meningkatnya belanja subsidi BBM setiap tahun. Konsumsi BBM pada tahun 2018 sebanyak 74 KL. Berdasarkan data, jenis solar dan bensin (Tabel 1.1).

Tabel 1.1. Konsumsi BBM dalam negeri

Jenis Bahan Bakar	Jumlah (kilo Liter)
Minyak Solar/Gas Oil/ADO/HSD	34.047.721,49
Minyak Bensin RON 88	29.707.001,74
Kerosen	2.807.844,00
Minyak Diesel/ Diesel Oil/IDO/MDF	25.792.336,60
Industri Diesel Oils (IDO)	154.472,00
Avgas	3.808,18
Avtur	5.717.729,22
Pertamax	660.968,90
Minyak Bakar	1.973.903,41

Sumber: Ditjen Migas, 2018

Pemakaian BBM cenderung meningkat setiap tahunnya sehingga mengakibatkan cadangan BBM mulai berkurang. Peningkatan konsumsi bahan bakar minyak (BBM) saat ini, baik bensin, minyak tanah (*kerosene*) maupun minyak solar (*diesel oil*), seiring dengan penurunan produksi kegiatan eksplorasi

minyak bumi nasional mendorong upaya pencarian bahan bakar alternatif sebagai pengganti suplai energi berbasis minyak bumi. Maka dari itu, Pemerintah mengeluarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 12 tahun 2012, tentang pembatasan penggunaan jenis bahan bakar jenis bensin (Gasoline) RON 88 dan Minyak Solar (Gas Oil) untuk sektor transportasi (Arun et al., 2015). Sehingga upaya yang dilakukan pemerintah untuk mengatasi krisis energi yaitu mengembangkan bahan bakar yang bersumber dari sumber daya terbarukan, dan mengembangkan bahan bakar dari sumber daya energi baru.

Salah satu bahan bakar alternatif yang paling menjanjikan adalah *biofuel*. *Biofuel* didefinisikan sebagai bahan bakar padat, cair atau gas yang berasal dari substrat biomassa sebagai bahan baku terbarukan atau mudah terbakar, dan dapat digunakan sebagai (parsial) pengganti bahan bakar fosil. Produksi biofuel telah menarik banyak perhatian karena kenaikan harga minyak bumi dan permintaan energi di tingkat dunia, penurunan cadangan minyak bumi, dan kekhawatiran tentang masalah lingkungan yang terkait dengan emisi gas rumah kaca. Banyak ilmuwan mulai meneliti untuk mencari jenis energi yang terbaru saat ini, mudah dan ramah lingkungan untuk menggantikan sumber energi yang tersedia saat ini, yaitu penggunaan minyak nabati yang diubah menjadi biodiesel dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi (Leung et al., 2010), menghasilkan alkil ester biodiesel. Oleh sebab itu, minyak nabati non pangan saat ini mulai dikembangkan sebagai bahan bakar nabati seperti bio-hidrokarbon (*biofuel*).

Latar belakang dari pengembangan tanaman nyamplung karena memiliki prospek yang cukup baik. Keunggulan pohon nyamplung mempunyai tegakannya cukup luas, mudah dibudidayakan, rendemen minyak dari bijinya cukup tinggi, dan biodiesel yang dihasilkannya sesuai dengan SNI. Satu liter minyak nyamplung dapat dihasilkan dari 2-2,5 kg biji nyamplung (Leksono et al., 2014). Komponen asam lemak yang terdapat dalam minyak nyamplung terdiri atas : palmitat, stearat, oleat, dan linoleat. Kandungan asam lemak ini dapat dikonversi menjadi *biofuel*. Minyak nyamplung memiliki warna cokelat kehijauan dan kental beraroma menyengat dan beracun sehingga tidak layak untuk dikonsumsi manusia (Ayodele et al., 2015). Konversi minyak nyamplung menjadi *biofuel* telah dilakukan oleh

Peneliti sebelumnya melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi (Hathurusingha et al., 2011). Kekurangan proses ini adalah metode pemurnian (*purification*) yang cukup rumit serta produk yang dihasilkan hanya satu jenis yakni biodiesel. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengembangan proses yang telah dikenal pada pemurnian minyak bumi yaitu proses *hydrocracking*. Serta produk yang dihasilkan dari proses *hydrocracking* memiliki kualitas tinggi (*high quality*), sebab gas hidrogen yang digunakan dapat merubah ikatan rangkap hidrokarbon menjadi ikatan jenuh.

Pada reaksi *hydrocracking*, katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ memiliki aktivitas yang tinggi dalam proses *hydrocracking*. Logam Ni selektif terhadap reaksi *hydrocracking*, sedangkan logam Mo memiliki selektivitas yang tinggi terhadap reaksi hidredeoksigenasi (Pertiwi et al., 2007). Pada penelitian ini digunakan katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃. Katalis Ni-Mo berpenyangga γ -Al₂O₃ memiliki kekuatan asam dan mekanik yang tinggi sehingga digunakan dalam proses *catalytic cracking*, dan *hydrotreating* (Ulfah & Subagjo, 2016)

Penelitian oleh (Rismawati rasyid, 2016), proses *hydrocracking* minyak nyamplung menggunakan katalis Co/Mo yang diimpregnasi ke dalam support SiO₂ dan γ -Al₂O₃ mampu mengkonversi asam lemak jenuh dan tak jenuh menjadi hidrokarbon C₁₂-C₁₈ dan C₅-C₁₁. Berdasarkan uji aktivitas katalis menunjukkan hasil yang terbaik yakni Co/Mo (1,23/3,22)/ γ -Al₂O₃ dengan yield kerosen (70%) dan gasoline (30%).

Penelitian yang dilakukan oleh (Savitri et al., 2015) menyatakan bahwa, katalis NiMo/Al₂O₃ yang digunakan pada proses *hydrocracking* minyak nyamplung dapat mengubah minyak sayur seluruhnya dari *Callophyllum innophyllum* L. menjadi n-paraffin (C₁₀-C₁₉) melalui proses *hydrocracking*, sedangkan NiMo/H-ZSM dapat memecahkan minyak sayur menjadi komponen gasolien dan n-parafin (C₁₀-C₁₉).

Metode preparasi katalis pada penelitian ini adalah katalis berbasis NiMo dengan support gamma-Al₂O₃. Tipe katalis yang diperoleh diharapkan dapat meningkatkan aktivitas, selektivitas dan stabilitas dari katalis tersebut guna meningkatkan *yield biofuel* melalui proses *hydrocracking*. Disamping itu, proses

konversi minyak nyamplung telah dikembangkan melalui reaksi *hydrocracking* sehingga produk yang dihasilkan terdiri atas gasoline, kerosin dan gasoil.

1.2 Perumusan Masalah

Latar belakang yang telah diuraikan memberikan informasi tentang proses konversi minyak nyamplung menjadi *biofuel*, sehingga dapat dijelaskan dalam bentuk perumusan masalah:

1. Bagaimana karakteristik katalis berbasis *Nickel* (Ni), dan *Molybdenum* (Mo) berpeyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang meliputi luas permukaan dan volume pori melalui metode *dry impregnation*
2. Bagaimana kinerja katalis melalui pengaruh temperatur operasi pada proses *hydrocracking* minyak nyamplung (*Callophyllum innophyllum L.*) untuk menghasilkan *biofuel* terhadap yield, konversi dan selektivitas produk *biofuel*.
3. Bagaimana kinetika reaksi proses *hydrocracking* minyak nyamplung menjadi *biofuel* dengan menggunakan katalis NiMo/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mempelajari karakterisasi katalis berbasis *Nickel* (Ni), dan *Molybdenum* (Mo) berpeyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ berdasarkan parameter luas permukaan, volume pori serta kristalinitas dari tipe katalis yang terbentuk menggunakan metode *dry impregnation*.
2. Mempelajari pengaruh temperatur reaksi pada proses *hydrocracking* dari minyak nyamplung (*Callophylluminnophyllum L.*) menjadi *biofuel* berdasarkan parameter yield, konversi dan selektivitas dari komponen produk *biofuel*.
3. Mempelajari kinetika reaksi proses *hydrocracking* minyak nyamplung menjadi *biofuel* pada katalis NiMo/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Memperoleh karakteristik katalis berbasis *Nickel* (Ni), dan *Molybdenum* (Mo) berpeyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ melalui metode *dry impregnation* yang akan digunakan untuk membantu proses *hydrocracking* minyak nyamplung menjadi *biofuel*.
2. Memperoleh komposisi *biofuel* yang dihasilkan menggunakan proses *hydrocracking* minyak nyamplung (*Callophylluminnophyllum L.*)
3. Produksi *biofuel* berbahan baku minyak nyamplung tidak menimbulkan persaingan dengan sumber bahan pangan.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II

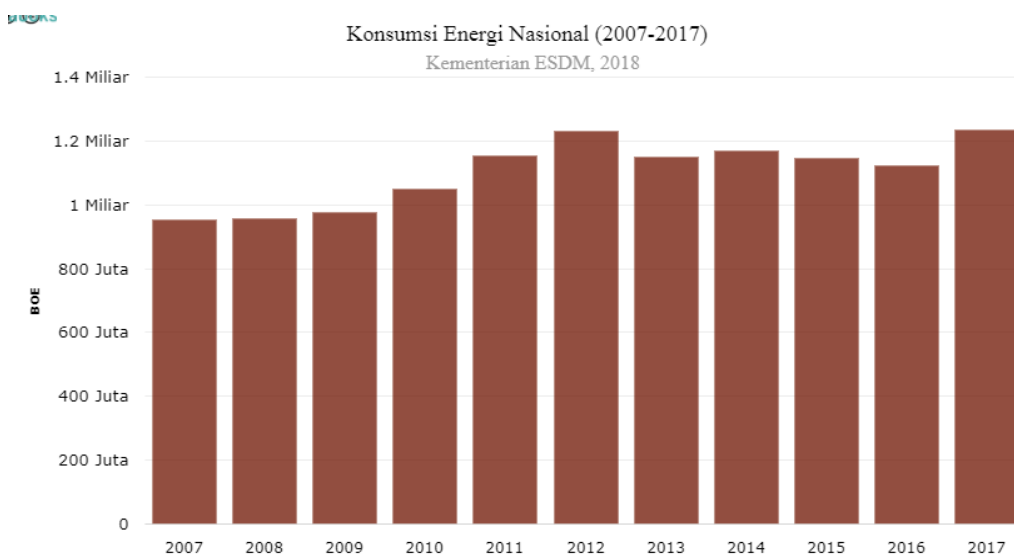
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Permasalahan Energi di Indonesia

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengan tingkat kehidupannya. Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Ini terjadi di semua sektor yang meliputi sektor industri, transportasi, komersial, dan rumah tangga. Sektor transportasi adalah salah satu sektor terbesar dalam mengkonsumsi energi dibandingkan dengan sektor lain yang masih bergantung pada bahan bakar fosil (Kementerian ESDM, 2018). Bensin, solar, dan minyak tanah adalah yang paling banyak digunakan di sektor ini. Meningkatnya permintaan bensin, solar, dan minyak tanah terus meningkat secara progresif dalam beberapa tahun terakhir (Lee et al., 2016).

Sementara itu, dominasi energi fosil (batu bara, gas, minyak bumi) dalam penyediaan energi primer masih terlihat, mendekati angka 90 persen. Bahan bakar minyak (BBM) memegang posisi yang sangat dominan dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Komposisi konsumsi energi nasional saat ini adalah BBM : 52,50%; Gas: 19,04%; Batubara: 21,52%; Air:3,73%; Panas Bumi: 3,01%; dan Energi Baru: 0,2%. Kondisi demikian terjadi sebagai akibat dari kebijakan subsidi masa lalu terhadap bahan bakar minyak dalam upaya memacu percepatan pertumbuhan ekonomi (Imam, 2015). Menurut kementerian energi dan sumber daya mineral (2018) Cadangan energi mentah Indonesia hanya dapat diproduksi atau akan habis dalam 22,99 tahun, gas selama 58,95 tahun, dan batu bara selama 82,01 tahun. Perhitungan ini menggunakan asumsi bahwa tidak ada bidang baru yang ditemukan sebagai sumber energi fosil. Cadangan energi dapat meningkat (bertahan lama) jika ladang baru ditemukan. Dari aspek konsumsi menunjukkan bahwa konsumsi energi Indonesia telah meningkat dari tahun ke tahun. Kementerian ESDM mencatat konsumsi energi Indonesia pada 2017 mencapai 1,23 miliar Barrels Oil Equivalent (BOE) naik 9% dari tahun sebelumnya. Dari jumlah tersebut yang berbentuk BBM mencapai 356,33 juta BOE atau 28,88% dari total

konsumsi. Kemudian terbesar kedua adalah dalam bentuk biomasa sebanyak 306,25 BOE atau 24,82%. Kurva konsumsi energi nasional sebagai berikut:



Gambar 2.1 Kurva Konsumsi Energi Nasional (2007-2017). Sumber: kementerian ESDM, 2018

Dengan menipisnya cadangan energi fosil di satu sisi, sementara di sisi lain konsumsi energi yang terus meningkat menjadi ancaman bagi perkembangan ekonomi Indonesia. Karena itu upaya harus dilakukan untuk mendorong pemanfaatan yang efisien dari penggunaan energi bersamaan dengan pencarian sumber energi fosil baru secara intensif dan mengembangkan energi alternatif terbarukan dari sumber daya alam yang tersedia. Oleh karena itu, kebijakan energi baru terbarukan di Indonesia menjadi prioritas utama yang dimanfaatkan di masa depan. Bauran energi nasional telah dirancang untuk terus meningkatkan pemanfaatan energi baru dan terbarukan. Seperti diketahui, bauran energi nasional 2015 terdiri dari: 39% minyak bumi, 22% gas, 29% batu bara, dan 10% EBT. Pada 2025, bauran energi nasional direncanakan menjadi 25% minyak bumi, 22% gas, 30% batu bara dan 23% EBT, dan bauran energi nasional di tahun 2050 menjadi 20% minyak bumi, 24% gas, 25% batu bara, dan 31% EBT (Afrian et al., 2017).

2.2 Bahan Bakar Minyak (BBM)

Minyak bumi memiliki komponen utama yakni hidrokarbon dengan berbagai tipe seperti *normal paraffin*, *isoparaffin*, *naphthene*, *aromatic*, *multi ring naphthene* dan *multi ring aromatic* (Ward, 1993). Paraffin memiliki rumus umum C_nH_{2n+2}

terdiri rantai lurus (normal) dan cabang (iso), kedua tipe ini memiliki perbedaan sifat fisika. Senyawa aromatik dengan jumlah atom C (5-6) : C_nH_{2n-6} dan nafta C_nH_{2n} . Produk bahan bakar dapat didefinisikan berdasarkan rantai hidrokarbon (HC) atau jumlah atom karbon (C), seperti : *Lights* (C1-C4), *Naphtha* (C5-C9), Kerosin (C10-C14), Gasoil (C15-C23), *heavy residu* (> C24), (Barrón C. et al., 2011).

Selain komponen utama, terdapat pula senyawa hetero atom hidrokarbon yang mengandung sulfur. Senyawa hetero atom hidrokarbon pada komponen minyak bumi mengakibatkan polusi udara (Hensen dkk, 2008). Kandungan sulfur tersebut adalah : *metil propil sulfide* dan *3-metil tiasiklo heksana, merkaptan, sulfida, disulfida, siklo-pentana-tial, siklo-heksana-tial, tiasiklo-heksana, tiofena, benzo-tiofena, benzo-tiofena dan di-benzo-tiofena* (Nasution et al., n.d.).

Analisis elementer minyak bumi pada **Tabel 2.1** menunjukkan senyawa yang mengandung senyawa hidrokarbon dan non-hidrokarbon seperti sulfur, nitrogen, oksigen, dan lainnya.

Tabel 2.1 Analisis elementer minyak bumi

Jenis Atom	Kadar atom % berat
Karbon	84,9 – 87,8
Hidrogen	11,0 -14,0
Sulfur	0,06 – 8,00
Nitrogen	0 – 2,0
Oksigen	0 – 0,5
Logam (Fe, V, Ni)	0 – 0,03

Sumber : Nasution dkk, 2010

Jenis bahan bakar dapat ditentukan berdasarkan jumlah atom karbon pada rantai hidrokarbon. Jumlah atom karbon 1 - 4 digolongkan kedalam gas, dan jumlah diatas 5 – 9 adalah gasolin atau bensin. Kerosin dan solar memiliki jumlah atom karbon berturut-turut 10 - 14 dan 15 - 23 (Barrón C. et al., 2011).

2.2.1 Bensin (*Gasoline*)

Gasoline atau yang sering kita sebut bensin sangat penting, terutama di zaman modern dengan mobilitas manusia yang sangat tinggi. Pentingnya bensin bagi perekonomian suatu negara sama seperti fungsi darah bagi tubuh manusia. Bio-gasoline (bio-bensin) merupakan jenis gasolin (bensin) yang terbuat dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Salah satu sumber daya alam yang

dimaksud disini adalah minyak nyamplung. Bensin adalah campuran kompleks dari senyawa hidrokarbon dengan kisaran titik didih 40-180 °C (Iqbal et al., 2014). Fraksi bensin tersusun atas hidrokarbon rantai lurus dengan rumus kimia C_nH_{2n+2} , mulai dari C5 sampai dengan C11. Di Indonesia terdapat beberapa bahan bakar jenis bensin yang mempunyai nilai mutu pembakaran berbeda. Nilai mutu jenis BBM bensin ditentukan berdasarkan nilai RON (research octane number). Premium mempunyai nilai RON sebesar 88, pertamax sebesar 92, dan pertamax plus sebesar 95 (Prihandana, dkk. 2007). Spesifik bensin dijelaskan pada **Tabel 2.2** sesuai dengan SK Dirjen Migas KEP.DJM 933.K/10/DJM.S/2013.

Tabel 2.2 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin 88

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Ujian	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain-lain
1	Bilangan oktana angka oktana riset	RON	88	-	D 2699	
2	Stabilitas oksidasi	Menit	360	-	D 525	
3	Kandungan sulfur	% m/m	-	0,05	D 2622 atau D 4294 atau D 7039	
4	Kandungan timbal (Pb)	g/l		0,013	D 3237	
5	Kandungan logam (mangan, besi)	% m/m	Tidak terlacak		D 3831 atau D 5185	UOP 391
6	Kandungan oksigen	% v/v	-	2,7	D 4815 atau D 6839 atau D 5599	
7	Kandungan olefin	% v/v	Dilaporkan		D 1319 atau D 6839 atau D 6730	
8	Kandungan aromatik	% v/v			D 1319 atau D 6839 atau D 6730	
9	Kandungan benzena				D 5580 atau D 6839 atau D 6730 atau D 3606	
10	Distilasi:	°C	-	74	D 86	
	10% vol.penguapan	°C	75	125		
	50% vol.penguapan	°C	-	180		
	90% vol.penguapan	°C	-	215		
	Titik didih akhir Residu	% vol	-	2		
11	Sedimen	mg/l	-	1	D 5452	
12	Unwashed gum	mg/100 ml	-	70	D 381	
13	Washed gum	mg/100 ml	-	5	D 381	
14	Tekanan uap	kPa	45	69	D 5191 atau D 323	
15	Berat jenis (temperatur 15 °C)	Kg/m ³	715	770	D 4052 atau D 1298	
16	Korosi bilah tembaga	Merit	Kelas 1		D 130	
17	Sulfur mercaptan	% massa	-	0,002	D 3227	
18	Penampilan visual	Jernih, terang				
19	Bau	Dapat dipasarkan				
20	Warna	Kuning				
21	Kandungan pewarna	g/100 l	-	0,013		
22	Berat jenis 15 °C	Kg/m ³	715	770		

Sumber: SK Dirjen Migas KEP.DJM 933.K/10/DJM.S/2013

Bilangan oktan pada premium, adalah perbandingan antara nilai ketukan bensin terhadap nilai ketukan dari campuran hidrokarbon standar (yaitu: n-heptana dan isooktan atau 2,2,4-trimetilpentana). Nilai ini akan berpengaruh terhadap kinerja mesin bensin, dimana semakin besar angka oktan maka kinerja mesin akan tinggi.

Proses isomerisasi nafta ringan menggunakan katalis bifungsional akan menghasilkan angka *Research Number* (RON) dan MON (*Motor Octane Number*) yang tinggi. Distribusi angka oktana yang dihasilkan baik dan sensitivitas, serta tidak mengandung olefin an hidrokarbon aromatic tak jenuh. Katalis yang telah dikembangkan diantaranya adalah zeolit, (Nasution et al., n.d.).

2.2.2 Minyak Tanah (*Kerosin*)

Kerosin adalah fraksi minyak tanah dengan titik didih 150-300°C. Kegunaan dari kerosin adalah sebagai bahan bakar lampu penerangan dan bahan bakar kompor bagi rumah tangga. Fraksi minyak ini juga memiliki titik asap yang mewakili kualitasnya. Semakin tinggi titik asapnya maka kualitas dari fraksi ini semakin baik. Spesifikasi sifat kerosin berdasarkan keputusan SK Dirjen Migas No.21 K/72/DDJm/1990 menetapkan batas minimum *flash point* 100°F dan *smoke point* 16 mm dengan *specific gravity* pada 60/60°F maksimum 0,835.

2.2.3 Bahan Bakar Diesel

Bahan bakar mesin diesel adalah fraksi minyak bumi dengan titik didih sekitar 175-370 °C. kualitas bahan bakar diesel dinyatakan dengan angka setana (*cetane number*) sebagai perbandingan antara kelambatan menyala bahan bakar diesel dengan kelambatan menyala bahan bakar pembanding (*reference fuels*). Bahan bakar pembanding menggunakan senyawa setana atau n-heksadekan (C₁₆H₃₄), (Hardjono, 2000). Bahan bakar jenis ini terdiri atas dua jenis minyak yaitu minyak solar (HSD) dan minyak diesel (MDF) (<http://www.bphmigas.go.id>).

2.3 Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*)

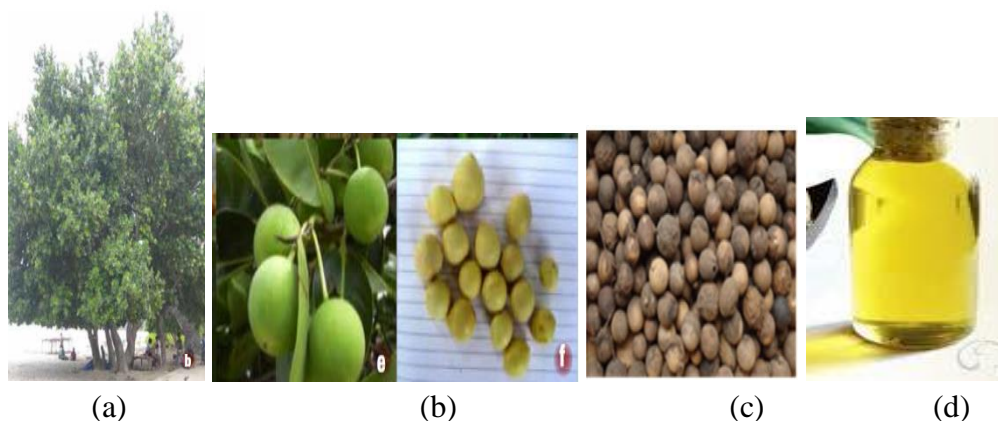
Minyak nyamplung berasal dari pohon nyamplung yang tumbuh di beberapa negara seperti : Indonesia, Malaysia, Australia, Afrika, India dan lain-lain. Nama untuk tanaman ini tiap negara memiliki nama khusus seperti : Indonesia (Nyamplung; Bintagur), Malaysia (Penaga Laut; Bintagor), India (Polanga; *Sulthan*

Campa), Papua New Guinea (*Beach Calophyllum*), English (*Alexandrian laurel*, *Borneo mahogany*, *Tamanu*), (Silitonga et al., 2013).

Pohon nyamplung (*Calophyllum inophyllum* Linn) termasuk dalam kerajaan *Plantae*, Difisi : *Magnoliophyta*, Kelas : *Magnoliopsida*, ordo : *Malpighiales*, Famili *Clusiaceae*, Genus : *Callophyllum* dan Species : *Callophyllum inophyllum*. Tanaman ini tersebar diberbagai daerah di Indonesia yakni Sumatera Barat, Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Lampung, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, NTT dan Papua (Kendal, 2011).

Peta sebaran nyamplung dari 6 populasi di Jawa pada umumnya berdekatan dengan pantai selatan dan pantai barat pulau Jawa, yang mempunyai karakteristik fisik lahan dalam klasifikasi sistem dataran laut dan pantai, sistem dataran, sistem dataran aluvial sampai dengan sistem bukit kapur, dengan sub sistem pesisir pantai yang bergelombang, sub sistem riverne plains dan sub sistem kipas aluvial, tipe batuan sedimen pasir serta tipe batuan kapur yang terbentuk dari endapan muara dan endapan vulkanik (Leksono et al., 2014).

Produktivitas biji nyamplung sangat tinggi bervariasi antara 40-150 kg/phon/th atau sekitar 20 ton/ha/th dan lebih tinggi dibandingkan jenis tanaman lain seperti jarak pagar. Rendemen minyak nyamplung dari 12 populasi di Indonesia mempunyai variasi yang tinggi yaitu antara 37-58% (Leksono, dkk. 2014). Dan lebih tinggi dibandingkan jarak pagar 25-40%, saga hutan 14-28%, kepuh 24-40%, kesambi 30-40% dan kelor 39-40%. Satu liter minyak nyamplung dapat dihasilkan dari 2-2,5 kg biji, sedangkan jarak pagar membutuhkan 4 kg untuk menghasilkan satu liter minyak (Sudradjat et al., n.d.).



Gambar 2.2 Nyamplung (a) Pohon, (b) Buah nyamplung, (c) Buah kering biji nyamplung, (d) Minyak nyamplung (Sumber: http://www.aromatrading.co.uk/calophy26_juni_2005)

Sifat fisika dan kimia minyak nyamplung dapat digolongkan kedalam dua jenis (Tabel 2.3), yakni *crude oil* (sebelum pemurnian) dan *refined oil* (setelah pemurnian).

Tabel 2.3 Sifat fisika dan kimia minyak nyamplung

Karakteristik	<i>Crude oil</i> (sebelum dideguming)	<i>Refined oil</i> (sesudah dideguming)
Kadar air	0,25 %	0,41 %
Densitas (20 °C)	0,944 g/ml	0,940 g/ml
Bilangan asam	59,94 mg KOH/g	54,18 mg KOH/g
FFA	29,53 %	27,21 %
Bil. Penyabunan	198,1 mg KOH/g	194,7 mg KOH/g
Bil. Iod	86,64 mg/g	85,04 mg/g
Indeks refraksi	1,477	1,478
Densitas	0,951 g/ml	0,940 g/ml
Viskositas (40°C)	60,96 cSt	45,5 cSt
Warna	Hijau gelap	Kuning kemerahan

Sumber: Balitbang Kehutanan, 2008.

Minyak nyamplung diperoleh dari biji buah nyamplung kering yang dipress menggunakan mesin press hidrolik manual maupun dengan cara ekstraksi dengan pelarut kimia. Minyak biji nyamplung memiliki daya bakar dua kali lebih lama dibandingkan minyak tanah. Kelebihan biji nyamplung sebagai bahan baku biofuels adalah rendemen minyak nyamplung tergolong tinggi berkisar 50-73% dan mempunyai keunggulan kompetitif di masa depan (Melwita et al., 2014).

Penelitian terdahulu menemukan kandungan asam lemak jenuh dan tidak jenuh pada minyak nyamplung terdiri atas enam macam jenis lemak (Tabel 2.4).

Tabel 2.4 Kandungan asam lemak minyak nyamplung

No	Jenis Asam Lemak	Presentase(%)
1.	Asam lemak jenuh	29,415
	- Asam Palmitat(C16:0)	14,316
	- Asam Stearat(C18:0)	15,097
2.	Asam lemak tidak jenuh	70,325
	- Asam Palmitoleat(C16:1)	0,406
	- Asam Oleat(C18:1)	35,489
	- Asam Linoleat (C18:2)	33,873
	- Asam Linolenat(C18:3)	0,557

Sumber: Istadi, 2010

Pemanfaatan minyak nyamplung sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dengan beberapa tahapan. Tahap pertama yakni *pre-treatment* dengan reaksi esterifikasi menggunakan katalis asam phosphor dengan modifikasi β -zeolite menjadi katalis asam dan tahap selanjutnya melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis KOH (Tanneru & Steele, 2015).

Hasil uji ASTM biodiesel dari minyak nyamplung (*Callophyllum inophyllum L.*) tidak jauh berbeda dengan minyak sawit (*Palm oil*) dan jarak pagar (*Jatrop oil*) (Tabel 2.5). ketiga minyak nabati tersebut menghasilkan biodiesel sesuai standar ASTM.

Tabel 2.5 Sifat fisik biodiesel dari beberapa minyak nabati dengan standar ASTM.

<i>Properties</i>	Satuan	<i>Palm oil</i>	<i>Jatropha oil</i>	<i>Callophyllum inophyllum</i>	ASTM D6751-06
Density	kg/m ³	879.3	862	869	860-900
Cetane number	-	52	57	57	47 min
Viscosity at 40°C	mm ² /s	4.9	4.8	4.0	1.9-6.0
Flash Point	°C	181	135	140	130 min
Cloud point	°C	15	6	13.2	-3 to 12
Pour point	°C	14	2	4.3	-15 to 10
Calorific value	kJ/kg	-	39.230	41.397	-
Distillation 90%	°C	335	-	356	360 max
Water content	wt%	0.03	0.025	0.005	0.030
Ash content	wt%	0.0066	0.012	-	max
Carbon residue	wt%	0.07	0.2	-	0.020
Acid value	mg KOH/g	0.33	0.4	1.62	max

Sumber : Ong, dkk. 2011

2.4 Perengkahan (*Cracking*) Minyak Nabati

Perengkahan (*cracking*) adalah suatu proses pemutusan senyawa hidrokarbon rantai panjang menjadi senyawa hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek. Proses perengkahan bertujuan untuk mendapatkan senyawa yang lebih berguna. Proses perengkahan menghasilkan senyawa seperti metan, etan, propan,

butan, *gasoline*, *kerosene* serta diesel. Bahan baku yang biasa digunakan dalam proses perengkahan adalah minyak bumi atau residu (Alonso-Ramírez et al., 2019).

Cleveland dan Szostak (2011) mengatakan bahwa proses perengkahan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *thermal cracking*, *catalytic cracking*, dan *hydrocracking* seperti terlihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Perbandingan Proses Perengkahan

Proses Perengkahan	Kondisi Operasi	Katalis
<i>Thermal Cracking</i>	T= 800°C ; P= 700 kPa	Tanpa katalis
<i>Catalytic Cracking</i>	T= 450°-510°C ; P= 70-138 kPa	umumnya zeolit
<i>Hydrocracking</i>	T= 400°-815°C ; P= 6895-13790 kPa	Zeolit dan hidrogen

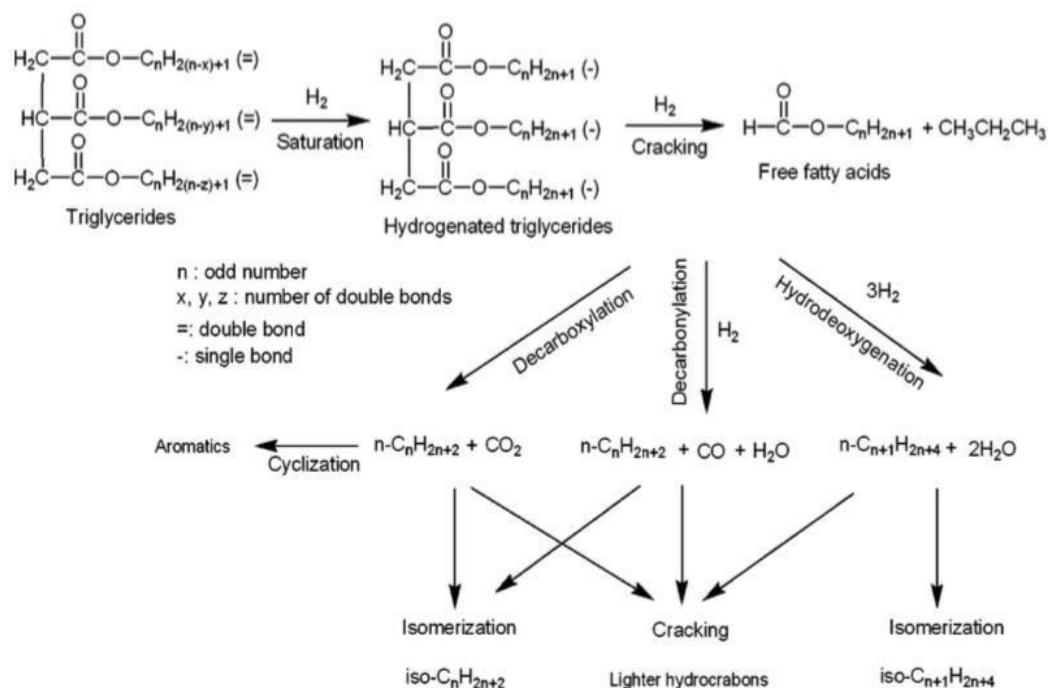
Sumber: Cleveland dan Szostak, 2014.

2.4.1 Mekanisme Reaksi Pada *Hydroprocessing* Produk Cair *Biofuel*

Beberapa hasil penelitian sebelumnya telah menjelaskan mekanisme reaksi *catalytic hydrocracking* minyak nabati untuk membentuk *biofuel*. Namun karena kompleksnya reaksi yang terjadi, maka mekanisme dan kinetika pada reaksi *catalytic hydrocracking* masih menjadi topik yang menarik untuk dilakukan investigasi (Shi et al., 2012). Tahapan mekanisme tersebut diikuti dengan beberapa reaksi yaitu dekarboksilasi, dekarbonilasi, dan hidrideoksigenasi dan pada akhirnya reaksi isomerisasi dan *cracking* (Veriansyah, dkk., 2012). Jalur mekanisme reaksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5. Pada proses *hydrotreating* dalam reaktor *fixed bed*, reaksi terjadi dalam sistem 3 (tiga) fase, yaitu umpan cairan (minyak nabati) mengalir turun di atas katalis padat dengan adanya fasa gas yang kaya akan hidrogen (Shi et al., 2012).

Hydroprocessing digunakan untuk mengkonversi minyak bumi menjadi bahan bakar transportasi bersih dan minyak pemanas. *Hydroprocessing* merupakan kategori penting yang ada di proses katalitik pada kelompok *refinery* yang terdiri dari satu set reaksi dimana hidrogen dilewatkan melalui katalis bifungsional (logam/asam). Reaksi yang terjadi pada *hydroprocessing* dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok: a) *hydrotreating* dan b) *hydrocracking* (Y. Liu et al., 2009). Beberapa reaksi akan terjadi selama proses *hydrotreating* membentuk produk cair biomass, kondisi operasi dan jenis katalis yang

digunakan. Tipe reaksi yang terjadi pada pembentukan produk biomass cair selama proses *hydrocracking* terdiri dari: 1) Reaksi penjenuhan rantai (*hydrotreating*); 2) *cracking* (*hydrocracking*); 3) pemutusan rantai heteroatom dan 4) isomerisasi.



Gambar 2.3 Tahap mekanisme proses reaksi *hydrotreating* trigliserida menggunakan katalis (Veriansyah et al., 2012)

2.4.2 Perengkahan Hidro (*Hydrocracking*)

Merupakan kombinasi dari perengkahan katalitik dan hidrogenasi. H_2 akan meminimalkan terbentuknya kokas (*coke*), sehingga umur katalis lebih panjang. *Hydrocracking* merupakan kombinasi antara *cracking* dan hidrogenasi untuk menghasilkan senyawa yang jenuh. Reaksi tersebut dilakukan pada tekanan tinggi dan temperatur yang lebih rendah daripada *thermal cracking*. Keuntungan lain dari *hydrocracking* ini adalah bahwa reaksi berlangsung bertahap, mulai dari hidrogenasi hingga dilanjutkan proses *cracking*. Katalis yang digunakan biasanya berupa padatan asam semisal zeolit atau silika alumina. Reaksi ini terjadi melalui mekanisme perengkahan ion karbonium.

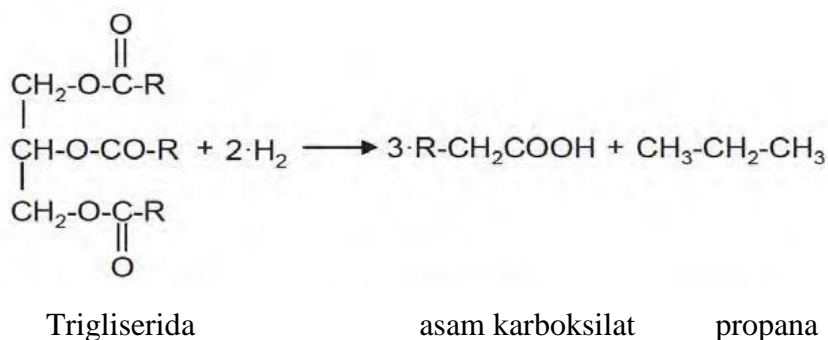
Reaksi *hydrocracking* adalah proses pemutusan rantai karbon panjang menjadi rantai karbon lebih pendek (reaksi dealkilasi). Proses ini biasa digunakan dalam proses produksi bahan bakar seperti LPG, gasoline, kerosin, diesel dan

pelumas pada industri minyak bumi (*petroleum*), (Dharma et al., 2017). Reaksi ini dapat diterapkan dalam pembuatan gasoline, kerosin, dan gasoil/biodiesel dengan bahan baku minyak nabati. *Hydrocracking* termasuk dalam proses *Hydroprocessing* yang menggunakan gas hidrogen untuk mengkonversi komponen hidrokarbon (HC) dengan rantai panjang menjadi HC yang lebih pendek seperti komponen diesel dan gasoline. Selama *hydroprocessing* katalis yang digunakan memiliki peran penting dalam pembentukan produk seperti : C5 – C10, C11- C13, and C14 - C20, and *liquid petroleum gas* (LPG). Pada umumnya proses *hydrocracking* berlangsung pada temperatur 260 – 495 °C dengan tekanan 35 – 200 bar (Sildir et al, 2012). Pada temperatur tinggi , katalis asam kuat akan menghasilkan naphtha lebih dominan, sebaliknya untuk produk *middle distillate* membutuhkan temperatur dan tingkat keasaman katalis yang sedang (C13-C19). Green Diesel dapat diperoleh dari proses hidrideoksigenasi dengan produk utama adalah C17 dan C18 n-paraffins yang memiliki *Cetane Number* lebih tinggi dibanding isomernya dengan rantai bercabang.

Hydrocracking terdiri dari kombinasi dua proses *catalytic cracking* dan hidrogenasi dengan tekanan dan temperatur tinggi serta menggunakan katalis bifungsional. Proses untuk menghilangkan kandungan sulfur, nitrogen, oksigen dan logam-logam dari komponen bahan bakar fosil dikenal dengan proses *hydrodesulfurisasi* (HDS), *hydrodenitrogenisasi* (HDN), *hydrodeoxygenasi* (HDO), dan *hydrodemetalisasi* (HDM). Semua proses tersebut merupakan bagian dari proses *hydrotreating* yang menggunakan hydrogen sebagai reaktan dan katalis transisi logam , sehingga hasil yang diperoleh memiliki kualitas tinggi serta bahan bakar yang rendah bahan polutan (Kosinov et al., 2017).

Hydrocracking pada trigliserida melibatkan reaksi hidrogenasi ikatan rangkap rantai samping dan menghilangkan oksigen pada situs logam dari katalis. Produk *hydrotreating* dari minyak nabati yang memiliki hidrokarbon C₁₅-C₁₈ akan mengarah pada campuran cairan-cairan disebut “*green fuel*”, “*biofuel*” yang terdiri dari *gasoline* (C₅-C₉), *kerosene* (C₁₀-C₁₃) dan *gasoil-diesel* (C₁₄-C₂₃). Dalam campuran cair tersebut, ratio yang terbanyak mengarah pada kisaran titik didih *gasoil*. Trigliserida tersebut terkonversi menjadi hidrokarbon, dimana *n-paraffin* merupakan produk utama. Temperatur reaksi yang digunakan untuk melakukan

metode *hydroproseccing* antara 300 dan 450⁰C dan tekanan hidrogen diatas 3 Mpa. Selain *biofuel*, proses ini telah menghasilkan gas CO, CO₂ dan air sebagai produk samping (Sotelo-Boyás et al., 2011). Pembentukan alkohol dan ester juga dapat terjadi selama hidroproses trigliserida sehingga reaksi-reaksi ini terjadi trgantung pada tipe katalis dan kondisi reaksi *hydroprocessing*. Reaksi khas yang terjadi selama proses *hydrocracking* minyak nabati adalah reaksi *cracking* senyawa trigliserida menjadi senyawa asam karboksilat (*fatty acids*) dan propana. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Mekanisme reaksi *hydrocracking* trigliserida untuk membentuk asam lemak (*fatty acids*) dan propanan (Y. Liu et al., 2009)

Selama reaksi *hydroprocessing* berlangsung, terdapat 3 (tiga) reaksi utama untuk mengkonversi produk antara (karboksilat atau karbonil) menjadi hidrokarbon yaitu 1) reaksi hidrodeoksigenasi, 2) dekarbonilasi dan 3) dekarboksilasi seperti pada mekanisme berikut ini (Rosyadi, dkk., 2012):

- a. **Reaksi hidrodeoksigenasi**, merupakan reaksi penghilangan oksigen pada minyak nabati yang bereaksi dengan hidrogen untuk menghasilkan hidrokarbon utama dengan jumlah atom C genap dan air.

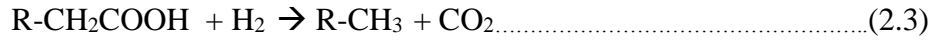


- b. **Reaksi dekarbonilasi**, merupakan reaksi penghilangan atom oksigen sebagai penyusun asam lemak pada minyak nabati (atom oksigen pada gugus karbonil) menjadi hidrokarbon alkana dengan jumlah atom C ganjil dan melepas gas CO dan H₂O.

