

**STUDI KARAKTERISTIK BIOAVTUR DARIMINYAK
NYAMPLUNG (*Calophyllum Inophyllum Linn
Oil*) DENGAN METODE HYDROCRACKING
KATALITIK**

SKRIPSI

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh Gelar Sarjana Sains**



RULIANA

3225130894

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2017

PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Studi Karakteristik Bioavtur Dari Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum Linn Oil*) Dengan Metode *Hydrocracking* Katalitik

Nama : Ruliana

No.Reg : 3225130894

Nama

Tanda Tangan Tanggal

Penanggung Jawab
Dekan

: Prof. Dr. Suyono, M.Si
NIP. 19671218 199303 1 005



23/8 2017.

Wakil Penanggung
Jawab

Wakil Dekan I :

Dr. Muktiningsih, M.Si
NIP. 19640511 198903 2 001

23/8 2017.

Ketua

: Dr Widyaningrum Indrasari, M.Si
NIP. 19770510 200604 2 001

16/8 2017.

Sekretaris

: Riser Fahdiran, M.Si
NIP. 19830717 200802 1 008

Riser

16/8 2017.

Anggota
Pembimbing I

: Dr. Cecep E. Rustana, PhD
NIP. 19590729 198602 1 001

Rustana 16/8 2017.

Pembimbing II

: Dr. Dieni Mansur, M.Eng
NIP. 19780413 200502 2 001

Dieni

22/8 - 2017

Penguji Ahli

: Dr. Sunaryo, M.Si
NIP. 19550303 198703 1 002

Sunaryo

16/8 2017.

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 15 Agustus 2017

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini, Mahasiswi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta :

Nama : Ruliana
No. Registrasi : 3225130894
Jurusan : Fisika
Program Studi : Fisika

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “**Studi Karakteristik Bioavtur Dari Minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum Linn Oil*) Dengan Metode *Hydrocracking Katalitik***” yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Saejana Sains dari Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta adalah karya ilmiah saya dengan arahan dari dosen pembimbing.

Sumber informasi yang diperoleh dari penulis lain yang telah dipublikasikan yang disebutkan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Jika dikemudian hari ditemukan sebagian besar skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sanding dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, 15 Agustus 2017



Ruliana

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur patutlah penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat segala rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Proposal Skripsi yang berjudul “**Studi Karakteristik Bioavtur Dari Minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum Linn Oil*) Dengan Metode *Hydrocracking Katalitik*”**. Penelitian yang disampaikan dalam laporan ini pasti tidak lepas dari pihak – pihak yang turut membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, ungkapan terima kasih yang sebesar – besarnya penulis hanturkan kepada :

1. Bapak Dr. Cecep E.Rustana, PhD selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah banyak meluangkan waktu dan senantiasa memberikan arahan serta motivasi yang membangun.
2. Ibu Dr. Dieni Mansur, M.Eng. selaku peneliti di Pusat Penelitian Kimia-LIPI sekaligus sebagai Dosen Pembimbing kedua yang telah banyak meluangkan waktu dan senantiasa memberikan arahan serta motivasi yang membangun.
3. Ibu Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si selaku ketua program studi Fisika FMIPA, UNJ.
4. Seluruh dosen program studi Fisika Universitas Negeri Jakarta yang telah membimbing dan memberikan berbagai pengetahuan.
5. Bapak Sutirman, selaku staff Sub.Bagian Akademik Fisika FMIPA– Universitas Negeri Jakarta yang telah memberikan arahan serta membantu penulis dalam menjalani seminar pra skripsi.
6. Rekan-rekan Fisika 2013 yang telah turut membantu serta memberikan saran – saran pada penyelesaian laporan ini.
7. Keluarga khususnya untuk kedua orang tua yang telah mendukung dengan do’a, saran, motivasi dan kasih sayangnya.

Akhir kata, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas segala bentuk bantuan, motivasi

serta partisipasinya dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat untuk pengembangan wawasan dan peningkatan ilmu pengetahuan, khususnya bagi mahasiswa Jurusan Fisika Universitas Negeri Jakarta. Namun penulis menyadari akan keterbatasan dan kelemahan dalam ilmu pengetahuan dan pengalaman, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan penulisan selanjutnya.

Jakarta, Agustus 2017

Ruliana

ABSTRAK

RULIANA. Studi Karakteristik Bioavtur Dari Minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum* Linn Oil) Dengan Metode Hydrocracking Katalitik. Dibawah Bimbingan Dr. Cecep E Rustana, PhD dan Dr. Dieni Mansur, M.Eng.