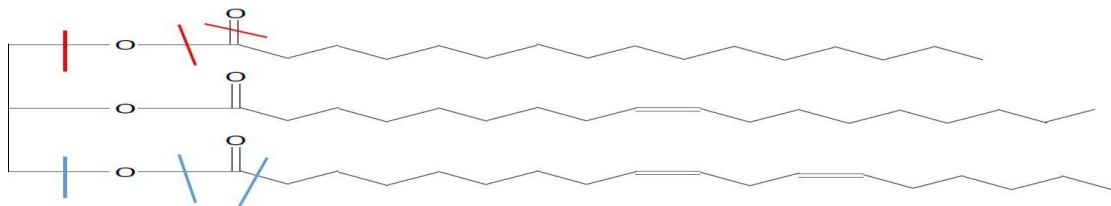


- c. **Reaksi dekarboksilasi**, merupakan reaksi penghilangan atom oksigen sebagai penyusun asam lemak menjadi hidrokarbon alkana dengan jumlah

atom karbon ganjil dan melepas CO. Pada reaksi dekarboksilasi, atom oksigen yang dihilangkan berada gugus karboksil O-C = O. Pada reaksi



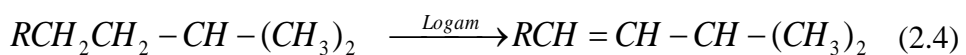
Gambar 2.5 menunjukkan perwakilan skema dari dua mekanisme yang berbeda untuk menghilangkan oksigen dari trigliserida. Garis merah menunjukkan reaksi hidrogenasi/hidrodeoksigenasi (HDO), dimana reaksi tersebut bertujuan untuk menghilangkan oksigen menjadi bentuk air (seperti pada skema persamaan 2.1). garis biru mewakili reaksi dekarboksilasi dan dekarbonilasi (seperti pada skema persamaan 2.2 dan 2.3). Pada representasi ini trigliserida diubah menjadi propana, karbon dioksida dan/atau karbon monoksida dan menjadi n-alkana satu atom karbon yang lebih pendek dari total panjang asam lemak (*fatty acid*) semula (Shi et al., 2012).



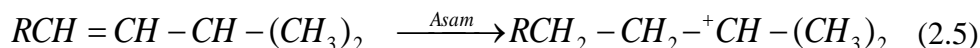
Gambar 2.5 Skema 2 (dua) jalur yang berbeda untuk menghilangkan oksigen dari trigliserida melalui reaksi *hydrotreating* (Shi et al., 2012)

Menurut Hsu dkk (2006), reaksi *hydrocracking* terdiri atas dua mekanisme (*bifunctional*) fungsi katalis. Katalis asam berfungsi dalam *cracking* dan isomerisasi, fungsi logam memberikan pembentukan olefin dan hidrogenasi. Tahap reaksi diawali dengan proses pembentukan senyawa hidrokarbon seperti olefin atau siklo olefin pada *metal sisi* katalis. Langkah berikutnya, *sisi* asam memberikan proton (H) sehingga menghasilkan ion *carbenium*. Selanjutnya akan terjadi pemutusan rantai karbon dengan rantai rangkap dan terbentuk ion *carbenium*. Rantai rangkap tersebut kemudian dihidrogenasi menjadi rantai karbon jenuh atau proses hidrogenasi olefin, keseluruhan proses tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut.

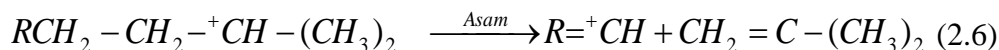
- Pembentukan olefin



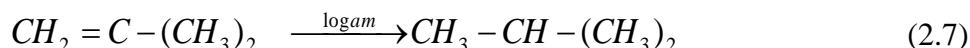
- Pembentukan ion carbenium tersier



- Isomerisasi dan *cracking*



- Hidrogenasi Olefin



Reaksi *hydrocracking* asam oleat menggunakan katalis NiMo/SiO₂-Al₂O₃ temperatur reaksi 400 °C dan tekanan 5 MPa. Reaksi dikontrol oleh regim reaksi kimia dan tipe rreaksi seri orde satu. Pada tahap pertama asam oleat terkonversi menjadi minyak diesel kemudian menjadi komponen dengan jumlah C yang lebih kecil seperti gasoline dan hidrokarbon C₁-C₄ (Roesyadi, 2012).

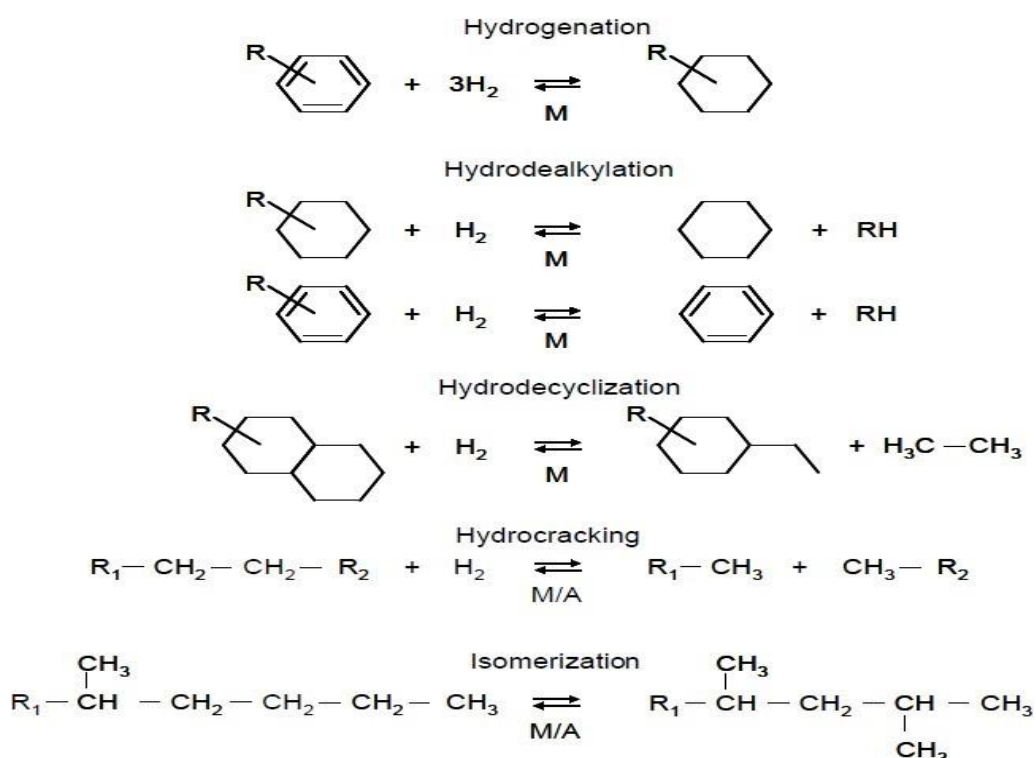
2.5 Mekanisme Reaksi *Hydrocracking* Trigliserida

Dalam proses *hydrocracking* untuk mengkonversi minyak nabati menjadi *biofuel* terjadi beberapa reaksi, yaitu hidrogenasi, dekarboksilasi, dekarbonilasi dan hidredeoksigenasi. Pada reaksi *hydrocracking*, katalis memiliki fungsi ganda (*dual-function*) yaitu sebagai fungsi asam dan fungsi logam (de/hidrogenasi). Katalis berfungsi sebagai asam untuk membantu terjadinya proses perengkahan dan isomerisasi, sedangkan berfungsi sebagai logam untuk membantu terjadinya proses dehidrogenasi dan hidrogenasi.

Reaksi hidrogenasi merupakan proses adisi molekul hidrogen pada ikatan rangkap trigliserida. Prinsip dari proses reaksi ini adalah mejenuhkan ikatan rangkap menjadi ikatan tunggal, seperti pada Gambar 2.6. Proses hidrogenasi dapat berfungsi untuk menstabilkan minyak serta mencegah pembusukan pada minyak. Produk utama proses hidrogenasi total pada trigliserida biasanya berupa n-alkana dan produk sampingnya adalah propana dan air (Mohammad dkk., 2013). Reaksi *hydrotreating* trigliserida minyak nabati menggunakan katalis *hydrotreating* dengan adanya *suplay* gas hidrogen melibatkan reaksi yang kompleks, yaitu terdiri dari dekarboksilasi, dekarbonilasi, hidredeoksigenasi (HDO), reaksi adisi, reaksi perengkahan (*cracking*), isomerisasi dan siklisasi ditunjukkan adanya proses

penghilangan atom oksigen atau disebut dengan reaksi deoksigenasi (Veriansyah et al., 2012).

Hydrocracking merupakan proses skala besar kedua yang digunakan untuk mengubah bahan bakar minyak menjadi produk yang memiliki nilai besar. Proses *cracking* dilakukan dengan tekanan hidrogen sebesar 30 hingga 150 bar dan pada temperatur antara 350-450⁰C. Produk dari proses *hydrocracking* mengandung lebih sedikit senyawa tak jenuh daripada yang dari proses *Fluid Catalytic Cracking* (FCC) dan deaktivasi katalis. Dalam pengaturan yang terakhir, reaktor pertama mengandung katalis hidrogenasi yang mengubah olefin dan aromatik menjadi produk jenuh dan menghilangkan sulfur dan nitrogen (*hydrodesulfurization*) [HDS] dan *hydrodenitrogenation* [HDN] yang terdapat dalam umpan. Belerang dan heteroatom nitrogen dikonversi menjadi H₂S dan NH₃. Variasi konfigurasi untuk mekanisme reaksi pada proses *hydrocracking* dirangkum pada Gambar 2.6 untuk mekanisme reaksi *hydrocracking* yang melibatkan katalis situs logam dan situs asam seperti yang dilaporkan sebagai berikut (Purón et al., 2017).



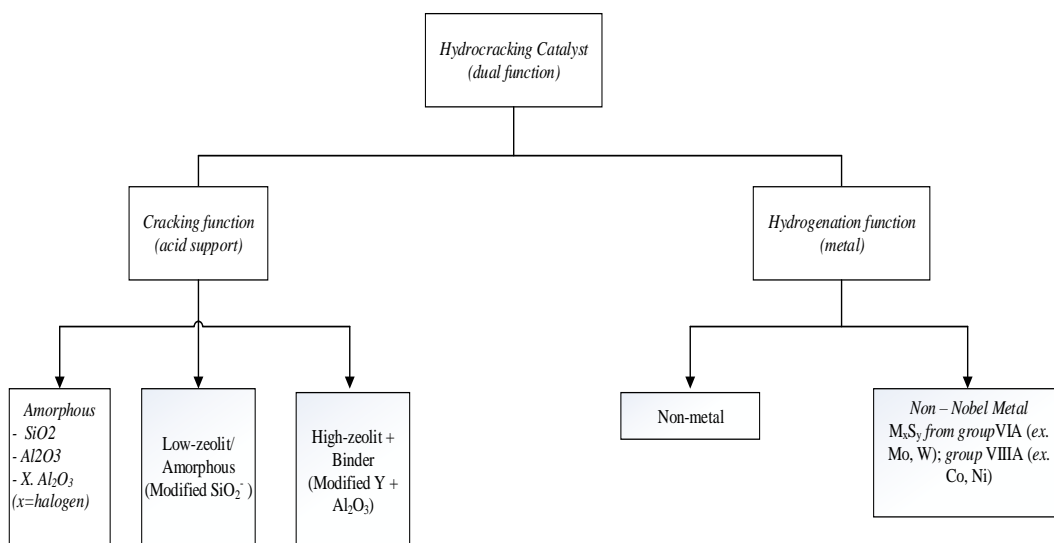
Gambar 2.6 Reaksi yang terjadi pada proses *hydrocracking* (Purón et al., 2017).

2.6 Katalis Pada Proses *Hydrocracking*

Katalis adalah suatu zat yang dapat memfasilitasi berlangsungnya reaksi kimia. Berdasarkan definisi secara umum, katalis merupakan zat yang dapat mempercepat laju reaksi kimia (mengarahkan atau mengendalikan) tanpa mengalami perubahan atau terkonsumsi dalam reaksi tersebut (Rohmah et al., 2012). Katalis tidak terkonsumsi oleh reaksi, sehingga setiap molekul katalis dapat berpartisipasi dalam berbagai siklus berturut-turut, maka kebutuhan katalis dalam reaksi relatif kecil. Katalis tidak mengalami suatu perubahan diakhir reaksi, namun katalis berpartisipasi aktif dalam reaksi, hanya saja pada akhir reaksi katalis tersebut terbentuk kembali (Smith, 1981). Katalis heterogen adalah katalis yang fasenya berbeda dengan pereaksi. Katalis heterogen bekerja pada pereaksi berupa gas atau cairan dan reaksi katalis terjadi pada permukaan katalis. Katalis heterogen biasanya berbentuk padatan. Konsep energi aktivasi menyatakan bahwa keberadaan suatu katalis dalam mekanisme katalis akan menurunkan energi aktivasi. Katalis sangat efektif dalam peran meningkatkan laju reaksi karena memungkinkan terjadinya mekanisme alternatif yang pada satu tahapannya memiliki energi aktivasi yang lebih rendah dibandingkan proses tanpa katalis (Smith, 1981).

Katalis yang digunakan pada proses *hydrocracking* merupakan katalis yang memiliki fungsi ganda (*dual-function*), seperti pada Gambar 2.4. Konsep katalis *dual-function* yaitu katalis yang memiliki dua sisi yang berbeda yaitu *cracking function* dan *hydrogenation function*. *Cracking function* biasanya dipenuhi oleh katalis dengan *acid sites* yang tinggi misalnya zeolit (kristal) dan alumina (*amorf*) sedangkan untuk *hydrogenation function* dipenuhi oleh logam (*metallic sites*) (Alonso-Ramírez et al., 2019). Secara umum, katalis yang digunakan dalam proses *hydrocracking* minyak nabati harus terdiri dari dua *sites* yaitu *metallic sites* dan *acid sites*. *Metallic sites* diperlukan untuk reaksi hidrogenasi, dekarboksilasi, dekarbonilasi, dan reaksi *hydrodeoxygenation*. Sedangkan *acid sites* diperlukan untuk isomerisasi dan reaksi perengkahan (*cracking*). Oleh karena itu, menyeimbangkan antara logam dan asam merupakan faktor yang sangat penting dalam mendesain katalis untuk mengubah selektivitas, aktivitas, dan daya tahan katalis (Lim & Huang, 2007). Katalis yang berfungsi menjadi *support* asam dapat digolongkan menjadi dua yaitu *amorphous* dan zeolit. Proses reaksi *hydrocracking*

termasuk metode yang menggunakan katalis sebagai pemutus rantai panjang hidrokarbon menjadi rantai pendek. Peristiwa pemutusan rantai panjang menjadi rantai pendek terjadi karena peranan katalis *dual-function* dan penambahan hidrogen. Pada proses *hydrocracking*, lebih sedikit menggunakan *energy thermal* dibandingkan dengan proses *catalytic cracking* dan adanya penambahan gas hidrogen mampu meminimalkan pembentukan coke sehingga dapat memperlambat deaktivasi katalis akibat *pore blockage* (Sotelo-Boyás et al., 2011).



Gambar 2.7 Bagan Fungsi Katalis *Hydrocracking* (Scherzer dan Gruia, 1996)

Kedua situs logam dan asam harus ada pada permukaan katalis untuk mencapai semua reaksi hidroprosesing yang diinginkan, yaitu hidrogenasi, dehidrogenasi, *hydrocracking* dan reaksi lainnya. Situs asam mempromosikan reaksi perengkahan serta reaksi isomerisasi sementara situs logam mempromosikan reaksi hidrogenasi-dehidrogenasi. Situs asam adalah pendukung yang terdiri dari a) oksida amorf (seperti silika, alumina atau silika-alumina), b) zeolit kristalin (zeolit Y yang dimodifikasi telah terbukti berkinerja lebih baik daripada zeolit X) ditambah pengikat seperti alumina, atau c) kombinasi kristal zeolit dan oksida amorf. Situs logam tersebut dapat diperoleh dari a) logam mulia (paladium, platinum) atau b) logam tidak mulia dari kelompok VIA (molibdenum, tungsten) dan kelompok VIIIA (kobalt, nikel). Selanjutnya, hidrogenasi mendukung perengkahan selanjutnya dengan membentuk senyawa antara olefinik aktif melalui dehidrogenasi (Bezergianni et al., 2009). Komposisi logam dalam kaitannya dengan dukungan oksida amorf menentukan rasio katalis antara fungsi perengkahan dan

hidrogenasi. Aktivitas katalis dan selektivitas produk dapat dioptimalkan dengan menyesuaikan komposisi logam dan dukungan. Usaha yang dapat dilakukan agar katalis pada proses *hydrocracking* menjadi efektif, maka diperlukan transfer molekul antara situs asam dan situs logam untuk menghindari reaksi samping yang tidak diinginkan. Ini dapat dicapai dengan memiliki situs logam yang dekat dengan situs asam. Selain rasio logam dan jumlah logam yang digunakan, faktor-faktor kunci lain mengenai komponen logam termasuk jenis logam, tingkat dispersi logam atas dukungan, interaksi dukungan logam dan lokasi logam pada dukungan (Biodiesel et al., 2016).

2.5.1 Preparasi Katalis

Tujuan utama dari suatu metode preparasi adalah untuk mendistribusikan fasa aktif (metal) dengan cara yang paling efisien (misalnya dalam bentuk terdispersi, yaitu untuk memperoleh luas permukaan spesifik yang besar dan juga aktivitas maksimum persatuan berat dari senyawa aktif) pada permukaan padatan penyangga.

1. Proses pembuatan katalis dengan metode impregnasi

Salah satu metode dalam preparasi katalis adalah impregnasi. Impregnasi adalah preparasi katalis dengan mengadsorpsikan garam precursor yang mengandung akti logam didalam larutan kepada padatan pengemban. Banyak katalis yang disintesis dengan metode ini. Metode ini merupakan teknik preparasi katalis yang paling sering digunakan daripada metode lainnya. Salah satu yang mendasari pemilihan metode impregnasi adalah bahwa didalam pengemban tidak terdapat anion atau kation yang dapat dipertukarkan. Metode tersebut bergantung pada kation logam yang ingin diembankan. Untuk ion kompleks yang sukar mengalami pertukaran kation, maka metode yang tepat adalah impregnasi. Setelah diimpregnasi, langkah selanjutnya adalah pengeringan dan pemanasan pada temperatur tinggi (kalsinasi), sehingga terjadi dekomposisi precursor menjadi spesi aktif. Menurut teknik pembuatannya, preparasi katalis dengan metode impregnasi dibagi menjadi dua metode impregnasi, yaitu:

- a. Impregnasi basah (*wet impregnation*), pada impregnasi basah, penambahan jumlah larutan precursor fasa aktif lebih besar dari 1.5 kali volume pori penyangga. Metode ini dapat menghasilkan deposisi precursor fasa aktif

yang lebih banyak pada bagian luar penyangga setelah dilakukan proses pengeringan dan juga menghasilkan distribusi fasa aktif pada bagian luar penyangga. Distribusi ini bermanfaat untuk mengurangi penetrasi reaktan kedalam katalis, sehingga dapat meningkatkan aktivasi katalis.

- b. Impregnasi kering (*dry impregnation*), pada impregnasi kering penambahan jumlah larutan precursor fasa aktif kurang dari 1.2 volume pori penyangga. *Incipient wetness impregnation*. Pada metode ini, jumlah larutan precursor aktif (impregnan) yang ditambahkan sama dengan jumlah volume penyangga. Keuntungan dari metode ini adalah akurat dalam mengontrol komponen aktif yang akan digabungkan dalam katalis, kelemahannya sulit melakukan pembuatan dengan % berat komponen aktif yang besar.

2. Proses pembuatan katalis dengan metode presipitasi.

Secara umum prosedur presipitasi adalah mengontakkan larutan garam logam dengan larutan alkali, ammonium hidroksida atau logam karbonat. Dasar pemilihan senyawa yang akan digunakan dalam metode presipitasi berdasarkan pada kemudahan perolehannya dan sifat kelarutannya dalam air (Fakeeha et al., 2016).

2.5.2 Karakterisasi Katalis

Karakterisasi suatu katalis dapat memberi informasi tentang komposisi kimia dan struktur kimia, tekstur dan sifat-sifat mekanis serta aktifitas katalitik. Komposisi dan struktur kimia meliputi komposisi unsur, komposisi struktur dan proporsi dari masing-masing fasa yang ada, komposisi permukaan dan sifat serta proporsi gugus fungsi yang mungkin terdapat pada permukaan dan sifat serta proporsi gugus fungsi yang mungkin terdapat pada permukaan. Karakterisasi dalam hal aktifitasnya adalah untuk mengukur kuantitatif dari kemampuan suatu katalis dalam melaksanakan suatu transformasi kimia khusus dengan kondisi tertentu. Berdasarkan sifat-sifat dari katalis, maka karakteristik katalis dibedakan menjadi:

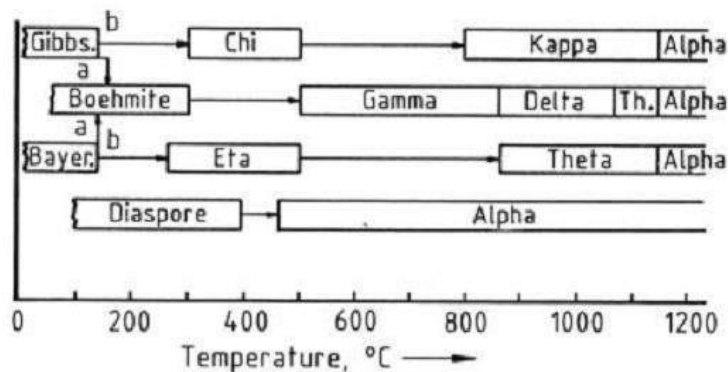
1. Sifat-sifat partikel katalis meliputi: luas permukaan, porositas atau distribusi ukuran pori. Proses pengukuran luas permukaan dan diameter pori menggunakan metode *Brunauer-Emmet-Teller* (BET).

2. Sifat-sifat struktur kristal katalis menggunakan metode Difraksi sinar-X menggunakan alat *X-ray Diffractometer* (XRD). Metode ini untuk mengidentifikasi fasa kristalin pada material sampel.
3. Sifat-sifat morfologi permukaan sample katalis menggunakan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM), sedangkan untuk mengetahui komposisi berbagai unsur kimia dari suatu material menggunakan teknik *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX).

2.7 Alumina (γ -Al₂O₃)

Aluminium oksida adalah sebuah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al₂O₃. Nama mineralnya adalah alumina, dan dalam bidang pertambangan, keramik dan teknik material senyawa ini lebih banyak disebut dengan nama alumina. Umumnya alumina terdapat dalam bentuk kristalin yang disebut corundum atau α -aluminium oksida.

Alumina adalah bahan polimorfik yang terjadi dalam banyak fase, seperti fase metastabil (juga dikenal sebagai fase transisi γ , α , η , θ , δ , χ dan fase α termodinamika stabil. Fase metastabil alumina dapat disintesis dengan rute yang berbeda, yakni hidrotermal, *sol-gel processing*, deposisi uap-cair-padat kimia dan *electrospinning routines*. Fase metastabil γ -alumina biasanya diperoleh dari prekursor amorf boehmite pada interval temperatur yang luas antara 350 dan 1000 °C. Sebaliknya, alumina tersebut berubah secara ireversibel menjadi α -Al₂O₃ pada pemanasan pada kisaran temperatur yang relatif tinggi antara 1050 dan 1200 °C (Visakh dan Nazarenko, 2016). Jalur umum reaksi diilustrasikan pada Gambar 2.8, yang menunjukkan berbagai bentuk transisi intermediet yang telah diidentifikasi.



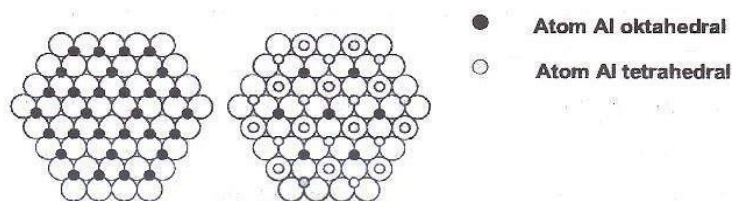
Gambar 2.8 Urutan Transformasi Termal Aluminium Hidroksida (Hudaya & Soerawidjaja, 2018)

2.6.1 Gamma-Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

Alumina adalah nama umum untuk aluminium oksida, Al_2O_3 . Alumina dapat diperoleh di alam sebagai bentuk hidroksida yang tidak murni pada mineral bauksit. $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ merupakan kelompok alumina transisi. $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dapat bertindak sebagai katalis, penyangga katalis maupun adsorben (Handhoyo et al., 2005).

Gamma alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) merupakan salah satu fase metastabil dari alumina yang sering digunakan adsorben dan katalis, karena memiliki luas permukaan yang besar ($50\text{-}300\text{ m}^2/\text{g}$), volume pori yang besar pula ($0.5\text{-}1\text{ cm}^3/\text{g}$). Selain itu, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ stabil dalam proses katalis dan pada temperatur tinggi, mudah dibentuk dalam proses pembuatannya dan tidak mahal (Purwanto et al., 2005). Selain itu, alumina mempunyai sifat selektifitas yang tinggi pada reaksi dehidrasi, mekanisme elusidasi, dan juga karakterisasi *active site* pada permukaan secara katalitik.

$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ mempunyai struktur spinel yang cacat dimana 32 atom oksigen dan membentuk kemasan kubus terjejal. Ukuran atom oksigen yang lebih besar dari atom alumina membuat atom alumina berada pada posisi tetrahedral dan oktahedral. Pada posisi tetrahedral, atom alumina dikelilingi oleh 4 atom oksigen. Sementara pada posisi oktahedral, atom alumina dikelilingi oleh 6 atom oksigen (Harfani, 2009). Berikut ini adalah struktur atom aluminium pada posisi oktahedral dan tetrahedral;



Gambar 2.9 Dua Lapisan Pertama Struktur $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Harfani, 2009).

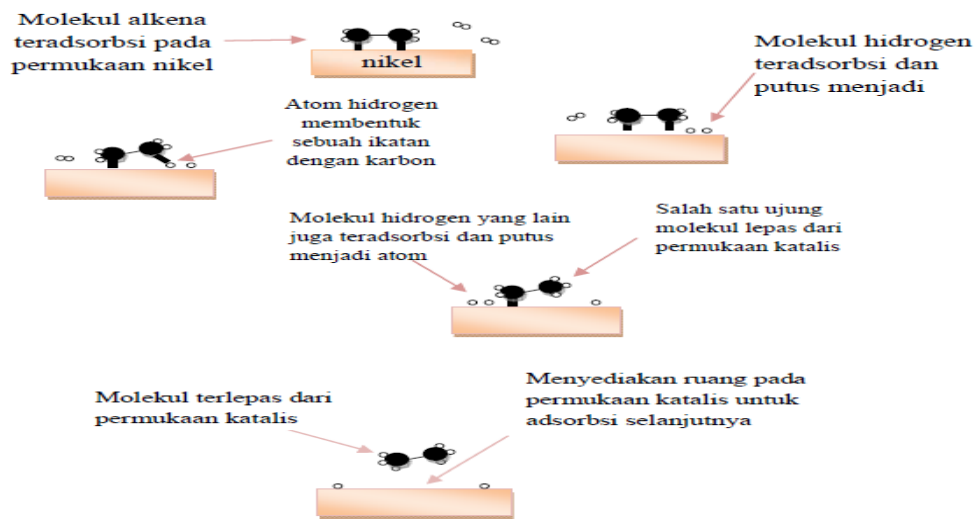
Support adalah suatu komponen dalam katalis yang berfungsi untuk memperbesar luas permukaan katalis dengan menyediakan permukaan pori atau sebagai cetakan bentuk katalis. Umumnya support $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sering digunakan karena harganya cukup ekonomis, memiliki struktur yang stabil, dan ukuran porinya dapat divariasikan. Support ini relatif stabil pada temperatur tinggi, mudah dibentuk, dan memiliki titik leleh yang cukup tinggi, serta cocok untuk reaksi yang melibatkan hidrogen karena membutuhkan luas permukaan yang besar (J. Li et al., 2016).

2.8 Logam dalam Gamma-Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

2.8.1 Logam Ni

Dalam proses penyediaan sumber energi, baik berupa bahan bakar fosil maupun yang berasal dari bahan baku terbarukan biasanya memerlukan beberapa tahapan proses agar bahan bakar yang diperoleh memiliki karakteristik tertentu yang memenuhi sifat yang diperlukan. Logam-logam seperti platina, nikel, molibdenum, dan palladium merupakan jenis katalis yang sering digunakan untuk reaksi hidrogenasi. Namun karena harga platina dan paladium yang sangat mahal, maka menggunakan nikel akan lebih menguntungkan karena proses cracking membutuhkan metode yang dapat menekan biaya produksi serta menghasilkan produk yang sebanyak-banyaknya. Logam Ni sudah digunakan secara luas dalam industri petroleum. Selain harganya relatif terjangkau, logam ini memiliki daya adsorpsi terhadap reaktan yang kuat, tetapi tidak mengadsorpsi produk C5 dan dry gas. Katalis nikel mampu mengadsorpsi gas hidrogen pada permukaannya saja dan mengaktifkan ikatan hidrogen-hidrogennya, sehingga gas hidrogen menjadi lebih mudah bereaksi. Semakin luas permukaan logam katalis, maka akan semakin banyak gas hidrogen yang diserap (**Gambar 2.9**). Demikian pula dengan semakin besar luas permukaan, maka kontak yang terjadi antara zat-zat yang bereaksi juga bertambah banyak, sehingga kecepatan reaksi juga bertambah besar pula (Trisunaryanti et al., 2019).

Sifat logam juga ditentukan oleh elektron-elektron yang mengisi orbital d yang kosong ini. Logam Ni dengan nomor atom 28 memiliki konfigurasi elektron $[\text{18Ar}] 3d^8 4s^2$. Konfigurasi elektronik tersebut menunjukkan bahwa Ni memiliki orbital atom 3d yang belum penuh. Adanya orbital d yang belum terisi penuh mengakibatkan logam Ni memiliki sifat katalitik aktif serta daya adsorpsi yang kuat terhadap reaktan. Nikel merupakan logam transisi yang bersifat keras dan ulet, mudah ditempa, sedikit ferromagnetis dan memiliki jari-jari atom 135 pm, serta unit sel nikel adalah kubus berpusat muka dengan parameter kisi 0,352 nm (Rifan, 2008).



Gambar 2.10 Mekanisme katalisis heterogen pada reaksi hidrogenasi ikatan rangkap pada alkena (Rifan, 2008).

2.8.2 Logam Molibdenum

Logam molibdenum (Mo) merupakan logam transisi berwarna perak abu-abu dari grup VIB. Molibdenum memiliki modulus elastisitas tinggi, dibandingkan dengan tungsten dan tantalum yang terdapat lebih melimpah, memiliki titik leleh lebih tinggi. Molibdenum didapat sebagai hasil samping operasi penambangan tembaga dan *wolfram*. Pada proses tersebut, bijih molibdenit terlebih dahulu dipisahkan dengan teknik flotasi, kemudian dipanggang untuk memperoleh oksidanya, MoO_3 . Jika ingin digunakan langsung sebagai paduan seperti pada pabrik baja, oksida ini diubah menjadi feromolibdenum dengan proses aluminotermik. Untuk memperoleh logam yang lebih murni, molibden oksida dilarutkan dalam larutan amonia untuk dikristalkan sebagai amonium molibdat atau dimolibdat, $[\text{NH}_4]_2[\text{Mo}_2\text{O}_7]$, atau sebagai paramolibdat, $[\text{NH}_4]_6[\text{Mo}_7\text{O}_{24}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ bergantung pada kondisinya. Molibdat ini kemudian dapat direduksi dengan gas H_2 menjadi serbuk logam *molybdenum* yang berwarna abu-abu. *Molybdenum* merupakan katalis yang selektif terhadap proses deoksigenasi melalui jalur hidrodeoksigenasi. *Molybdenum* memiliki aktivitas yang rendah dalam proses hidrogenasi tetapi memiliki aktivitas yang lebih tinggi pada proses hidrodeoksigenasi (Ayodele et al., 2015). Properti elemen untuk molibdenum seperti pada Tabel 2.7 sebagai berikut:

Tabel 2.7 Properti Element Molibdenum

Nomor atom	: 42
Berat atom	: 95,94
Titik leleh	: 2.610 ⁰ C (4730 ⁰ F)
Titik didih	: 5560 ⁰ C (10.040 ⁰ F)
Berat jenis	: 10,2 pada 20 ° C (68°F)
Oksidasi	: 0, +2, +3, +4, +5, +6
Konfigurasi elektron	: [Kr]4d ⁵ 5s ¹

Sumber: Ayodele et al., 2015

2.8.3 Katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃

Proses sintesis katalis dilakukan dengan metode impregnasi, yang merupakan suatu metode yang digunakan untuk mendekomposisi komponen aktif ke dalam material support berpori (Hagen, 2006). Komponen aktif dalam penelitian ini adalah nikel dan molybdenum, sedangkan support berpori yang digunakan adalah γ -Al₂O₃. Metode ini bertujuan untuk memenuhi pori dengan garam logam yang akan menjadi pusat aktif pada katalis. Larutan perkursor yang digunakan dalam sintesis katalis ini adalah ammonium heptamolibdat tetrahidrat dan nikel heksahidrat. Setelah proses impregnasi selesai, dilakukan proses pengeringan, kalsinasi, dan diakhiri dengan proses sulfidasi.

Minyak nyamplung merupakan bahan baku potensial dalam hydrocracking minyak nabati menjadi bahan bakar hidrokarbon cair terbarukan (biofuel) karena selain mengandung banyak asam lemak, minyak ini juga merupakan golongan *non edible oil* sehingga dalam pemanfaatannya tidak menimbulkan persaingan dengan kebutuhan bahan pangan. Pengolahan minyak nyamplung melalui proses hydrocracking dengan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ diharapkan dapat menghasilkan hidrokarbon cair rantai pendek (*biofuel*) khususnya dalam jenis bio-gasoline yang berpotensi sebagai substitusi sumber energi yang terbarukan.

Pada penelitian ini digunakan katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃. Katalis Ni-Mo berpenyangga γ -Al₂O₃ memiliki kekuatan asam dan mekanik yang tinggi sehingga digunakan dalam proses *catalytic cracking*, dan *hydrotreating* (Ulfah & Subagjo, 2016). Pada reaksi *hydrocracking*, katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ memiliki aktivitas yang tinggi dalam proses hidrogenolisis serta memiliki selektivitas yang baik untuk proses hidredeoksigenasi dan dekarboksilasi. Logam Ni selektif terhadap reaksi dekarboksilasi dan hidrogenasi, sedangkan logam Mo memiliki selektivitas yang tinggi terhadap reaksi hidredeoksigenasi (Tiwari et al., 2011). Logam Ni dan Mo

merupakan logam golongan transisi yang memiliki orbital d kosong atau terisi setengah penuh yang efektif untuk menerima pasangan elektron dari basa adsorbat sehingga akan memberikan situs asam Lewis pada katalis (Santi & Efiyanti, 2014). Katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ memiliki situs asam Lewis dan situs asam Bronsted. Kedua situs asam pada katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ ini yang dapat digunakan untuk reaksi perengkahan (Jayanti et al., 2017).

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Horáček et al. (2016) meneliti peran logam aktif dan mendukung selektivitas untuk hidroleksigenasi minyak lobak. Ni-Mo / γ -Al₂O₃ sulfida dipastikan sebagai katalis paling aktif. Luas permukaan spesifik yang lebih tinggi dan kebasaan yang lebih rendah adalah selektivitas terhadap jalur hidroleksigenasi. Kubička et, al. (2010) berfokus pada penyelidikan aktivitas dan selektivitas peningkatan minyak nabati dengan menggunakan katalis Ni, Mo, dan Ni-sulfida. Studi mereka telah menunjukkan bahwa kedua jalur reaksi, hidroleksigenasi, dan dekarboksilasi, bertanggung jawab untuk pembentukan hidrokarbon. Tingkat jalur tergantung pada pilihan katalis. NiMo/ γ -Al₂O₃ menghasilkan campuran produk dekarboksilasi dan hidroleksigenasi sedangkan Ni/ γ -Al₂O₃ hanya menghasilkan produk dekarboksilasi dan Mo/ γ -Al₂O₃ menghasilkan hampir semua produk hidroleksigenasi yang hampir eksklusif.

Dan juga Hydrocracking sedang dieksplorasi sebagai pendekatan alternatif untuk produksi biofuel karena dapat mengubah minyak nabati menjadi hidrokarbon (terutama C₁₅-C₁₈) menggunakan katalis heterogen bifungsional seperti NiMo/ Al₂O₃ atau NiW/Al₂O₃. Kemudian metode hydrocracking untuk biofuel membutuhkan temperatur yang lebih tinggi (300-400 0C), dan lebih banyak energi, untuk memecahkan minyak nabati menjadi hidrokarbon, tetapi produk-produk hydrocracking telah meningkatkan stabilitas oksidasi dan angka cetane lebih tinggi.

2.9 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang dapat dijadikan referensi adalah sebagai berikut:

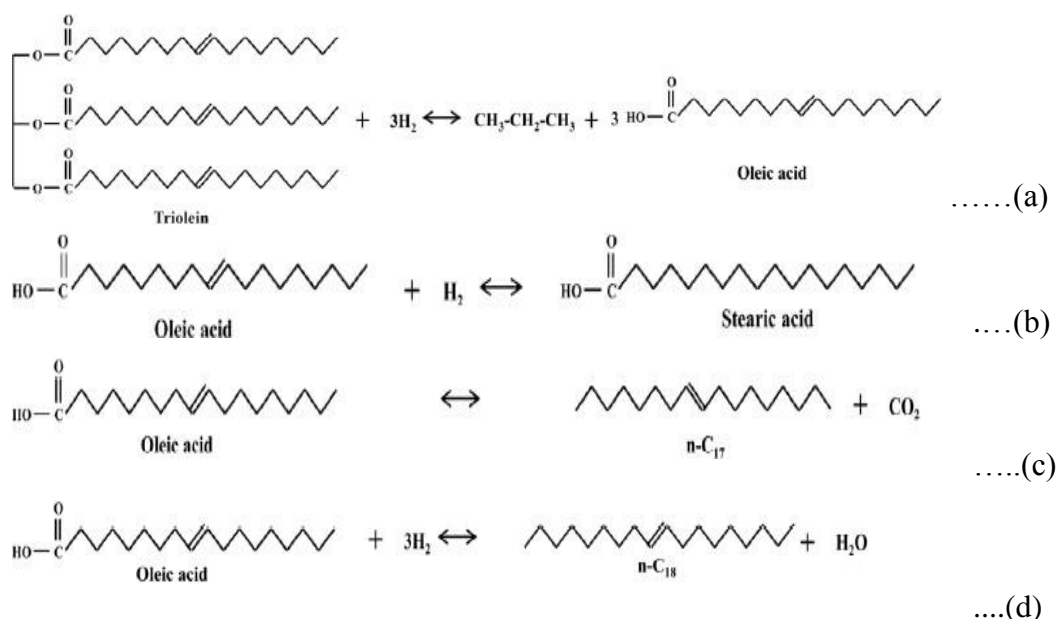
No	Nama Peneliti dan Identitas Jurnal	Uraian Jurnal
1	Barrón.C.E.A et al. 2011, Catalysis today. Research, 166: 102-110.	Proses hydrocracking menggunakan katalis NiMo/ γ - Al ₂ O ₃ dengan temperatur reaksi 620 K menghasilkan fraksi medium (C ₅ -C ₂₃) sekitar 75%, dan temperatur 470 K produk yang lebih dominan adalah fraksi berat (> C ₂₄), sementara fraksi ringan (C ₁ -C ₄) diperoleh 15% pada temperatur 720 K dan 8% pada temperatur 620 K.
2	Rismawati rasyid et al. 2015, Reaktor. Research, 268-273.	Proses <i>hydrocracking</i> minyak nyamplung menggunakan katalis Co/Mo yang diimpregnasi ke dalam support SiO ₂ dan γ -Al ₂ O ₃ mampu mengkonversi asam lemak jenuh dan tak jenuh menjadi hidrokarbon C ₁₂ -C ₁₈ dan C ₅ -C ₁₁ . Berdasarkan uji aktivitas katalis menunjukkan hasil yang terbaik yakni Co/Mo (1,23/3,22)/ γ -Al ₂ O ₃ .
3	Savitri et al. 2015, Procedia chemistry, Sciendirect, 555-562	Sintesis katalis Al ₂ O ₃ dan H-zeolit dilakukan dengan sukses, berdasarkan data XRD dan BET. Impregnasi nikel dan molibdat menjadi Al ₂ O ₃ dan H-zeolit juga berhasil (berdasarkan data XRD dan BET / BJH). Data FTIR menunjukkan keasaman katalis meningkat setelah diresapi dengan nikel dan molibdat, dan mempengaruhi kemampuan katalis untuk memecahkan minyak sayur. NiMo / Al ₂ O ₃ dapat mengubah minyak sayur seluruhnya dari Callophyllum innophyllum L. inti n-paraffin (C ₁₀ -C ₁₉) melalui proses hydrocracking, sementara itu NiMo / H-Zeolit dapat memecahkan minyak sayur menjadi komponen bensin dan n-parafin (C ₁₀ -C ₁₉).
4	Yeni fitriyana jayanti et al. 2017, Indonesian Journal of Chemistri scienc, Research, 2502-6844	Reaksi <i>hydrocracking</i> gondorukem menggunakan katalis Ni-Mo/ γ -Al ₂ O ₃ menghasilkan produk optimum jika temperatur yang digunakan tinggi dengan penggunaan gas hidrogen yang rendah serta waktu reaksi yang relatif lama. Katalis Ni-Mo/ γ -Al ₂ O ₃ memiliki situs asam Lewis dan situs asam Bronsted. Kedua situs asam pada katalis Ni-Mo/ γ -Al ₂ O ₃ ini yang dapat digunakan untuk reaksi perengkahan (Rinaldi et al., 2013).
5	H.Hafsah, Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 273-280	Minyak Calophyllum inophyllum dapat diubah menjadi biofuel hidrokarbon melalui katalis hydrotalcite. Diperoleh konversi, yield, dan selektivitas gasoil masing-masing sebesar 98,57%, 54,15%, dan 81,31%.
6	Yustia Wulandari, 2019. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1757-899	Produk didominasi oleh range gasoil-like hydrocarbon, yield 43,78% . Performa kinerja katalis terbaik yaitu NiMo/HZSM-5, berdasarkan konversi dan yield.

2.10 Model Kinetika Reaksi *Hydrocracking*

Reaksi katalitik yang melibatkan fase gas - padat dapat terjadi jika salah satu atau semua reaktan bersinggungan dengan permukaan katalis melalui proses adsorpsi (Fogler, 1999). Berdasarkan teori rekasi-reaksi *hydrocracking* tersebut

dapat diasumsikan bahwa pada reaksi *hydrocracking* yang terjadi pada reactor batch merupakan tipe multi reaksi. Tipe multi reaksi tersebut akan menghasilkan produk yang diinginkan/diharapkan (*desired*) dan produk yang tidak diinginkan/diharapkan (*undesired*). Pada umumnya mekanisme reaksi dengan tipe multi reaksi (*multi reaction*) dapat melalui reaksi seri dan reaksi paralel (Floger,1999). Beberapa model kinetika untuk mekanisme reaksi *hydrocracking* telah dikembangkan untuk berbagai pola produk yang diamati selama reaksi (Kumar dan Froment, 2007; Zhang, dkk., 2009; Anand dan Sinha, 2012; Forghani, dkk., 2014) menyatakan bahwa jalur mekanisme reaksi masing-masing path sangat tergantung pada kondisi operasi saat reaksi berlangsung.