Telah dilakukan penelitian dalam pembuatan bioavtur berbahan dasar minyak nyamplung dengan menggunakan metode *hydrocracking* katalitik. Proses *hydrocracking* merupakan proses pemutusan rantai karbon panjang menjadi rantai karbon yang lebih pendek. Proses *hydrocracking* ini dapat digunakan untuk mengkonversi asam lemak bebas (*free fatty acid*) yang terdapat dalam minyak nyamplung menjadisenyawa hidrokarbon yang setara dengan avtur, yaitu yang memiliki jumlah rantai karbon antara C₇-C₁₅. Pada penelitian ini, proses *hydrocracking* dilakukan dengan memanfaatkan katalis NiMo/Al₂O₃ yang di proses di dalam reaktor *batch* dengan memvariasikan suhu pemanasan (325,350 dan 375°C), tekanan hidrogen awal (10, 20, 30 dan 40 bar), waktu proses (60, 105, 150, 195, dan 240 menit) dan jumlah presentase katalis yaitu 0% katalis (tanpa menggunakan katalis), 0.5% katalis (w/w), 1.5% katalis (w/w), 2% katalis (w/w), dan 2.5% katalis (w/w). Karakteristik masing masing produk kemudian dianalisa nilai kalor (*calorific value*). Produk dengan spesifikasi terbaik kemudian diuji (massa jenis dan titik beku) berdasarkan standar ASTM International untuk melihat kelayakan produk bioavtur yang di teliti. Selain itu, produk terbaik juga dilakukan analisa GC-MS untuk mengetahui komposisi produk yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kondisi terbaik yang diperoleh dari proses *hydrocracking* yaitu pada suhu 375°C, dengan tekanan hidrogen awal 40 bar yang di proses selama 150 menit dan jumlah persentase katalis sebanyak 2% (w/w). Berdasarkan analisa GC-MS, pada kondisi tersebut telah terbentuk senyawa hidrokarbon C₉-C₁₅ sebanyak 21.86%. Besarnya nilai kalor yang dihasilkan dari produk terbaik yaitu mencapai 43.2 MJ/kg, dimana nilai ini telah memenuhi standar spesifikasi bahan bakar avtur yang dipersyaratkan yaitu minimal 42.8 MJ/kg. Sedangkan massa jenis dan titik beku yang terukur masing-masing sebesar 848 kg/m³ dan -22°C. dimana hasil pengujian massa jenis dan titik beku cenderung lebih tinggi dari standar spesifikasi avtur yang dipersyaratkan yaitu minimal 775 – 840 kg/m³ dan -47°C.

Kata Kunci : *Bioavtur, Calophyllum Inophyllum Oil, Hydrocracking Katalitik, Katalis NiMo/Al₂O₃.*

ABSTRACT

RULIANA. Study of The Characteristics of Bioavtur From Nyamplung Oil (*Calophyllum Inophyllum Linn Oil*) Using *Hydrocracking* Catalytic Method. Under Supervised By Dr. Cecep E Rustana, PhD and Dr. Dieni Mansur, M.Eng.

Research studies related to the characteristics of bioavtur made from nyamplung oil was investigated by using hydrocracking catalytic method. *Hydrocracking* is a process of termination of long carbon chains into shorter carbon chains. This method can be used to convert the free fatty acids of nyamplung oil ($\geq C_{16}$) into hydrocarbon compounds equivalent to aviation fuel (C_7-C_{15}). In this study, process of *hydrocracking* is carried out in a *batchreactor* using a catalyst NiMo/Al₂O₃ by varying the heating temperature (325, 350 and 375°C), initial hydrogen pressure (10, 20, 30 and 40 bar), time processing (60, 105, 150, 195, and 240 minutes) and the percentage amount of the catalyst is 0%, 0.5%, 1.5%, 2% and 2.5% catalyst (w/w). The characteristics of each product was analyzed refers to the *calorific value* using *elemental analysis*. Products with the best specification, then tested (*freezing point* and *density*) based on ASTM International standards to assess the feasibility bioavtur products are examined. In addition, best product also tested by GC-MS analysis to determine the composition of product. Based on research, the best condition from *hydrocracking* process are achieved at a temperature of 375°C, with initial hydrogen pressure 40 bar for 150 minutes and the total percentage of the catalyst as much as 2% (w/w). GC-MS analysis showed that bioavtur products (C_9-C_{15}) formed as much as 21.86%. Based on the test results, the *calorific value* of the best product reaches 43.2 MJ/kg, where this value has met the standard aviation fuel specification required at least 42.8 MJ/kg. While the density and freezing point which measured respectively by 848 kg / m³ and -22°C. in which the density of the test results and the freezing point tends to be higher than the required standard jet fuel specification maximum 840 kg/m³ and -47°C.

Keywords: *Bioavtur, Calophyllum inophyllum Oil, catalytic hydrocracking, catalyst NiMo/Al₂O₃.*

DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Perumusan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Bioavtur.....	5
2.2 Minyak Nyamplung (<i>Callophyllum Inophyllum Linn Oil</i>)	7
2.3 Hidrogenasi	10
2.4 <i>Hydrocracking</i>	11
2.5 Analisa CHN	12
2.6 Analisa GC-MS	13
2.7 Massa Jenis (Density).....	14
2.8 Titik Beku (<i>Freezing Point</i>)	14
2.9 Nilai Kalor (Caloric Value).....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16

3.1 Tujuan Operasional	16
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2.1 Waktu Penelitian	16
3.2.2 Tempat Penelitian.....	16
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	16
3.3.1 Alat Penelitian.....	16
3.3.3 Bahan Penelitian.....	17
3.4 Metode Penelitian.....	17
3.4.1. Diagram Alir Proses Pembuatan dan Analisa Bioavtur	18
3.5 Prosedur Penelitian.....	19
3.5.1. Preparasi Katalis dan Sampel Minyak Nyamplung.....	19
3.5.2. Proses <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Suhu.....	24
3.5.3. Diagram Alir Proses <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Suhu	25
3.5.4. Proses <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Tekanan	26
3.5.5. Diagram Alir Proses <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Tekanan.....	27
3.5.6. Proses <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Waktu	28
3.5.7. Diagram Alir Proses <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Waktu.....	29
3.5.8. Proses <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Katalis	30
3.5.9. Diagram Alir Proses <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Katalis	31
3.5.10. Analisa Minyak Nyamplung dengan GC MS	32
3.5.11. Analisa Elemental	33
3.5.12. Diagram Alir Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Analisa Bahan Baku Minyak Nyamplung.....	35
4.1.1 Analisa GC-MS Minyak Nyamplung	35
4.1.2 Analisa Nilai Kalor	36
4.2 Analisa <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Suhu.....	38

4.2.1 Analisa Nilai Kalor <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Suhu	39
4.3 Analisa <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Tekanan	42
4.3.1 Analisa Nilai Kalor <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Tekanan.....	43
4.4 Analisa <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Waktu	45
4.4.1 Analisa Nilai Kalor <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Waktu.....	46
4.5 Analisa <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Jumlah Katalis.....	49
4.5.1 Analisa Nilai Kalor <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung dengan Variasi Jumlah Katalis	49
4.6 Analisa GC-MS Produk <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung Terbaik	52
4.7 Analisa Parameter Fisika Produk Terbaik <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung	56
BAB V PENUTUP.....	58
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	61
RIWAYAT HIDUP.....	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tanaman Nyamplung yang tersebar di Kawasan Puspipetek Serpong.....	8
Gambar 2.2 Bagian-bagian dari tanaman nyamplung (a) bunga, (b) buah, (c) kernel, dan minyak nyamplung.....	8
Gambar 2.2 Proses mekanisme hidrogenasi dari minyak nyamplung (Erlan,2012) ..	11
Gambar 2.2 Proses mekanisme hydrocracking (Erlan,2012).....	12
Gambar 2.3 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Agilent Technologies 5977A MSD - DB WAX.....	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Dan Analisa Bioavtur.	18
Gambar 3.2 (a) Reaktor Sulfidasi dan (b) Tabung “U” khusus sulfidasi.....	19
Gambar 3.3 Skematik Aliran Gas Hidrogen dan Nitrogen	21
Gambar 3.4 (a) Katalis NiMo/Al ₂ O ₃ Komersial (b) Katalis tersulfidasi.....	22
Gambar 3.5 Diagram Alir Proses Sulfidasi Katalis NiMo/Al ₂ O ₃ Komersial.	23
Gambar 3.6. Diagram Alir Proses Hydrocracking Minyak Nyamplung Dengan Variasi suhu.	25
Gambar 3.7. Diagram Alir Proses Hydrocracking Minyak Nyamplung Dengan Variasi Tekanan.	27
Gambar 3.8 Diagram Alir Proses Hydrocracking Minyak Nyamplung Dengan Variasi Waktu.	29
Gambar 3.9 Diagram Alir Proses Hydrocracking Minyak Nyamplung Dengan Variasi Katalis.....	32
Gambar 3.10 GC-MS (Gas Chromatography Mass Spectrometry).	32
Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian.	34
Gambar 4.1. Hasil Spektrum GC-MS Minyak Nyamplung.	36
Gambar 4.2. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hydrocracking Terbaik (Kondisi Proses : 375°C, 40 Bar, 150 Menit, 2% Katalis NiMo/Al ₂ O ₃ (w/w))...	54
Gambar 4.3. Konversi Asam Linoleic (Lilis, 2015).....	54
Gambar 4.4. Konversi Asam Stearic (Lilis, 2015).....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Bahan Bakar Pesawat Terbang Menurut ASTM International (Bryan, 2005).....	6
Tabel 2.2 Komposisi Minyak Nyamplung	9
Tabel 2.3 Rumus Bangun dari Komposisi Minyak Nyamplung	9
Tabel 2.4 Spesifikasi Minyak Nyamplung.....	10
Tabel 4.1 Hasil Analisa GC-MS Minyak Nyamplung	35
Tabel 4.2 Hasil Analisa Elemental dari Minyak Nyamplung.	37
Tabel 4.3. Hasil analisa Elemental dan Perhitungan Nilai Kalor Minyak Nyamplung.....	37
Tabel 4.4. Hasil analisa elemental hydrocracking Minyak Nyamplung dengan variasi suhu.	39
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Nilai Kalor produk hydrocracking Minyak Nyamplung dengan variasi suhu.	40
Tabel 4.6. Hasil analisa elemental hydrocracking Minyak Nyamplung dengan variasi tekanan.	43
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Nilai Kalor produk hydrocracking Minyak Nyamplung dengan variasi tekanan.	44
Tabel 4.8. Hasil analisa elemental hydrocracking Minyak Nyamplung dengan variasi waktu.	46
Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Nilai Kalor produk hydrocracking Minyak Nyamplung dengan variasi waktu.....	47
Tabel 4.10 Hasil analisa elemental hydrocracking Minyak Nyamplung dengan variasi jumlah katalis.	50
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Nilai Kalor produk hydrocracking Minyak Nyamplung dengan variasi jumlah katalis.....	51
Tabel 4.12 Hasil Analisa GC-MS Produk Hydrocracking Minyak Nyamplung Terbaik (Kondisi Proses : 375 °C, 40 Bar, 150 Menit, 2% Katalis NiMo/Al ₂ O ₃ (w/w).	53
Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Analisa Produk Terbaik Hydrocracking Minyak Nyamplung Dengan Karakteristik Bahan Bakar Pesawat Terbang Menurut ASTM International.	56