(Charusiri & Vitidsant, 2005) terdapat tiga reaksi paralel yang dapat diamati yaitu *hydrogenation*, *hydrodeoxygenation* dan *decarboxylation* dari *carboxylic acids* seperti yang terlihat pada mekanisme Gambar 2.11 sebagai berikut:

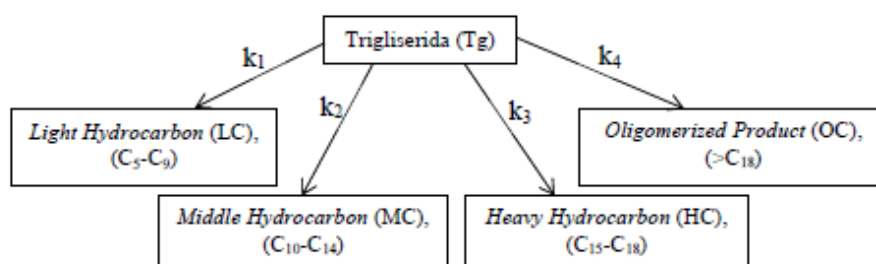


Gambar 2.11 Jalur reaksi selama hidroproses trigliserida, (a) pembentukan asam lemak, (b) hidrogenasi, (c) dekarboksilasi, (d) hidrodeoksigenasi.

Berdasarkan pada gambar 2.9 menunjukkan bahwa katalis yang digunakan pada reaksi *hydrocracking* merupakan katalis *bifunctional* yang secara kimiawi dapat memicu terjadi reaksi-reaksi sebagai berikut: a). *cracking*, b). Hidrogenasi hidrokarbon tidak jenuh hasil reaksi *cracking*, c). Hidrogenasi cincin

aromatik, dan d). Hidrogenolisis struktur naftenik. Pada reaksi pertama, sisi logam berperan dalam memicu reaksi dehidrogeniasi menghasilkan senyawa alkena yang kemudian menjadi ion pada sisi asam. Reaksi kedua dan ketiga terjadi pada sisi logam. Reaksi keempat terjadi pada kedua sisi katalis (sisi asam dan logam). Keseimbangan fungsi asam dan logam yang tepat diperlukan untuk mencegah terbentuknya *coke*. Oleh karena itu, reaksi hidrogenasi alkena hasil reaksi *cracking* harus berlangsung dalam jangka waktu yang singkat guna menghindari terjadinya reaksi polimerisasi maupun kondensasi lebih lanjut yang menghasilkan senyawa prekursor *coke*. Keseimbangan ini selain dipengaruhi oleh karakteristik katalis serta sangat dipengaruhi oleh pengaturan kondisi operasi. Faktor pertama adalah kondisi operasi temperatur yang tinggi untuk menunjang reaksi pada sisi asam. Faktor kedua adalah meningkatkan tekanan parsial hidrogen dapat meningkatkan reaksi hidrogenasi pada sisi logam.

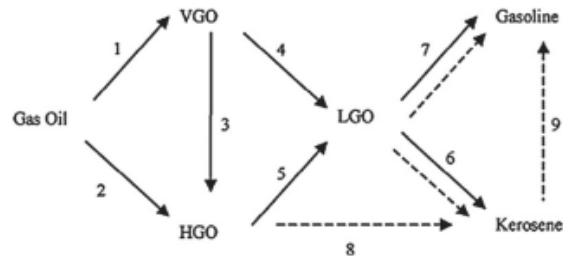
Kinetika mekanisme reaksi pembentukan *biofuel* melalui reaksi *hydrocracking* pada tingkat molekular sangat sulit untuk dijabarkan dan memiliki reaksi yang cukup kompleks. Hal ini dikarenakan berbagai macam komponen reaktan yang terlibat. Analisa kinetika *cracking* dapat disederhanakan dengan mengelompokkan produk dalam bentuk lumps. Lumps dibentuk dengan mengelompokkan komponen hidrokarbon yang dihasilkan menjadi beberapa kategori (Anand et al., 2016) seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Model kinetika reaksi untuk konversi trigliserida (Anand et al., 2016)

(Pérez-Uriarte et al., 2016) mengusulkan model kinetika yang relatif kompleks untuk konversi VGO menjadi produk di mana jalur reaksi *hydrotreating* dan *hydrocracking* diperhitungkan secara bersamaan (Gambar 2.13) dengan reaksi *hydrotreating* pada temperatur 340-390 °C yang ditunjukkan oleh garis padat

(reaksi 1-7) dan reaksi *hydrocracking* pada temperatur 390-420 °C diilustrasikan oleh garis putus-putus (reaksi 6-9).



Gambar 2.13 Model Kinetika dari Reaksi *hydrocracking* gas oil

Untuk memodelkan reaktor batch, secara umum persamaan keseimbangan untuk reaktor batch dengan menggunakan persamaan model kinetika (persamaan 7) yang diperoleh dari pengolahan persamaan 1-6.

Persamaan design *reactor batch*:

$$-r_A = \frac{dC_A}{dt}, \text{ mol}/(\text{liter} \cdot \text{menit}) \quad (1)$$

dimana $-r_A$ adalah laju reaksi ($\text{gmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

Persamaan laju reaksi (asumsi mekanisme reaksi tidak dipertimbangkan):

$$-r_A = k C_A^n, \text{ (k: konstanta laju reaksi, n: orde reaksi)} \quad (2)$$

Konsentrasi dalam reaktor *bervolume* tetap :

$$C_A = C_{A0} (1 - x), \text{ (} C_{A0}: \text{ konsentrasi mula, x : konversi reaksi)} \quad (3)$$

Dalam reaksi fase gas dan asumsi gas ideal, konsentrasi menjadi:

$$C_A = \frac{P}{RT} \quad (4)$$

Substitusi persamaan (4) ke (2), diperoleh :

$$-r_A = \frac{k P^n}{(RT)^n} \quad (5)$$

Bentuk differensial persamaan (4) menjadi:

$$dC_A = \frac{dP}{RT} \quad (6)$$

Substitusi persamaan (5) dan (6) ke persamaan (1), diperoleh persamaan (7)

$$dP / dt = k \cdot P^n \cdot T^{1-n}$$

Plot antara konversi versus waktu untuk semua temperatur menghasilkan garis lurus dengan konstanta regresi yang lebih baik ($R^2 \approx 1,00$).

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

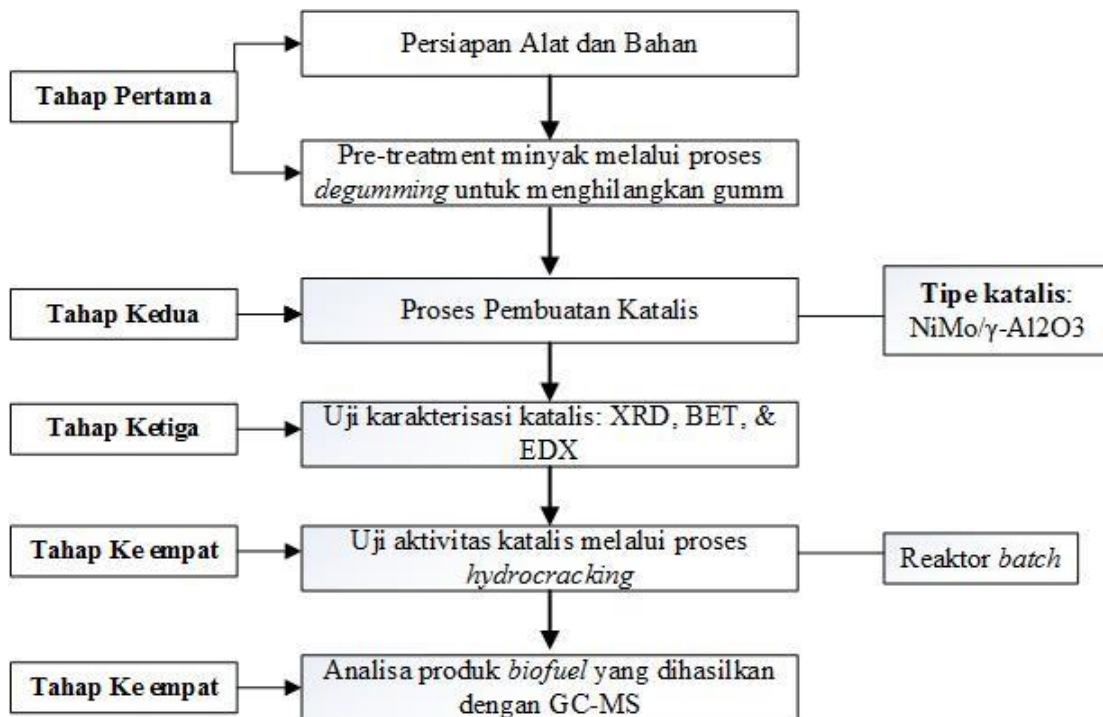
Penelitian yang berjudul konversi minyak nyamplung (*Callophyllum inophyllum* Linn) menjadi *biofuel* dengan proses *Hydrocracking* menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ ini dilaksanakan pada laboratorium Teknik Reaksi Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dan melalui beberapa tahapan seperti yang ditunjukkan pada diagram alir Gambar 3.1.

Adapun uraian tahapan tersebut sebagai berikut:

1. **Tahap Pertama:** Mempersiapkan bahan baku untuk preparasi katalis dan bahan baku minyak nyamplung (*Callophyllum inophyllum* Linn).

Bahan baku minyak:

- Pre-treatment minyak nyamplung melalui proses *degumming* dengan menggunakan asam fosfat (H₃PO₄).
 - Analisa kandungan minyak nyamplung (*Callophyllum inophyllum* Linn) dengan GC-MS.
2. **Tahap Kedua** : Preparasi katalis logam NiMo/ γ -Al₂O₃ sesuai dengan variabel *loading* logam (%wt total logam/%wt total catalyst) dan rasio logam masing-masing promotor terhadap berat katalis total.
 3. **Tahap Ketiga** : Karakteristik katalis yang dihasilkan. Metode analisa untuk karakterisasi katalis adalah analisa XRD, BET, *Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy* (EDX).
 4. **Tahap Keempat** : Uji aktivasi katalis dengan proses *hydrocracking* minyak nyamplung (*Callophyllum inophyllum* L.) menggunakan *batch reactor*.
 5. **Tahap Kelima** : Menganalisa produk *Biofuel* dengan menggunakan analisa *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS).



Gambar 3.1 Diagram alir tahap proses penelitian

Dalam pembuatan biofuel dari minyak Nyamplung melalui proses *Hydrocracking* dengan menggunakan katalis $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dilakukan persiapan sebagai berikut:

3.1 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.1.1 Bahan

1. Bahan baku yang akan dikonversi menjadi Biofuel yaitu minyak nyamplung (*Calophyllum inophyllum Linn*) yang diperoleh dari Kabupaten Cirebon, Jawa Barat.
2. Gas Hidrogen (H_2)
3. Gas Nitrogen (N_2)
4. H_3PO_4 (asam Phospat), 85% sebanyak 0,3% (v/v)
5. Aquadest
6. $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 85 % (Merck)

Spesifikasi :

- i. *Product name*: Aluminium oxide anhydrous (γ -alumina)
- ii. CAS NO: 1344-28

iii. *Manufacturer*: Merck KgaA Darmstadt, Germany

7. $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Spesifikasi:

i. *Product name*: Nickel(II)nitrate hexahydrate

ii. CAS NO: 13478-00-7

iii. *Manufacturer*: EMD Millipore Corporation

8. $(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7 \cdot \text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Spesifikasi:

i. *Product name*: Ammonium heptamolybdate tetrahydrate

ii. CAS NO: 12054-85

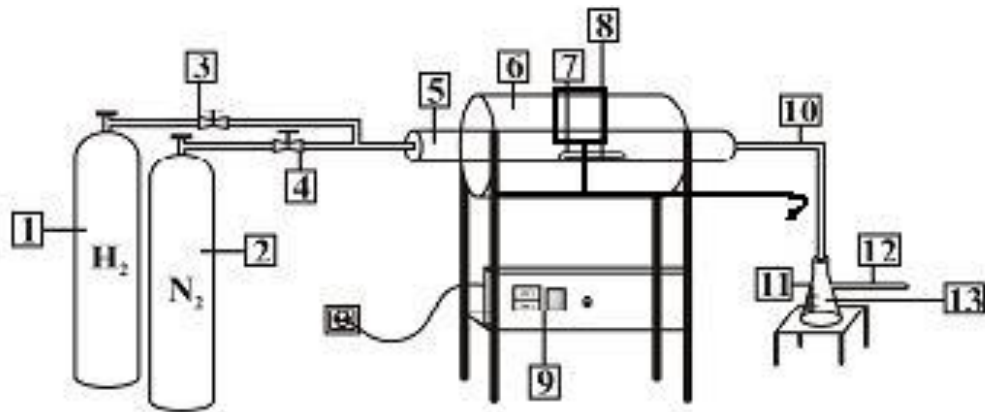
iii. *Manufacturer*: EMD Millipore Corporation

3.1.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian yaitu peralatan untuk pembuatan berupa peralatan kalsinasi, serta peralatan untuk proses *Hydrocracking*.

1. Peralatan kalsinasi (*furnace*).

Peralatan kalsinasi yang digunakan pada penelitian ini yang digambarkan pada Gambar 3.2 yakni berupa *tubular furnace* dengan merk Linn Elektro Therm Jerman. *Tubular furnace* ini memiliki panjang 80 cm dengan diameter 10 cm. *Tubular furnace* ini dilengkapi pemanas elektrik dengan kontrol temperatur operasi kalsinasi. Untuk tempat menaruh katalis dalam *furnace* digunakan *nacelle* dari bahan kuarsa. *Nacelle* yang digunakan berdiameter ½ inci dengan panjang 10 cm. Peralatan kalsinasi ini dilengkapi dengan kompresor udara untuk mensuplai udara pada reaktor kalsinasi dan gas hidrogen yang digunakan untuk mereduksi logam yang terdapat pada katalis hasil sintesis. Erlenmeyer diisi air digunakan sebagai penanda bahwa pada aliran gas keluar melewati reaktor kalsinasi. Berikut secara lengkap rangkaian alat kalsinasi ditampilkan pada Gambar 3.2:



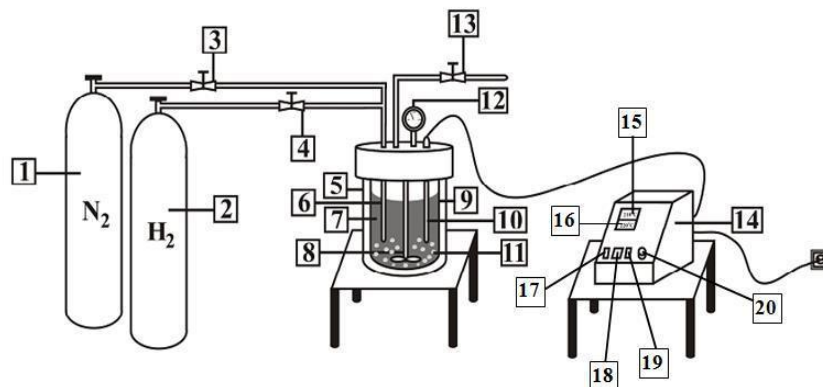
Keterangan Gambar:

1. Tabung gas H₂
2. Tabung gas N₂
3. Valve tube gas H₂
4. Valve tube gas N₂
5. Reaktor kalsinasi
6. Furnace
7. Nacelle
8. Katalis
9. Panel control temperatur furnace
10. Tube gas outlet reaktor kalsinasi
11. Vakum fest erlenmeyer
12. Gas keluar (*Tube gas outlet erlenmeyer*)
13. Air
14. Pengait Nacelle

Gambar 3.2 Peralatan kalsinasi

2. Peralatan *Hydrocracking*

Peralatan yang digunakan untuk proses *hydrocracking* yaitu *batch reactor*. Jenis reactor yang digunakan yaitu *batch reactor* yang dilengkapi dengan pengaduk. Model reaktor yang digunakan adalah model 4563 *Parr Instrument Company* dengan volume 600 ml. Berikut secara lengkap rangkaian alat proses *hydrocracking* ditampilkan pada Gambar 3.3:



Keterangan gambar:

- | | |
|--|--|
| 1. Tabung gas N ₂ | 13. Gas outlet valve |
| 2. Tabung gas H ₂ | 14. Panel kontrol heater-reaktor |
| 3. Valve tube gas N ₂ | 15. Display temperatur reaktor |
| 4. Valve tube gas H ₂ | 16. Display temperatur setpoint |
| 5. Heater | 17. Tombol ON panel kontrol heater-reaktor |
| 6. Tube reaktor gas N ₂ /H ₂ | 18. Tombol ON heater |
| 7. Minyak Nyamplung | 19. Tombol ON pengaduk |
| 8. Pengaduk | 20. Tombol pengaturan kecepatan pengaduk |
| 9. Reaktor | |
| 10. Thermocouple | |
| 11. Katalis | |
| 12. Indikator tekanan reaktor | |

Gambar 3.3 Peralatan proses *hydrocracking*

3. Peralatan Proses *Degumming* Minyak Nyamplung

Peralatan yang digunakan untuk proses *degumming*, yaitu:

- a. *Magnetic stirrer*
- b. Pengaduk
- c. Corong pisah
- d. Kondensor
- e. Syringe/ filter
- f. Labu leher tiga
- g. *Water bath*
- h. Thermometer.

3.2 Kondisi Operasi dan Variabel Proses

- Kondisi operasi proses aktivasi katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Hosseini & Khosravi-Nikou, 2016) sebagai berikut :
 - Temperatur kalsinasi ($^{\circ}\text{C}$) = 580°C

- Waktu kalsinasi = 8 jam

3.2.1 Variabel Tetap

1. Preparasi Katalis

- Metode Preparasi Katalis : *dry impregnation*
- Waktu pengeringan : 12 Jam
- Temperatur kalsinasi : 500 °C
- Waktu kalsinasi : 5 jam
- Temperatur reduksi : 550 °C
- Waktu reduksi : 5 jam
- Massa katalis : 10% dari volume minyak yaitu ; 30 gr

2. Proses *Hydrocracking* produksi *Biofuel*

- Bahan baku : Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*)
- Jenis katalis : Ni-Mo/ γ -Al₂O₃
- Bentuk katalis : Powder
- Tekanan reaktor : 10 bar, setelah dialiri H₂ selama 1 jam dan temperatur reaksi telah tercapai.
- Volume minyak : 300 ml
- Waktu reaksi : 2 jam

3.2.2 Variabel Berubah

1. Kondisi Operasi Katalis dengan tipe katalis (Ni-Mo/ γ -Al₂O₃)

- *Loading* logam terhadap berat katalis total (%wt *total promote*/%wt *total catalyst*) = 10% dan 15%
- Rasio logam masing-masing logam terhadap *loading* logam katalis (Ni:dan Mo) = 1:1 dan 1:2.

2. Kondisi operasi pada pembuatan *biofuel*

- Temperatur reaksi (°C) = 300, 350

• Kondisi operasi uji kinetika reaksi *hydrocracking* minyak nyamplung menjadi *biofuel*

- Untuk studi kinetika, menggunakan temperatur terbaik dan loading katalis terbaik Ni-Mo/ γ -Al₂O₃.
- Setelah temperatur reaksi tercapai, variasi waktu sampling di mulai dari : (0,30,60,90, dan 120) menit.

- Variabel berubah
 - Waktu reaksi (menit): 0,30,60,90, dan 120.

3.3 Parameter yang Dianalisa

3.3.1 Bahan Baku Minyak Nyamplung

Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS).

3.3.2 Katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃

X-Ray Diffraction (XRD), Brunauer Emmet Teller (BET), Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy (EDX).

3.3.3 Produk Hidrokarbon Cair (*Biofuel*)

Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS).

3.4 Prosedur Penelitian

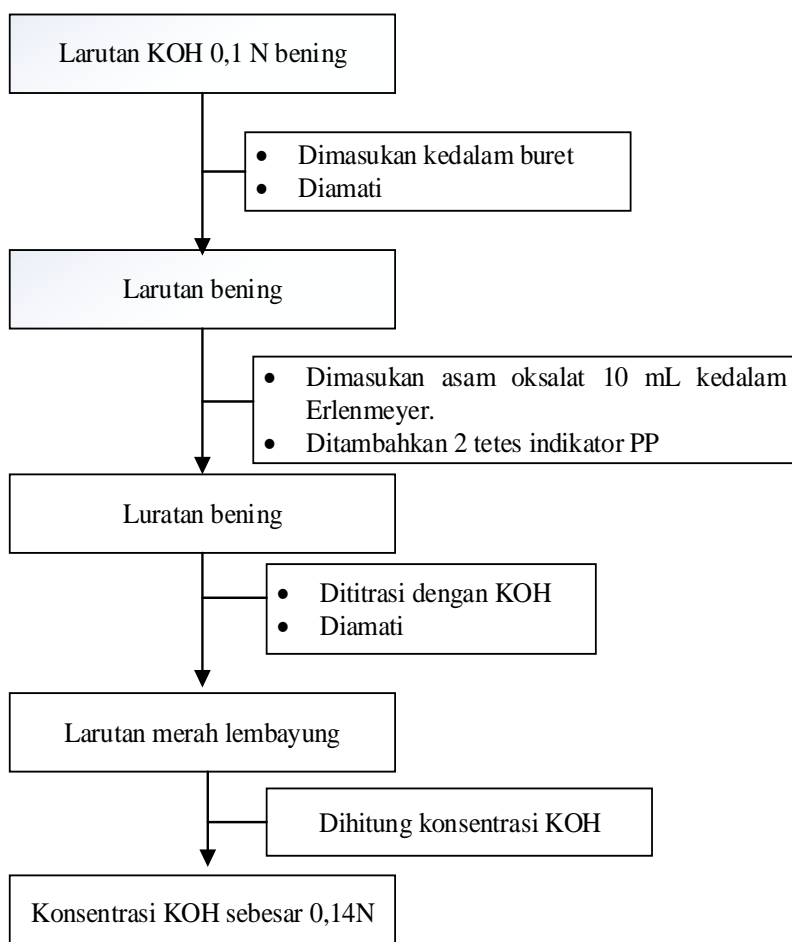
3.4.1 Pre-treatment Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*) melalui proses *Degumming*

Sebanyak 300 ml minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*) yang telah disaring dipanaskan pada temperatur 70 °C dalam gelas piala 500 ml sambil diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer*, setelah 15 menit minyak nyamplung ditambahkan larutan asam fosfat 85% sebanyak 1,5 ml atau 0,5% (v/v) dan pengadukan dilanjutkan hingga 30 menit. Selanjutnya minyak nyamplung didiamkan semalam hingga gumm dan kotoran terpisah dari minyak. Minyak selanjutnya dimasukkan kedalam corong pisah untuk memisahkan gumm dan kotoran, kemudian dicuci dengan air hangat ($\pm 60^{\circ}\text{C}$). Pencucian diulang hingga air pencucian netral kemudian dikeringkan dengan proses vakum sampai temperatur air 100 °C selama 20 menit.

3.4.2 Uji FFA (bilangan asam) Minyak Nyamplung

- Standarisasi KOH

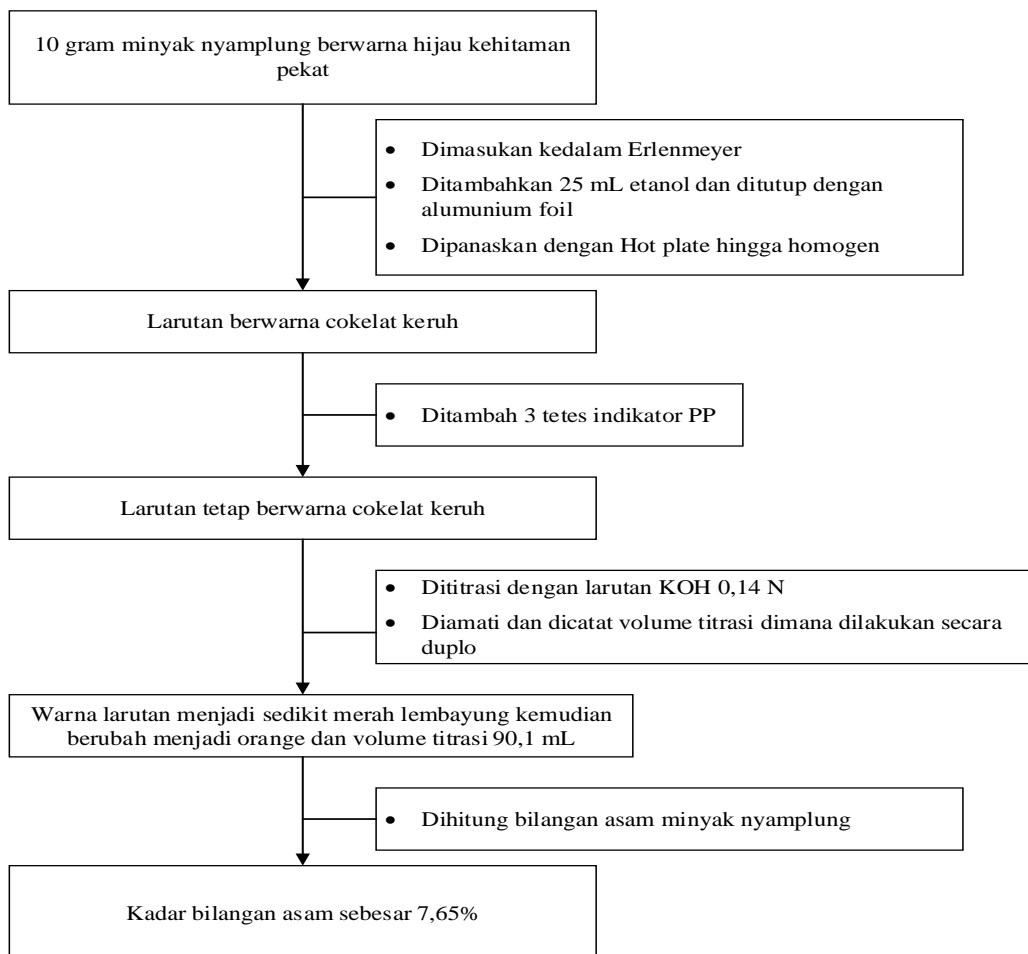
Dimasukkan etanol 100 mL lalu dicampurkan dengan larutan KOH 0,1 N dan dimasukkan kedalam buret lalu diukur asam oksalat 10 mL dan dimasukkan kedalam Erlenmeyer lalu ditambahkan indikator PP 3 tetes, dititrasi dan dihitung konsentrasi KOH. Prosedur standarisasi KOH dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram Alir Standarisasi KOH

- Uji bilangan asam minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*)

Minyak nyamplung yang belum dilakukan proses *degumming* diambil sebanyak 10 gram minyak kemudian dimasukkan kedalam Erlenmeyer. Ditambahkan 25 mL etanol kedalam Erlenmeyer. Ditungkat menggunakan aluminium foil. Dipanaskan diatas hot plate sampai homogen, lalu didiamkan dan didinginkan sebentar, lalu ditambahkan indikator PP 3 tetes kemudian dititrasi dengan larutan KOH 0,1 N, hingga terbentuk warna merah lembayung. Dicatat volume KOH dan dilakukan titrasi secara duplo. Prosedur uji bilangan asam minyak nyamplung dapat dilihat pada Gambar 3.5.

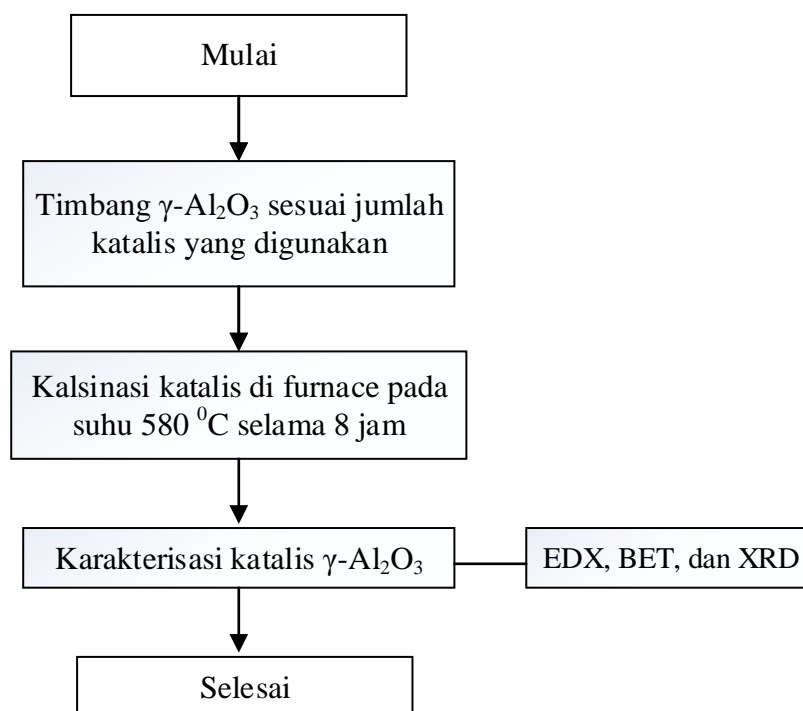


Gambar 3.5 Diagram Alir Uji Bilangan Asam Minyak Nyamplung

3.4.3 Pembuatan Katalis

- Aktivasi katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang digunakan sebagai penyangga dibuat melalui proses kalsinasi Aluminium oxide anhydrous. Langkah pertama, timbang Aluminium oxide anhydrous (p.a, Merck) yang akan digunakan. Kemudian kalsinasi pada temperatur $580\text{ }^\circ\text{C}$ dengan waktu 5 jam dengan dialiri gas O_2 . Pada proses aktivasi katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ menggunakan prosedur yang telah dilakukan oleh (Hosseini & Khosravi-Nikou, 2016). Maka katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (p.a, Merck) yang digunakan merupakan katalis komersial yang diaktivasi dengan melakukan proses kalsinasi di *furnace*, sebagai berikut:



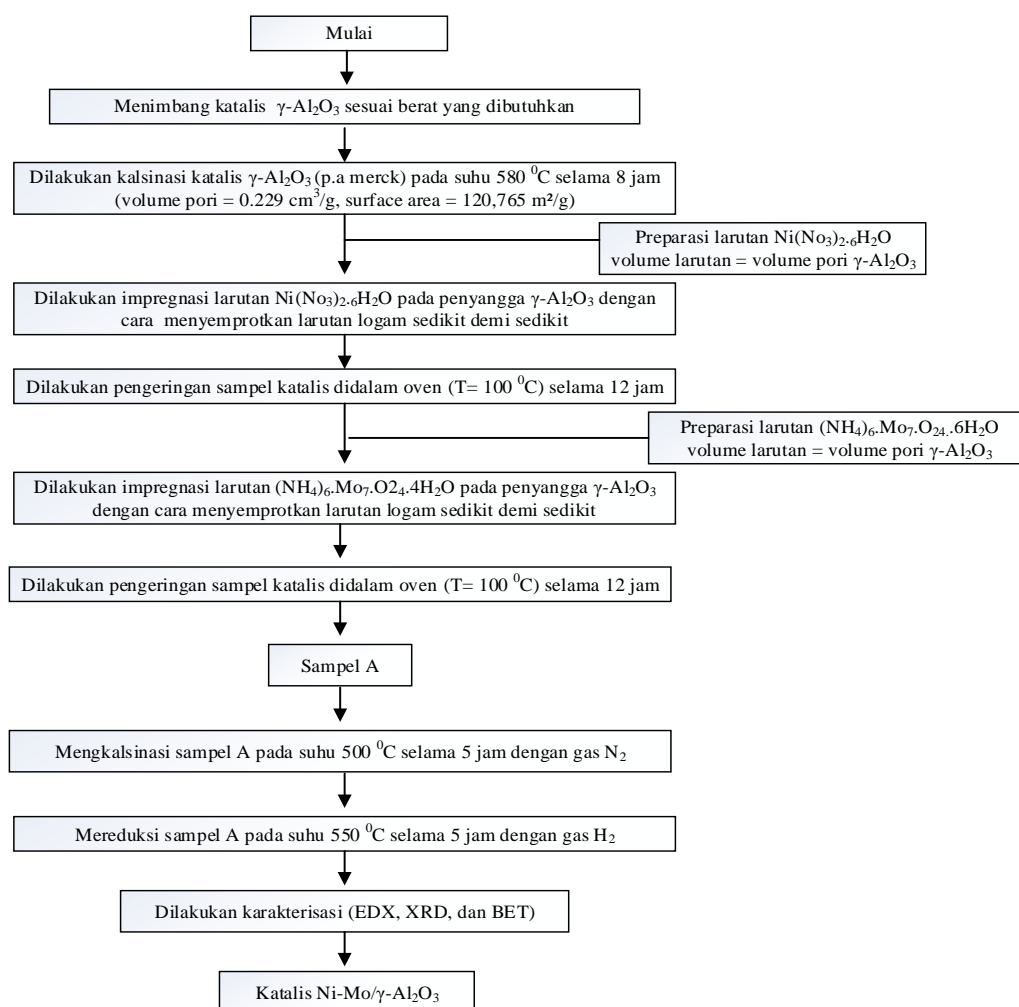
Gambar 3.6 Diagram Alir Prosedur Preparasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Selanjutnya katalis yang telah dikalsinasi dikarakterisasi dengan analisa BET, dan XRD.

- Preparasi Katalis Ni-Mo/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Prosedur preparasi katalis Ni-Mo berpenyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ menggunakan metode *dry impregnation*. (Holda Puron, 2013; Atsushi Ishihara, 2014; Savitri, 2015). Prekursor yang digunakan adalah larutan garam dari logam Ni dan Mo. Katalis NiMo dibuat dari *nickel(II) nitrate hexahydrate* ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dan *ammonium molybdenum(VI) tetrahydrate* $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sebagai *support* diimpregnasi dengan larutan garam logam $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, tahap-tahapannya adalah sebagai berikut: Melakukan impregnasi larutan $(\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ dengan cara menyemprotkan larutan logam sedikit demi sedikit ke $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sampai larutan habis, kemudian katalis didiamkan pada temperatur ruangan selama 5 jam . Setelah didiamkan dalam temperatur ruangan, selanjutnya katalis dikeringkan dalam oven pada temperatur $100\text{ }^\circ\text{C}$ selama 12 jam. Kemudian melakukan impregnasi larutan $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dengan cara menyemprotkan logam sedikit demi sedikit ke $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sampai larutan habis. Kemudian melakukan impregnasi larutan $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dengan cara

dan perlakuan yang sama pada sebelumnya, setelah dilakukan impregnasi katalis dikeringkan dalam oven pada temperatur 100 °C selama 12 jam. Melakukan kalsinasi dengan N₂ pada temperatur 500 °C selama 5 jam dan dilanjutkan proses reduksi dengan gas H₂ pada temperatur 550 °C selama 5 jam. Setelah melakukan reduksi, aliran gas H₂ dan *heater* dimatikan namun gas N₂ tetap dialirkan hingga katalis mencapai temperatur ruangan. Melakukan karakterisasi terhadap katalis dengan analisa (BET, XRD, dan EDX)



Gambar 3.7 Diagram alir prosedur preparasi katalis Ni-Mo/γ-Al₂O₃

3.4.4 Karakterisasi Katalis

Sampel katalis yang telah diperoleh, dianalisa dengan *Brunauer Emmett Teller* (BET) untuk mengetahui luas permukaan dan volume pori katalis. *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat kristalinitas katalis dan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung di dalam katalis. *Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy*

(EDX) untuk mengetahui morfologi katalis dan distribusi sebaran logam sekaligus mengetahui kandungan logam yang terimpregnasi pada penyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

a. Metode Analisa *X-Ray Diffraction* (XRD)

Metode analisa *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan metode analisa untuk mengetahui struktur kristal suatu senyawa sehingga menghasilkan struktur dan komposisi bahan kristal (Satterfield, 1991). Sampel katalis yang dianalisa menggunakan *diffractometer* dengan radiasi Cu- $k\alpha$ ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$) dan daerah anguler 2θ untuk katalis adalah $5,0084 - 90,0084$. Sampel katalis di haluskan dan dipress sebelum diletakkan di dalam wadah sampel XRD.

b. Metode Analisa BET, Adsorpsi Nitrogen

Adsorpsi Nitrogen menggunakan titik didihnya yaitu $77,350 \text{ K}$ merupakan teknik karakterisasi untuk menentukan luas permukaan, ukuran, distribusi dan bentuk pori.

c. Metode Analisa *Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy* (EDX)

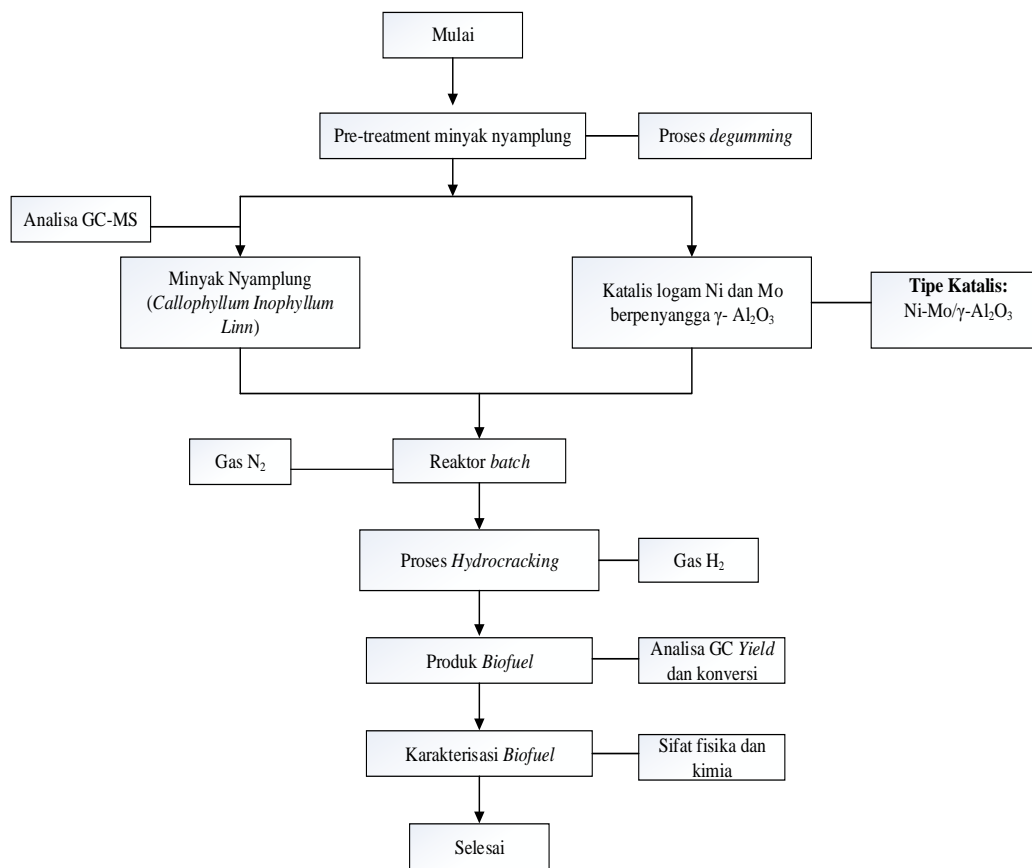
Metode *Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy* (EDX) adalah pengukuran dari pancaran sinar-X selama penembakan elektron pada mikroskop elektron (SEM) untuk menentukan komposisi kimia suatu material (sampel) dalam skala micron dan skala nano.

3.4.5 Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Menjadi *Biofuel*

Proses *hydrocracking* minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum Linn*) diawali dengan melakukan karakterisasi minyak nyamplung. Analisa kandungan trigliserida yang terdapat dalam minyak nyamplung menggunakan metode analisa GC-MS sedangkan untuk karakterisasi sifat-sifat fisik-kimia menggunakan metode ASTM-SNI. Reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah reaktor bertekanan dilengkapi dengan pengaduk dan alat pengukur tekanan. Reaktor dipanaskan menggunakan heater sebagai pembungkus reaktor yang disambungkan ke panel kontrol heater. Pada panel tersebut temperatur reaktor ditentukan melalui tombol digital. Pada aliran input reaktor terdapat pipa outlet produk dan pipa untuk inlet gas serta *termocouple* sebagai indikator temperatur. Spesifikasi alat *hydrocracking* : reaktor model series 4563 *pressure reactor system specifications*, volume 600 ml, *vessel style* : *moveable, magnetic stirrer* model No. A1120HC6, *heater style* :

mantle, *Width* : 12 in, *depth* : 18 in , *height* : 36 in. Langkah-langkah proses *Hydrocracking* minyak nyamplung menjadi *Biofuel* sebagai berikut:

1. Menimbang 30 gram katalis.
2. Memasukkan katalis dalam reaktor perengkahan.
3. Memasukkan 300 ml bahan baku minyak nyamplung kedalam tangki.
4. Mengalirkan gas N₂ ke dalam reaktor untuk menghilangkan oksigen selama 10 menit.
5. Mengalirkan gas H₂ ke dalam reaktor sampai dengan tekanan reaktor 10 bar, kemudian menutup valve inlet hidrogen.
6. Menghidupkan heater dan pengaduk reaktor.
7. Memulai proses perengkahan dengan mengatur setting temperatur proses sesuai variabel temperatur yang ditetapkan.
8. Setelah mencapai temperatur variabel, membiarkan reaksi berjalan selama 2 jam untuk setiap variabel temperatur.
9. Mengambil sampel keluar dan menyaring sampel.
10. Menganalisa sampel dengan analisa GC-MS.
11. Percobaan diulangi untuk variabel perbandingan komposisi katalis lainnya.



Gambar 3.8. Diagram alir prosedur proses *hydrocracking* minyak nyamplung menjadi *biofuel*

3.4.6 Analisa Produk Hidrokarbon Cair (*Biofuel*)

Produk hidrokarbon cair (*biofuel*) yang diperoleh dari reaksi *hydrocracking* minyak nyamplung (*Callophyllum inophyllum Linn*) dianalisa dengan metode GCMS untuk mengetahui komposisi senyawa hidrokarbon. Dalam percobaan ini parameter yang diukur adalah *yield*, konversi dan selektivitas.