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Perbandingan Nilai Kalor Minyak Nyamplung dan Avtur.....	38
Grafik 4.2. Perbandingan Nilai Kalor Produk Hydrocracking Minyak Nyamplung Terhadap Variasi Suhu.....	41
Grafik4.3. Perbandingan Nilai Kalor Produk Hydrocracking Minyak Nyamplung Terhadap Variasi Tekanan.	44
Grafik4.4. Perbandingan Nilai Kalor Produk Hydrocracking Minyak Nyamplung Terhadap Variasi Waktu.	44
Grafik 4.5. Perbandingan Nilai Kalor Produk Hydrocracking Minyak Nyamplung Terhadap Variasi Jumlah Katalis.	51

DAFTARLAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Analisa GCMS	61
Lampiran 2. Perhitungan Nilai Kalor Minyak Nyamplung	63
Lampiran 3. Perhitungan Nilai Kalor Dari Hasil <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung Dengan Variasi Suhu	64
Lampiran 4. Perhitungan Nilai Kalor Dari Hasil <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung Dengan Variasi Tekanan Awal Hidrogen (H ₂)	67
Lampiran 5. Perhitungan Nilai Kalor Dari Hasil <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung Dengan Variasi Waktu	71
Lampiran 6. Perhitungan Nilai Kalor Dari Hasil <i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung Dengan Variasi Jumlah Katalis.....	76
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian	83

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan bahan bakar minyak mendominasi penggunaan energi saat ini yang cenderung mengalami peningkatan setiap tahunnya. Sementara itu, disisi lain cadangan minyak bumi yang merupakan sumber energi utama bahan bakar minyak jumlahnya semakin menipis dan tidak dapat diperbaharui. Hal ini sangat berpotensi untuk menimbulkan krisis energi di masa yang akan datang (Sugiyono, 2015).

Krisis energi khususnya bahan bakar minyak semakin lama semakin meningkat. Hal ini didasarkan pada penggunaan energi minyak bumi yang terus meningkat sementara sumber energi utama yang berasal dari minyak bumi jumlahnya semakin lama semakin menurun. Minyak bumi merupakan sumber energi nonterbarukan (*unrenewable energy*) yang tidak dapat diperbaharui. Jumlahnya yang terbatas dialam menyebabkan keberadaan minyak bumi sebagai bahan bakar minyak mulai dialihkan pada penggunaan biofuel. Keterbatasan sumber daya fosil ini yang menjadi alasan utama masyarakat dunia mulai beralih untuk menghindari terjadinya kelangkaan energi di masa depan. Untuk mengatasi masalah ini, Pemerintah mengeluarkan Perpres No. 5 Tahun 2006 pasal 2 ayat (2) tentang Sasaran Kebijakan Energi Nasional, dimana pemanfaatan minyak bumi akan menurun menjadi kurang dari 20% dan pemanfaatan bahan bakar nabati (*biofuel*) ditargetkan 2% pada tahun 2010 dan 5% pada tahun 2025.

Salah satu bahan bakar yang diperhitungkan untuk dapat memenuhi peningkatan kebutuhan energi nasional yaitu Avtur (*Aviation Turbine*). Avtur adalah minyak tanah (*kerosine*) dengan spesifikasi yang diperketat, terutama mengenai titik uap, dan titik beku (Ginting, et al., 2014). Bahan bakar minyak berbasis bio yang digunakan sebagai pengganti bahan bakar utama pada industri pesawat terbang adalah bioavtur. Bioavtur adalah bahan bakar yang terbuat dari unsur-unsur nabati yang berasal dari tanaman yang dapat diperbaharui

(*RenewableEnergy*). Bioavtur merupakan bahan bakar nabati (biofuel) yang terbuat dari minyak hasil ekstraksi tumbuh-tumbuhan yang digunakan sebagai sumber energi utama pada pesawat. Bioavtur memiliki karakteristik yang identik dengan avtur. Oleh karena itu, pembuatan bioavtur harus disesuaikan berdasarkan karakteristik avtur. Sejauh ini, riset mengenai bioavtur dilakukan untuk mengatasi peningkatan konsumsi avtur dan kewajiban penurunan emisi karbon dari sektor penerbangan (Setyaningsih, et al., 2013).

Salah satu bahan yang dimungkinkan dapat digunakan untuk dijadikan bioavtur adalah tanaman Nyamplung. Tanaman Nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*) merupakan jenis tanaman hutan yang tidak dapat dikonsumsi sebagai bahan pangan (*non edible*). Selain itu, tanaman nyamplung juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku *bioenergy / biofuel*. Menurut Leksono (2014), biji nyamplung merupakan solusi terbaik dalam pembuatan *biofuel* karena dari bagian kernel biji nyamplung mampu menghasilkan rendemen minyak sebanyak 37-58%. Sedangkan menurut Chavan (2013), pada bagian kernel nyamplung mengandung 50-70% minyak nyamplung. Dimana 1 kg biji nyamplung mampu menghasilkan 825 ml minyak nyamplung (Budianto, et al., 2015). Hal ini jauh lebih efisien jika dibandingkan dengan jarak pagar yang harus membutuhkan 4 kg untuk menghasilkan 1 liter minyak jarak (Leksono, et al., 2014).

Menurut Savitri (2015), minyak nyamplung yang diproses dengan menggunakan metode *hydrocracking* dengan katalis NiMo/Al₂O₃, mampu menghasilkan senyawa hidrokarbon C₁₀-C₁₅ sebanyak 41%. Sehingga, minyak nyamplung berpotensi untuk dikembangkan menjadi bioavtur, karena komposisi senyawa hidrokarbon yang dimilikinya identik dengan avtur yakni C₇-C₁₅.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dikembangkan bioavtur berbahan dasar minyak nyamplung yang akan diproses dengan menggunakan metode *hydrocracking* katalitik dengan menggunakan katalis NiMo/Al₂O₃ yang dikaji dibawah pengaruh kondisi suhu, tekanan hidrogen, waktu dan persentase katalis. Beberapa parameter fisika yang akan diukur dalam penelitian ini adalah nilai kalor, massa jenis dan titik beku dari bioavtur yang dihasilkan. Hasil dari

pengukuran ini akan dilakukan perbandingan dengan menggunakan standar internasional Amerika (ASTM International).

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka permasalahan yang dapat diidentifikasi adalah bagaimana mengkonversi minyak nyamplung menjadi bioavtur ?

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini, permasalahan akan dibatasi dalam peningkatan kualitas minyak nyamplung yang di proses dengan metode *hydrocracking* katalitik. Dalam penelitian ini akan dilihat pengaruh parameter proses terhadap produk yang dihasilkan. Produk terbaik yang dihasilkan akan dibandingkan dengan standard bahan bakar avtur berdasarkan parameter fisika yaitu nilai kalor, massa jenis dan titik beku.

1.4 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana memproses minyak nyamplung agar memiliki karakteristik yang sesuai dengan standar internasional avtur, jika ditinjau berdasarkan parameter fisika yakni meliputi nilai kalor, massa jenis dan titik beku.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kondisi optimal (suhu, tekanan, waktu dan jumlah katalis) pada proses *hydrocracking* minyak nyamplung.
2. Mengetahui pengaruh variasi suhu, tekanan H_2 , waktu dan jumlah katalis terhadap nilai kalor produk yang dihasilkan.
3. Membandingkan spesifikasi kesesuaian secara parameter fisika dari bioavtur yang berasal dari minyak nyamplung dengan spesifikasi standar internasional avtur (*ASTM International*).

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain yaitu :

1. Sebagai penelitian awal untuk diteliti lebih lanjut dalam mengetahui berbagai karakteristik bioavtur.
2. Mengembangkan sumber energi alternatif, khususnya yang bersumber dari energi minyak nabati sebagai pengganti bahan bakar fosil.
3. Sebagai bahan pembandingan, guna disempurnakan pada penelitian berikutnya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Bioavtur

Bioavtur merupakan bahan bakar yang digunakan untuk industri pesawat terbang khususnya pesawat yang menggunakan mesin turbin (eksternal combustion). Bioavtur merupakan biofuel yang masuk dalam kategori energi terbarukan (*renewable energi*), dimana keberadaannya memiliki sumber bahan baku yang berlimpah di alam dan dapat diperbaharui dengan mudah. Bioavtur merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan, hal inilah yang menjadi keunggulan yang dimiliki oleh bioavtur.