3.4.7 Metodologi Kinetika Reaksi Minyak Nyamplung

Mula-mula minyak nyamplung dimasukkan kedalam reaktor dengan katalis NiMo/ γ Al₂O₃. Kondisi reaksi pada temperatur 300, 350° C dan tekanan 10 bar waktu reaksi sampai 120 menit. Setelah temperatur tercapai, sampel diambil setiap 0 menit hingga 120 menit. Sampel dipisahkan dalam botol sampel sesuai waktu (0, 30, 60, 90, dan 120) menit kemudian difilter terlebih dahulu sampelnya dan selanjutnya di analisa GC-MS. Kemudian ditentukan *yield* produk (gasolin, kerosin, gasoil) dan konversi reaksi. Berdasarkan data konversi reaksi dengan waktu reaksi dapat di tentukan nilai k_1 dan energi ativasi (E_a). kemudian dalam

menghitung laju reaksi diperlukan perhitungan modulus thiele untuk menghitung regime yang mengontrol (M_T).

3.4.8 Perhitungan Yield Produk

Parameter yang diukur dalam percobaan ini adalah *yield*, konversi dan selektivitas. *Yield* hidrokarbon cair *biofuel* yang diukur adalah *kerosen-like hydrocarbon* (MC) – (C₉-C₁₄), *gasoil-like hydrocarbon* (HC) – (C₁₅-C₁₈) dan *Oligomerized hydrocarbon* (OC), >C₁₈ (Barron, dkk., 2011; Anand dan Sinha, 2012; dan Cheng, dkk., 2014). Perhitungan tersebut menggunakan asumsi bahwa %area sama dengan %berat senyawa yang didapatkan dari uji analisa GC-MS ekuivalen dengan % berat senyawa tersebut

$$\text{Yield gasoline} = \frac{\% \text{ kadar gasoline} \times \text{berat total produk}}{\text{Berat umpan}} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$\text{Yield gasoil} = \frac{\% \text{ kadar gasoil} \times \text{berat total produk}}{\text{Berat umpan}} \times 100\% \quad (3.2)$$

$$\text{Konversi} = \frac{\text{reaktan yang bereaksi}}{\text{feed}} \times 100\% \quad (3.3)$$

$$\text{Selektivitas} = \frac{\text{produk yang diinginkan}}{\text{reaktan bereaksi}} \times 100\% \quad (3.4)$$

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini tentang konversi minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*) menjadi biofuel melalui proses *hydrocracking*. Pada konversi trigliserida melalui reaksi *hydrocracking* tersebut menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃. Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari 5 (lima) tahap, yaitu **Tahap pertama:** Persiapan bahan baku minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*) dan preparasi katalis. **Tahap kedua:** Preparasi katalis penyangga γ -Al₂O₃, kemudian dilanjutkan dengan preparasi katalis logam ganda NiMo/ γ -Al₂O₃ sesuai dengan variabel *loading* logam (%wt total logam/%wt total catalyst) dan rasio logam masing-masing terhadap berat katalis total. **Tahap ketiga:** karakterisasi katalis yang telah dihasilkan. Metode analisa untuk karakterisasi katalis adalah analisa XRD, BET dan EDX. **Tahap keempat:** uji aktivitas katalis dengan proses *hydrocracking* minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*). **Tahap kelima:** analisa produk hidrokarbon cair yang dihasilkan dengan metode analisa GC-MS.

4.1 Persiapan Bahan

Reaksi *hydrocracking* adalah proses pemutusan rantai karbon panjang menjadi rantai karbon lebih pendek (reaksi dealkilasi). Proses ini biasa digunakan dalam proses produksi bahan bakar seperti LPG, gasolin, kerosin, diesel dan pelumas pada industri minyak bumi (*petroleum*) (Burners, dkk. 20110). Reaksi ini dapat diterapkan dalam pembuatan gasolin, kerosin, dan gasoil/biodiesel dengan bahan baku minyak nabati. *Hydrocracking* termasuk dalam proses *Hydroprocessing* yang menggunakan gas hidrogen untuk mengkonversi komponen hidrokarbon (HC) dengan rantai panjang menjadi HC yang lebih pendek seperti komponen diesel dan gasolin. Selama *hydroprocessing* katalis yang digunakan memiliki peran penting dalam pembentukan produk seperti : C5 – C10, C11- C13, and C14 - C20, and *liquid petroleum gas* (LPG). Pada umumnya proses *hydrocracking* berlangsung pada temperatur 260 – 495 °C dengan tekanan 35 – 200 bar (Sildir et al, 2012). Pada temperatur tinggi , katalis asam kuat akan menghasilkan naphtha lebih dominan, sebaliknya untuk produk *middle distilate* membutuhkan temperatur dan tingkat keasaman katalis yang sedang (C13-C19). Green Diesel dapat diperoleh dari proses hidredeoksigenasi dengan produk utama

adalah C17 dan C18 n-paraffins yang memiliki *Cetane Number* lebih tinggi dibanding isomernya dengan rantai bercabang.

Reaksi *Hydrocracking* ini melibatkan tiga fasa, yaitu fasa cair (minyak nyamplung), fasa gas (H_2), dan fasa padat (katalis $NiMo/\gamma-Al_2O_3$). Karena melibatkan tiga fasa tersebut, maka reaktor yang sesuai untuk digunakan adalah reaktor *batch*. Temperatur dan tekanan operasi pada proses *Hydrocracking* ini relatif tinggi, yaitu dengan temperatur 300, 350, 400, 450, 500 °C, dan 10 bar. Tekanan tinggi berfungsi untuk meningkatkan kelarutan gas H_2 dalam minyak sehingga reaksi dapat berjalan secara optimum.

4.1.1 Persiapan Bahan Baku Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum Linn*)

Bahan baku minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*) diperoleh dari daerah Cirebon, Jawa Barat. Dimana sebelum dilakukan pre-treatment melalui proses *degumming*, minyak nyamplung terlebih dahulu dianalisa kandungan minyak nyamplung dan asam lemaknya melalui uji GC-MS.

- Proses *degumming* minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*)

Degumming merupakan suatu proses yang bertujuan untuk menghilangkan fosfatida, wax, dan pengotor lainnya dengan cara menambahkan air, larutan garam, atau larutan asam (penelitian ini menggunakan H_3PO_4). Proses *degumming* sendiri bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang ada didalam minyak. Minyak yang digunakan adalah minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum Linn*), dimana sebanyak 300 ml minyak nyamplung yang telah disaring dimasukkan kedalam labu leher tiga 500 ml, kemudian dipanaskan diatas hot plate hingga mencapai temperatur 70 °C sambil diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer. Setelah 15 menit minyak nyamplung ditambahkan larutan (H_3PO_4) 85% sebanyak 1,5 ml atau 0,5% (v/v) dan pengadukan dilanjutkan hingga 30 menit, setelah ditambahkan dengan asam phospat warna minyak berubah menjadi lebih cokelat bata. Selanjutnya minyak nyamplung didiamkan semalam hingga gumm dan kotoran terpisah dari minyak. Minyak selanjutnya dimasukkan kedalam corong pisah 500 ml untuk memisahkan gumm dan kotoran, kemudian ditambahkan aquadest yang telah dipanaskan pada temperatur (± 60 °C), pencucian ini dilakukan sampai buangan pada pH 6. Kemudian minyak nyamplung hasil proses *degumming*

dikeringkan dengan proses destilasi vakum dengan pemanas sampai temperatur 100 °C selama 20 menit. Adapun proses *degumming* minyak nyamplung dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Proses *Degumming* Minyak Nyamplung



Gambar 4.2 Perbedaan hasil minyak nyamplung sebelum hingga sesudah dilakukan proses *degumming*.

Setelah dilakukan proses *degumming*, terlihat perubahan warna dari minyak nyamplung. Dimana minyak nyamplung awalnya berwarna hijau kehitaman pekat menjadi warna lebih jernih setelah dilakukan proses *degumming*. Pada proses *degumming* ini minyak nyamplung dipisahkan dari kotoran dan gumm dengan penambahan asam fosfat (H_3PO_4), kemudian dilakukan proses vakum untuk menghilangkan air yang terdapat pada minyak dari proses pencucian pada *degumming*. Sehingga proses ini mempengaruhi nilai FFA dari minyak nyamplungnya sendiri.

- Uji FFA (bilangan asam) Minyak Nyamplung
 - ✓ Standarisasi KOH

Hasil yang didapat pada percobaan standarisasi KOH pada saat titrasi larutan berwarna merah lembayung, didapatkan konsentrasi sebesar 0.14 N.
 - ✓ Uji bilangan asam minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*)

Uji asam lemak bebas pada titrasi larutan, berwarna merah lembayung dengan volume titrasi 90,1 mL setelah dipanaskan larutan berwarna cokelat keruh lalu dititrasi berwarna merah lembayung yang kemudian lama kelamaan berwarna orange dan volume titrasi didapat bilangan asam sebesar 7.65%.
- Karakterisasi Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*)

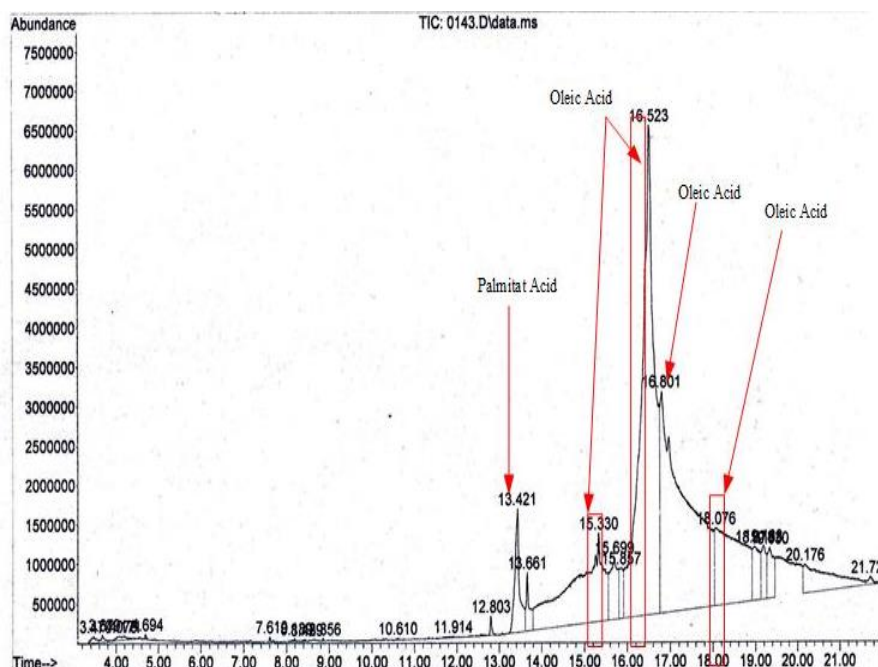
Pemilihan sumber bahan baku untuk menghasilkan produk biofuel sangat penting. Hal ini dikarenakan untuk keberlangsungan produksi bahan bakar tersebut. Pada penelitian ini menggunakan minyak nabati non-pangan (non-edible oil) yaitu minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*). Minyak nyamplung mempunyai kandungan asam lemak tidak jenuh yang cukup tinggi seperti asam oleat serta komponen-komponen tak tersabunkan diantaranya alkohol, lemak, sterol, xanton, turunan kumarin, kalofilat, isokalofilat, isoptalat, dan kapilierat yang dapat dimanfaatkan sebagai obat. Komposisi asam lemak dalam minyak nyamplung setelah dilakukan *degumming* dan sebelum didominasi oleh asam lemak trigliserida yaitu asam oleic (C₁₈:O₂). Minyak nyamplung berwarna cokelat kehijauan, beraroma menyengat seperti karamel dan beracun. Minyak nyamplung dihasilkan dari buah yang telah matang dan mempunyai penyembuhan untuk jaringan terbakar (Indonesia et al., 2011). Trigliserida dari minyak nyamplung terlebih dahulu terkonversi menjadi triolein, sehingga terbentuk asam oleat, palmitat, linoleat dan stearat (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Komposisi asam lemak minyak nyamplung sebelum dan setelah *degumming* pada penelitian ini

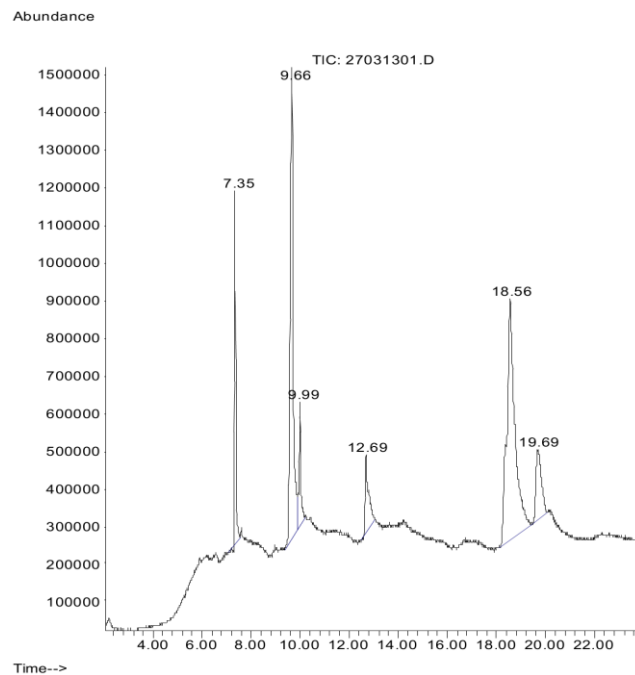
Komponen asam lemak	Nama Kimia	Rumus Kimia	% Berat (Sebelum)	% Berat (Sesudah)
Asam Lemak Jenuh	-	-	-	-
Asam Palmitat	n-Hexadecanoic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	18.46	6.19
Asam Stearat	trans-13-Octadecenoic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	11.14	25.36
Asam Lemak Tak Jenuh	-	-	-	-
Asam oleat	Cis-9-Octadecenoic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	58.13	63.69
Asam Linoleat	Cis-13-Octadecenoic acid	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	28.26	30.27

Minyak nyamplung yang telah di *degumming* pada penelitian ini mengandung asam lemak jenuh 31,55% (palmitat dan stearat) dan asam lemak tidak jenuh 63,92% (oleat dan linoleat). Penelitian lainnya menyatakan bahwa komposisi minyak nyamplung terdiri atas asam lemak jenuh 29,41% dan asam lemak tidak jenuh 70,32% (Rahmawati et al., 2013).

Sementara minyak nyamplung yang telah dilakukan uji GC-MS dan tidak dilakukan *degumming* menunjukkan asam lemak didominasi oleh asam lemak oleat dengan 58,13%. Yang lebih sedikit rendah dibandingkan dengan setelah dilakukan *degumming*, berikut spektra GC-MS minyak nyamplung setelah di lakukan *degumming* dan sebelum dilakukan *degumming*. Dari kedua kandungan asam lemak pada minyak nyamplung diketahui kandungan asam lemak sebelum dilakukan *degumming* maupun setelah dilakukan *degumming* memiliki jumlah kadar asam lemak yang jauh berbeda. Dimana kadar asam lemak sesudah dilakukan *degumming* lebih tinggi dibandingkan minyak nyamplung sebelum dilakukan *degumming*. Kandungan asam lemak pada minyak nyamplung yang tinggi yaitu asam oleat, yang mana asam oleat tersebut akan dicracking menjadi produk hidrokarbon cair (*biofuel*) melalui proses hydrocracking.



Gambar 4.3 Spektra GC-MS Minyak Nyamplung (*Callophyllum inophyllum L.*) setelah *degumming*



Gambar 4.4 Spektra GC-MS Minyak Nyamplung (*Callophyllum inophyllum L.*) tidak dilakukan *degumming*

Berikut merupakan sifat fisika dan kimia minyak nyamplung setelah dilakukan proses *degumming*:

Tabel 4.2 Sifat fisika dan kimia minyak nyamplung sebelum dan setelah *degumming*

Parameter	Satuan	Hasil Analisa		Pustaka*	
		Sebelum <i>degumming</i>	Sesudah <i>degumming</i>	Sebelum <i>degumming</i>	Sesudah <i>degumming</i>
Densitas	g/cm ³	0,9399	0.9224	0.944	0.940
Viskositas	cSt	54.28	41.00	60,96 (kental)	45.5
FFA	%	15.53	7.65	29.53	27.21
Warna	-	Hijau gelap	Cokelat kemerahan (merah bata)	Hijau gelap	Kuning kemerahan

Sumber : * Balitbang Kehutanan, 2008

Dari Table 4.2 perbandingan sifat fisika dan kimia minyak nyamplung memiliki kandungan FFA, viskositas, dan densitas sebelum dan sesudah di *degumming*. Setelah dilakukan *degumming* nilai densitas, FFA, dan viskositas mengalami penurunan yaitu 0.9224 g/cm³, 7.65%, dan 41.00 cSt, hal ini dikarenakan zat impurities pada minyak nyamplung telah terikat oleh asam phospat dari proses *degumming* itu sendiri. Setelah dilakukan *degumming* warna minyak berubah

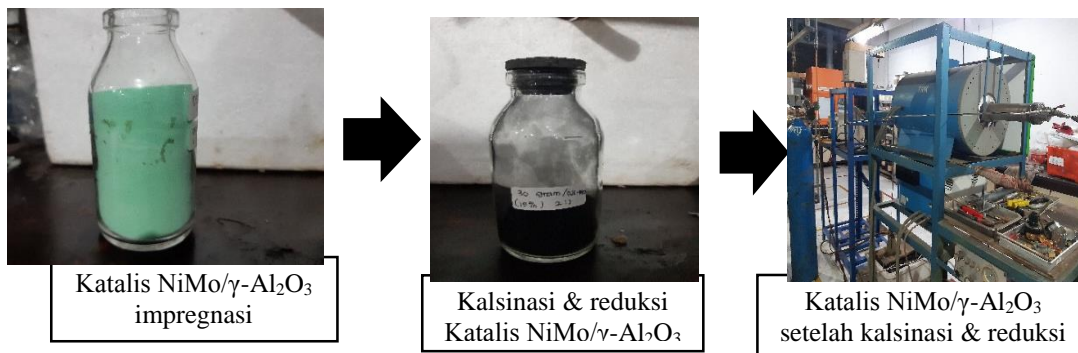
menjadi cokelat kemerah bata yang sebelumnya warna minyak yaitu hijau gelap dengan viskositas tinggi (kental) sebesar 60,96 cSt.

4.2 Preparasi Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃

Pada preparasi katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ ini menggunakan metode *dry impregnation*, yang dilakukan berdasarkan volume pori katalis penyangga gamma alumina (γ -Al₂O₃) dengan variasi rasio logam transisi dan %*loading* logam terhadap berat katalis penyangga yaitu γ -Al₂O₃. Pada laporan ini bahwa telah melakukan pembuatan/preparasi katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ dengan variasi logam transisi dan %*loading* logam terhadap support yaitu γ -Al₂O₃. Penelitian ini terdiri dari lima tahap, yaitu: persiapan bahan baku minyak nyamplung, preparasi katalis, karakterisasi katalis menggunakan metode *X-ray diffraction* (XRD), *Brunauer Emmett Teller* (BET) dan *Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy* (EDX), uji aktivitas katalis melalui proses *hydrocracking* minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*) dan analisa produk *biofuel*.

Tahap awal dalam penelitian ini adalah preparasi katalis. Metode yang digunakan untuk preparasi katalis yaitu menggunakan metode *dry impregnation*. Pada penelitian ini, penyangga (support) menggunakan (gamma alumina) γ -Al₂O₃. Untuk penyangga (support) gamma alumina saya menggunakan bahan komersial dengan spesifikasi; *Product name* : Aluminium oxide anhydrous (γ -alumina) dan *Manufacture*: Merck KgaA Darmstadt (CAS.No. 1344-28). Germany 85% (Merck) dengan volume pori= 0,229 cm³/g dan surface area= 120,765 m²/g, preparasi katalis gamma alumina melalui kalsinasi pada temperatur 580 °C dengan mengalirkan udara dari kompresor selama 8 jam (Hosseini & Khosravi-Nikou, 2016). Variasi logam transisi yang digunakan pada penelitian ini adalah kombinasi logam Ni, dan Mo dengan penyangga γ -Al₂O₃ yaitu NiMo/ γ -Al₂O₃. Preparasi katalis ini menggunakan larutan prekursor berasal dari senyawa garam logam-logam tersebut. Metode preparasi menggunakan metode *dry impregnation*. Preparasi logam katalis dilakukan berdasarkan *loading* logam bimetal terhadap *loading* total katalis dan rasio logam bimetal terhadap *loading* logam. Variasi konsentrasi logam katalis tersebut dapat mempengaruhi karakteristik produk cair hidrokarbon yang dihasilkan.

Prosedur preparasi katalis Ni-Mo berpenyangga γ -Al₂O₃ menggunakan metode *dry impregnation* (Savitri et al., 2015). Metode *dry impregnation* ini penambahan jumlah larutan prekursor fasa aktif kurang dari 1,2 volume pori penyangga. Hal ini dilakukan sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa dengan menggunakan volume larutan impregnan sebesar 1,2 – 1,4 kali volume pori penyangga maka penyangga akan terbasahi secara merata, begitu pula dengan warna katalis yang akan dihasilkan. Jika menggunakan volume larutan impregnan sebesar 1,1 kali maka warna katalis yang dihasilkan kurang merata, begitu pula jika menggunakan volume larutan impregnan sebesar 1,5 kali volume pori penyangga maka akan terdapat beberapa bagian penyangga yang belum terbasahi dengan merata (Barrón C. et al., 2011). Dan jumlah larutan prekursor aktif (impregnan) yang ditambahkan sama dengan jumlah volume penyangga. Dan keuntungan dari metode *dry impregnation* ini adalah akurat dalam mengontrol komponen aktif yang akan digabungkan dalam katalis. Prekursor yang digunakan adalah larutan garam dari logam Ni dan Mo. Katalis NiMo dibuat dari *nickel(II) nitrate hexahydrate* (Ni(NO₃)₂·6H₂O) dan *ammonium molybdenum(VI) tetrahydrate* (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O. Katalis γ -Al₂O₃ sebagai *support* diimpregnasi dengan larutan garam logam Ni(NO₃)₂·6H₂O dan (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O. Konsentrasi pada saat mengimpregnasi katalis dilakukan berdasarkan rasio logam Ni:Mo dan %*loading* logam terhadap massa katalis total. Setelah proses impregnasi selesai, kemudian sampel dikalsinasi dengan menggunakan gas N₂ agar menjadi pertukaran ion proton dan dilanjutkan proses reduksi menggunakan gas H₂ untuk menghilangkan unsur oksigen yang ada dalam katalis. Katalis γ -Al₂O₃ berfungsi sebagai *support* untuk memfasilitasi fungsi *hydrocracking* dan fungsi *hydrogenation* difasilitasi oleh unsur logam, dalam hal ini logam transisi (Ni dan Mo). Pada impregnasi katalis, terlebih dahulu dilakukan pembuatan larutan impregnan *ammonium heptamolybdate* sebagai garam logam molybdenum. Larutan impregnan yang dibuat harus stabil agar fasa aktif dapat masuk kedalam katalis penyangga dengan baik.



Gambar 4.5 Tahapan Preparasi Katalis NiMo/γ-Al₂O₃

4.3 Karakterisasi Katalis γ-Al₂O₃ dan NiMo/γ-Al₂O₃

Karakterisasi katalis menggunakan beberapa metode yaitu: 1) untuk mengetahui luas permukaan dan volume pori menggunakan metode analisa *Brunauer Emmett Teller* (BET). 2) untuk melihat kristanilitas katalis menggunakan metode analisa *X-Ray Diffraction* (XRD), 3) untuk mengetahui banyaknya logam yang terimpregnasi ke dalam katalis gamma-alumina γ-Al₂O₃ menggunakan metode analisa *Energy Dispersive X-Ray Analysis* (EDX).

4.3.1 Karakterisasi Katalis melalui Metode *Brunauer Emmett Teller* (BET)

Tabel 4.3 Sifat Katalis γ-Al₂O₃ dan NiMo/γ-Al₂O₃

Katalis	BET			kadar logam*, wt. %	
	Luas permukaan, m ² .g ⁻¹	Total volume pori, cm ³ .g ⁻¹	Diameter pori rata-rata nm	logam*, wt. %	
				Ni	Mo
γ-Al ₂ O ₃	185.491	0.2430	4.872 nm	-	-
NiMo/γ-Al ₂ O ₃ (10 % wt) rasio 2:1	182.012	0.1670	5.590 nm	8.36	4.40
NiMo/γ-Al ₂ O ₃ (10 % wt) rasio 2:2	153.020	0.1400	4.020 nm	7.0	6.5
NiMo/γ-Al ₂ O ₃ (15 % wt) rasio 2:1	130.717	0.1758	4.971 nm	4.68	3.19
NiMo/γ-Al ₂ O ₃ (15% wt) rasio 2:2	73.852	0.1188	5.310 nm	1.47	0.44

*EDX analysis

Katalis gamma alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) yang diperoleh kemudian dikarakterisasi berdasarkan luas permukaan, total volume pori, dan diameter pori rata-rata melalui metode BET. Pada tabel 4.3 diatas menunjukkan bahwa luas permukaan penyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sebelum diimpregnasi dengan logam, bahwa luas permukaan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ setelah proses diperoleh sebesar $185.491 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ dengan total volume pori $0.2430 \text{ cm}^3.\text{g}^{-1}$ dan diameter pori 6.585 nm . Umumnya gamma alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) memiliki luas area spesifik $160\text{-}300 \text{ m}^2/\text{g}$ yang memiliki peran sebagai support atau penyangga katalis (Hagen, 2006). Penelitian (Okamoto *et al.*1998) menyatakan bahwa luas permukaan alumina merupakan parameter yang sangat menentukan dalam dispersi oksida Mo, yaitu dispersi Mo menjadi lebih tinggi apabila luas permukaan alumina semakin besar. Selain itu, penyangga dengan volume pori yang besar dapat memuat larutan impregnan yang lebih banyak juga. Pada proses kalsinasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang dialiri udara dapat menyebabkan terjadinya kerusakan framework pada katalis sehingga permukaan pori katalis tersebut tertutup sebagian akibat kehilangan aluminium pada framework (Rasyid et al., 2015). Tabel 4.4 menunjukkan pengukuran luas permukaan (surface area) menggunakan metode *Brunauer Emmet Teller* (BET) serta metode analisa *Energy Dispersive X-Ray Analysis* (EDX) untuk mengetahui kandungan nikel dan molibdenum yang terimpregnasi pada suport $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, terlihat bahwa secara umum luas permukaan dan total volume pore mengalami penurunan pada setiap konsentrasi Ni-Mo terhadap $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ seperti pada tabel 4.3. kemudian adanya penambahan logam Ni dan Mo sebagai promotor ke dalam $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ menyebabkan penurunan luas permukaan dan total volume pori. Penurunan luas permukaan pada masing-masing tipe katalis NiMo/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ menunjukkan bahwa partikel Ni^+ dan Mo^+ menempel di permukaan eksternal sehingga menghalangi mikropori $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ seperti yang telah dilaporkan oleh (Lee et al., 2016). Semakin banyak logam yang ditambahkan pada permukaan padatan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, maka akan berpengaruh terhadap menurunnya luas permukaan dari katalis tersebut. Hal ini disebabkan jumlah logam yang semakin banyak, maka akan terjadi kompetisi untuk berdifusi kedalam mulut pori (Astuti & Ningsi, 2017). Penurunan luas permukaan dari katalis ini juga tidak menyebabkan efektifitas katalis berkurang, tetapi dengan adanya penambahan

logam tersebut maka situs aktif katalis mengalami peningkatan dan hal ini mempengaruhi laju reaksi di dalam katalis (Fogler, 1999).

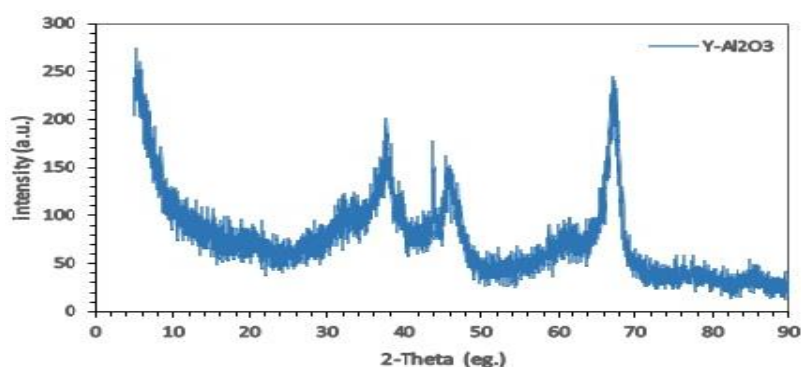
Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ rasio (1:2) memiliki luas permukaan lebih tinggi dan memiliki diameter pori yang lebih rendah dibandingkan menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ rasio (1:1) yang memiliki luas permukaan namun diameter pori lebih tinggi, penurunan diameter pori ini disebabkan tertutupnya pori oleh logam aktif (*pore blocking*) pada saat impregnasi dan kalsinasi yang mengakibatkan menurunnya rata-rata diameter pori katalis dan juga semakin tinggi luas permukaan suatu katalis, maka akan semakin banyak ruang untuk reaktan bereaksi. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Rasyid et al., 2018) dengan menggunakan variasi katalis yang berbeda yaitu CoMo/SiO₂, CoMo/ γ -Al₂O₃, dan CoMo/SiO₂- γ Al₂O₃. Pada katalis tipe CoMo/ γ Al₂O₃ memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe katalis CoMo/SiO₂ dan CoMo/ SiO₂ - γ Al₂O₃. Berkurangnya luas permukaan katalis terjadi karena terjadi penambahan persen CoMo pada support, dimana pori support telah tertutup oleh promotor CoMo. Dan juga katalis CoMo/SiO₂ yang memiliki luas permukaan yang lebih kecil dikarenakan tipe SiO₂ yang digunakan termasuk non *amorphous*, sehingga katalis ini tidak disarankan untuk digunakan sebagai katalis asam pada bifungsional katalis untuk proses *hydrocracking*.

Setelah katalis selesai dibuat dan dipreparasi, maka dilakukan karakterisasi katalis untuk mengetahui karakter dari katalis tersebut. Katalis kemudian dianalisa kadar logamnya yaitu kandungan nikel dan molibdenum yang terimpregnasi pada support γ -Al₂O₃ menggunakan metode analisa *Energy Dispersive X-Ray Analysis* (EDX). Tabel 4.3 menunjukkan, logam dari nikel dan molibdenum yang terimpreg telah masuk ke dalam pori support γ -Al₂O₃ dimana bisa terlihat dari kadar logam nikel dan molibdenum yang dihasilkan sudah sesuai dengan %*loading* dari masing-masing katalis. Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ memiliki kemampuan yang sangat baik untuk reaksi deoksigenasi dan hidrogenasi (J. Liu et al., 2012).

4.3.2 Analisis Metode *X-Ray Diffraction* (XRD)

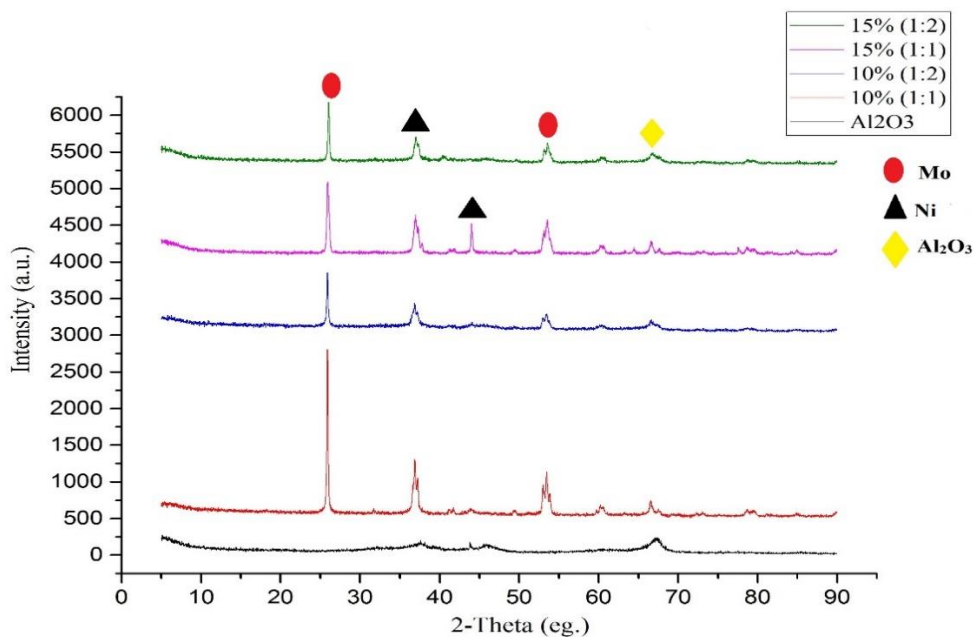
X-Ray Diffraction (XRD) merupakan metode analisa yang digunakan pada material yang memiliki sifat kristalin sehingga menghasilkan pola difraksi yang menunjukkan struktur kristalinnya. Karakterisasi menggunakan metode analisa

XRD dimaksudkan untuk mengidentifikasi fasa bulk pada katalis dan untuk menentukan sifat kristal atau kristanilitas dari katalis. Katalis dapat berbentuk padatan kristal seperti oksida logam, zeolit dan logam yang memiliki penyangga. XRD menjadi teknik yang baik dan mendasar untuk mengevaluasi sifat-sifat fasa dan ukuran kristal. Tetapi, metode ini tidak cocok atau tidak mampu menampilkan sifat yang diperlukan untuk katalis-katalis yang bersifat bukan kristal (Beale et al., 2014).



Gambar 4.6 Difraktogram katalis γ -Al₂O₃

Gambar 4.6 menunjukkan difraktogram γ -Al₂O₃ yang memiliki ciri khas dengan pola sudut 2^{θ} pada posisi 5-6^o dan 37^o-67^o. Peak tersebut juga ditemukan pada Gambar 4.7 yang menunjukkan difraktogram untuk tipe katalis γ -Al₂O₃ dengan intensitas utama tampak pada $2\theta = 37,62^{\circ}$; $43,83^{\circ}$; $45,54^{\circ}$; dan $67,48^{\circ}$ intensitas sebesar 100%. Tiga puncak khas γ -Al₂O₃ yang identik menurut (Zhang et al., 2016), yaitu di sudut $2\theta = 37,59^{\circ}$; $45,84^{\circ}$; dan $67,00^{\circ}$. Dimana hasil *peak* yang diperoleh diatas telah sesuai dengan puncak (*peak*) khas dari γ -Al₂O₃.



Gambar 4.7 Difaktogram XRD katalis γ -Al₂O₃ dan NiMo/ γ -Al₂O₃ pada berbagai variasi %loading katalis terhadap total katalis dan rasio logam katalis dengan temperatur kalsinasi 500⁰C.

Berdasarkan hasil pengamatan peak intensitas difaktogram XRD menunjukkan pola sudut 2θ (theta) untuk difraktogram menggunakan tipe katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ dengan %loading logam sebesar 15% dan rasio (1:2) terlihat pada Gambar 4.7. Peak Mo yang terlihat sesuai di sudut $2\theta = 26,12^0$; $29,49^0$; $40,54^0$; dan $55,23^0$ berdasarkan file JCPDS No. 00-032-0671. Selanjutnya untuk logam Ni peak difraksi terlihat pada sudut $2\theta = 37,26^0$; $44,64^0$; $53,13^0$; $53,58^0$ dan $66,63^0$ berdasarkan file JCPDS No. 00-004-0850. Pola XRD katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ dengan rasio logam 2:2 dan loading logam 10% memperlihatkan peak difraksi dengan intensitas kecil dari partikel Ni terdeteksi pada $2\theta = 37,02^0$; 44^0 , 60^0 , 63^0 , dan 78^0 . Sementara peak difraksi dari Mo terlihat pada $2\theta = 26^0$, 36^0 , 53^0 , 66^0 , dan 79^0 berdasarkan file JCPDS No. 00-032-0671. Pola XRD katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ dengan rasio logam 2:1 dan loading 10% memperlihatkan peak difraksi Ni dan Mo sama dengan rasio yang sebelumnya dan sesuai dengan rasio logam dan %loading katalis. Hal ini menunjukkan bahwa Ni dan Mo terdispersi dengan baik pada support γ -Al₂O₃. Katalis dalam penelitian ini dipreparasi dengan menggunakan impregnasi kering/dry impregnation (Sartipi dkk, 2013; Wang dkk, 2013) dan diharapkan menghasilkan katalis bifungsional dengan sifat hidrogenasi dan hidrocracking yang baik. Nikel mempunyai potensi yang baik untuk memecah ikatan karbon-karbon

(Wang et al., 2014). Berdasarkan literatur, intensitas relatif merupakan parameter yang menunjukkan jumlah atau banyaknya bidang kristal yang terukur. Katalis memiliki ukuran kristal yang beragam, hal tersebut dikarenakan *loading* logam yang bervariasi terhadap katalis. Semakin meningkat jumlah loading katalis maka semakin meningkat ukuran kristal yang terbentuk pada katalis tersebut (Gong et al., 2012). Puncak yang lebih tajam berarti partikel cenderung mendapatkan kristalinitas yang lebih tinggi. Kristalinitas tinggi akan memengaruhi aktivitas katalitik dan stabilitas pada temperatur yang lebih tinggi (Hathurusingha et al., 2011).

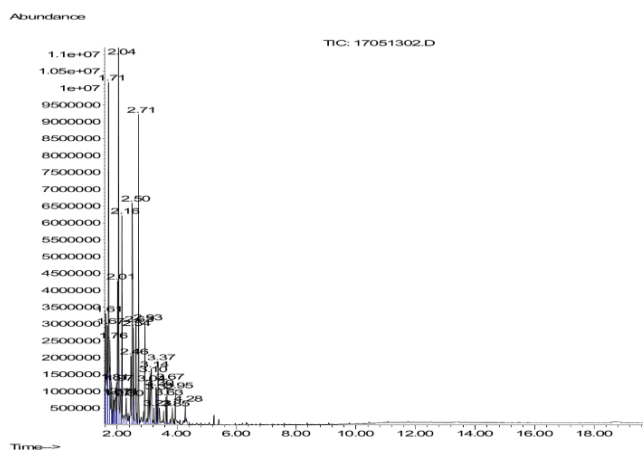
4.4 Produk *Hydrocracking* Minyak Nyamplung

4.4.1 Analisa GC-MS Bahan Bakar Komersial SPBU

Hydrocracking minyak nyamplung pada reaktor Parr USA dengan temperatur reaksi 300-500°C dan tekanan 10 bar selama 2 jam menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ menghasilkan produk bahan bakar cair yang dianalisa menggunakan GCMS. Bahan bakar seperti bensin (gasolin), minyak tanah (kerosin) dan solar (gasoil) berasal dari SPBU (Satuan Pengisian Bahan bakar Umum) digunakan sebagai bahan bakar pembanding pada penelitian ini (Gambar 4.10 – 4.12).

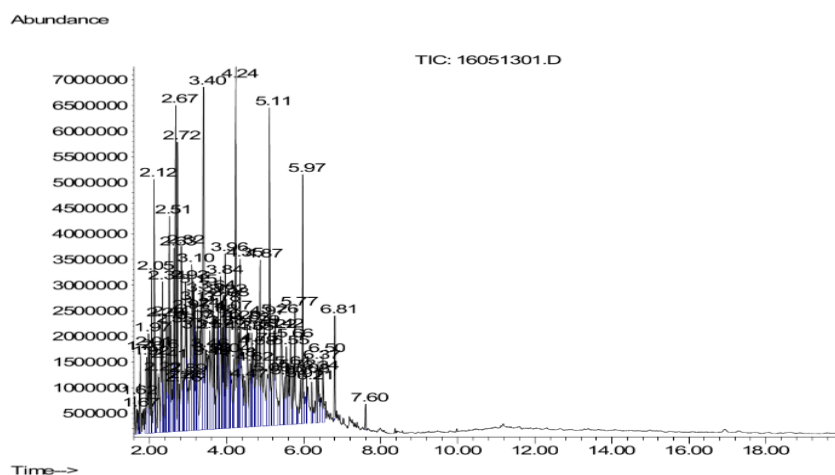
Pada penelitian ini saya melakukan analisa GC-MS pada bahan bakar komersial di SPBU diantaranya Gasolin (Bensin-Premium), Kerosen (minyak tanah), Gasoil (solar). Kemudian saya membandingkan fraksi dari hasil analisa GC-MS pada proses *Hydrocracking* minyak nyamplung dengan menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ dengan *loading* 10% dan 15% dengan rasio yang berbeda, terhadap fraksi rantai karbon C pada bahan bakar komersial di SPBU. Sehingga produk *biofuel* yang diperoleh dapat digolongkan/dikelompokkan pada fraksi rantai karbon yang termasuk dalam fraksi diantara gasolin; kerosen dan gasoil sesuai dengan bahan bakar komersial. Penentuan jenis bahan bakar dapat pula ditentukan berdasarkan RT (*retention time*) yang ditampilkan oleh peak-peak pada hasil analisa GCMS. Kisaran RT untuk produk gasolin, kerosin dan gasoil dapat di klasifikasikan sebagai berikut :

- Gasolin : Residence Time 0 – 4
- Kerosene : Residence Time 2 – 8
- Diesel : Residence Time 2 – 14



Gambar 4.10. Kromatogram GCMS bahan bakar komersial Gasolin (bensin).

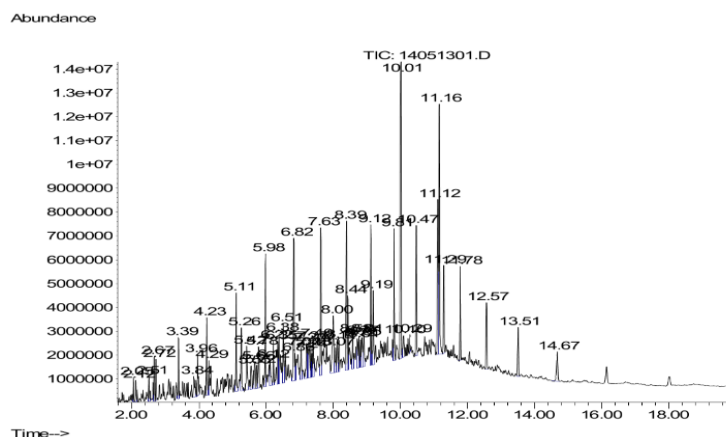
Bensin (gasolin) tersusun dari atom karbon (C₇ sampai C₈) dengan titik didih 50⁰C sampai 180⁰C. Pada Gambar 4.10 komponen utama yang terdapat pada gasolin diantaranya adalah methylcyclohexane, toluene, cyclooctane, 3-octane, ethylbenzene; 1,3-dimethyl-benzene, 1-ethyl-2-methyl-benzene. Sementara Retention Time (RT) yang ditunjukkan pada kromatogram berkisar pada RT 1,67 – 4,28.