Bioavtur merupakan bahan bakar hasil olahan tumbuhan yang dibuat sedemikian rupa hingga memiliki sifat dan komposisi yang menyerupai avtur. Sehingga, bioavtur memiliki komposisi dan karakteristik yang sangat mirip dengan avtur. Hanya saja perbedaannya adalah, bioavtur terbuat dari bahan baku nabati yang berasal dari minyak hasil ekstraksi tumbuh-tumbuhan, sedangkan avtur, terbuat dari komponen utama minyak bumi. Menurut Linda (2006), komposisi bahan bakar avtur terdiri dari *iso-paraffin* (40%), *n-paraffin* (20%), *cycloparaffin* (20%) dan *aromatic* (20%).

Untuk memenuhi ketentuan dan syarat mutu avtur, ada beberapa standar parameter yang dapat digunakan dalam menganalisisnya, yaitu berdasarkan parameter fisika dan parameter kimia. Parameter fisika yang dimaksud yaitu meliputi : nilai kalor, massa jenis, titik beku, titik nyala, titik asap, viskositas, warna, nilai kalor dan lain-lain. Sedangkan untuk parameter kimia, dapat ditinjau dari kandungan aromatik, sulfur, keasaman, dan lain-lain.

Oleh karena itu, agar dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti avtur, pembuatan bioavtur minyak nyamplung ini mengacu kepada penyesuaian komposisi dan karakteristik yang dimiliki oleh avtur. Berikut tabel yang menunjukkan parameter dan standarisasi avtur :

Tabel 2.1 Karakteristik Bahan Bakar Pesawat Terbang Menurut ASTM International (Bryan, 2005).

Issuing Agency:	ASTM International		
Specification:	D1655-04a		
Latest Revision Date:	1 Nov 2004		
Grade Designation:	Jet A/A-1 Kerosine	Test Method ASTM	
Composition			
Appearance	C & B		
Acidity, Total (mg KOH/g)	Max.	0.10	D3242
Aromatics (vol %)	Max.	25	D1319
Sulphur, Total (wt %)	Max.	0.30	D1266,D2622,D4294,D5453
Sulphur, Mercaptan (wt %) or Doctor Test	Max.	0.003 Negative	D3227 D4952
Volatility			
Flash Point (°C)	Min.	38	D56, D3828
Density at 15°C (kg/m ³)	775-840		D1298, D4052
Vapour Pressure @ 38°C (kPa)	---		D323, D5191
Fluidity			
Freezing Point (°C)	Max.	-40 Jet A -47 Jet A-1	D2386, D4305 D5901,D5972
Viscosity at 20°C (CSt)	Max.	8.0	D445
Combustion			
Net Heat of Comb.(MJ/kg)	Min.	42.8	D3338,D4529,D4809
Smoke Point (mm)	Min.	25	D1322
or Smoke Point (mm)	Min.	18	D1322
and Naphthalenes (vol %)	Max.	3.0	D1840
OTHER			

2.2 Minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum Linn Oil*)

Tanaman nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*) merupakan tanaman bergenus *Calophyllum* yang tersebar luas di dunia, mulai dari Madagaskar, Afrika, India, Asia Tenggara, Kepulauan Pasifik, Australia, dan Amerika Selatan. Di Indonesia, tanaman nyamplung ini hampir tersebar di seluruh wilayah, khususnya di area yang memiliki curah hujan 1000-5000 mm pertahun pada ketinggian 0-200 m di atas permukaan laut (Muhammad, et al., 2014) , ataupun di daerah pesisir pantai seperti : Taman Nasional Alas Purwo, Kepulauan Seribu, Taman Nasional Ujung Kulon, Cagar Alam Pananjung Pangandaran, Kawasan Wisata Batu Karas, Pantai Carita Banten, Papua, Maluku Utara, Taman Nasional Berbak (Leksono, et al., 2014) dan masih banyak sebaran tanaman nyamplung lainnya di wilayah Indonesia.

Tanaman Nyamplung ini merupakan tanaman berbatang sedang dengan tinggi mencapai 8-20 m. Di Taman Wisata Alam Pangandaran, tanaman nyamplung yang telah berusia 40-50 tahun memiliki tinggi pohonnya rata-rata mencapai 15,16 m dan memiliki lingkaran batang 2,61 m, dimana buah dari tanaman nyamplung berbentuk bulat dengan komponen buah nyamplung terdiri dari sabut, biji, tempurung dan kernel dengan bobot masing – masing 3,54; 5,28; 3,87; dan 1,78 gr (Supriadi, 2013). Buah nyamplung muda akan cenderung berwarna hijau dan yang sudah tua berwarna agak kekuningan, dan jika dibiarkan akan berwarna coklat tua seperti kayu. Bijinya berbentuk bulat, tebal, keras, dan cenderung berwarna coklat muda dengan tempurung yang berwarna coklat tua, sedangkan kernelnya berwarna krem.