Gambar 4.11. Kromatogram GCMS bahan bakar komersial pada SPBU Kerosen (minyak tanah).

Kerosen (minyak tanah) tersusun dari atom karbon (C₁₂-C₁₅) dengan titik didih pada temperatur 150⁰C dan 275⁰C. Untuk fraksi kerosen pada analisa GC-MS

diatas terlihat pada Residence Time (RT) dari 2,05 sampai 7,60. Hal ini sesuai dengan standar dimana untuk residence time (RT) kerosin mulai dari 2 - 8. Pada Gambar 4.11 bahan bakar kerosin mengandung komponen utama adalah : 1,2-dimethyl benzene; 1,2,4-trymethyl benzene, 4-ethyl-1,2-dimethyl benzene, naphthalene, kerosin memiliki RT 2,34 -7,60.



Gambar 4.12. Kromatogram GCMS bahan bakar komersial pada SPBU Gasoil (solar).

Gasoil (solar) tersusun dari atom karbon ($C_{14}-C_{22}$) dengan titik didih pada temperatur 200^0 C sampai 400^0C . Untuk fraksi gasoil pada analisa GC-MS diatas terlihat pada Residence Time (RT) 2,46 sampai 14,67. Tetapi puncak tertinggi terlihat pada residence time (RT) 10,01, yang merupakan fraksi standar untuk gasoil (solar). Pada Gambar 4.12 untuk kromatogram produk gasoil memberikan RT 2,05 - 14,67 yang memiliki komponen nonana, decana, pentadecana, octadecana.

Pengelompokan senyawa-senyawa penyusun dari ketiga jenis bahan bakar tersebut, berdasarkan jumlah atom C dan RT. Gasolin memiliki jumlah atom C (5-10) dengan titik didih didih $(70 - 140) ^\circ\text{ C}$, kerosin memiliki atom C = 11-13 memiliki titik didih $(180- 250) ^\circ\text{C}$, dan gasoil jumlah Carbon pada kisaran 14-20 serta titik didih $(270-350) ^\circ\text{C}$.

4.4.2 Hasil Analisa GC-MS Produk Biofuel dari Minyak Nyamplung

Minyak nabati memiliki atom $C=C$, yang perlu diubah dan dipecah menjadi ikatan tunggal. Hidrogen yang digunakan pada proses hydrotreating membantu memecah ikatan rangkap menjadi ikatan tunggal, selain itu pemecahan atom $C=C$ menjadi ikatan tunggal pada minyak nabati melalui proses *hydrocracking*. Proses

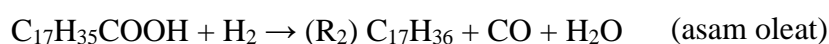
hydrocracking terdiri dari kombinasi dua proses *catalytic cracking* dan hidrogenasi dengan tekanan dan temperatur tinggi serta menggunakan katalis bifungsional. Pada umumnya proses *hydrocracking* berlangsung pada suhu 260 – 495 °C dengan tekanan 35 – 200 bar (Sildir et al, 2012). Pada suhu tinggi, katalis asam kuat akan menghasilkan naphtha lebih dominan, sebaliknya untuk produk *middle distillate* membutuhkan suhu dan tingkat keasaman katalis yang sedang (C₁₃-C₁₉).

Pada penelitian ini hasil analisa GC-MS minyak nyamplung memiliki FFA sebesar 15.53%. Minyak nyamplung didominasi oleh trigliserida asam linoleat (9,12-Octadecanoic acid) termasuk ikatan rantai rangkap (C₁₈:2), seperti pada Tabel 4.1. Senyawa 9,12- Octadecanoic acid yang merupakan ikatan rantai rangkap akan mengalami penjumlahan ikatan menjadi rantai tunggal pada reaksi hidrogenasi. Pada proses *hydrocracking* terdapat tiga reaksi utama diantaranya:

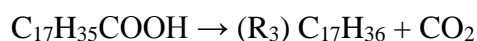
- a. **Reaksi hidrodeoksigenasi**, merupakan reaksi penghilangan oksigen pada minyak nabati yang bereaksi dengan hidrogen untuk menghasilkan hidrokarbon utama dengan jumlah atom C genap dan air.



- b. **Reaksi dekarbonilasi**, merupakan reaksi penghilangan atom oksigen sebagai penyusun asam lemak pada minyak nabati (atom oksigen pada gugus karbonil) menjadi hidrokarbon alkana dengan jumlah atom C ganjil dan melepas gas CO dan H₂O.



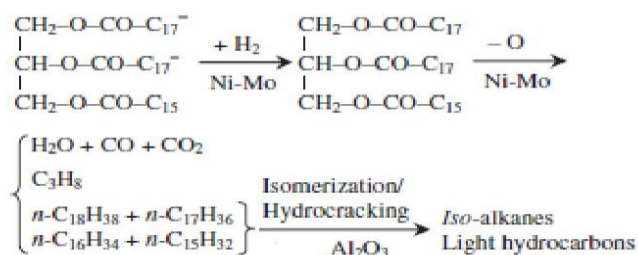
- c. **Reaksi dekarboksilasi**, merupakan reaksi penghilangan atom oksigen sebagai penyusun asam lemak menjadi hidrokarbon alkana dengan jumlah atom karbon ganjil dan melepas CO. Pada reaksi dekarboksilasi, atom oksigen yang dihilangkan berada gugus karboksil O-C = O. Pada reaksi



Dimana R₁ = C₁₅H₃₂ atau C₁₇H₃₆ ; R₂ = C₁₆H₃₄ atau C₁₈H₃₈ (produk)

Pembentukan senyawa R₁ dan R₂ sebagai proses penjumlahan ikatan rangkap dari asam lemak tak jenuh seperti asam oleat dan asam linoleat. Produk yang terbentuk pada tahap awal adalah gasoil. Proses ini dibantu oleh sisi aktif logam NiMo pada katalis. Apabila dalam produk terbentuk kerosin dan gasolin, maka tahap pertama berlanjut ke proses berikutnya yakni *cracking* atau isomerisasi. Pada tahap ini

proses pemutusan rantai hidokarbon yang panjang menjadi lebih pendek. Sisi aktif asam menjadi pemicu reaksi ini dimana proton H^+ dari katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dapat membentuk ion karbonium tersier. Setelah ion ini terbentuk maka rantai hidrokarbon menjadi terputus dalam proses *cracking*. Sementara itu untuk proses pemecahan asam lemak berupa trigliserida dengan kinerja katalis, sebagai berikut:



Gambar 4.13 Langkah-langkah hydrotreating trigliserida dalam minyak nyamplung menggunakan katalis NiMo/Al₂O₃ (Y. Liu et al., 2009)

Menurut (Y. Liu et al., 2009), dalam hydrotreatment minyak jarak pertamanya ikatan rangkap C=C dalam trigliserida terhidrogenasi di fase aktif Ni-Mo. Dan reaksi pada suhu rendah (473-523 K) membentuk solid waxes tanpa produk cair, yaitu membuktikan bahwa hidrogenasi adalah langkah pertama dalam hydrotreatment minyak jarak. Kemudian terjadi deoksigenasi trigliserida pada fase aktif Ni-Mo sebagai langkah kedua. Langkah-langkah mekanisme tersebut terdiri dari beberapa langkah-langkah, termasuk reaksi penjenuhan, perengkahan (*cracking*), dekarboksilasi, dekarbonilasi, dan/atau hidrodoksigenasi.

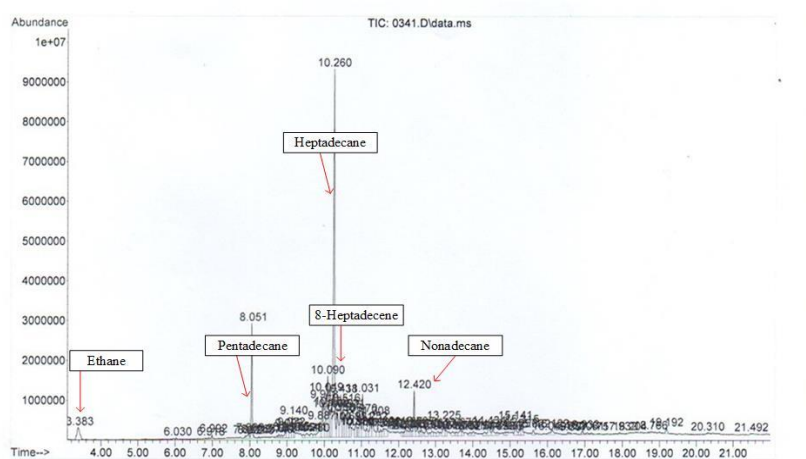
Pada saat awal proses pemanasan berlangsung proses reaksi telah terjadi tetapi produk yang dihasilkan berupa solid waxes dikarenakan pada temperatur rendah belum terbentuk produk yang diinginkan dikarenakan senyawa trigliserida pada asam lemak belum tercracking sepenuhnya. Sementara pada proses hydrocracking minyak nyamplung dengan menggunakan katalis NiMo/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ini temperatur yang digunakan yaitu 300-350°C dengan tekanan 10 bar gas H₂. Kemudian untuk menentukan waktu reaksi berlangsung, setelah semua bahan dan katalis dimasukan kedalam reaktor dan dilakukan purging terhadap gas N₂ selama ±5 menit dan dilanjutkan menginject gas H₂ hingga tekanan mencapai 10 bar pada reaktor. Selanjutnya hidupkan heater dan setting temperatur pada panel controler suhu sesuai dengan variabel, pada saat temperatur telah mencapai setpoint maka

waktu dihitung dari 0 hingga reaksi sampai waktu 2 jam. Selama proses hydrocracking berlangsung untuk mempertahankan temperatur dan tekanan sesuai dengan variabel yang telah ditetapkan, saat temperatur semakin naik maka tekanan pada reaktor akan naik untuk mempertahankan tekanan tetap 10 bar terdapat alat check valve pada reaktor hydrocracking yang secara otomatis akan membuang kelebihan gas pada reaktor yang menyebabkan tekanan naik dari yang ditetapkan, hal ini secara otomatis suhu akan terset point lagi ke temperatur yang telah ditetapkan. Dikarenakan proses hydrocracking ini merupakan proses reaksi endotermis yang dilakukan dengan kondisi pemanasan. Proses hydrocracking berlangsung selama 2 jam. Kemudian produk yang dihasilkan dianalisa dengan menggunakan analisa GC-MS. Analisa GC-MS tersebut bertujuan untuk mengetahui distribusi senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam produk *biofuel* hasil dari proses *hydrocracking*.

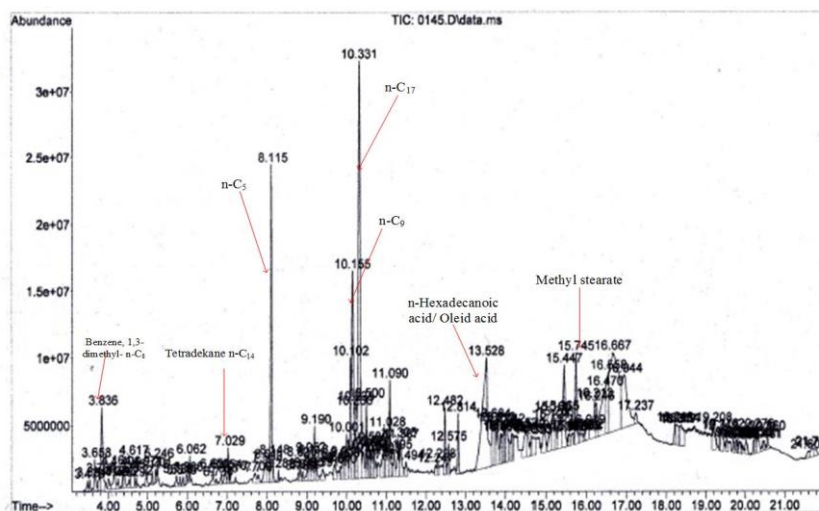
Diffaktogram hydrocracking minyak nyamplung menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ menunjukkan puncak yang tidak tajam seperti yang ditunjukkan oleh puncak kromatogram bahan bakar SPBU (Gambar 4.10-4.12). Puncak-puncak yang terbaca menandakan masih banyak komponen asam lemak dari minyak nyamplung tidak terkonversi. Komponen gasolin dan kerosin pada produk katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ sama dengan bahan bakar standar (SPBU). Gasoil memiliki komponen utama yakni : pentadecane, 8-heptadecene, heptadecane, serta cyclopentadecanone. Akan tetapi pada produk masih terdapat bahan baku seperti asam palmitat dan asam oleat yang belum terkonversi.

Gambar 4.14 memperlihatkan spetra GC-MS terhadap biofuel yang melalui proses hydrocracking minyak nyamplung dengan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada temperatur 300 °C dengan waktu 2 jam.

a).



b).



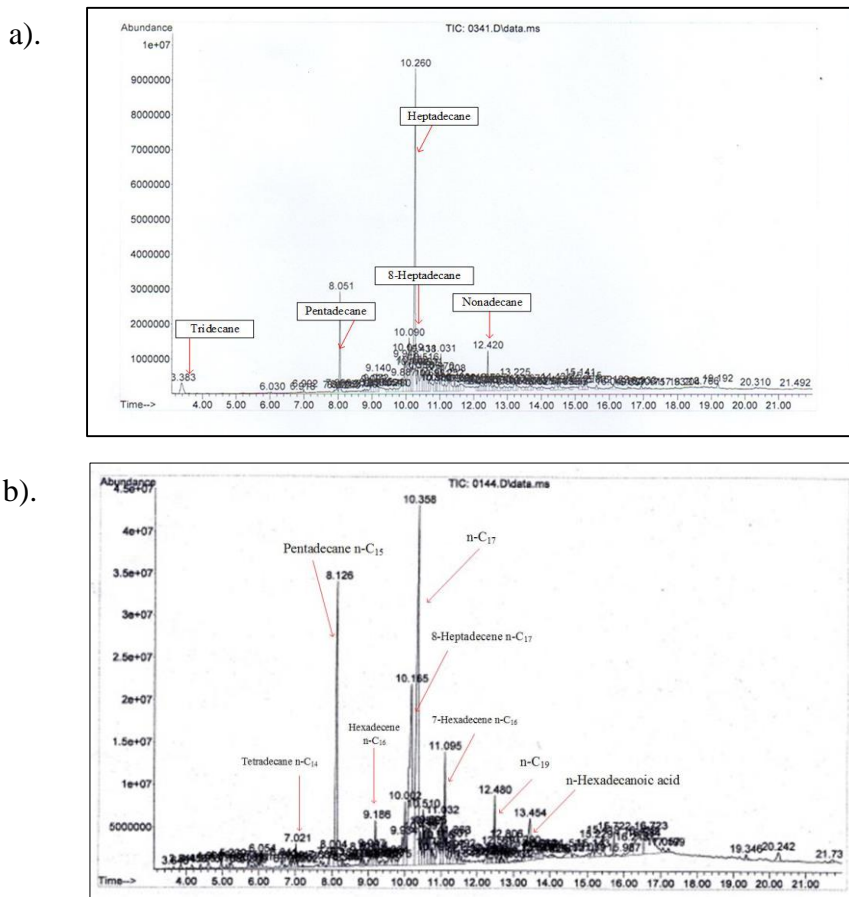
Gambar 4.14 Spektra GC-MS biofuel menggunakan katalis (a) NiMo/ γ -Al₂O₃ dengan *loading* 15% rasio (1:1) dan (b) NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% rasio (1:2) pada temperatur 300 °C.

Spektra hasil analisa GC-MS pada Gambar 4.14 (a) memperlihatkan munculnya peak dengan intensitas pada retention time 3-12 menit sedangkan Gambar 4.14 (b) memperlihatkan munculnya peak dengan intensitas retention time 3-15 menit. Peak-peak ini tidak muncul pada spektra GC-MS minyak nyamplung. Komponen dengan retention timen 10-14 dalam minyak nyamplung perlahan mulai sepenuhnya hilang selama reaksi hydrocracking pada Gambar 4.14 (a,b).

Spektra hasil analisa GC-MS pada temperatur 300 °C menunjukkan peak didaerah gasolin, kerosen, dan gasoil masih sedikit ini menunjukkan konversi reaksi minyak nyamplung masih kecil (Gambar 4.14a). perubahan peak sudah mulai terlihat terutama di RT gasoil, hal ini menunjukkan minyak nyamplung telah mengalami reaksi pertama (Gambar 4.14b). Penajaman peak-peak pada

kromatogram menunjukkan peningkatan produk gasolin, kerosen, dan gasoil menggunakan katalis loading 15% NiMo/ γ -Al₂O₃ rasio (1:2) (Gambar 4.14b). Produk *hydrocracking* menghasilkan persen *yield* gasoilne dan gasoil meningkat dengan penambahan *rasio* katalis NiMo/ γ -Al₂O₃. Peningkatan ini akibat produk gasolin lebih banyak terkonversi menjadi kerosen terutama pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% rasio (1:1) (Gambar 4.14a). Sedang produk gasoil meningkat secara linear dari penambahan rasio katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ (Gambar 4.14b).

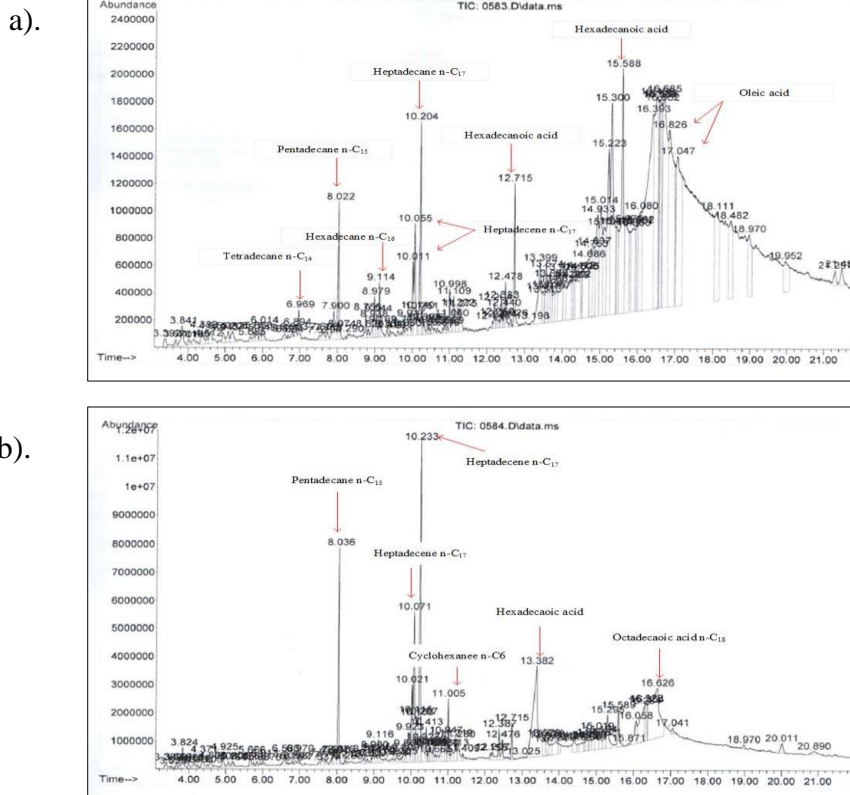
Gambar 4.15 memperlihatkan spetra GC-MS terhadap biofuel yang melalui proses *hydrocracking* minyak nyamplung dengan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada temperatur 350 °C dengan waktu 2 jam.



Gambar 4.15 Spektra GC-MS biofuel menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ dengan *loading* 15% rasio (1:1) dan (b) NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% rasio (1:2) pada temperatur 350 °C.

Spektra hasil analisa GC-MS pada Gambar 4.15 (a) memperlihatkan munculnya peak dengan intensitas pada retention time 3-12 menit sementara Gambar 4.15 (b) memperlihatkan munculnya peak dengan intensitas retention time

7-13 menit. Untuk spektra hasil analisa GC-MS minyak nyamplung memperlihatkan muncul peak di intensitas retention time 12-15 menit, dan peak-peak pada (Gambar 4.15a dan 4.15b) tidak muncul di spektra GC-MS minyak nyamplung. Hal ini menjelaskan proses terjadinya perengkahan (cracking) molekul hidrokarbon rantai panjang menjadi molekul hidrokarbon rantai pendek. Spektra hasil analisa GC-MS untuk temperatur 350 °C menunjukkan peak didaerah gasolin, kerosen, dan gasoil masih sedikit ini menunjukkan konversi reaksi minyak nyamplung masih kecil (Gambar 4.15a). Perubahan peak sudah mulai terlihat terutama di RT gasoil, yang mana menunjukkan minyak nyamplung telah mengalami reaksi pertama (Gambar 4.14b). Penajaman peak-peak pada kromatogram menunjukkan peningkatan produk gasolin, kerosen, dan gasoil pada loading 15% NiMo/ γ -Al₂O₃ rasio (1:2) (Gambar 4.15b). Produk *hydrocracking* menghasilkan persen *yield* gasoilne dan gasoil meningkat dengan penambahan *rasio* katalis NiMo/ γ -Al₂O₃. Peningkatan ini akibat produk gasolin lebih banyak terkonversi menjadi kerosen terutama pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% rasio (1:1) (Gambar 4.14a). Sedang produk gasoil meningkat secara linear dari penambahan rasio katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% rasio (1:2).



Gambar 4.16 Spektra GC-MS biofuel menggunakan katalis (a) $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (murni) dan (b) $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 10% rasio (1:2) pada temperatur 350°C .

Spektra hasil analisa GC-MS pada Gambar 4.16 (a) memperlihatkan munculnya peak dengan intensitas pada retention time 6-12 menit, semntara untuk Gambar 4.16 (b) memperlihatkan munculnya peak dengan intensitas retention time 8-16 menit. Spektra analisa GC-MS dengan menggunakan katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ lebih didominasi produk gasoil yaitu dari retention time 10-12 menit, dan senyawa asam karboksilat terlihat masih ada di retention time 15-17 menit dimana hal ini juga menunjukkan reaksi dekarbonilasi didominasi proses hydrocracking, keberadaan senyawa asam karboksilat (didominasi oleh asam oleat). Sementara itu penajaman peak-peak pada kromatogram menunjukkan peningkatan produk kerosen dan gasoil dengan menggunakan katalis loading 10% $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ rasio (1:2) (Gambar 4.16b). Produk *hydrocracking* menghasilkan persen *yield* kerosen dan gasoil meningkat dengan penambahan *rasio* katalis $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Komponen dengan retention timen 10-14 dalam minyak nyamplung perlahan mulai sepenuhnya hilang selama reaksi hydrocracking pada Gambar 4.16 (b). Ini menunjukkan bahwa senyawa-senyawa yang masih mengandung atom oksigen

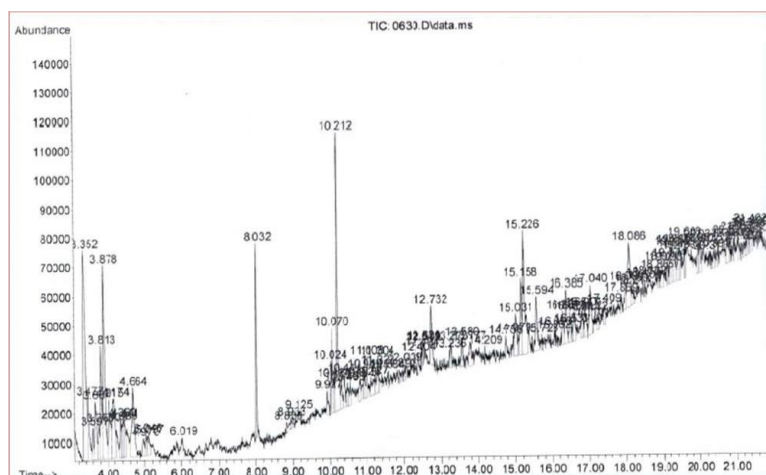
(seperti asam karboksilat/asam lemak, ester, aldehyd, alkohol, dan keton) sudah tercracking sempurna menjadi senyawa-senyawa hidrokarbon yang diinginkan dalam produk biofuel, yaitu n-paraffin, isoparaffin, aromatik, naphthene/cycloparaffin, dan olefin. Proses penghilangan atom oksigen memerlukan kondisi operasi yang tepat (temperatur dan katalis) untuk mengoptimalkan rute reaksi dekarboksilasi/dekarbonilasi (HDC) dan hidrideoksigenasi (HDO).

Tabel. 4.4 Perbandingan Hasil Analisa GCMS Minyak Nyamplung dengan Menggunakan katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (murni) dan $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada temperatur 350°C

Katalis	Biofuel	Rantai Hidrokarbon	Abudance	Katalis	Biofuel	Rantai Hidrokarbon	Abudance		
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	Gasolin	C5	0.00	$\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	Gasolin	C5	0.00		
		C6	0.00			C6	0.00		
		C7	0.00			C7	0.18		
		C8	0.46			C8	0.08		
		C9	0.07			C9	0.17		
		total gasolin	0.53			total gasolin	0.42		
	Kerosen	C10	0.46		Kerosen	C10	0.00		
		C11	0.40			C11	1.29		
		C12	0.33			C12	0.57		
		C13	0.43			C13	1.15		
			total kerosene			1.62		total kerosene	3.01
		Gasoil	C14			0.39	Gasoil	C14	3.87
			C15			2.03		C15	13.83
			C16			1.27		C16	5.18
	C17		3.94		C17	40.78			
	C18		0.90		C18	0.69			
	C19-C22		0.33		C19-C22	2.74			
		Total gasoil	8.85			Total gasoil	67.09		
		Total	11.00			Total	70.53		

Dari tabel diatas hasil analisa GCMS dengan menggunakan katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (murni) terbaca rantai hidrokarbon dari $\text{C}_8 - \text{C}_{22}$ (dari fraksi gasolin hingga gasoil) dengan total konversi biofuel sebesar 27,29%. Sementara dengan menggunakan katalis $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ terbaca rantai hidrokarbon dari $\text{C}_7 - \text{C}_{22}$ (dari fraksi gasolin hingga gasoil) dengan total konversi sebesar 39,69%. Bahwa penambahan logam seperti Ni dan Mo lebih jauh dapat meningkatkan konversi, karena katalis $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ bertindak sebagai bifungsional katalis, yang mana keduanya berfungsi

sebagai sisi asam dan logam. Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ sendiri sendiri memiliki selektivitas yang baik untuk proses hidredeoksigenasi dan dekarboksilasi (Veriansyah et al., 2012).



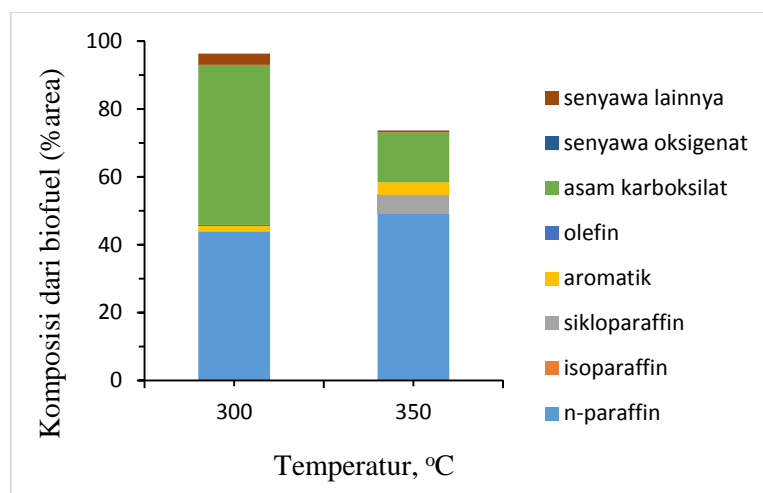
Gambar 4.17 Spektra GC-MS biofuel menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 10% rasio (1:1) pada temperatur 300 °C.

Spektra hasil analisa GC-MS pada Gambar 4.17 memperlihatkan munculnya peak dengan intensitas pada retention time 3-18 menit. Semntara untuk spektra analisa GC-MS dengan menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 10% rasio (1:1) terlihat produk gasolin dan gasoil yaitu dari retention time 2-5 menit dan retention time 8-16 menit, dan untuk senyawa asam karboksilat terdeteksi pada RT 3,4765 – 21,5998 menit, untuk senyawa lain yang terdeteksi diantaranya senyawa oksigenat, keton, dan senyawa lain. Ini menunjukkan bahwa senyawa-senyawa yang masih mengandung atom oksigen (seperti asam karboksilat/asam lemak, ester, aldehyd, alkohol, dan keton) sudah tercracking sempurna menjadi senyawa-senyawa hidrokarbon yang diinginkan dalam produk biofuel, yaitu n-paraffin, isoparaffin, aromatik, napthene/cycloparaffin, dan olefin.

4.4.3 Pengaruh Katalis Terhadap Komposisi Hidrokarbon dari Biofuel Pada Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*)

Produk hasil hydrocracking Gambar 4.18 diklasifikasikan dalam 8 senyawa hidrokarbon. Komposisi utama dari hidrokarbon cair adalah asam karboksilat. Senyawa organik lain seperti ester, alkohol, keton, eter, dan aldehyd. Senyawa oksigenat inilah yang mengakibatkan sifat dari biofuel yang dihasilkan buruk. Asam berkaitan dengan keasaman yang tinggi yang menyebabkan korosif,

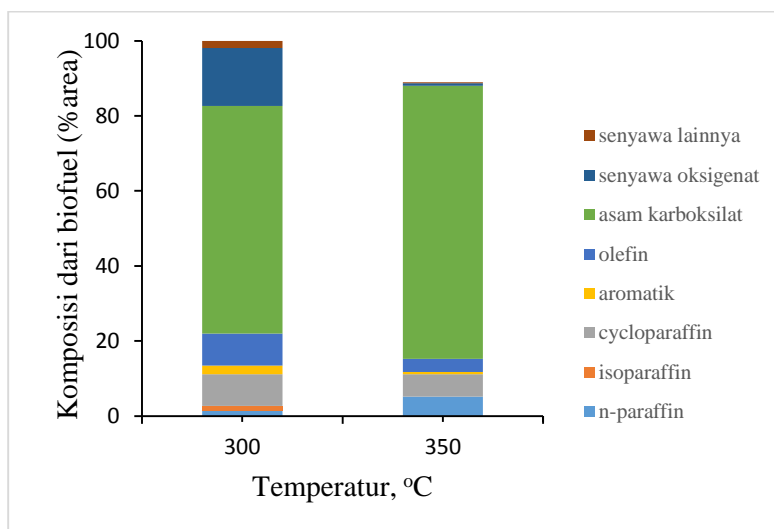
sedangkan keton bertanggung jawab terhadap ketidakstabilan dari biofuel. Eter dan ester dapat menurunkan nilai kalor dari biofuel (C. Li et al., 2018). Disamping itu, senyawa aromatik hidrokarbon merupakan produk yang diharapkan di dalam biofuel karena senyawa tersebut memiliki sifat nilai kalor yang tinggi yang terbentuk dalam jumlah kecil (Zhao et al., 2016).



Gambar 4.18 Pengaruh temperatur reaksi terhadap komposisi hidrokarbon dalam biofuel menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading logam 15% selama 2 jam

Gambar 4.18 menunjukkan pada temperatur 300 °C, terdapat beberapa komposisi senyawa hidrokarbon cair yang dihasilkan, yaitu n-paraffin (43,92%), aromatik (1,73%), asam karboksilat (47,25%) dan senyawa lainnya (3,26%). Pada temperatur 350 °C, terjadi peningkatan untuk senyawa seperti n-paraffin (49,07%), sikloparaffin (5,67%), aromatik (3,65%), sedangkan untuk beberapa senyawa mengalami penurunan seperti asam karboksilat (14,7%), dan senyawa lainnya (0,61%). Penurunan asam karboksilat dan senyawa oksigenat lainnya menunjukkan proses penghilangan oksigen berlangsung seiring dengan naiknya temperatur. Senyawa isoparaffin tidak terbentuk pada temperatur ini. Adapun senyawa yang masih mengandung oksigen dan asam karboksilat menunjukkan reaksi hidredeoksigenasi akan lebih baik berlangsung pada temperatur 350 °C. Peningkatan temperatur akan menyebabkan peningkatan aktivitas cracking dan sangat membantu untuk memutuskan molekul rantai hidrokarbon yang besar dari biofuel yang dihasilkan menjadi molekul rantai hidrokarbon yang kecil (Zhao et al., 2016).

Gambar 4.19 telah terdeteksi terbentuknya senyawa olefin. Keberadaan olefin telah terdeteksi meningkat pada temperatur 350 °C,. terbentuknya olefin ini menunjukkan bahwa reaksi dekarbonisasi telah terjadi pada reaksi *hydrocracking*. Penambahan H₂ yang sesuai dengan jumlah minyak akan membantu proses transformasi senyawa olefin menjadi senyawa sikloparaffin sekaligus memfasilitasi reaksi hidredeoksigenasi untuk membentuk hidrokarbon rantai lurus C₁₈. Rasio H₂/minyak yang cukup akan membantuk mempermudah proses perengkahan trigliserida yang terdiri dari asam lemak tidak jenuh (C₁₈:2) (C. Li et al., 2018).

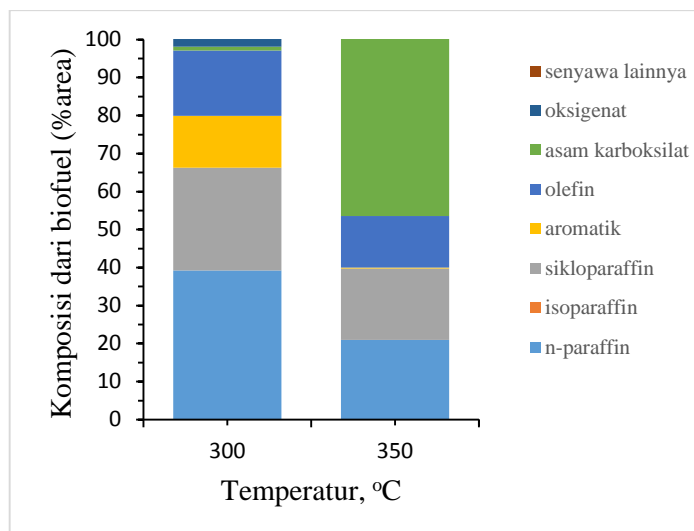


Gambar 4.19 Pengaruh temperatur reaksi terhadap komposisi hidrokarbon dalam biofuel menggunakan katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ selama 2 jam.

Gambar 4.19 menunjukkan pada temperatur 300 °C, terdapat beberapa komposisi senyawa hidrokarbon cair yang dihasilkan, yaitu n-paraffin (1,54%), isoparaffin (1,19%), sikloparaffin (8,39%), aromatik (2,36%), olefin (8,49%), asam karboksilat (60,69%), senyawa oksigenat (15,42%) dan senyawa lainnya (1,93%).

Pada temperatur 350 °C, terjadi peningkatan untuk senyawa seperti n-paraffin (5,21%) dan asam karboksilat (72,81%), sedangkan untuk beberapa senyawa mengalami penurunan seperti isoparaffin (0%), sikloparaffin (5,95%), aromatik (0,62%), olefin (3,47%), senyawa oksigenat (0,68%) dan senyawa lainnya (0,25%). Masih adanya senyawa seperti asam karboksilat dan senyawa oksigenat menunjukkan reaksi hidredeoksigenasi akan lebih baik berlangsung diatas temperatur tersebut agar aktivitas cracking membantu untuk memutuskan molekul

rantai hidrokarbon yang besar dari biofuel yang dihasilkan menjadi molekul rantai hidrokarbon yang kecil (Arun et al., 2017).



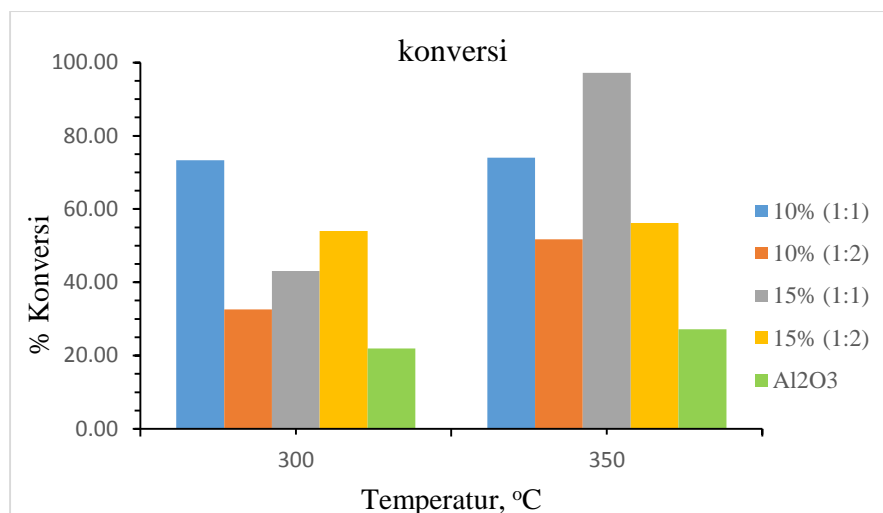
Gambar 4.20 Pengaruh temperatur reaksi terhadap komposisi hidrokarbon dalam biofuel menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ dan loading logam 10% selama 2 jam.

Gambar 4.20 menunjukkan pada temperatur 300 °C, terdapat beberapa komposisi senyawa hidrokarbon cair yang dihasilkan, yaitu n-paraffin (39,26%), sikloparaffin (27%), aromatik (13,66%), olefin (17,17%), asam karboksilat (1,05%), senyawa oksigenat (2,69%) dan senyawa lain (9,03%). Pada temperatur 350 °C, terjadi peningkatan untuk senyawa seperti asam karboksilat (48,22%), sedangkan untuk beberapa senyawa mengalami penurunan seperti n-paraffin (20,95%), sikloparaffin (18,77%), aromatik (0,24%), olefin (13,6%), senyawa oksigenat (0,95%) dan senyawa lainnya (1,62%). Masih adanya senyawa seperti asam karboksilat dan senyawa oksigenat menunjukkan reaksi hidrodoksigenasi akan lebih baik berlangsung diatas temperatur tersebut agar aktivitas cracking membantu untuk memutuskan molekul rantai hidrokarbon yang besar dari biofuel yang dihasilkan menjadi molekul rantai hidrokarbon yang kecil (Arun et al., 2017).

4.4.4 Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Konversi Produk Biofuel Pada Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*)

Selain distribusi komposisi pada produk biofuel, parameter lainnya yang dapat diamati adalah konversi dan selektivitas. *Hydrocracking* minyak nabati memungkinkan transformasi dari trigliserida menjadi hidrokarbon. Selama reaksi

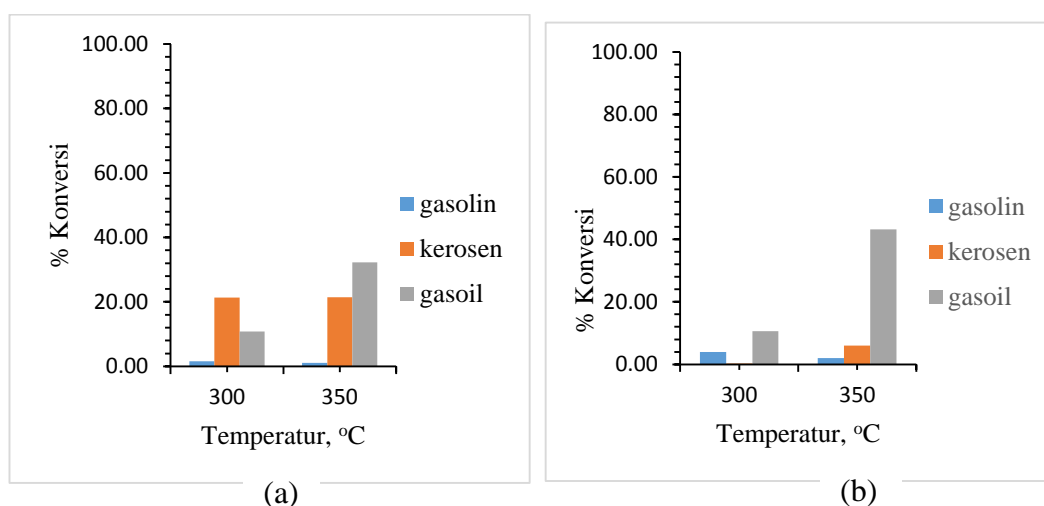
hidrogenasi, molekul trigliserida dari minyak nabati kemudian dikonversi menjadi molekul-molekul yang lebih kecil seperti digliserida, monogliserida, asam karboksilat, dan senyawa yang mengandung oksigen. Pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur reaksi maka semakin tinggi konversi (Gambar 4.21) dan selektivitas produk hidrokarbon cair (Gambar 4.21-22).



Gambar 4.21 Pengaruh katalis γ -Al₂O₃ (murni) dan NiMo/ γ -Al₂O₃ terhadap konversi total produk biofuel pada proses *hydrocracking* minyak nyamplung.

Gambar 4.21 menunjukkan pengaruh katalis γ -Al₂O₃ dan NiMo/ γ -Al₂O₃ terhadap konversi produk *biofuel* pada proses *hydrocracking* minyak nyamplung, menunjukkan performa katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ dan γ -Al₂O₃ bahwa semakin tinggi temperatur reaksi maka semakin tinggi konversi menjadi produk biofuel. Berdasarkan grafik tersebut, konversi yang dihasilkan menggunakan katalis γ -Al₂O₃ (murni) sebesar 21,96% pada temperatur 300 °C kemudian mengalami peningkatan sebesar 27,19% pada temperatur 350 °C. Sedangkan dengan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% rasio logam (1:1) konversi tertinggi yang dihasilkan sebesar 97,18% pada temperatur 350 °C, dan peningkatan konversi terjadi juga dengan menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 10% rasio (1:1) sebesar 74% pada temperatur 350 °C. Penambahan logam seperti Ni dan Mo lebih jauh dapat meningkatkan konversi, karena katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ bertindak sebagai bifungsional katalis, yang mana keduanya berfungsi sebagai sisi asam dan logam. Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ sendiri sendiri memiliki selektivitas yang baik untuk proses hidrideoksigenasi dan

dekarboksilasi (Budiyanto et al., 2018). Temperatur tinggi pada reaksi hydrocracking menghasilkan ion karbonium yang lebih lama terbentuk, sehingga hidrokarbon rantai panjang lebih banyak yang terpotong menjadi rantai hidrokarbon rantai pendek. Berdasarkan konversi tertinggi bahwa temperatur optimum adalah 350 °C. Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh (Rasyid et al., 2018) yang penelitiannya mengenai konversi minyak nyamplung dengan menggunakan katalis CoMo/ γ -Al₂O₃ dan SiO₂ dengan proses hydrocracking, diperoleh nilai konversi yang tertinggi pada temperatur 350 °C sebesar 99% dan merupakan temperatur optimum pada nilai konversi tertinggi proses cracking.

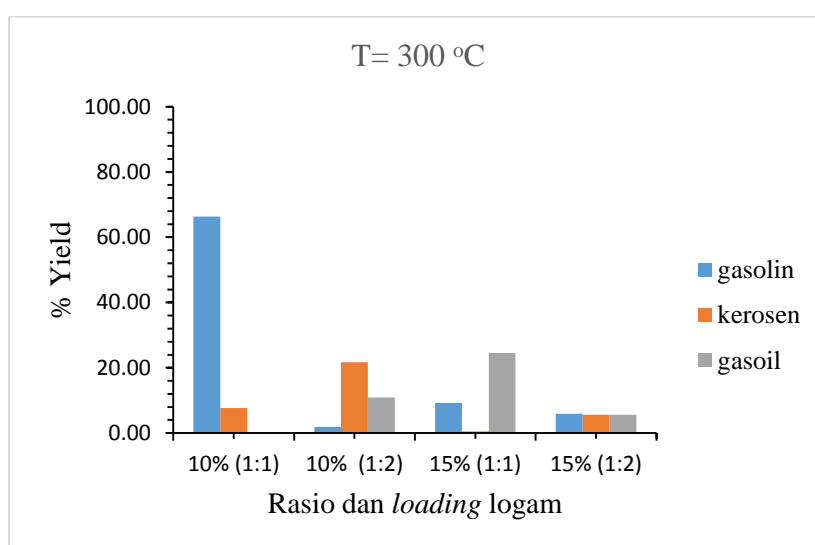


Gambar 4.22 Pengaruh temperatur reaksi terhadap konversi masing-masing produk biofuel menggunakan; katalis (a) NiMo/ γ -Al₂O₃ 10% dan (b) NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% pada proses *hydrocracking* minyak nyamplung.

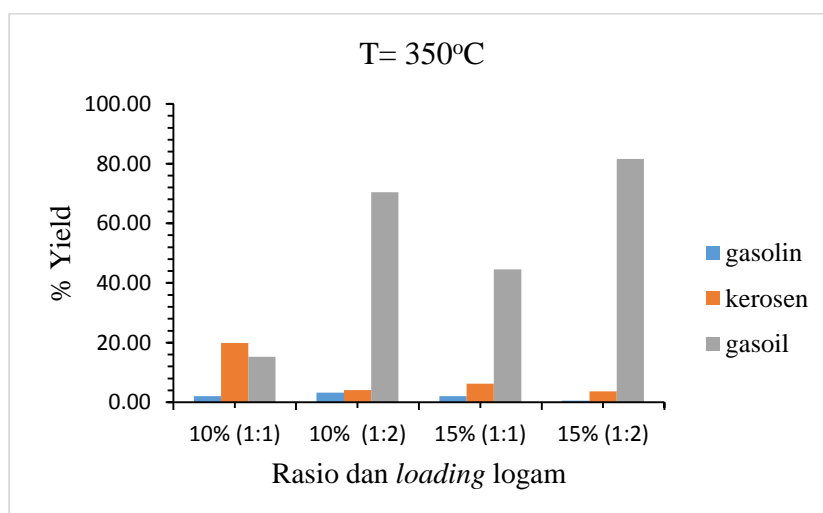
Gambar 4.22 (a dan b) menunjukkan dengan menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 10% dan 15% konversi gasoil meningkat secara signifikan dengan konversi gasoil maksimum sebesar 32.22%, 43.25% untuk loading 10% dan 15% pada temperatur 350 °C. Sementara untuk konversi gasolin menurun pada penggunaan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 10% dan 15%, dari kecenderungan tersebut dapat dilihat bahwa gasolin telah terbentuk pada temperatur 300 °C dan turun pada temperatur yang lebih tinggi akibat penguapan ataupun oksidasi karena *purging* yang kurang sempurna di awal reaksi. Pada variabel katalis ini suhu optimum untuk menghasilkan *biofuel* terbanyak yaitu pada temperatur 350 °C, dengan didominasi produk gasoil yang semakin meingkat.

4.4.5 Pengaruh Rasio dan *loading* Logam Katalis Terhadap Yield dan Selektivitas Produk Biofuel Pada Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*)

Pengaruh dari perbedaan rasio dan *loading* logam katalis terhadap yield dan selektivitas produk hidrokarbon cair (*biofuel*) dengan menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ menggunakan asumsi % area senyawa yang didapatkan dari hasil analisa GC-MS ekuivalen dengan %berat senyawa tersebut. Berikut adalah grafik pengaruh rasio dan loading logam katalis terhadap yield dan selektivitas tiap-tiap produk biofuel yaitu, sebagai berikut:

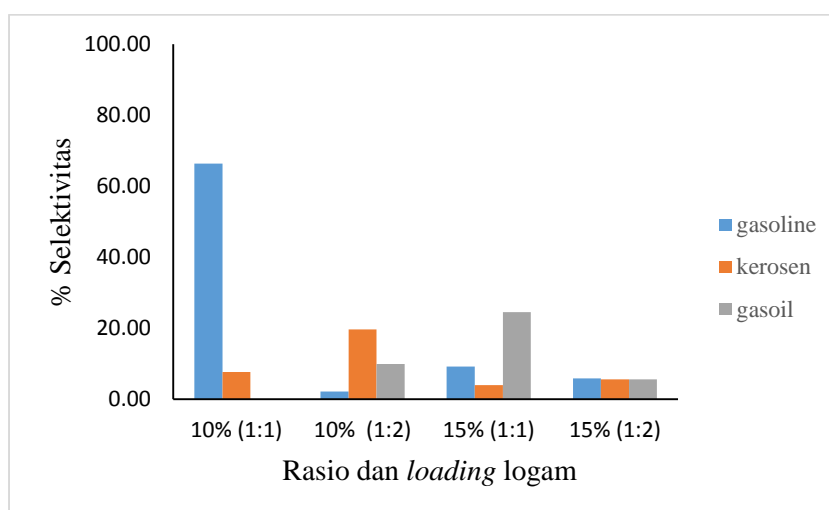


Gambar 4.23 Pengaruh rasio dan *loading* logam terhadap yield produk menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada temperatur 300 °C.



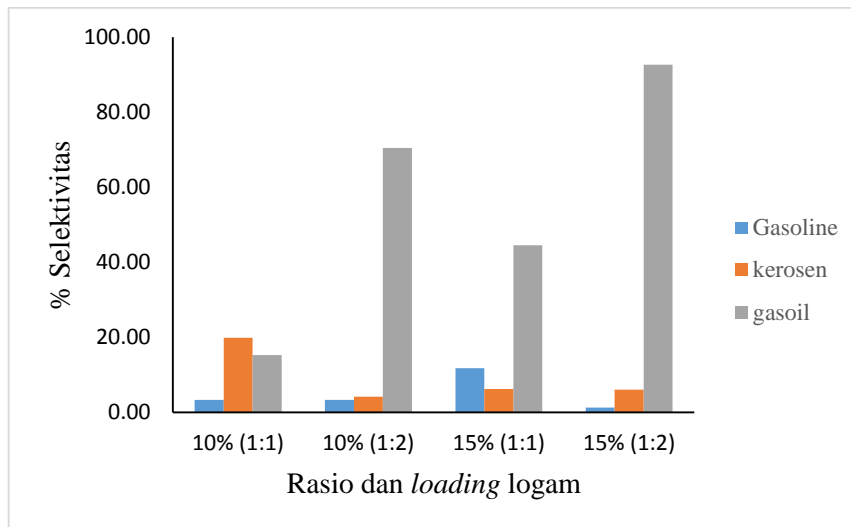
Gambar 4.24 Pengaruh rasio dan *loading* logam terhadap yield produk menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada temperatur 350 °C.

Gambar 4.23 dan 4.24 menunjukkan semakin tinggi rasio, loading logam dan temperatur reaksi maka yield dari tiap-tiap produk biofuel semakin meningkat. Dari Gambar 4.23 dan 4.24 terlihat yield gasoil meningkat pada temperatur 350 °C dengan persentase *yield* terbesar yaitu 81.53% pada loading dan rasio katalis 15% (1:2). Sedangkan persentase *yield* gasolin mengalami penurunan pada temperatur tinggi, hal ini dikarenakan gasolin telah terbentuk pada temperatur 300 °C dan turun pada temperatur yang lebih tinggi akibat penguapan ataupun oksidasi karena *purging* yang kurang sempurna di awal reaksi. Dari kedua Gambar grafik diatas menunjukkan bahwa *yield* yang diperoleh oleh produk hidrokarbon cair didominasi oleh hidrokarbon dengan range C₁₄ – C₂₂ (gasoil). Sesuai hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa semakin tinggi loading logam maka akan menaikkan *yield* dan konversi. Pada penelitian sebelumnya menggunakan katalis Ni/HZSM-5, produk cair hidrokarbon yang dihasilkan didominasi oleh range C₁₄-C₂₂ (Arun et al., 2017). Presentase yield yang saya peroleh lebih kecil dibandingkan penelitian terdahulu yang dilakukan di laboratorium PRKKB yang dilakukan oleh (Mirzayanti et al., 2018) hydrocracking minyak jarak menggunakan katalis NiMo/HZSM-5 diperoleh *yield* tertinggi sebesar 84.82% pada produk kerosen di temperatur 375 °C. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Rismawati rasyid, 2016 yaitu konversi minyak nyamplung dengan menggunakan katalis CoMo/ γ -Al₂O₃ diperoleh 61.25% pada produk gasoil di temperatur 350 °C, *yield* yang diperoleh (Rasyid et al., 2018) lebih kecil dibandingkan dari *yield* yang saya peroleh. Profil suhu terhadap produk menunjukkan penambahan persen *yield* setiap kenaikan suhu. Suhu tinggi pada reaksi hydrocracking menghasilkan ion karbonium yang lebih lama terbentuk, sehingga hidrokarbon rantai panjang lebih banyak yang terpotong menjadi rantai hidrokarbon rantai pendek.



Gambar 4.25 Pengaruh rasio dan *loading* logam terhadap selektivitas produk menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada temperatur 300 °C

Berdasarkan Gambar 4.25 bahwa dari pengaruh rasio dan *loading* logam terhadap selektivitas produk pada temperatur 300 °C, terlihat pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 10% rasio (1:1) selektivitas tertinggi tertinggi yaitu fraksi gasolin sebesar 66,35%. Kemudian pada fraksi gasoil tertinggi terlihat pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% rasio (1:2), secara keseluruhan kinerja katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada berbagai variasi konsentrasi katalis menunjukkan dominasi produk hidrokarbon cair ke arah *gasolin* dan kerosen. Peningkatan situs asam oleh katalis bilogam (dua logam) menyebabkan tambahan situs aktif yang dapat dicapai oleh sejumlah molekul reaktan secara lebih efektif dan juga penambahan rasio dari logam. Hal ini berakibat molekul reaktan akan lebih banyak terkonversi menjadi produk liquid dan dengan selektivitas yang juga meningkat dalam menghasilkan gasolin dan gasoil (*diesel*). Seperti yang sudah dilakukan oleh (Trisunaryanti et al., 2019) dalam aktivasi dan modifikasi katalis melalui pengasaman sehingga katalis dapat memiliki aktifitas katalitik yang baik dalam reaksi hidrogenkakah.

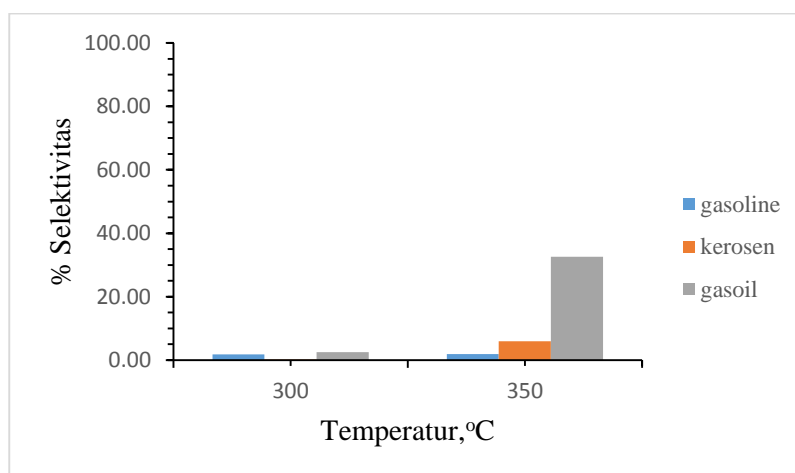


Gambar 4.26 Pengaruh rasio dan *loading* logam terhadap selektivitas produk menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada temperatur 350 °C

Gambar 4.26 menunjukkan grafik pengaruh rasio dan *loading* logam (Ni dan Mo) pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada temperatur 350 °C, menggunakan Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% (1:1) bahwa modifikasi rasio logam dan *loading* logam menunjukkan fenomena semakin tinggi rasio logam dan *loading* logam ganda (*bimetal*) maka %konversi mengalami peningkatan. Adanya peningkatan konversi yang seiring dengan peningkatan rasio logam dan *loading* logam dikarenakan bertambahnya sisi aktif pada permukaan katalis selama reaksi *catalytic hydrocracking* berlangsung (Levenspiel, 1999). Hal ini dapat dilihat pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 10% rasio (1:2) peningkatan selektivitas pada fraksi gasoil sebesar 70,44%, kemudian mengalami peningkatan pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% rasio (1:2) sebesar 92,68%. Tampak bahwa pengaruh pengembangan logam Ni dan Mo meningkatkan selektivitas produk hidrokarbon cair, namun peningkatan lebih dominan pada fraksi gasoil (*solar*).

Sementara dari kedua grafik Gambar 4.25 dan 4.26 dapat dilihat juga pengaruh temperatur reaksi terhadap selektivitas dari masing-masing produk biofuel, bahwa selektivitas gasoil semakin meningkat dari temperatur 300 ke 350 °C, dimana selektivitas maksimum sebesar 92.68% menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% rasio (1:2). Sedangkan pada temperatur 300 °C selektivitas gasolin mengalami penurunan dengan nilai selektivitas sebelumnya dari 66.35% menjadi 5.87%, sementara untuk selektivitas gasoil sendiri juga mengalami hal yang sama.

Dari kecenderungan tersebut, dapat dilihat bahwa gasolin telah terbentuk pada temperatur 300 °C dan turun pada temperatur yang lebih tinggi akibat penguapan ataupun oksidasi karena *purging* yang kurang sempurna diawal reaksi. Kecenderungan gasoil terus naik dari temperatur 300 °C hingga 350 °C, rendahnya nilai selektivitas gasolin pada temperatur yang lebih tinggi disebabkan oleh cukup tingginya kenaikan selektivitas solar. Dan dari penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan dengan bahan yang sama menghasilkan selektivitas tertinggi pada gasoil. Sedangkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Hafshah et al., 2017) dengan bahan baku yang sama menggunakan katalis Ni/Hydrotarcilte diperoleh selektivitas maksimum pada produk gasoil yaitu 98.57% pada temperatur 350 °C, dimana selektivitas gasoil yang saya peroleh dari penelitian ini lebih kecil dari penelitian yang dilakukan oleh (Hafshah et al., 2017) namun jumlah tersebut tidak jauh berbeda.

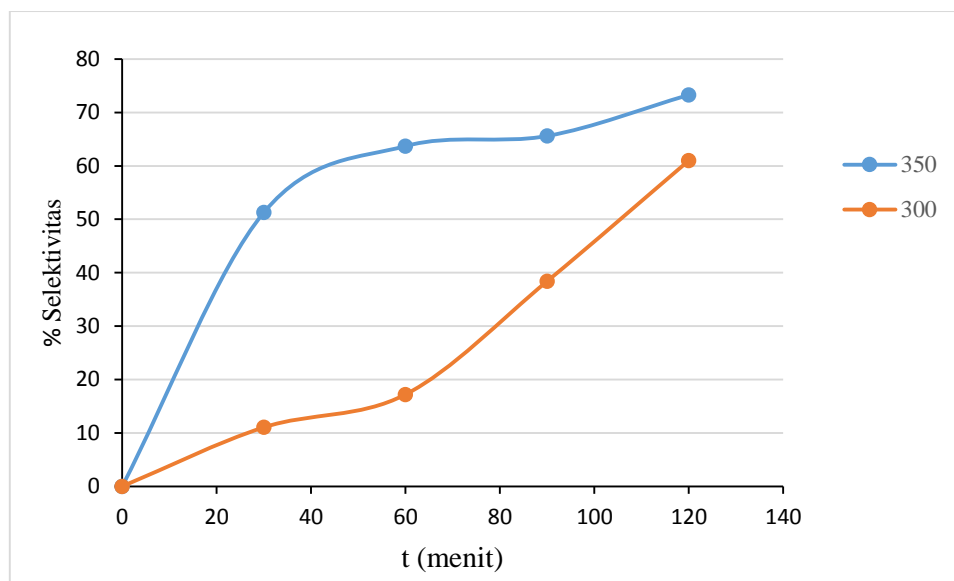


Gambar 4.27 Pengaruh temperatur terhadap selektivitas produk biofuel pada proses *hydrocracking* minyak nyamplung dengan menggunakan katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (murni).

Gambar 4.27 menunjukkan peningkatan selektivitas dari gasolin, kerosen, dan gasoil. Namun selektivitas maksimum yaitu pada fraksi gasoil ditemperatur 350 °C sebesar 32,55%. Bahwa semakin tinggi temperatur pada reaktor maka selektivitas produk biofuel juga meningkat. Ini menandakan aktivitas *hydrocracking* meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur reaksi (Bezergianni et al., 2009).

4.4.6 Pengaruh Waktu Reaksi terhadap Selektivitas Produk Biofuel Pada Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum L.*)

Dalam mengkaji studi kinetika, mekanisme reaksi *hydrocracking* menggunakan katalis padat heterogen berdasarkan pengaruh waktu reaksi (30, 60, 90 dan 120 menit) terhadap selektivitas menjadi produk *biofuel* pada temperatur reaksi 300 °C. Grafik tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.28**.



Gambar 4.28 Grafik hubungan antara selektivitas produk gasolin terhadap waktu reaksi menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% dan NiMo/ γ -Al₂O₃ 10%.

Gambar 4.28, menunjukkan performa dari katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% pada temperatur 350 °C bahwa semakin lama waktu reaksi maka semakin tinggi selektivitas biofuel pada fraksi gasolin, dimana pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% ini rantai hidrokarbon yang terbaca pada fraksi gasolin dengan jumlah fraksi produk gasolin yang terus meningkat dari waktu 30 – 120 menit dengan jumlah maksimu fraksi produk gasolin tertinggi pada waktu reaksi 120 menit sebesar 73%. Sementara untuk katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 10% pada temperatur 300 °C dengan jumlah fraksi produk gasolin yang terus meningkat dari waktu 30 – 120 menit dengan jumlah maksimu fraksi produk gasolin tertinggi pada waktu reaksi 120 menit sebesar 61%. Maka dari itu peningkatan waktu reaksi menyebabkan terjadi peningkatan jumlah fraksi gasolin untuk *hydrocracking* minyak nyamplung. Gambar 4.28 yang diplot hanya selektivitas produk gasolin, dikarenakan pada

katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% merupakan katalis terbaik untuk sistem kinetika hanya produk gasolin yang dominan muncul. Kemudian loading logam yang diplot pada grafik berbeda, karena dari kedua loading tersebut diperoleh konversi tertinggi. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat masing-masing selektivitas terhadap waktu reaksi pada **Tabel 4.5**.

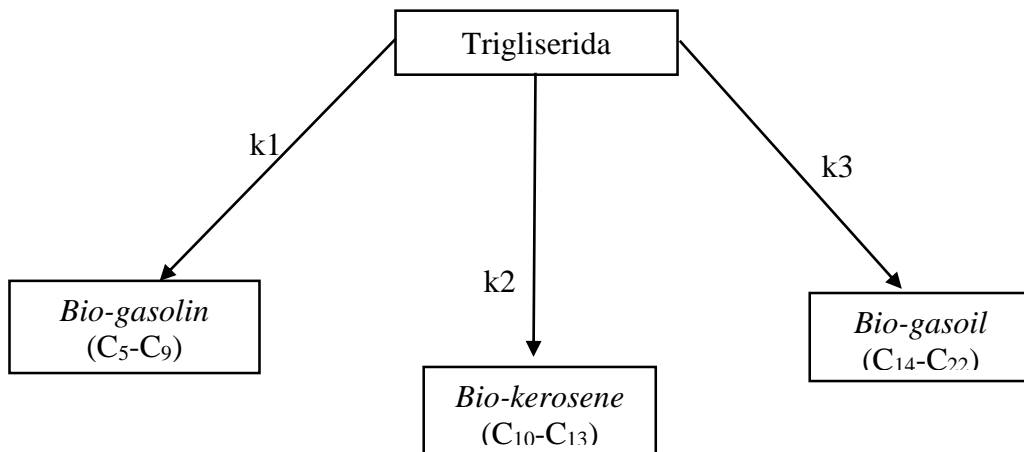
Tabel 4.5 Jumlah selektivitas produk gasolin terhadap waktu reaksi

waktu (t)	selektivitas gasolin	%produk gasolin
30	51	39
60	64	53
90	66	57
120	73	67

4.5 Model Kinetika Reaksi *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Menggunakan Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃

Mekanisme konversi reaksi *hydrocracking* minyak nabati menjadi produk cair *biofuel* dimulai dengan reaksi penjumlahan ikatan rangkap pada molekul trigliserida (Tg). Keberadaan ikatan rangkap pada struktur trigliserida menunjukkan bahwa tahap reaksi hidrogenasi merupakan reaksi mula-mula untuk memperoleh asam lemak. Pemutusan ikatan unsaturated menjadi saturated melalui reaksi hidrogenasi merupakan reaksi intermediet. Menurut (Anand et al., 2016), karena terlalu kompleksnya mekanisme reaksi yang terjadi pada proses *hydrocracking*, maka dapat diasumsikan reaksi pembentukan senyawa intermediate dapat diabaikan dengan hanya meninjau hasil produk yang diperoleh. Hal ini dikarenakan jumlah senyawa intermediate yang terbentuk sangat kecil, sehingga pengamatan hanya dilakukan pada reaktan awal dan dominasi produk akhir (Levenspiel, 2009).

Proses reaksi *hydrocracking* minyak nyamplung yang terdiri dari trigliserida yang akan menghasilkan berbagai macam produk seperti *bio-gasolin* (C₅-C₉), *bio-kerosene* (C₁₀-C₁₃), dan *bio-gasoil* (C₁₄-C₂₂) (Barrón C. et al., 2011). Berdasarkan analisa data produk cair *biofuel* diperoleh model reaksi parallel seperti pada Gambar 4.26 sebagai berikut:



Gambar 4.29 Model kinetika reaksi untuk konversi trigliserida

Pada persamaan reaksi dibawah ini dengan asumsi orde-1, dikarenakan termasuk reaksi irreversibel reaksi heterogen. Persamaan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Keterangan :

A = Trigliserida (kandungan pada Minyak nyamplung)/hasil analisa GC-MS

R = produk gasoil

S = produk rantai karbon yang lebih pendek

Berdasarkan lump mekanisme reaksi pada Gambar 4.29 maka persamaan laju reaksi untuk model reaksi paralel adalah sebagai berikut:

$$-r_{Tg} = k_1 \cdot C_{Tg} \quad (4.2)$$

$$-r_{Tg} = k_2 \cdot C_{Tg} \quad (4.3)$$

$$-r_{Tg} = k_3 \cdot C_{Tg} \quad (4.4)$$

Sehingga persamaan 4.2 sampai dengan 4.4 dapat disederhanakan menjadi persamaan 4.5 sebagai berikut ini:

$$-r_{Tg} = (k_1 + k_2 + k_3) \cdot C_{Tg} \quad (4.5)$$

dimana : $(k_1 + k_2 + k_3)$ dapat didefinisikan sebagai k' , sehingga persamaan 4.5 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$-r_{Tg} = k' \cdot C_{Tg} \quad (4.6)$$

$$-\frac{dC_{Tg}}{dt} = k' \cdot C_{Tg0} \cdot (1 - X_{Tg}) \quad (4.7)$$

$$-\frac{dC_{Tg}}{C_{Tg0}} = k' \cdot (1 - X_{Tg}) \cdot dt \quad (4.8)$$

$$-\int \frac{dC_{Tg0}(1-X_{Tg})}{C_{Tg0}} = k' \cdot (1 - X_{Tg}) \cdot \int dt \quad (4.9)$$

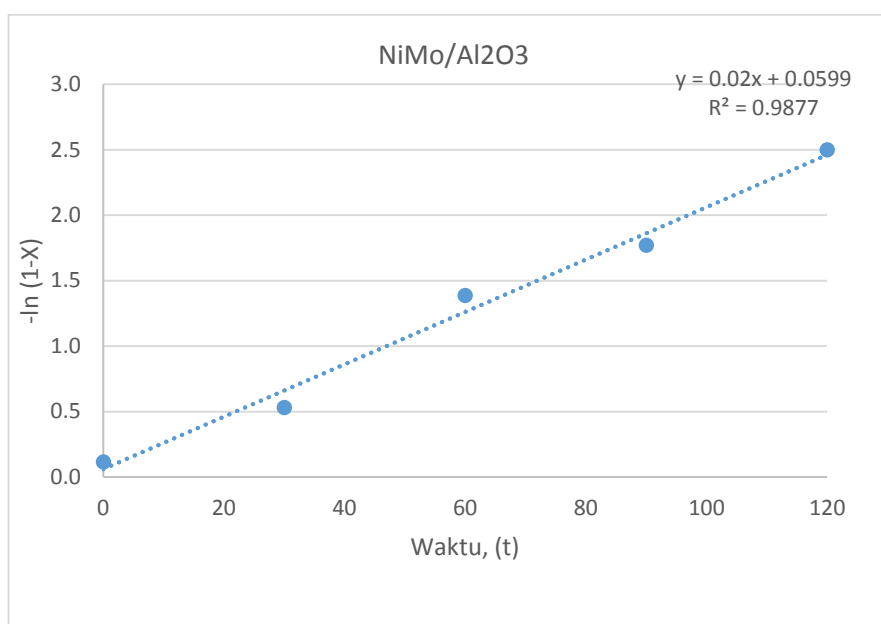
$$-\int \frac{d(1-X_{Tg})}{(1-X_{Tg})} = k' \cdot \int dt \quad (4.10)$$

$$-\ln(1 - X_{Tg}) = k' \cdot t \quad (4.11)$$

Katalis yang digunakan pada proses hydrocracking minyak nyamplung berupa powder yaitu $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan luas permukaan 185,491 m²/gr. Adapun asumsi yang dipilih dalam model kinetika reaksi *hydrocracking* adalah sebagai berikut:

1. Reaksi bersifat paralel dimana trigliserida pada proses *hydrocracking* menghasilkan berbagai macam produk seperti *bio-gasolin* (C₅-C₉), *bio-kerosen* (C₁₀-C₁₃), dan *bio-gasoil* (C₁₄-C₂₂) (Barrón C. et al., 2011). Model kinetika ini berbasis chemical lumps (Sunarno. 2017).
2. Reaksi *hydrocracking* minyak nabati diasumsikan mengikuti orde satu.
3. Analisa kinetika untuk reaksi *hydrocracking* minyak nyamplung dalam reaktor *batch* dilakukan berdasarkan data eksperimen dengan waktu reaksi 0, 30, 60, 90 dan 120.

Untuk menentukan laju reaksi (k) pada proses *hydrocracking* minyak nyamplung dapat diketahui dari persamaan yang didapat dari grafik hubungan antara $-\ln(1-X_{Tg})$ terhadap waktu. Atas dasar asumsi tersebut, maka kinetika reaksi pada system diatas dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:



Gambar 4.30 Grafik hubungan antara $-\ln(1 - X_{Tg})$ terhadap waktu reaksi

Data yang diperoleh dari eksperimen di plot kedalam grafik antara $-\ln(1 - X_{Tg})$ vs waktu reaksi (menit), pada temperatur eksperimen 350 °C. Gambar 4.30 menunjukkan bahwa regresi linier yang terbentuk mendekati garis lurus nilai R^2 sebesar 0,9877 pada temperatur 350 °C. Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ di temperatur 350 °C diperoleh nilai k yang merupakan nilai slope dari regresi linier sebesar 0,02/menit atau dapat ditulis terhadap berat katalis heterogen 0.066/(menit.gram catalyst). Regresi linier diatas menunjukkan bahwa perkiraan awal yang menganggap reaksi *hydrocracking* yang terjadi adalah orde satu. Untuk menentukan linieritas garis metode regresi linier dengan harga koefisien determinasi (R^2) sebagai tolak ukur diterima atau ditolaknya suatu data. Dari Gambar tersebut menunjukkan bahwa harga R^2 untuk semua fungsi mendekati 1 (>0,9). Sehingga dapat dinyatakan bahwa asumsi orde satu dari reaksi *hydrocracking* dapat diterima adalah benar. Selain itu, dari Gambar 4.29 dapat diperoleh juga konstanta kecepatan reaksi (k) yang merupakan nilai slope dari regresi linier yang terbentuk.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data hasil eksperimen yang telah dilakukan di laboratorium dan pembahasan seperti yang telah diuraikan pada bagian 3, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ dengan *loading* 15% dan 10% dengan perbandingan variasi rasio (1:1) dan (1:2) dapat dipersiapkan dengan baik menggunakan metode *dry impregnation* berdasarkan volume pori penyangga gamma-alumina. Berdasarkan hasil analisa BET, XRD dan EDX.
2. Hasil analisa BET katalis γ -Al₂O₃ luas permukaan 185.491 m².g⁻¹ dengan diameter pori 4.872 nm mengalami penurunan setelah dilakukan impregnasi NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% (1:1) luas permukaan 73.852 m².g⁻¹ mengalami peningkatan untuk diameter pori 5.310 nm. Rasio dan %*loading* logam dapat mempengaruhi karakteristik katalis. Untuk analisa EDX kadar logam Ni dan Mo pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 10% (1:1) 7.0 wt% dan 6.5 wt%, pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% (1:1) 1.47 wt% dan 0.44 wt%.
3. Kinerja katalis terbaik pada reaksi *hydrocracking* minyak nyamplung diberikan oleh tipe katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ *loading* 15% rasio (1:1). Dengan konversi total sebesar 97.18%. Yield maksimum diperoleh pada produk gasoil sebesar 81.53%, dan konversi tertinggi pada gasoil sebesar 43.25% menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ *loading* 15% pada temperatur 350 °C.
4. Selektivitas tertinggi didominasi oleh fraksi gasoil dengan menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% (1:2) sebesar 92.68% temperatur 350 °C, sementara di temperatur 300 °C selektivitas tertinggi oleh fraksi gasolin sebesar 66.35% pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 10% (1:1).
5. Model kinetika reaksi *hydrocracking* minyak nyamplung menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ memiliki reaksi orde 1, nilai k yang merupakan nilai slope dari regresi linier sebesar 0.02/menit atau dapat ditulis juga 0.066/(menit.gram catalyst). Dan nilai R² terbesar sebesar 0.9877. Sebagaimana dapat ditulis $-r_{Tg} = 0.02.C_{Tg}$

- Biodiesel, S., Minyak, D., Schleichera, K., Syarif, M., Susmiati, Y., & Wibowo, M. J. (2016). *Biodiesel is a kind of alternative fuels to replace fossil fuels as form as diesel can be obtain through out*. 9(November), 77–80.
- Budiyanto, R., Setyawan, D., & Andarini, N. (2018). AKTIVITAS DAN SELEKTIVITAS KATALIS Ni/H5NZA TERHADAP HIDRORENGKAH METIL OLEAT MENJADI SENYAWA HIDROKARBON FRAKSI PENDEK. *Jurnal Kimia Riset*, 3(1), 58. <https://doi.org/10.20473/jkr.v3i1.8902>
- Charusiri, W., & Vitidsant, T. (2005). Kinetic study of used vegetable oil to liquid fuels over sulfated zirconia. *Energy and Fuels*, 19(5), 1783–1789. <https://doi.org/10.1021/ef0500181>
- Dharma, S., Hassan, M. H., Ong, H. C., Sebayang, A. H., Silitonga, A. S., Kusumo, F., & Milano, J. (2017). Experimental study and prediction of the performance and exhaust emissions of mixed *Jatropha curcas*-*Ceiba pentandra* biodiesel blends in diesel engine using artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production*, 164, 618–633. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.065>
- Fakeeha, A., Khan, W., Ibrahim, A., Al-otaibi, R., Al-fatesh, A., Soliman, M., & Abasaed, A. (2016). Alumina Supported Iron Catalyst for Hydrogen Production: Calcination Study. *International Journal of Advances in Chemical Engineering and Biological Sciences*, 2(2), 139–141. <https://doi.org/10.15242/ijacebs.u1215228>
- Gong, S., Shinozaki, A., Shi, M., & Qian, E. W. (2012). Hydrotreating of *jatropha* oil over alumina based catalysts. *Energy and Fuels*, 26(4), 2394–2399. <https://doi.org/10.1021/ef300047a>
- Hafshah, H., Prajitno, D. H., & Roesyadi, A. (2017). *Hydrotalcite Catalyst for Hydrocracking Calophyllum inophyllum Oil to Biofuel : A Comparative Study with and without Nickel Impregnation*. 12(2), 273–280. <https://doi.org/10.9767/bcrec.12.2.776.273-280>
- Hagen, J. (2006). Industrial catalysis: a practical approach. In *Focus on Catalysts* (Vol. 2006, Issue 5). [https://doi.org/10.1016/s1351-4180\(06\)71636-1](https://doi.org/10.1016/s1351-4180(06)71636-1)
- Handhoyo, R., Prijatama, H., Sofiyah, S., Nurlela, I., Yusianita, N., & Komala, R. (2005). Peningkatan Rasio Si/Al Zeolit Alam Mordenit sebagai Bahan Dasar Zeolit Katalis. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 1(3), 19–24.
- Hathurusingha, S., Ashwath, N., & Subedi, P. (2011). Variation in oil content and fatty acid profile of *Calophyllum inophyllum* L. with fruit maturity and its implications on resultant biodiesel quality. *Industrial Crops and Products*, 33(3), 629–632. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.026>
- Hosseini, S. Y., & Khosravi-Nikou, M. R. (2016). Synthesis and characterization of nano-sized γ -Al₂O₃ for investigation the effect of temperature on catalytic dehydration of methanol to dimethyl ether. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 38(7), 914–920. <https://doi.org/10.1080/15567036.2011.652757>
- Hudaya, T., & Soerawidjaja, T. H. (2018). *Kajian Peforma Katalis Ni-Mo-S / γ -Al₂O₃ Proses Hidrotreating Minyak BijiKapok (Ceiba pentandra) untuk Sintesa Biosolar*. April, 1–8.
- Indonesia, U., Pembangunan, P., Kencana, D., Teknik, F., Indonesia, U., Studi, P., & Kimia, T. (2011). *REAKSI DEKOMPOSISI METANA DENGAN KATALIS Ni-*

Cu-Al UNTUK PRODUKSI CARBON NANOTUBE : KINETIKA REAKSI DAN PEMODELAN REAKTOR Ni-Cu-Al UNTUK PRODUKSI CARBON NANOTUBE :

- Iqbal, M., Purnomo, V., & Prajitno, D. H. (2014). Rekayasa Katalis Ni/Zn-HZSM-5 untuk Memproduksi Biofuel dari Minyak Bintaro. *Jurnal Teknik Pomits, Vol* 3(2), 153–157.
- Jayanti, Y. F., Savitri, Rinaldi, N., Priatmoko, S., & Jumaeri. (2017). *Indonesian Journal of Chemical Science Konversi Gondorukem menjadi Fine Chemicals melalui Reaksi Hydrocracking. 6(3).*
- Kementerian ESDM. (2018). Berapa Konsumsi Energi Nasional? *Katadata*, 2017. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/10/10/berapa-konsumsi-energi-nasional>
- Kendal, K. H. (2011). *Monitoring & Evaluasi Jenis Tanaman Rimba Eksotik.*
- Kholiq, I. (2015). Pemanfaatan energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung substitusi BBM. *Jurnal IPTEK, 19, 75–91.* [https://doi.org/10.1016/S1877-3435\(12\)00021-8](https://doi.org/10.1016/S1877-3435(12)00021-8)
- Kosinov, N., Coumans, F. J. A. G., Li, G., Uslamin, E., Mezari, B., Wijpkema, A. S. G., Pidko, E. A., & Hensen, E. J. M. (2017). Stable Mo/HZSM-5 methane dehydroaromatization catalysts optimized for high-temperature calcination-regeneration. *Journal of Catalysis, 346, 125–133.* <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2016.12.006>
- Lee, J., Choi, Y., Shin, J., & Lee, J. K. (2016). Selective hydrocracking of tetralin for light aromatic hydrocarbons. *Catalysis Today, 265, 144–153.* <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2015.09.046>
- Leksono, B., Windyarini, E., & Hasnah, T. M. (2014). Budidaya Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) untuk Bioenergi dan Prospek Pemanfaatan Lainnya. *Direct, March 2015, 1–46.*
- Leung, D. Y. C., Wu, X., & Leung, M. K. H. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy, 87(4), 1083–1095.* <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.006>
- Li, C., Ma, J., Xiao, Z., Hector, S. B., Liu, R., Zuo, S., Xie, X., Zhang, A., Wu, H., & Liu, Q. (2018). Catalytic cracking of Swida wilsoniana oil for hydrocarbon biofuel over Cu-modified ZSM-5 zeolite. *Fuel, 218(January), 59–66.* <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.026>
- Li, J., Xia, H., Wu, Q., Hu, Z., Hao, Z., & Zhu, Z. (2016). Hydrocracking of the crude oil from thermal pyrolysis of municipal wastes over bi-functional Mo-Ni catalyst. *Catalysis Today, 271, 172–178.* <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2015.08.034>
- Lim, T. T., & Huang, X. (2007). Evaluation of kapok (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) as a natural hollow hydrophobic-oleophilic fibrous sorbent for oil spill cleanup. *Chemosphere, 66(5), 955–963.* <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.05.062>
- Liu, J., Fan, K., Tian, W., Liu, C., & Rong, L. (2012). Hydroprocessing of Jatropha oil over NiMoCe/Al₂O₃ catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy, 37(23), 17731–17737.* <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.09.020>
- Liu, Y., Sotelo-Boyás, R., Murata, K., Minowa, T., & Sakanishi, K. (2009). Hydrotreatment of jatropha oil to produce green diesel over trifunctional Ni-

- Mo/SiO₂-Al₂O₃ catalyst. *Chemistry Letters*, 38(6), 552–553. <https://doi.org/10.1246/cl.2009.552>
- Melwita, E., Fatmawati, & Oktaviani, S. (2014). Ekstraksi Minyak Biji Kapuk dengan Metode ekstraksi Soxhlet. *Teknik Kimia*, 20(1), 20–27.
- Mirzayanti, Y. W., Kurniawansyah, F., Prajitno, D. H., & Roesyadi, A. (2018). Zn-Mo/HZSM-5 catalyst for gasoil range hydrocarbon production by catalytic hydrocracking of ceiba pentandra oil. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 13(1), 136–143. <https://doi.org/10.9767/bcrec.13.1.1508.136-143>
- Nasution, A. S., Sidjabat, O., & Haris, A. (n.d.). *C sampai 220*. 01(2).
- Pérez-Uriarte, P., Ateka, A., Aguayo, A. T., Gayubo, A. G., & Bilbao, J. (2016). Kinetic model for the reaction of DME to olefins over a HZSM-5 zeolite catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 302, 801–810. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.05.096>
- Pertiwi, A., Kimia, D. T., Teknik, F., Indonesia, U., & Depok-, K. B. U. I. (2007). Konversi Senyawa Abe Menjadi Hidrokarbon. *Prosiding Konggres Dan Simposium Nasional Kedua Mkics 2007*, 8, 1–6.
- Purón, H., Pinilla, J. L., Montoya De La Fuente, J. A., & Millán, M. (2017). Effect of Metal Loading in NiMo/Al₂O₃ Catalysts on Maya Vacuum Residue Hydrocracking. *Energy and Fuels*, 31(5), 4843–4850. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b00104>
- Purwanto, W. W., Budiman, B., & Hardy, J. (2005). UJI KINERJA ELEKTROKATALIS-ANODA (PtRuMo / C) UNTUK DIRECT METAHOL FUEL CELL (DMFC). 23–24.
- Rahmawati, D. A., Intaningrum, D., & Istadi, I. (2013). Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Heterogen SO₄²⁻-ZnO dan SO₄²⁻/ZnO dengan Metode Kopresipitasi dan Impregnasi untuk Produksi Biodiesel dari Minyak Kedelai. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 2(4), 243–252.
- Rasyid, R., Aditya S. W, R., Dian.L, D., Mahfud, M., & Roesyadi, A. (2015). EFEKTIFITAS KATALIS Co/Mo PADA HYDROCRACKING MINYAK NYAMPLUNG. *Reaktor*, 15(4). <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.4.268-273>
- Rasyid, R., Malik, R., Kusuma, H. S., Roesyadi, A., & Mahfud, M. (2018). Triglycerides hydrocracking reaction of nyamplung oil with non-sulfided CoMo/γ-Al₂O₃ Catalysts. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 13(2), 196–203. <https://doi.org/10.9767/bcrec.13.2.734.196-203>
- Rohmah, E. N., Rochmat, a, & Sumbogo, S. D. (2012). Bio-gasoline from Catalytic Hydrocracking Reaction of Waste Cooking Oil Using Bayah Natural Zeolite. *International Journal of Environment and Bioenergy*, 3(3), 201–209.
- Santi, D., & Efiyanti, L. (2014). HIDRORENGKAH MINYAK LAKA MENGGUNAKAN KATALIS NiO/ZEOLIT ALAM AKTIF DAN NiOMoO/ZEOLIT ALAM AKTIF MENJADI FRAKSI BERPOTENSI ENERGI. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(2), 93–102. <https://doi.org/10.20886/jphh.2014.32.2.93-102>
- Savitri, Effendi, R., Primahana, G., & Tursiloadi, S. (2015). Cracking Callophyllum Innophyllum L. Oil to Bio-gasoline by Micro-porous Based Zeolite and Al₂O₃