Salah satu bahan yang mungkin dapat digunakan untuk dijadikan bioavtur adalah tanaman Nyamplung. Tanaman Nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*) merupakan jenis tanaman hutan yang tidak dapat dikonsumsi sebagai bahan pangan (*non edible*). Selain itu, tanaman nyamplung juga mempunyai potensi yang sangat tinggi dalam bidang perekonomian, mulai dari pemanfaatan daun nyamplung (yang digunakan sebagai obat-obatan dan bahan kosmetik), bunga nyamplung (sebagai campuran pengharum minyak rambut), dan bahkan sampai

pada bagian biji nyamplung, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku *bioenergy / biofuel*.



Gambar 2.1 Tanaman Nyamplung yang tersebar di Kawasan Puspiptek Serpong.



Gambar 2.2 Bagian-bagian dari tanaman nyamplung (a) bunga, (b) buah, (c) kernel, dan minyak nyamplung.

Menurut Leksono (2014), tanaman nyamplung mampu memproduksi biji nyamplung sebanyak 40-150kg/pohon/tahunnya atau setara dengan 20 ton/ha/tahun, pada bagian kernel dari biji nyamplung tersebut mampu

menghasilkan rendemen minyak nyamplung sebanyak 37-58% sehingga untuk memproduksi 1 liter minyak nyamplung, hanya membutuhkan 2-2,5 kg biji nyamplung. Sedangkan menurut Chavan (2013), untuk pohon yang berumur 4-5 tahun pada bagian kernel nyamplung mengandung 50-70% minyak, dan mampu menghasilkan 1-10kg minyak nyamplung per tahun (tergantung pada produktivitas pohon dan efisiensi dari proses ekstraksi minyak nyamplung tersebut).

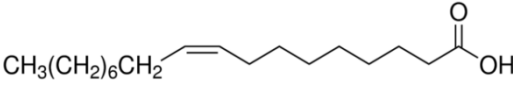
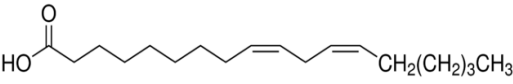
Berikut ini ditampilkan beberapa komposisi dan rumus bangun dari minyak nyamplung :

Tabel 2.2 Komposisi Minyak Nyamplung

<i>Fatty Acid Name</i>	Formula	Structure	Compositions of Minyak Nyamplung (<i>Calophyllum Inophyllum Linn Oil</i>) (%)			
			(Savitri, 2015)	(H. Chyuan, 2014)	(Venkanna, 2013)	(Chavan, 2013)
Oleic acid	$C_{18}H_{34}O_2$	$C_{18:1}$	3.14	39.8	36.2-53.1	34.410
Linoleic acid	$C_{18}H_{32}O_2$	$C_{18:2}$	37.40	28.1	15.8-28.5	28.343
Stearic acid	$C_{18}H_{36}O_2$	$C_{18:0}$	10.74	15.9	6.1-18.5	15.570
Palmitic acid	$C_{16}H_{32}O_2$	$C_{16:0}$	22.99	14.2	14.8-18.5	14.4

*Hanya komposisi dengan persentase terbesar yang ditampilkan.

Tabel 2.3 Rumus Bangun dari Komposisi Minyak Nyamplung

Nama	Rumus Bangun	Berat Molekul
Oleic Acid		282.46
Linoleic Acid		280.45

Stearic Acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{CH}_2\text{C}(=\text{O})\text{OH}$	284.5
Palmatic Acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}\text{CH}_2\text{C}(=\text{O})\text{OH}$	256.42

*Hanya rumus bangun yang memiliki komposisi dengan persentase terbesar yang ditampilkan

Berikut tabel spesifikasi minyak nyamplung berdasarkan penelitian sebelumnya:

Tabel 2.4 Spesifikasi Minyak Nyamplung.

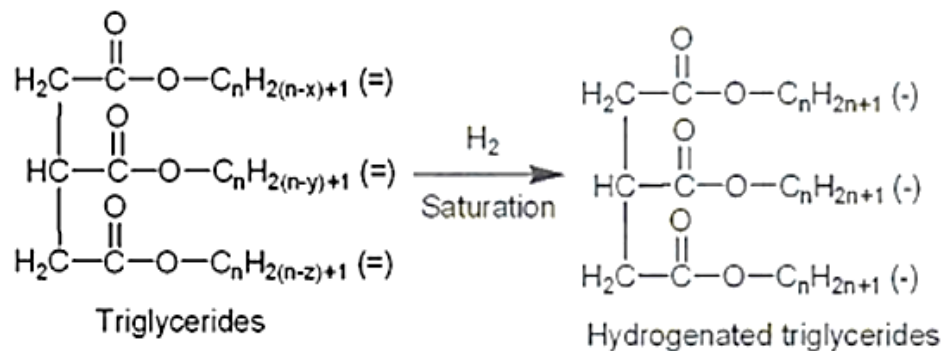
Spesifikasi	Minyak Nyamplung (<i>Calophyllum Inophyllum</i> Linn Oil)			
	(Chavan, 2013)	(K.Rames, 2012)	(Silitong, 2014)	(Venkanna, 2013)
Acidity, Total (mg KOH/g)	-	-	46.4	-
Flash Point (°C)	224	157	195.5	235±2
Density (g/mL)	0.910 @15°C	0.906	0.9422	0.910 ± 3
Viscosity (mm ² /s)	38.17 @40°C	31.2	-	-
Kinematic viscosity (cSt)	-	-	53.17 @40°C	32.48 ± 2 @40°C
Calorific Value (MJ/kg)	32.50	39.20	38.511	39.1
Specific Gravity	0.908	-	-	-
Fire Point (°C)	253	118	-	-