- Catalysts. *Procedia Chemistry*, 16, 555–562.
<https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.092>
- Shi, N., Liu, Q. Y., Jiang, T., Wang, T. J., Ma, L. L., Zhang, Q., & Zhang, X. H. (2012). Hydrodeoxygenation of vegetable oils to liquid alkane fuels over Ni/HZSM-5 catalysts: Methyl hexadecanoate as the model compound. *Catalysis Communications*, 20, 80–84.
<https://doi.org/10.1016/j.catcom.2012.01.007>
- Silitonga, A. S., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., & Chong, W. T. (2013). Characterization and production of Ceiba pentandra biodiesel and its blends. *Fuel*, 108, 855–858. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.02.014>
- Sotelo-Boyás, R., Liu, Y., & Minowa, T. (2011). Renewable diesel production from the hydrotreating of rapeseed oil with Pt/zeolite and NiMo/Al₂O₃ catalysts. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 50(5), 2791–2799. <https://doi.org/10.1021/ie100824d>
- Sudradjat, R., Sahirman, Suryani, A., & Setiawan, D. (n.d.). *DILAKUKAN ESTERIFIKASI (Transesterification Process in Biodiesel Manufacture Using Esterified Nyamplung Oil (Calophyllum inophyllum L .) as Raw Material)*. 184–198.
- Tanneru, S. K., & Steele, P. H. (2015). Direct hydrocracking of oxidized bio-oil to hydrocarbons. *Fuel*, 154(4), 268–274.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.03.080>
- Tiwari, R., Rana, B. S., Kumar, R., Verma, D., Kumar, R., Joshi, R. K., Garg, M. O., & Sinha, A. K. (2011). Hydrotreating and hydrocracking catalysts for processing of waste soya-oil and refinery-oil mixtures. *Catalysis Communications*, 12(6), 559–562.
<https://doi.org/10.1016/j.catcom.2010.12.008>
- Trisunaryanti, W., Kartika, I. A., Mukti, R. R., Hartati, H., Triyono, T., Widyawati, R., & Suarsih, E. (2019). Preparation of Ni- and Mo-based catalysts supported on γ -Al₂O₃ for hydrocracking of Calophyllum inophyllum oil. *Biofuels*, 0(0), 1–6. <https://doi.org/10.1080/17597269.2019.1669871>
- Ulfah, M., & Subagjo, S. (2016). Potensi Katalis Padat Asam Gamma Alumina Tersulfatasi Pada Reaksi Esterifikasi Minyak Biji Karet. *Reaktor*, 16(3), 109. <https://doi.org/10.14710/reaktor.16.3.109-115>
- Veriansyah, B., Han, J. Y., Kim, S. K., Hong, S. A., Kim, Y. J., Lim, J. S., Shu, Y. W., Oh, S. G., & Kim, J. (2012). Production of renewable diesel by hydroprocessing of soybean oil: Effect of catalysts. *Fuel*, 94, 578–585.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.10.057>
- Wang, D., Zhang, L., Li, J., Kamasamudram, K., & Epling, W. S. (2014). NH₃-SCR over Cu/SAPO-34 - Zeolite acidity and Cu structure changes as a function of Cu loading. *Catalysis Today*, 231, 64–74.
<https://doi.org/10.1016/j.cattod.2013.11.040>
- Ward, J. W. (1993). Hydrocracking processes and catalysts. *Fuel Processing Technology*, 35(1–2), 55–85. [https://doi.org/10.1016/0378-3820\(93\)90085-I](https://doi.org/10.1016/0378-3820(93)90085-I)
- Yudha, S.W. (2017), Pemerintah perlu mengoptimalkan pemanfaatan energi baru terbarukan. Yogyakarta: Humas UGM. April 26, 2017. Available from: <https://ugm.ac.id/id/news/13754/>
- Zhang, D., Zhao, J., Zhang, Y., & Lu, X. (2016). Catalytic hydrogenation of

phenanthrene over NiMo/Al₂O₃ catalysts as hydrogen storage intermediate. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(27), 11675–11681. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.11.173>

Zhao, X., Wei, L., Cheng, S., Kadis, E., Cao, Y., Boakye, E., Gu, Z., & Julson, J. (2016). Hydroprocessing of carinata oil for hydrocarbon biofuel over Mo-Zn/Al₂O₃. *Applied Catalysis B: Environmental*, 196, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.05.020>

APPENDIKS A

SPESIFIKASI ALAT

A.1. SPESIFIKASI PERALATAN PENELITIAN

1. Peralatan *slurry pressure batch reactor*

Spesifikasi peralatan *slurry pressure batch reactor* pada Gambar 3.3 sebagai berikut:

Jenis reaktor	: <i>slurry pressure batch</i>
Diameter reaktor	: 7.5 cm
Panjang reaktor	: 21.5 cm
Merk reaktor	: PARR 452HC9
Merk jaket pemanas	: PARR A3240HC9
Daya jaket pemanas	: 1300 watt
Merk Temp. Control	: PARR 4842
Merk <i>stirrer</i>	: PARR A1120HC6

2. Peralatan *furnace*

Spesifikasi peralatan *furnace* pada Gambar 3.2 sebagai berikut:

Jenis reaktor	: <i>furnace</i> tabung
Merk <i>furnace</i>	: Lim Elektro Therm Jerman
Panjang <i>furnace</i>	: 80 cm
Diameter <i>furnace</i>	: 10 cm
Daya <i>furnace</i>	: 2900 watt
<i>Nucelle</i> (penampung katalis)	: bahan <i>quartz</i> (kuarsa)
Diameter <i>nucelle</i>	: 0,5 inci
Panjang <i>nucelle</i>	: 10 cm

A.2. SPESIFIKASI PERALATAN ANALISA

A.2.1 Karakterisasi Katalis : Metode Analisa *X-Ray Diffraction* (XRD)

Measurement Conditions:

Comment	: Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size $2^\circ(\text{Theta})$:0.001; Minimum step size Omega : 0.001
---------	---

Sample stage=Reflection-Transmission Spinner
 PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1

Diffractometer system : XPERT-PRO
 Measurement program : C:\PANalytical\Data
 Collector\Programs\test.xrdmp,
 Identifier={0569F3E4-914E-4E82-9546-
 93B5EE94B207}

Measurement Date / Time : 9/6/2016 8:34:54 AM

Operator : Institut Teknologi
 Raw Data Origin : XRD measurement (*.XRDML)
 Scan Axis : Gonio
 Start Position [$^{\circ}$ Th.] : 5.0084
 End Position [$^{\circ}$ Th.] : 90.0084
 Step Size [$^{\circ}$ Th.] : 0.0170
 Scan Step Time [s] : 10.1600
 Scan Type : Continuous
 PSD Mode : Scanning
 PSD Length [$^{\circ}$ Th.] : 2.12
 Offset [$^{\circ}$ Th.] : 0.0000
 Divergence Slit Type : Fixed
 Divergence Slit Size [$^{\circ}$]: 0.2177
 Specimen Length [mm]: 10.00
 Measurement Temp. [$^{\circ}$ C] : 25.00
 Anode Material : Cu
 K-Alpha1 [\AA] : 1.54060
 K-Alpha2 [\AA] : 1.54443
 K-Beta [\AA] : 1.39225
 K-A2 / K-A1 Ratio : 0.50000
 Generator Settings : 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type : 0000000011119014
 Diffractometer Number: 0
 Goniometer Radius [mm] : 240.00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]: 100.00
 Incident Beam Monochromator : No
 Spinning : No

A.2.2 Karakterisasi Katalis : Metode Analisa *Brunauer Emmett Teller* (BET)

Operator = ITS
 Sample ID = ZincMoHz-101
 Sample Desc = Powder
 Sample weight = 0.03526 g
 Outgas Time = 3.0 hrs
 Analysis gas = Nitrogen
 Press. Tolerance = 0.050/2.000 (ads/des)
 Equil time = 60/60 sec (ads/des)
 Equil timeout = 120/120 sec (ads/des)
 Analysis Time = 120.5 min

End of run = 2016/11/09 11:36:19
 Instrument = Nova Station A
 Cell ID = 26
 Adsorbate = Nitrogen
 Temperature = 77.350K
 Molec. Wt. = 28.013 g
 Cross Section = 16.200 Å²
 Liquid Density = 0.808 g/cc

A.2.3 Kondisi Proses Produk *Hydrocracking* : Metode Analisa GC-MS terhadap Biofuel

HP 6890 GC METHOD:

OVEN

Initial temp : 150 °C (ON)
 Maximum temp : 325 °C
 Equilibration time : 1.00 min
 Oven Temp. Program :

Rate (°C/min)	Temp. °C	Hold time (min)
-	150	2
10	240	11

Run time : 22 min

FRONT INLET

Mode : Split
 Initial Temp : 300 °C
 Pressure : 13.3 psi
 Split ratio : 50 : 1S

Split Flow : 49.9 ml/min
 Total flow : 54.2 ml/min
 Gas saver : ON
 Gas type : Helium

COLUMN

Capillary Column

Model Number : Agilent 19091S-433
 HP-5MS 5% Phenyl Methyl Siloxane
 Max temperature : 325 °C
 Nominal length : 30.0 m
 Nominal diameter : 250 um
 Mode : constant flow
 Initial flow : 1.0 ml/min
 Nominal initial pressure : 13.32 psi
 Average velocity : 38 cm/sec
 Inlet : Front Inlet
 Outlate : MSD Detector
 Outlate pressure : Vacuum

GC Injector

Front Injector

:
 Sample washes : 2
 Sample Pumps : 3
 Injection Volume: 1.0 microliter
 Syringe Size : 10.0 microliters
 PostInj Solvent A Washes : 3
 postInj Solvent B Washes : 3

MSD ACQUISITION PARAMETER :

Tune File : atune.u
 Acquisition mode : Scan
 Solvent Delay : 2.00 min
 Resulting EM Voltage : 1388
 MS Quad : 150 °C maximum 200 °C
 MS Source : 230 °C maximum 250 °C

A.2.4 Kondisi Proses Bahan Baku: Metode Analisa GC-MS terhadap Minyak Nyamplung

HP 6890 GC METHOD :

OVEN

Initial temp : 150 °C (ON)

Maximum temp : 325 °C

Equilibration time : 1.00 min

Oven Temp. Program :

Rate (°C/min)	Temp °C	Hold time (min)
-	150	2
10	240	11

Run time : 22 min

FRONT INLET

Mode : Split

Initial Temp : 300 °C

Pressure : 13.32 psi

Split ratio : 50 : 1

Split Flow : 49.9 ml/min

Total flow : 54.2 ml/min

Gas saver : ON

Gas type : Helium

COLUMN

Capillary Column

Model Number : Agilent 19091S-433

HP-5MS 5% Phenyl Methyl Siloxane

Max temperature : 325 °C

Nominal length : 30.0 m

Nominal diameter : 250 um

Nominal film thickness : 0.25 um

Mode : constant flow

Initial flow : 1.0 ml/min

Nominal initial pressure : 13.32 psi

Average velocity : 38 cm/sec

Inlet : front Inlet

Outlet : MSD Detector

Outlet pressure : Vacuum

GC Injector

Front Injector

:

Sample washes : 2

Sample Pumps : 5

Injection Volume : 1.0 microliters

Syringe Size : 10.0 microliters

PostInj Solvent A Washes : 3

PostInj Solvent B Washes : 3

MSD ACQUISITION PARAMETER :

Time File : atune.u

Acquisition mode : Scan

Solvent Delay : 2.00 min

Resulting EM Voltage : 1388

MS Quad : 150 °C maximum 200 °C

MS Source : 230 °C maximum 250 °C

APPENDIKS B

PERHITUNGAN PREPARASI KATALIS

1. Perhitungan Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 15%

- Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ rasio (2:2)

Massa katalis total	= 30 gram	
Loading Ni-Mo	= 15 %wt	
Kadar γ -Al ₂ O ₃	= 95% wt	
Rasio Ni-Mo	= 2 : 2	
Massa logam total	= 0,15 × 30 gram	= 4,5 gram
Massa γ -Al ₂ O ₃	= 30 gram – 4,5 gram	= 25,5 gram
Massa logam Ni	= $\frac{1}{2}$ × berat logam total	
	= $\frac{1}{2}$ × 4,5 gram	= 2,25 gram
Massa logam Mo	= $\frac{1}{2}$ × berat logam total	
	= $\frac{1}{2}$ × 4,5 gram	= 2,25 gram

Logam Ni dan Mo yang diimpregnasi ke dalam γ -Al₂O₃ adalah berupa senyawa garam dari logam Ni yaitu Ni(NO₃)₂.6H₂O dan logam Mo yaitu (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O, sehingga dilakukan perhitungan massa senyawa sebagai berikut:

Mr Ni(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	= 290,81 gram.mol ⁻¹
Ar Ni	= 58,6934 gram.mol ⁻¹
Kemurnian Ni(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	= 98% = 0.98
Mr (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	= 1235,86 gram.mol ⁻¹
Ar Mo	= 95,94 gram.mol ⁻¹
Kemurnian (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	= 98% = 0.98

Massa Ni(NO₃)₂.6H₂O

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Mr Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Ni}} \times \text{massa logam Ni} \times \frac{100\%}{\% \text{Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} \\
 &= \frac{290.81 \text{ gram.mol}^{-1}}{58.6934 \text{ gram.mol}^{-1}} \times 2.25 \text{ gram} \times \frac{1}{0.98} \\
 &= 11,3756 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Massa $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Mr } (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar } 7 \times \text{Mo}} \times \text{massa logam Mo} \times \frac{100\%}{\% \text{Mr } (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 6\text{H}_2\text{O}} \\
 &= \frac{1235.86 \text{ gram.}}{95.94 \text{ gram.mol}^{-1} \times 7} \times 2.25 \text{ gram} \times \frac{1}{0.98} \\
 &= 4,2250 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Karena metode yang digunakan merupakan metode *incipient wetness impregnation*, maka volume larutan logam yang digunakan sama dengan volume pori $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang didapatkan dari data analisa BET (Harber dkk., 1995).

$$\text{Volume pori rata-rata } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 = 0,229 \text{ cm}^3/\text{gram}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan logam} &= \text{massa } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \times \text{volume pori rata-rata } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \\
 &= 25,5 \text{ gram} \times 0,229 \text{ cm}^3/\text{gram} \\
 &= 5,8395 \text{ ml} \approx 6 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan konsentrasi larutan garam $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi } \text{Ni}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O} &= \frac{\text{massa } \text{Ni}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{Mr } \text{Ni}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}} \times \frac{1000}{\text{volume larutan}} \\
 &= \frac{11.3756 \text{ gram}}{290.81 \text{ gram.mol}^{-1}} \times \frac{1000}{5.8395 \text{ ml}} \\
 &= 6.6986 \text{ M}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi } (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O} &= \frac{\text{massa } (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}}{\text{Mr } (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}} \times \frac{1000}{\text{volume larutan}} \\
 &= \frac{4.2250 \text{ gram}}{1235.86 \text{ gram.mol}^{-1}} \times \frac{1000}{5.8395 \text{ ml}} \\
 &= 0.5854 \text{ M}
 \end{aligned}$$

- Katalis NiMo/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ rasio (2:1)

$$\text{Massa katalis total} = 30 \text{ gram}$$

$$\text{Loading Ni-Mo} = 15 \% \text{ wt}$$

$$\text{Kadar } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 = 95\% \text{ wt}$$

$$\text{Rasio Ni-Mo} = 2 : 1$$

$$\text{Massa logam total} = 0,15 \times 30 \text{ gram} = 4,5 \text{ gram}$$

$$\text{Massa } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 = 30 \text{ gram} - 4,5 \text{ gram} = 25,5 \text{ gram}$$

$$\text{Massa logam Ni} = \frac{2}{3} \times \text{berat logam total}$$

$$= \frac{2}{3} \times 4,5 \text{ gram} = 3 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa logam Mo} &= \frac{1}{3} \times \text{berat logam total} \\ &= \frac{1}{3} \times 4,5 \text{ gram} = 1,5 \text{ gram}\end{aligned}$$

Massa Ni(NO₃)₂·6H₂O

$$\begin{aligned}&= \frac{\text{Mr Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Ni}} \times \text{massa logam Ni} \times \frac{100\%}{\% \text{Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} \\ &= \frac{290.81 \text{ gram.mol}^{-1}}{58.6934 \text{ gram.mol}^{-1}} \times 3 \text{ gram} \times \frac{1}{0.98} \\ &= 15,1675 \text{ gram}\end{aligned}$$

Massa (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O

$$\begin{aligned}&= \frac{\text{Mr(NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar } 7 \times \text{Mo}} \times \text{massa logam Mo} \times \frac{100\%}{\% \text{Mr (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}} \\ &= \frac{1235.86 \text{ gram.mol}^{-1}}{7 \times 95.94 \text{ gram.mol}^{-1}} \times 1.5 \text{ gram} \times \frac{1}{0.98} \\ &= 2,8166 \text{ gram}\end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan konsentrasi larutan garam Ni(NO₃)₂·6H₂O dan (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} &= \frac{\text{massa Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{Mr Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} \times \frac{1000}{\text{volume laurtan}} \\ &= \frac{15.1675 \text{ gram}}{290.81 \text{ gram.mol}^{-1}} \times \frac{1000}{5.8395 \text{ ml}} \\ &= 8.9316 \text{ M}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O} &= \frac{\text{massa (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{\text{Mr (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}} \times \frac{1000}{\text{volume larutan}} \\ &= \frac{2.8166 \text{ gram}}{1235.86 \text{ gram.mol}^{-1}} \times \frac{1000}{5.8395 \text{ ml}} \\ &= 0.3902 \text{ M}\end{aligned}$$

2. Perhitungan Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 10%

- Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ rasio 2 : 2

$$\text{Massa katalis total} = 30 \text{ gram}$$

$$\text{Loading Ni-Mo} = 10 \% \text{ wt}$$

$$\text{Kadar } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 = 95\% \text{ wt}$$

$$\text{Rasio Ni-Mo} = 2 : 2$$

$$\text{Massa logam total} = 0,1 \times 30 \text{ gram} = 3 \text{ gram}$$

$$\text{Massa } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 = 30 \text{ gram} - 3 \text{ gram} = 27 \text{ gram}$$

$$\text{Massa logam Ni} = \frac{1}{2} \times \text{massa logam total}$$

$$= \frac{1}{2} \times 3 \text{ gram} = 1,5 \text{ gram}$$

Massa logam Mo $= \frac{1}{2} \times \text{massa logam total}$

$$= \frac{1}{2} \times 3 \text{ gram} = 1,5 \text{ gram}$$

Massa Ni(NO₃)₂·6H₂O

$$= \frac{\text{Mr Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Ni}} \times \text{massa logam Ni} \times \frac{100\%}{\% \text{Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}$$

$$= \frac{290.81 \text{ gram.mol}^{-1}}{58.6934 \text{ gram.mol}^{-1}} \times 1,5 \text{ gram} \times \frac{1}{0.98}$$

$$= 7,5837 \text{ gram}$$

Massa (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O

$$= \frac{\text{Mr(NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar } 7 \times \text{Mo}} \times \text{massa logam Mo} \times \frac{100\%}{\% \text{Mr (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}}$$

$$= \frac{1235.86 \text{ gram.mol}^{-1}}{7 \times 95.94 \text{ gram.mol}^{-1}} \times 1,5 \text{ gram} \times \frac{1}{0.98}$$

$$= 2,8166 \text{ gram}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan konsentrasi larutan garam Ni(NO₃)₂·6H₂O dan (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O sebagai berikut:

$$\text{Konsentrasi Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{Massa Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{Mr Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} \times \frac{1000}{\text{volume larutan}}$$

$$= \frac{7.5837 \text{ gram}}{290.81 \text{ gram.mol}^{-1}} \times \frac{1000}{6.183 \text{ ml}}$$

$$= 4.2176 \text{ M}$$

$$\text{Konsentrasi (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{Massa (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{\text{Mr (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}} \times \frac{1000}{\text{volume larutan}}$$

$$= \frac{2.8166 \text{ gram}}{1235.86 \text{ gram.mol}^{-1}} \times \frac{1000}{6.183 \text{ ml}}$$

$$= 0.3686 \text{ M}$$

- Katalis NiMo/γ-Al₂O₃ rasio 2 : 1

Massa katalis total = 30 gram

Loading Ni-Mo = 10 % wt

Kadar γ-Al₂O₃ = 95% wt

Rasio Ni-Mo = 2 : 1

Massa logam total = 0,1 × 30 gram = 3 gram

Massa γ-Al₂O₃ = 30 gram – 3 gram = 27 gram

Massa logam Ni = $\frac{2}{3} \times \text{massa logam total}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2}{3} \times 3 \text{ gram} = 2 \text{ gram} \\
 \text{Massa logam Mo} &= \frac{1}{3} \times \text{massa logam total} \\
 &= \frac{1}{3} \times 3 \text{ gram} = 1 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Massa Ni(NO₃)₂·6H₂O

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Mr Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Ni}} \times \text{massa logam Ni} \times \frac{100\%}{\% \text{Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} \\
 &= \frac{290.81 \text{ gram.mol}^{-1}}{58.6934 \text{ gram.mol}^{-1}} \times 2 \text{ gram} \times \frac{1}{0.98} \\
 &= 10,1116 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Massa (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Mr (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar } 7 \times \text{Mo}} \times \text{massa logam Mo} \times \frac{100\%}{\% \text{Mr (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}} \\
 &= \frac{1235.86 \text{ gram.mol}^{-1}}{7 \times 95.94 \text{ gram.mol}^{-1}} \times 1 \text{ gram} \times \frac{1}{0.98} \\
 &= 1,8777 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Volume pori rata-rata γ -Al₂O₃ = 0,229 cm³/gram

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan logam} &= \text{massa } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \times \text{volume pori rata-rata } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \\
 &= 27 \text{ gram} \times 0,229 \text{ cm}^3/\text{gram} \\
 &= 6,183 \text{ cm}^3 \sim 7 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan konsentrasi larutan garam Ni(NO₃)₂·6H₂O dan (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} &= \frac{\text{Massa Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{Mr Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} \times \frac{1000}{\text{volume larutan}} \\
 &= \frac{10.1116 \text{ gram}}{290.81 \text{ gram.mol}^{-1}} \times \frac{1000}{6.183 \text{ ml}} \\
 &= 5.6235 \text{ M}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O} &= \frac{\text{Massa (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{\text{Mr (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}} \times \frac{1000}{\text{volume larutan}} \\
 &= \frac{1.8777 \text{ gram}}{1235.86 \text{ gram.mol}^{-1}} \times \frac{1000}{6.183 \text{ ml}} \\
 &= 0.2457 \text{ M}
 \end{aligned}$$

➤ **PERHITUNGAN UJI FFA DAN VISKOSITAS MINYAK NYAMPLUNG**

1. Standarisasi KOH

➤ **Mengukur densitas minyak nyamplung sebelum dan sesudah *degumming***

- Sebelum *Degumming*
 - Volume piknometer : 10 ml
 - Berat piknometer kosong : 16,1568 gram
 - Berat piknometer + minyak : 25,5559 gram

ρ minyak

$$= \frac{(\text{berat piknometer} + \text{minyak}) - (\text{berat piknometer kosong})}{v. \text{piknometer}}$$

$$= \frac{25,5559 \text{ gram} - 16,1568 \text{ gram}}{10 \text{ ml}}$$

$$= 0,93991 \text{ gr/ml}$$

- Sesudah *Degumming*
 - Volume piknometer : 10 ml
 - Berat piknometer kosong : 11,1631 gram
 - Berat piknometer + minyak : 20,3876 gram

ρ minyak

$$= \frac{(\text{berat piknometer} + \text{minyak}) - (\text{berat piknometer kosong})}{v. \text{piknometer}}$$

$$= \frac{20,3876 \text{ gram} - 11,1631 \text{ gram}}{10 \text{ ml}}$$

$$= 0,92245 \text{ gram/ml}$$

➤ **Standarisasi KOH**

Fungsi : sebagai titran pada proses titrasi.

Massa minyak nyamplung	: 9,2245 gram
Volume etanol	: 25 ml
Indikator PP	: 3 tetes
Titrasi KOH 0,1 N	
Volume titrasi	: 90,1 ml
Konsentrasi KOH	: 0,4 N
Berat sampel	: 9,2245 gram
Gram KOH	: $m = \frac{\text{gram}}{mr} \times \frac{1000}{v}$
	$0,1 = \frac{gr}{56} \times \frac{1000}{1000}$
	Gram = 5,6

Berat Asam oksalat : 2,5 gram

- Dititrasi menggunakan KOH sebelumnya minyak dtambahkan asam oksalat, warna sebelum dititrasi “cokelat merah tua” setelah dilakukan titrasi dengan KOH warna berubah menjadi warna kuning.

2. Uji FFA Minyak Nyamplung

Volume minyak nyamplung : 10 ml → piknometer : 25 gram

$$\begin{aligned}\rho \text{ minyak} &= \frac{(\text{berat pikno} + \text{minyak}) - (\text{berat pikno kosong})}{v. \text{pikno}} \\ &= \frac{(25,20 - 16,20) \text{ gram}}{10 \text{ ml}} \\ &= 0,9 \text{ gram/ml}\end{aligned}$$

Berat minyak nyamplung = ρ minyak \times V. Minyak

$$= 0,92245 \times 10 \text{ ml}$$

$$= 9,2245 \text{ gram/ml}$$

$$\begin{aligned}\text{uji FFA} &= \frac{v \text{ KOH titrasi} \times N \text{ KOH} \times Mr \text{ KOH}}{\text{berat sampel} \times 1000} \times 100\% \\ &= \frac{90,1 \text{ ml} \times 0,14 \times 56}{9,2245 \text{ gram} \times 1000} \times 100\% \\ &= 7,6576 \%\end{aligned}$$

3. Uji Viskositas Minyak Nyamplung

Perhitungan viskositas:

$$\text{Viskositas Kinematik } (V_k) = \frac{\eta \text{ sampel}}{\rho \text{ sampel}}$$

Keterangan :

η = viskositas dinamik (g/cm.s) atau (cP);

V_k = viskositas kinematik (m²/s) atau (cSt);

ρ = massa jenis (g/mL).

T = waktu yang dibutuhkan sampel dari titik a sampai b (sekon)

Sehingga dari hasil perhitungan viskositas yang telah saya lakukan pada minyak nyamplung setelah *degumming* selama tiga kali pengujian, diperoleh data perhitungan sebagai berikut:

t (detik)	t (rata-rata) detik	t (air)/ (detik)	ρ air	ρ minyak nyamplung	η air
237	233.3	5.04	0.997 gr/ml	0.9224 gr/ml	0.8937 cp
230					
233					

Sehingga, dihitung untuk nilai viskositas dari minyak nyamplung setelah *degumming*, yaitu:

$$\eta_{sampel} = \frac{t_{sampel} \times \rho_{sampel}}{t_{air} \times \rho_{air}}$$

$$\eta_{sampel} = \frac{233.3 \times 0.9224 \text{ gr/ml}}{5.04 \times 0.997 \text{ gr/ml}} \times 0.8937 \text{ cp}$$

$$\eta_{sampel} = \frac{215.2236}{5.0248} \times 0.8937 \text{ cp}$$

$$\eta_{sampel} = 38.279 \text{ cp}$$

Sehingga nilai V_k , diperoleh:

$$V_k = \frac{\eta_{sampel}}{\rho_{sampel}}$$

$$V_k = \frac{38.279 \text{ cp}}{0.9224 \text{ gr/ml}}$$

$$V_k = 41 \text{ cSt}$$

APPENDIKS C PERHITUNGAN YIELD

Perhitungan massa minyak akhir setelah proses perengkahan dengan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃. Variabel 10% loading dengan perbandingan Ni-Mo = 2:1 pada suhu 350°C.

- Variabel 15% loading dengan perbandingan NiMo = 2:1 pada suhu 350°C
 - Volume minyak nyamplung = 300 mL
 - Densitas minyak nyamplung = 0,940 g/cm³
 - Berat minyak mula-mula = 0,940 g/cm³ x 300 mL
 - = 282,00 gram

Tabel E.1 Hasil Perhitungan Berat Pembentukan Produk Cair (gram/menit) dengan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃

Variabel	Suhu (°C)	Massa botol kosong (gram)	Massa botol kosong + produk (gram)	Massa produk (gram)
10% 2:2	300	232,156	353,1823	121,0266
	350	232,156	334,3645	102,2085
10% 2:1	300	232,156	333,5270	101,3710
	350	232,156	348,6248	116,4688
15% 2:2	300	232,156	345,8192	113,6632
	350	232,156	307,1148	74,9588
15% 2:1	300	232,156	365,0928	132,9368
	350	232,156	340,6551	108,4991
Al ₂ O ₃	300	232,156	530,8761	298,7201
	350	232,156	313,9470	81,7910

Tabel E.2 Hasil Analisa GC-MS Produk Cair Menggunakan Variabel katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 10% (2:1)

Nama Senyawa	RT	%Area	Rumus Kimia	BM
Octane	3.6478	0.0785	C ₈ H ₁₈	144
Nonane	3.844	0.1701	C ₉ H ₂₀	128
Decane	4.156	0.1761	C ₇ H ₁₄	98
Heptanoic acid	4.3955	0.1704	C ₇ H ₁₄ O ₂	130
Undecane	4.6082	0.2829	C ₁₁ H ₂₄	156
Octanoic acid	4.9596	0.2803	C ₈ H ₁₆ O ₂	144
Benzene, pentyl-	5.109	0.1418	C ₈ H ₁₆ O ₂	144
5-Dodecene, (E)-	5.1928	0.1337	C ₁₂ H ₂₄	168
Dodecane	5.2386	0.2943	C ₁₂ H ₂₆	170
Nonanoic acid	5.7141	0.2842	C ₉ H ₁₈ O ₂	158
Hexane, 2-phenyl-3-propyl-	5.8057	0.0767	C ₁₅ H ₂₄	204
Benzene, hexyl-	5.8912	0.1418	C ₁₂ H ₁₈	157
5-Tridecene, (E)-	5.9809	0.1656	C ₁₃ H ₂₆	182

Tridecane	6.0538	0.3776	C13H28	184
n-Decanoic acid	6.6412	0.4049	C10H20O2	172
Benzene, 1-methyl-3-hexyl-	6.7258	0.0815	C13H20	176
Benzene, heptyl-	6.8478	0.2491	C13H20	176
4-Tetradecene, (E)-	6.9439	0.3276	C14H28	196
Tetradecane	7.0214	0.5324	C14H30	198
Benzene, octyl-	7.923	0.2745	C14H22	190
1-Pentadecene	8.0042	0.9952	C15H30	210
Pentadecane	8.1262	10.5661	C15H32	212
Cyclopentadecane	8.2843	0.1605	C15H30	210
1,1'-Biphenyl, 4-methyl-	8.3438	0.1012	C13H12	168
7-Hexadecene, (Z)-	9.1135	0.4979	C16H32	224
Hexadecane	9.1855	1.0875	C16H34	226
Octadec-9-enoic acid	12.3651	0.1783	C18H34O2	282
1-Octadecene	12.4054	0.1869	C18H36	252
Nonadecane	12.4799	1.6668	C19H40	268
1-Nonadecene	12.5326	0.0967	C19H38	266
9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	13.1217	0.0797	C18H32O2	256
Benzene, 1,4-dimethyl-2,5-bis(1-methylethyl)-	13.2899	0.4835	C14H22	190
n-Hexadecanoic acid	13.4538	3.4311	C16H32O2	256
n-Hexadecanoic acid	15.9871	0.1274	C16H32O2	256
cis-Vaccenic acid	16.2181	0.9711	C18H34O2	282
Oleic Acid	16.4281	3.0378	C18H34O2	282
cis-Vaccenic acid	16.5338	0.4221	C18H34O2	282
Octadecanoic acid	16.7232	4.2897	C18H36O2	284
Oleic Acid	17.0569	0.2632	C18H34O2	282
cis-Vaccenic acid	17.1986	0.1497	C18H34O2	282
cis-Vaccenic acid	19.3459	0.2442	C18H34O2	282
6-Octadecenoic acid	20.2424	0.6112	C18H36O2	284

Dari hasil analisa gcms, lalu mengelompokkan jenis biofuel berdasarkan jumlah hidrokarbon dari produk cair. Hasil pengelompokan dapat dilihat pada **Tabel E.3**

Tabel E.3 Pengelompokan Produk Cair Berdasarkan Rantai Hidrokarbon.

Biofuel	Atom C	%Area
Gasoline	C5	-
	C6	-
	C7	0,1761
	C8	0,0785
	C9	0,1701
Total gasoline		0,4247
Kerosene	C10	-
	C11	1,2933
	C12	0,5698
	C13	1,1514
	Total Kerosen	
Gasoil	C14	3,8746
	C15	13,8333
	C16	5,1841
	C17	40,7773
	C18	0,6858
	C19-C22	2,736
	Total Gasoil	

- Menghitung jumlah BM campuran pada produk cair yang dihasilkan.

Menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{BM campuran} = \frac{\% \text{ area HC}}{\% \text{ area total HC}} \times \text{BM HC}$$

BM campuran digunakan untuk menghitung mol (n) pada hidrokarbon, dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

Massa produk HC = %area total HC x massa produk

$$= 70,53\% \times 108,4991$$

$$= 76,5247 \text{ gram}$$

$$\text{mol} = \frac{\text{berat produk HC}}{\text{BM campuran HC}} \times \% \text{ area HC}$$

Tabel E.4 Hasil Perhitungan mol HC Pada Produk Cair Biofuel

Biofuel	Jumlah C	%area (GC-MS)	BM campuran	Mol
Gasoline (G)	C5	-	-	-
	C6	-	-	-
	C7	0,1761	98	0,001375
	C8	0,0785	114	0,000527
	C9	0,1701	128	0,001017
	Total Gasoline	0,4247		-
Kerosin (K)	C10	-	-	-
	C11	1,2933	149,7499	0,006609
	C12	0,5698	166,2955	0,002622
	C13	1,1514	177,5578	0,0050
	Total Kerosin	3,0145		
Gasoil (S)	C14	3,8746	285,2924	0,010393
	C15	13,8333	211,4944	0,0501
	C16	5,1841	224,4196	0,017677
	C17	40,7773	237,6551	0,1313
	C18	0,6858	252	0,002083
	C19-C22	2,736	417,0304	0,005021
	Total Gasoil	67,0911		
	TOTAL		70,5303	

- Menghitung selektivitas gasoline, kerosin, dan gasoil menggunakan perhitungan:

$$\% \text{ Selektivitas} = \frac{\text{mol biofuel}}{\text{mol total HC}} \times 100\%$$

$$\% \text{Selektivitas gasoline} = \frac{0,00293}{0,233641} \times 100\% = 1.249348\%$$

$$\% \text{Selektivitas kerosin} = \frac{0,01423}{0,233641} \times 100\% = 6.074876\%$$

$$\% \text{Selektivitas gasoil} = \frac{0,21657}{0,233641} \times 100\% = 92.67578\%$$

- Menghitung konversi tiap variabel katalis dibutuhkan perhitungan mol dari feed yang berupa TGA minyak nyamplung. TGA tersebut diwakili oleh data FFA dari hasil analisa GC-MS seperti pada **Tabel E.5**.

Tabel E.5 Hasil analisa GC-MS Minyak Nyamplung

%area	Rumus Molekul	Asam Lemak	BM
2.8852	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	asam palmitat	256
13.0333	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	asam stearat	296
0.9466	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	asam palmitat	284
0.0369	C ₁₆ H ₃₀ O ₄	asam suksinit (asam palmitat)	286
0.1711	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	asam palmitat	270
0.017	C ₉ H ₈ O ₂	asam HMD	148
2.3378	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	asam palmitat	256
0.9716	C ₁₆ H ₃₂ O ₂		256
31.5716	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	asam oleat	282
27.9477	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	asam stearat	282
10.4516	C ₁₈ H ₃₄ O ₂		282
1.8893	C ₁₈ H ₃₄ O ₂		282
1.2859	C ₁₈ H ₃₄ O ₂		282
1.617	C ₁₈ H ₃₄ O ₂		282
3.9338	C ₁₈ H ₃₄ O ₂		282
0.2394	C ₁₈ H ₃₄ O ₂		282

- Dari hasil analisa didapatkan %area total FFA sebesar 96,4506. Lalu menghitung massa umpan dengan cara:

$$\begin{aligned}
 \text{Massa umpan} &= \% \text{area total FFA} \times \text{massa minyak nyamplung} \\
 &= 96,4506\% \times 282,00 \\
 &= 271.9907 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

- Menghitung mol umpan menggunakan BM campuran dengan persamaan:

$$\text{mol} = \frac{\text{berat umpan}}{\text{BM campuran FFA}}$$

Sehingga didapatkan jumlah mol umpan sebesar 0.902636 mol. Hasil perhitungan konversi dapat dilihat pada **Tabel E.6** dengan nilai konversi didapat dari persamaan:

$$\% \text{Konversi} = \frac{\text{mol biofuel}}{\text{mol umpan}} \times 100\%$$

Tabel E.6 Nilai konversi dari Minyak Nyamplung dengan Menggunakan Beberapa Variabel Katalis

Katalis	Konversi (%)
γ -Al ₂ O ₃	27,19
NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ 10%(2:2)	35,15
NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ 10%(2:1)	51,78
NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ 15%(2:2)	43,08
NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ 15%(2:1)	97,,18

APPENDIKS D PERHITUNGAN KINETIKA

Beberapa model kinetika untuk mekanisme reaksi *hydrocracking* telah dikembangkan untuk berbagai pola produk yang diamati selama reaksi (Kumar dan Froment, 2007; Zhang, dkk., 2009; Anand dan Sinha, 2012; Forghani, dkk., 2014) menyatakan bahwa jalur mekanisme reaksi masing-masing path sangat tergantung pada kondisi operasi.

Pada persamaan reaksi dibawah ini dengan asumsi orde-1, dikarenakan termasuk reaksi irreversibel reaksi heterogen. Persamaan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Keterangan :

A = Trigliserida (kandungan pada Minyak nyamplung)/hasil analisa GC-MS
R = produk gasoil

S = produk rantai karbon yang lebih pendek

Berdasarkan lump mekanisme reaksi pada Gambar 4.29 maka persamaan laju reaksi untuk model reaksi paralel adalah sebagai berikut:

$$-r_{Tg} = k_1 \cdot C_{Tg}$$

$$-r_{Tg} = k_2 \cdot C_{Tg}$$

$$-r_{Tg} = k_3 \cdot C_{Tg}$$

Kecepatan reaksi berorde-satu : $-r_A = k \cdot C_A$ (1)

Pada sistem *batch* bervolume tetap: $-r_A = -\frac{dC_A}{dt}$ (2)

Substitusikan (3) ke (2), maka: $-\frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A$

Sehingga dapat dituliskan: $-r_{Tg} = k' \cdot C_{Tg}$

$$-\frac{dC_{Tg}}{dt} = k' \cdot C_{Tg0} \cdot (1 - X_{Tg})$$

$$-\frac{dC_{Tg}}{dt} = k' \cdot C_{Tg0} \cdot (1 - X_{Tg})$$

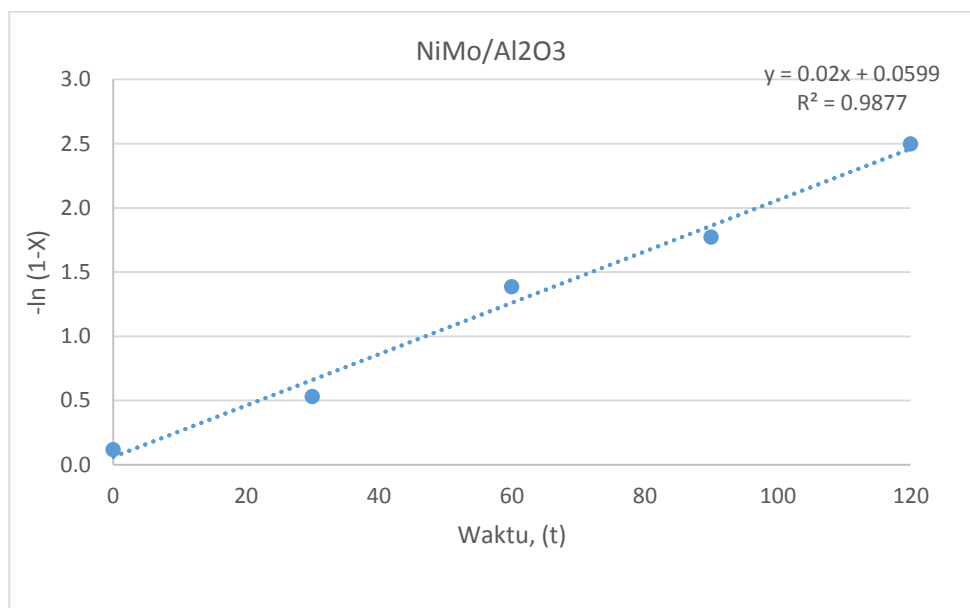
Maka, $\ln \frac{C_{A0}}{C_A} = k \cdot t$ dengan batas integrasi : $X_A = 0$ pada $t = 0$ dan $X_A = X_A$ pada $t = t$ sehingga diperoleh, $-\ln(1 - X_A) = k \cdot t$

Pada kinetika ini menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 15% (1:1)

Tabel D.1 Perhitungan Kinetika Reaksi

katalis	suhu	waktu	asam karboksilat	konversi Tg (%area)	konversi XTg	konversi		k
						1-X	-ln(1-X)	
NiMo/Al ₂ O ₃ 15%	350	0	89.0	11.0	0.1	0.9	0.1	
		30	58.8	41.2	0.4	0.6	0.5	0.0177
		60	25.0	75.0	0.8	0.3	1.4	0.0231
		90	17.0	83.0	0.8	0.2	1.8	0.0197
		120	8.2	91.8	0.9	0.1	2.5	0.0208
						Jumlah Rata-rata		0.0203

Untuk menentukan laju reaksi (k) pada proses *hydrocracking* minyak nyamplung dapat diketahui dari persamaan yang didapat dari grafik hubungan antara $-\ln(1-X_A)$ terhadap waktu (Gambar D.1). data yang diperoleh dari eksperimen di plot kedalam grafik antara $-\ln(1-X_{Tg})$ vs waktu reaksi (menit), pada temperatur 350°C.

**Gambar D.1** Hubungan $-\ln(1-X_{Tg})$ terhadap waktu reaksi

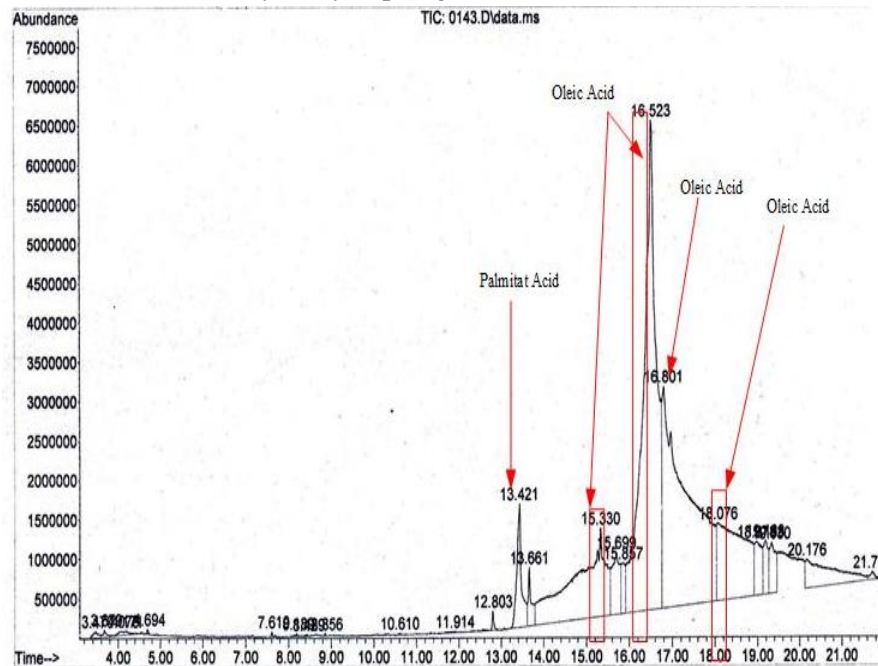
Pada Gambar D.1 menunjukkan bahwa regresi linier yang terbentuk mendekati garis lurus nilai R^2 sebesar 0,9877 pada temperatur 350 °C. Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ di temperatur 350 °C diperoleh nilai k yang merupakan nilai slope dari regresi linier sebesar 0,02/menit atau dapat ditulis terhadap berat katalis heterogen 0.066/(menit.gram catalyst). Regresi linier diatas menunjukkan bahwa perkiraan awal yang menganggap reaksi *hydrocracking* yang terjadi adalah orde satu. Untuk menentukan linieritas garis metode regresi linier dengan harga koefisien determinasi

(R^2) sebagai tolak ukur diterima atau ditolaknya suatu data. Dari Gambar tersebut menunjukkan bahwa harga R^2 untuk semua fungsi mendekati 1 ($>0,9$). Sehingga dapat dinyatakan bahwa asumsi orde satu dari reaksi *hydrocracking* dapat diterima adalah benar. Selain itu, dari Gambar 4.29 dapat diperoleh juga konstanta kecepatan reaksi (k) yang merupakan nilai slope dari regresi linier yang terbentuk.

APENDIKS E

HASIL ANALISA PRODUK HIDROKARBON CAIR

1. Analisa Asam Lemak Minyak Nyamplung

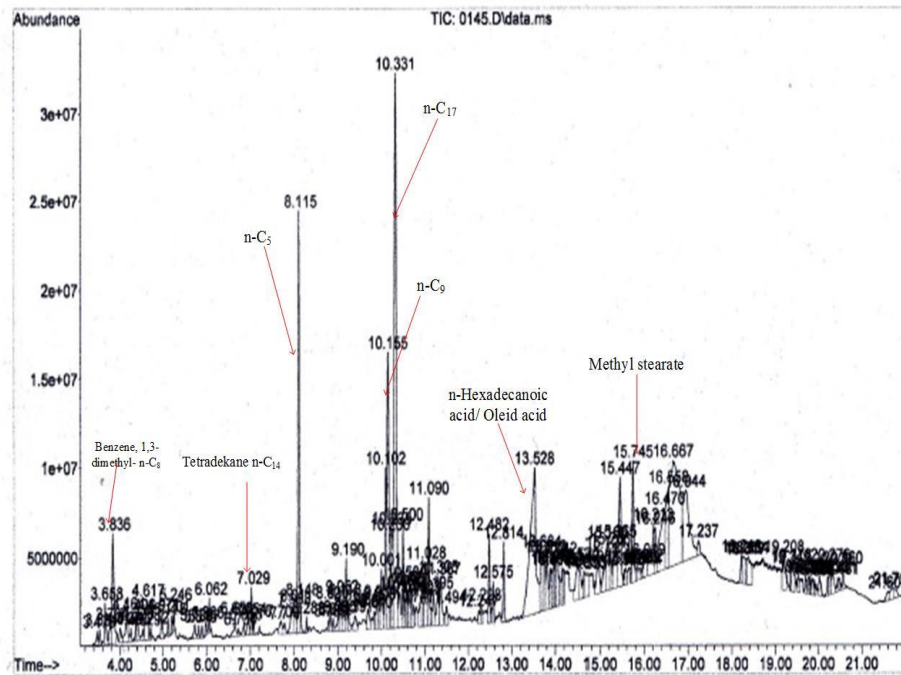


Gambar E.1 Spektra GC-MS Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum* Linn)

Tabel E.1. Komposisi asam-asam lemak trigliserida minyak nyamplung (*Callophyllum Inophyllum* L.)

Komponen asam lemak	Nama kimia	Rumus kimia	% berat
Asam Lemak Jenuh Asam Palmitat Asam Stearat	- n-Hexadecanoic acid trans-13-Octadecenoic acid	- $C_{16}H_{32}O_2$ $C_{18}H_{36}O_2$	- 6,19 25,36
Asam Lemak Tak Jenuh Asam Oleat Asam Linoleat	- Cis- 9-Octadecenoic acid cis-13-Octadecenoic acid	- $C_{18}H_{34}O_2$ $C_{18}H_{30}O_2$	- 63,69 0,23

2. Data Uji Kinerja *Hydrocracking* Minyak Nyamplung menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 15% pada temperatur 300 °C untuk memproduksi *Biofuel* rasio (2:1).



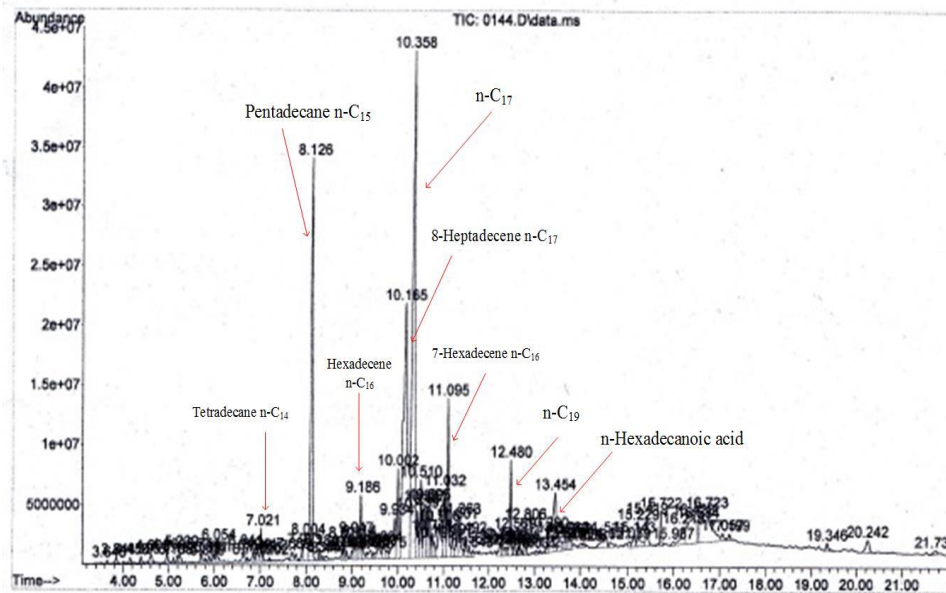
Gambar E.2. Spektra GC-MS produk *Biofuel* menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 15% pada suhu 300 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

Tabel E.2. Distribusi produk *Biofuel* menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada suhu 300 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

No	Qual	Rt	%area	CAS ID	Nama senyawa Hidrokarbon cair	Rumus Molekul
1	47	3.5336	0.1697	000142-82-5	Heptane	C ₇ H ₁₆
2	47	3.6585	0.5037	000111-65-9	Octane	C ₈ H ₁₈
3	60	3.7804	0.2507	069147-03-1	Cyclopropane, 1,1-dimethyl-2-(2-methyl-2-propenyl)-	C ₉ H ₁₆
4	53	3.8361	1.7521	000108-38-3	Benzene, 1,3-dimethyl-	C ₈ H ₁₀
5	94	4.1636	0.5559	000124-18-5	Decane	C ₁₀ H ₂₂
6	95	4.2601	0.1669	000108-67-8	Mesitylene	C ₉ H ₁₂
7	95	4.3761	0.1583	000527-84-4	o-Cymene	C ₁₀ H ₁₄
8	70	4.4062	0.3335	000111-14-8	Heptanoic acid	C ₇ H ₁₄ O ₂
9	64	4.5292	0.1552	000104-51-8	Benzene, n-butyl-	C ₁₀ H ₁₄
10	94	4.6173	0.7454	001120-21-4	Undecane	C ₁₁ H ₂₄
11	97	4.712	0.1098	004941-53-1	5-Undecene	C ₁₁ H ₂₂
12	81	5.8974	0.1536	1000160-45-0	Bicyclo[6.4.0]dodeca-9,11-diene	C ₁₂ H ₁₈
13	96	5.9882	0.1407	023051-84-5	5-Tridecene, (E)-	C ₁₃ H ₂₆
14	96	6.0624	0.2739	000629-50-5	Tridecane	C ₁₃ H ₂₈
15	70	6.8565	0.173	001077-16-3	Benzene, hexyl-	C ₁₂ H ₁₈
17	98	7.0289	0.3967	000629-59-4	Tetradecane	C ₁₄ H ₃₀

18	98	8.0112	0.4742	035953-54-9	2-Tetradecene, (E)-	C ₁₄ H ₂₈
19	96	8.1152	4.873	000629-62-9	Pentadecane	C ₁₅ H ₃₂
20	91	8.7892	0.1044	001795-21-7	Cyclopentane, decyl-	C ₁₅ H ₃₀
21	90	8.8295	0.2923	002883-02-5	n-Nonylcyclohexane	C ₁₅ H ₃₀
22	92	9.1178	0.436	000629-73-2	Cetene	C ₁₆ H ₃₂
23	98	9.1899	0.6698	000544-76-3	Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄
24	89	9.6863	0.3942	000124-25-4	Tetradecanal	C ₁₄ H ₂₈ O
25	64	9.8399	0.2044	002958-76-1	Naphthalene, decahydro-2-methyl-	C ₁₁ H ₂₀
26	94	9.9081	0.3596	010192-32-2	1-Tetracosene	C ₂₄ H ₄₈
27	93	10.0008	0.8951	000296-56-0	Cycloeicosane	C ₂₀ H ₄₀
28	99	10.1548	3.714	002579-04-6	8-Heptadecene	C ₁₇ H ₃₄
29	98	10.331	9.0205	000629-78-7	Heptadecane	C ₁₇ H ₃₄
30	76	10.4185	0.6183	062199-52-4	Cyclopentane, 1,2- dibutyl-	C ₁₃ H ₂₆
31	46	10.5544	0.2459	003073-66-3	Cyclohexane, 1,1,3- trimethyl-	C ₉ H ₁₈
32	50	10.5796	0.4626	1000310-39-9	2-Methylbenzylamine, N,N-diheptyl-	C ₂₂ H ₃₉ N
33	58	10.6272	0.5075	1000371-47-7	1-Nonylcycloheptane	C ₁₆ H ₃₂
34	95	10.7469	0.2628	000295-17-0	Cyclotetradecane	C ₁₄ H ₂₈
35	68	10.9027	0.5233	054823-95-9	Cyclohexane, 1- (cyclohexylmethyl)-3- methyl-, trans-	C ₁₄ H ₂₆
36	93	11.0284	0.9726	001795-21-7	Cyclopentane, decyl-	C ₁₅ H ₃₀
37	95	11.0896	1.2897	054105-66-7	Cyclohexane, undecyl-	C ₁₇ H ₃₄
38	98	11.1946	0.4755	007206-19-1	3-Octadecene, (E)-	C ₁₈ H ₃₆
39	78	11.3051	0.8205	006742-54-7	Benzene, undecyl-	C ₁₇ H ₂₈
40	90	11.4945	0.2829	018435-45-5	1-Nonadecene	C ₁₉ H ₃₈
41	70	12.247	0.1737	014811-95-1	1,19-Eicosadiene	C ₂₀ H ₃₈
42	99	12.2983	0.25	000297-03-0	Cyclotetracosane	C ₂₄ H ₄₈
43	96	12.4822	0.9341	000593-45-3	Octadecane	C ₁₈ H ₃₈
44	99	13.5277	7.1518	000057-10-3	n-Hexadecanoic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
45	89	15.1243	0.8214	013126-39-1	cis-13-Octadecenoic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
46	98	15.7454	1.5863	000112-61-8	Methyl stearate	C ₁₉ H ₃₈ O ₂
47	93	15.8362	0.2263	000057-10-3	n-Hexadecanoic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
48	87	16.0192	0.4445	013126-39-1	cis-13-Octadecenoic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
49	99	16.4696	2.4434	000112-79-8	9-Octadecenoic acid, (E)-	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
50	99	16.6666	8.1401	000112-80-1	Oleic Acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
51	99	16.9444	3.8971	000057-11-4	Octadecanoic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
52	81	21.7496	0.2294	056009-20-2	Cyclohexane, 1-(1,5- dimethylhexyl)-4-(4- methylpentyl)-	C ₂₀ H ₄₀

3. Data Uji Kinerja *Hydrocracking* Minyak Nyamplung menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 15% pada temperatur 350 °C untuk memproduksi *Biofuel* rasio (2:1).



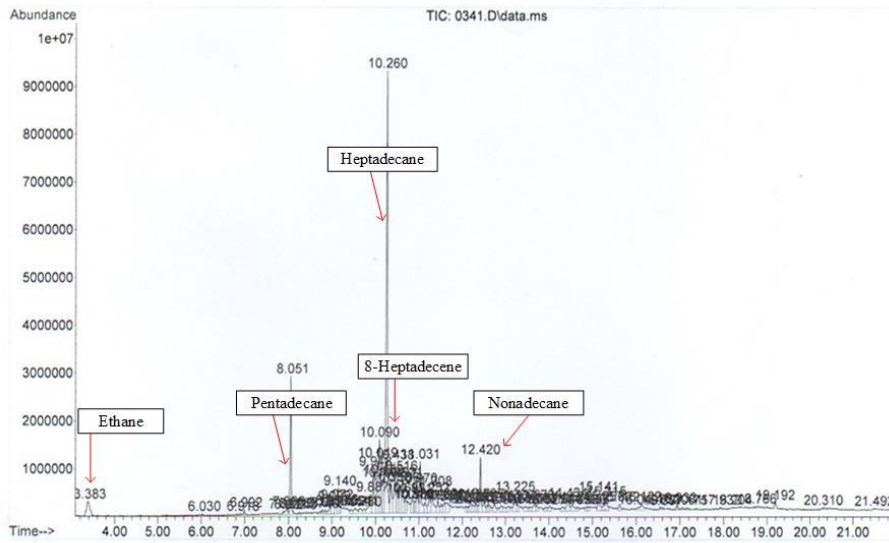
Gambar E.3. Spektra GC-MS produk *Biofuel* menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 15% pada suhu 350 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

Tabel E.3. Distribusi produk *Biofuel* menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada suhu 350 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

No	Qual	Rt	%area	CAS ID	Naman senyawa Hidrokarbon cair	Rumus Molekul
1	52	3.6478	0.0785	000111-65-9	Octane	C8H18
2	74	3.844	0.1701	000111-84-2	Nonane	C9H20
3	94	4.156	0.1761	000124-18-5	Decane	C7H14O2
4	90	5.1928	0.1337	007206-16-8	5-Dodecene, (E)-	C12H24
5	97	5.2386	0.2943	000112-40-3	Dodecane	C12H26
6	50	5.8057	0.0767	1000161-01-5	Hexane, 2-phenyl-3-propyl-	C15H24
7	74	5.8912	0.1418	001077-16-3	Benzene, hexyl-	C12H18
8	95	5.9809	0.1656	023051-84-5	5-Tridecene, (E)-	C13H26
9	96	6.0538	0.3776	000629-50-5	Tridecane	C13H28
10	89	6.7258	0.0815	001595-03-5	Benzene, 1-methyl-3-hexyl-	C13H20
11	87	6.8478	0.2491	001078-71-3	Benzene, heptyl-	C13H20
12	98	6.9439	0.3276	041446-78-0	4-Tetradecene, (E)-	C14H28
13	98	7.0214	0.5324	000629-59-4	Tetradecane	C14H30
14	60	7.923	0.2745	002189-60-8	Benzene, octyl-	C14H22
15	98	8.0042	0.9952	013360-61-7	1-Pentadecene	C15H30
16	95	8.1262	10.5661	000629-62-9	Pentadecane	C15H32
17	95	8.444	0.1764	000644-08-6	1,1'-Biphenyl, 4-methyl-	C13H12
18	99	8.8237	0.3336	002883-02-5	n-Nonylcyclohexane	C15H30
19	90	8.8862	0.1827	000295-65-8	Cyclohexadecane	C16H32

20	98	9.0469	0.5485	035507-09-6	7-Hexadecene, (Z)-	C16H32
21	98	9.1855	1.0875	000544-76-3	Hexadecane	C16H34
22	55	9.483	0.1975	1000130-90-4	12-Methyl-E,E-2,13-octadecadien-1-ol	C19H36
23	93	9.5633	0.5193	1000141-67-3	3-Heptadecene, (Z)-	C17H34
24	90	9.7746	0.2394	074685-29-3	9-Eicosene, (E)-	C20H40
25	98	10.3578	19.2775	000629-78-7	Heptadecane	C17H34
26	22	10.6946	1.0104	039021-75-5	6,6-Dimethyl-2-vinylidenebicyclo[3.1.1]heptane	C11H16
27	90	10.7958	0.462	056196-06-6	Cyclopropaneoctanal, 2-octyl-	C19H36O
28	97	11.0948	2.7058	001795-16-0	Cyclohexane, decyl-	C16H32
29	97	11.1965	0.4989	007206-21-5	5-Octadecene, (E)-	C18H36
30	96	11.3013	0.9735	006742-54-7	Benzene, undecyl-	C17H28
31	90	11.5665	0.2651	000629-78-7	Heptadecane	C17H36
32	95	12.4054	0.1869	000112-88-9	1-Octadecene	C18H36
33	98	12.4799	1.6668	000629-92-5	Nonadecane	C19H40
34	95	12.5326	0.0967	018435-45-5	1-Nonadecene	C19H38
35	25	13.2899	0.4835	010375-96-9	Benzene, 1,4-dimethyl-2,5-bis(1-methylethyl)-	C14H22
36	96	13.739	0.3961	000112-95-8	Eicosane	C20H42
37	25	14.5112	0.6523	033781-72-5	Benzene, 1,3-diethyl-2,4,5,6-tetramethyl-	C14H22
38	53	15.1435	0.3861	056009-20-2	Cyclohexane, 1-(1,5-dimethylhexyl)-4-(4-methylpentyl)-	C20H40
39	98	15.2288	0.8069	000629-94-7	Heneicosane	C21H44
40	87	15.419	0.8656	000629-66-3	2-Nonadecanone	C19H38O

4. Data Uji Kinerja *Hydrocracking* Minyak Nyamplung menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 15% pada temperatur 300 °C untuk memproduksi *Biofuel* rasio (2:2).



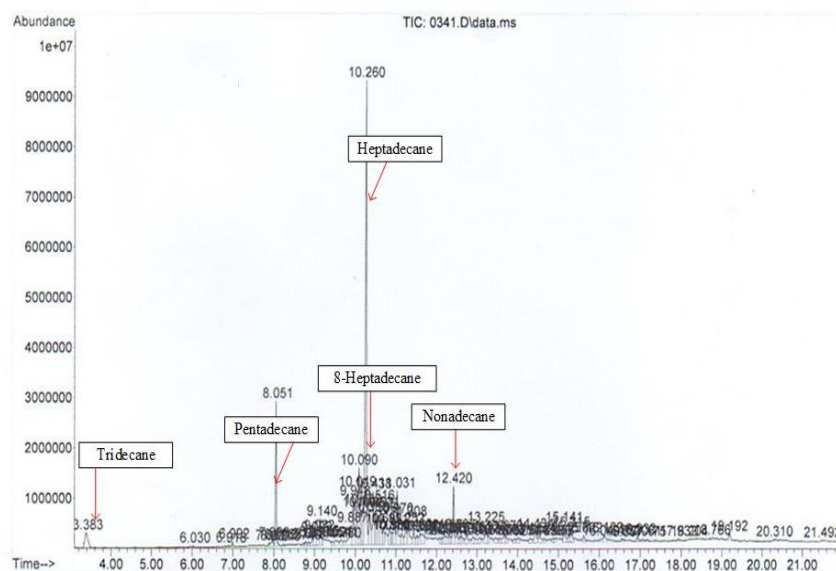
Gambar E.4. Spektra GC-MS produk *Biofuel* menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 15% pada suhu 300 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

Tabel E.4. Distribusi produk *Biofuel* menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada suhu 300 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

No	Qual	Rt	%area	CAS ID	Naman senyawa Hidrokarbon cair	Rumus Molekul
1	35	3.3704	0.7512	000075-34-3	Ethane, 1,1-dichloro-	C ₂ H ₄ Cl ₂
2	62	3.4148	0.865	000121-43-7	Boric acid, trimethyl ester	C ₃ H ₉ BO ₃
3	78	3.5895	0.071	003453-99-4	2,2-dimethoxybutane	C ₆ H ₁₄ O ₂
4	50	3.6411	0.1744	014919-01-8	3-Octene, (E)-	C ₈ H ₁₆
5	70	3.7553	0.1492	004249-12-1	1,3-Cyclopentadiene, 1,2,5,5-tetramethyl-	C ₉ H ₁₄
6	59	3.8078	1.4334	069147-03-1	1,1-DIMETHYL-2-(2-METHYL-2-PROPENYL)CYCLOPROPAN E	C ₉ H ₁₆
7	27	11.333	0.2072	073524-02-4	Perillyl benzoate	C ₁₀ H ₅
8	49	5.1106	0.0346	2000069-55-8	2-Methyl-7-endo-vinylbicyclo[4.2.0]oct-1(2)-ene	C ₁₁ H ₁₆
9	91	7.9358	0.4068	001795-21-7	Cyclopentane, decyl-	C ₁₅ H ₃₀
10	98	8.0493	0.4494	000629-62-9	pentadecane	C ₁₅ H ₃₂

11	83	9.0175	0.039	000112-92-5	1-Octadecanol	C18H38O
12	95	9.9898	0.1604	2000321-42-1	6(Z),9(E)-Heptadecadiene	C17H32
13	98	10.0404	0.6835	002579-04-6	8-Heptadecene	C17H34
14	97	10.2323	1.1527	000629-78-7	Heptadecane	C17H36
15	93	14.9765	0.6206	125110-62-5	1,7-Hexadecadiene	C16H30
16	94	16.5323	0.9853	000057-10-3	n-Hexadecanoic acid	C16H32O ₂
17	55	19.3512	6.3575	000057-11-4	Octadecanoic acid	C18H36O ₂

5. Data Uji Kinerja *Hydrocracking* Minyak Nyamplung menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 15% pada temperatur 350 °C untuk memproduksi *Biofuel* rasio (2:2).



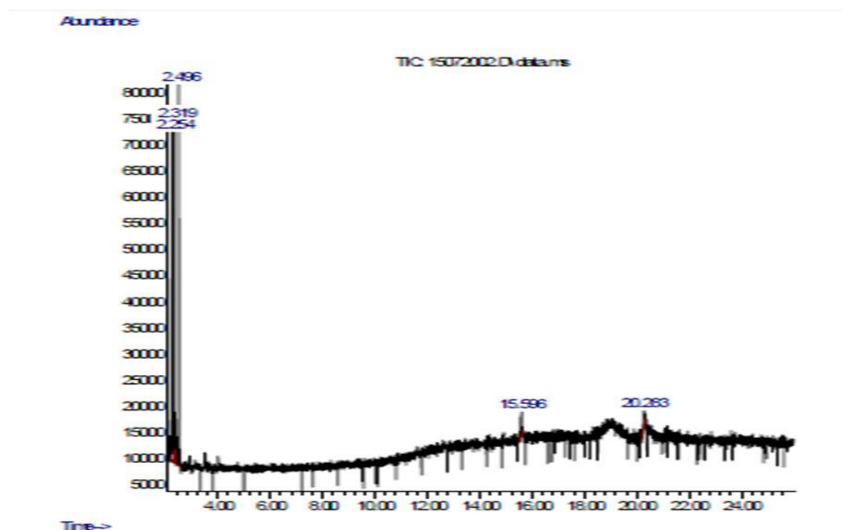
Gambar E.5. Spektra GC-MS produk *Biofuel* menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 15% pada suhu 350 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

Tabel E.5. Distribusi produk *Biofuel* menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada suhu 350 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

No	Qual	Rt	%area	CAS ID	Nama senyawa Hidrokarbon cair	Rumus Molekul
1	93	6.0301	0.0917	000629-50-5	Tridecane	C13H28
2	95	6.9185	0.0614	074685-33-9	(3E)-3-ICOSENE	C20H40
3	98	6.9917	0.1548	000629-59-4	Tetradecane	C14H30
4	42	7.8871	0.1422	095875-05-1	4-Thujen-2-.alpha.-yl acetate	C12H18O ₂
5	96	7.9663	0.4126	2000236-37-6	trans-7-pentadecene	C15H30
6	96	8.0015	0.065	2000236-37-6	trans-7-pentadecene	C15H30

7	97	8.0515	5.0148	000629-62-9	pentadecane	C15H32
8	95	8.0963	0.1558	074685-33-9	(3E)-3-ICOSENE	C20H40
9	41	9.4411	0.3281	000295-65-8	CYCLOHEXADECANE	C16H32
10	70	9.6415	0.4938	006765-39-5	1-Heptadecene	C17H34
11	70	9.9482	2.5403	062199-52-4	Cyclopentane, 1,2-dibutyl-	C13H26
12	98	10.259 9	22.125 2	000629-78-7	Heptadecane	C17H36
13	46	10.355 4	1.9812	000645-10-3	GERMACRANE-A	C15H24
14	47	10.437 6	2.9072	004536-88-3	Benzene, (1-methyldecyl)-	C17H28
15	50	10.515 8	1.7605	004536-88-3	(1-METHYLDECYL)BENZENE	C13H20
16	97	11.030 8	2.682	054105-66-7	Cyclohexane, undecyl-	C16H32
17	90	11.138 8	0.8327	2000321-27-9	Z,Z-10,12-Hexadecadienal	C16H28O
18	89	11.251 7	1.3389	006742-54-7	Benzene, undecyl-	C17H28
19	66	12.340 9	0.3609	056009-20-2	Cyclohexane, 1-(1,5-dimethylhexyl)-4-(4-methylpentyl)-	C20H40
20	99	12.419 8	2.5789	000629-92-5	Nonadecane	C19H40
21	91	12.506 6	0.8899	002922-51-2	2-Heptadecanone	C17H34O
22	91	12.576 5	0.3773	2000421-24-0	Z-5-Nonadecene	C19H38
23	98	13.670 1	0.774	000112-95-8	Eicosane	C20H42
24	74	13.722 6	0.4512	056009-20-2	Cyclohexane, 1-(1,5-dimethylhexyl)-4-(4-methylpentyl)-	C20H40
25	74	20.309 7	0.0488	000112-88-9	1-Octadecene	C18H36

6. Data Uji Kinerja *Hydrocracking* Minyak Nyamplung menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 10% pada temperatur 300 °C untuk memproduksi *Biofuel* rasio (2:2).



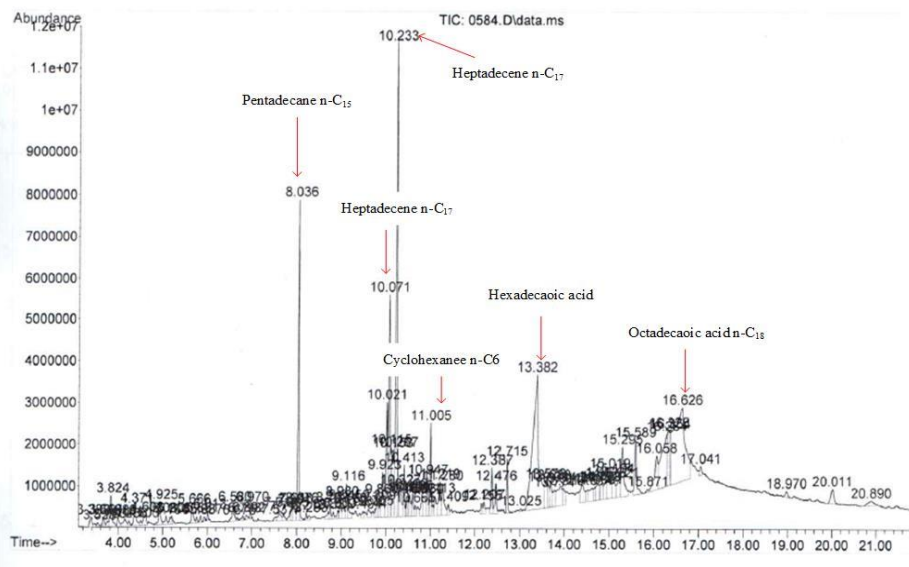
Gambar E.6. Spektra GC-MS produk *Biofuel* menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 10% pada suhu 300 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

Tabel E.6. Distribusi produk *Biofuel* menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada suhu 300 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

No	RT	Area %	Nama senyawa	CAS	Qual	struktur molekul
1	2.124	1.05	Hydrazine, (phenylmethyl)-, oxalat	032064-65-6	7	C12H18N2O4
2	2.257	16.06	2-Methyl-4(5)-isopropylimidazole	037455-52-0	83	C4H5N3O2
3	2.32	6.96	1,5-Heptadiene, 3,3-dimethyl-, (E)- (CAS)	067682-47-7	72	C9H16
4	2.431	2.8	1,5-Hexadiyne (CAS)	000628-16-0	9	C6H6
5	2.431	2.19	1,5-Hexadiyne (CAS)	000628-16-0	7	C6H6
6	2.431	5.74	1,3,5,7-Cyclooctatetraene (CAS)	000629-20-9	76	C8H8
7	2.495	15.44	3-Heptyne, 2,2-dimethyl-	029022-29-5	80	C9H16
8	2.495	10.27	Cyclopropane, 1,1-dimethyl-2-(2-methyl-1-propenyl)-	033422-32-1	87	C9H16
9	2.495	11.27	cis-1,4-Dimethyl-2-methylenecyclohexane	019781-46-5	72	C9H16
10	2.494	6.443	Cyclopropane, 1,1-dimethyl-2-(2-methyl-1-propenyl)-	033422-32-1	87	C9H16
11	2.495	9.27	1,3-Heptadiene, 2,3-dimethyl-	074779-65-0	64	C9H16
12	2.928	2.49	Acetaldehyde (CAS)	000075-07-0	4	C2H4O
13	2.928	2.39	dimethylamino-dimethylphosphene	050663-05-3	4	C4H12NP

14	13.595	1.13	Propane, 2-isocyanato-(CAS)	001795-48-8	4	C ₄ H ₇ NO
15	15.579	2.376	2,4(1H,3H)-Pyrimidinedione, 5-nitro	000611-08-5	42	C ₉ H ₁₄ N ₄ O ₈
16	15.579	2.376	(tetrahydroxycyclopentadienone)tricarbonyliron	117696-75-0	32	keton
17	15.584	11.72	(Tetrahydroxycyclopentadienone)tri carbonyliron	117696-75-0	40	keton
18	15.579	5.225	2,4(1H,3H)-Pyrimidinedione, 5-nitro	000611-08-5	42	C ₉ H ₁₄ N ₄ O ₈
19	15.579	5.225	1-Octadecanamine, N-methyl- (CAS)	002439-55-6	28	C ₁₉ H ₄₁ N
20	15.579	2.376	(Tetrahydroxycyclopentadienone)tri carbonyliron	0	32	keton
21	15.594	3.81	Urea, N,N'-bis(1-methylethyl)- (CAS)	004128-37-4	38	C ₁₉ H ₄₁ N
22	20.1	2.69	2-Aminononadecane	031604-55-4	9	C ₁₉ H ₄₁ N
23	20.122	1.03	4-Methylamphetamine	0	50	C ₁₀ H ₁₅ N
24	20.116	4.54	E,Z-3-Methyl-2,4-hexadiene	054354-40-4	42	C ₇ H ₁₂
25	20.285	2.6	2,4-Dimethylamphetamine	075659-61-9	38	C ₁₁ H ₁₇
26	20.291	5.32	(Tetrahydroxycyclopentadienone)tri carbonyliron	117696-75-0	40	keton
27	20.296	13.44	4-Octen-3-one (CAS)	014129-48-7	45	C ₈ H ₁₄ O
28	20.317	30.19	1,1-Cyclobutanedimethanamine, N,N'-dimethyl-	0	59	C ₁₀ H ₁₅ NO
29	21.142	5.09	7,9-Dihydroxy-5-methoxy-2-methyl-1,4-anthracenedione	084542-43-8	50	C ₁₆ H ₁₂ O ₅

7. Data Uji Kinerja *Hydrocracking* Minyak Nyamplung menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 10% pada temperatur 350 °C untuk memproduksi *Biofuel* rasio (2:1).



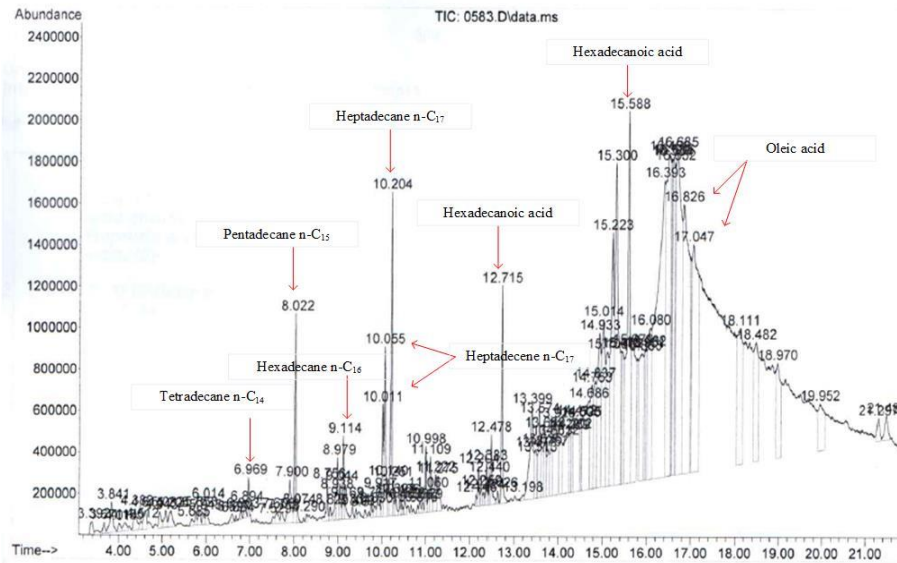
Gambar E.7. Spektra GC-MS produk *Biofuel* menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ loading 10% pada suhu 350 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

Tabel E.7. Distribusi produk *Biofuel* menggunakan katali NiMo/ γ -Al₂O₃ pada suhu 350 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

No	Qual	Rt	%area	CAS ID	Naman senyawa Hidrokarbon cair	Rumus Molekul
1	43	3.5278	0.1376	000822-50-4	Cyclopentane, 1,2-dimethyl-, trans-	C7H14
2	35	3.6475	0.122	000108-88-3	Toluene	C7H8
3	35	3.6656	0.171	007642-04-8	2-Octene, (Z)-	C8H16
4	38	3.7627	0.1273	001678-81-5	Cyclohexane, 1,2,3-trimethyl-, (1.alpha.,2.beta.,3.alpha.)-	C9H18
5	35	3.8238	1.0259	000108-38-3	Benzene, 1,3-dimethyl-	C8H10
6	76	4.1412	0.3233	000124-18-5	Decane	C10H22
7	96	4.2362	0.1131	000095-63-6	BENZENE, 1,2,4-TRIMETHYL-	C9H12
8	60	4.4998	0.1304	000104-51-8	Benzene, butyl-	C10H14
9	91	4.6076	0.4213	041977-32-6	Cyclopropane, 1,2-dibutyl-	C11H22
10	60	5.0796	0.2794	000538-68-1	Benzene, pentyl-	C11H16
11	81	5.1642	0.1721	007206-16-8	5-Dodecene, (E)-	C12H24
12	81	5.2076	0.1592	001120-21-4	Undecane	C11H24
13	52	5.8506	0.1481	001077-16-3	Benzene, hexyl-	C12H18
14	89	5.9374	0.0926	023051-84-5	5-Tridecene, (E)-	C13H26
15	97	6.0131	0.1271	000629-50-5	Tridecane	C13H28
16	50	6.6747	0.0593	001595-03-5	1-HEXYL-3-METHYLBENZENE	C13H20
17	62	6.7983	0.1186	001078-71-3	Benzene, heptyl-	C13H20
18	97	6.8921	0.1249	035953-54-9	2-Tetradecene, (E)-	C14H28
19	98	6.9702	0.1933	000629-59-4	Tetradecane	C14H30
20	93	7.9013	0.2243	035507-09-6	7-Hexadecene, (Z)-	C16H32
21	96	7.943	0.4533	074685-30-6	5-Eicosene, (E)-	C20H40
22	98	8.0358	4.8712	000629-62-9	pentadecane	C15H32
23	95	8.0763	0.2399	2000236-37-6	trans-7-pentadecene	C17H34
24	81	8.2835	0.1168	000644-08-6	1,1'-Biphenyl, 4-methyl-	C13H12
25	89	8.7101	0.2753	000112-80-1	9-Octadecenoic acid (Z)-	C18H34O2
26	74	8.7583	0.2584	003178-24-3	Cyclohexane, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis-	C15H28
27	93	9.0453	0.3925	000295-65-8	CYCLOHEXADECANE	C16H32
28	98	9.1158	0.5766	000544-76-3	Hexadecane	C16H34
29	98	10.2332	9.3081	000629-78-7	Heptadecane	C17H36
30	99	10.2667	0.8577	2000328-51-7	3-Heptadecene, (Z)-	C17H34
31	44	10.327	0.9395	000296-56-0	Cycloeicosane	C20H40
32	47	10.4901	0.4325	004536-88-3	Benzene, (1-methyldecyl)-	C17H28

33	95	10.665	0.2472	016980-85-1	Pentacos-1-ene	C ₂₅ H ₅₀
34	98	11.1131	0.5409	007206-19-1	3-Octadecene, (E)-	C ₁₈ H ₃₆
35	98	12.387	0.7983	000629-92-5	Nonadecane	C ₁₉ H ₄₀
36	93	15.1039	0.7435	000629-94-7	HENICOSANE	C ₂₁ H ₄₄

8. Data Uji Kinerja *Hydrocracking* Minyak Nyamplung menggunakan katalis γ -Al₂O₃ (murni) pada temperatur 350 °C untuk memproduksi *Biofuel*.



Gambar E.8. Spektra GC-MS produk *Biofuel* menggunakan katalis γ -Al₂O₃ (murni) pada suhu 350 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

Tabel E.8. Distribusi produk *Biofuel* menggunakan katalis γ -Al₂O₃ (murni) pada suhu 350 °C dengan waktu reaksi selama 2 jam.

No	Qual	Rt	%area	CAS ID	Nama senyawa Hidrokarbon cair	Rumus Molekul
1	30	3.6713	0.0955	014850-22-7	3-Octene, (Z)-	C ₈ H ₁₆
2	83	3.8407	0.3615	000100-41-4	Benzene, ethyl-	C ₈ H ₁₀
3	52	4.1546	0.1228	020063-97-2	(2E)-2-DECENE	C ₁₀ H ₂₀
4	60	4.3804	0.2777	001758-88-9	Benzene, 2-ethyl-1,4-dimethyl-	C ₁₀ H ₁₄
5	78	4.6141	0.2085	004941-53-1	5-Undecene	C ₁₁ H ₂₂
6	64	5.0819	0.191	000538-68-1	Benzene, pentyl-	C ₁₁ H ₁₆
7	60	5.2043	0.2273	000112-40-3	Dodecane	C ₁₂ H ₂₆
8	55	5.6852	0.0594	2000052-14-2	PINANE	C ₁₀ H ₁₈
9	95	5.9453	0.0861	023051-84-5	5-Tridecene, (E)-	C ₁₃ H ₂₆
10	95	6.0142	0.168	000629-50-5	Tridecane	C ₁₃ H ₂₈
11	58	6.8033	0.0499	001078-71-3	BENZENE, HEPTYL-	C ₁₃ H ₂₀
12	98	6.8937	0.0938	035953-54-9	2-Tetradecene, (E)-	C ₁₄ H ₂₈
13	96	6.9693	0.164	000629-59-4	Tetradecane	C ₁₄ H ₂₈

14	70	7.5293	0.0648	004794-05-2	Benzene, 2,5-cyclohexadien-1-yl-	C12H12
15	95	7.6079	0.1319	002882-98-6	Cyclopentane, nonyl-	C14H28
16	46	7.7179	0.098	001477-55-0	1,3-Benzenedimethanamine	C8H12N2
17	93	7.9003	0.543	000295-48-7	Cyclopentadecane	C15H30
18	98	8.0221	0.8867	000629-62-9	pentadecane	C15H32
19	98	9.1137	0.377	000544-76-3	Hexadecane	C16H34
20	95	9.1634	0.1467	035507-09-6	(7Z)-7-HEXADECENE	C16H32
21	81	9.7612	0.0716	074054-92-5	Spiro[4.4]nonane, 1,1,6,6-tetramethyl-	C9H16
22	60	10.3083	0.1225	064183-52-4	2-Methyl-E-7-hexadecene	C17H34
23	91	10.4062	0.0928	2000421-24-3	(trans)-2-nonadecene	C19H38
24	83	10.6667	0.0415	062199-51-3	Cyclopentane, 1-pentyl-2-propyl-	C12H26
25	58	10.8183	0.0417	054823-95-9	Cyclohexane, 1-(cyclohexylmethyl)-3-methyl-, trans-	C14H26
26	70	10.8671	0.0623	074054-92-5	Spiro[4.4]nonane, 1,1,6,6-tetramethyl-	C13H24
27	38	10.9291	0.0639	2000274-73-5	(1R,6R,8R)-8-Isopropyl-1,6-dimethylbicyclo[4.4.0]decan-3-one	C15H24
28	99	11.1088	0.2905	007206-25-9	9-Octadecene, (E)-	C18H36
29	89	11.2223	0.3029	006742-54-7	Benzene, undecyl-	C17H28
30	95	11.2749	0.3049	000593-45-3	Octadecane	C18H38
31	95	12.1456	0.0601	018435-45-5	1-Nonadecene	C19H38
32	98	12.3832	0.2068	000629-92-5	Nonadecane	C19H40
33	99	21.4808	0.3021	010192-32-2	1-Tetracosene	C24H48