2.3 Hidrogenasi

Hidrogenasi adalah proses penambahan sejumlah hydrogen pada ikatan rangkap yang bertujuan untuk mengurangi ketidakjenuhan pada minyak. Minyak nyamplung terdiri dari asam lemak bebas yang memiliki ikatan rangkap

pada rantai karbonnya. Ikatan rangkap ini menunjukkan bahwa minyak nyamplung memiliki sifat yang tidak jenuh (*unsaturated*). Sedangkan, pada bahan bakar diperlukan kandungan senyawa yang jenuh (memiliki ikatan tunggal pada ikatan rantai karbonnya). Sehingga, perlu adanya pemutusan ikatan rangkap pada minyak nyamplung, agar kualitas dari minyak nyamplung yang dihasilkan menjadi lebih baik. Minyak nyamplung yang telah jenuh (*saturated*) akan memiliki kandungan hidrogen yang lebih banyak dari sebelumnya, sehingga akan memiliki nilai kalor yang lebih besar.

Berikut ditampilkan mekanisme hidrogenasi dari minyak nyamplung

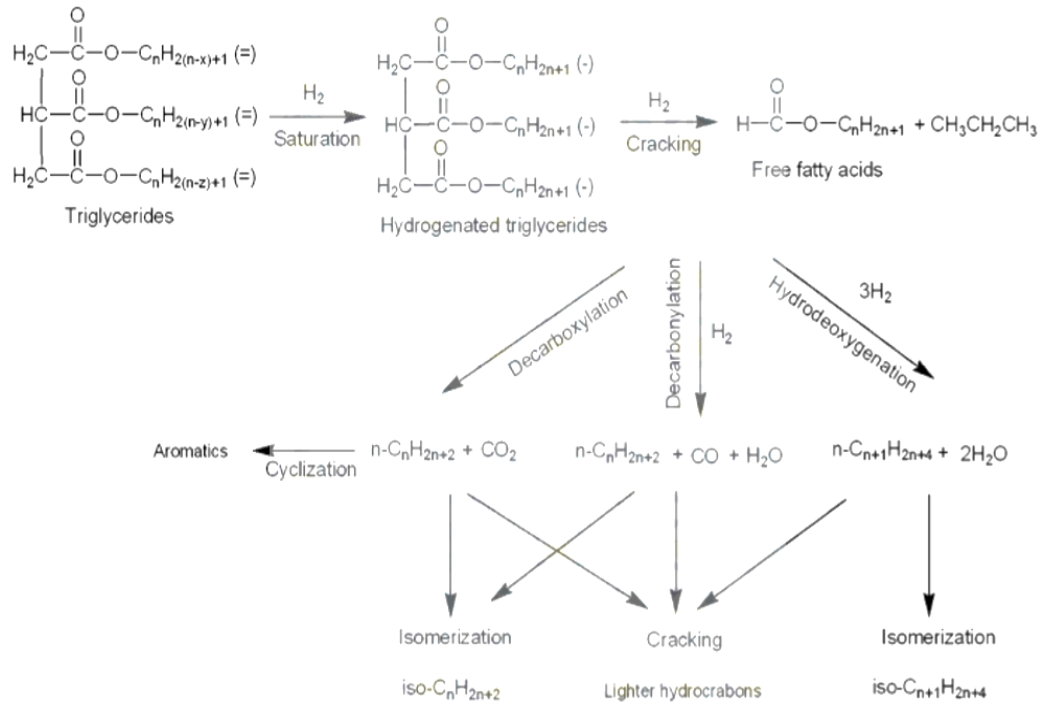


Gambar 2.2 Proses mekanisme hidrogenasi dari minyak nyamplung (Erlan,2012)

2.4 Hydrocracking

Hydrocracking merupakan proses pemutusan rantai karbon panjang menjadi rantai karbon yang lebih pendek. Proses ini dapat digunakan untuk mengkonversi minyak nabati seperti minyak nyamplung menjadi bahan bakar, seperti biogasoline, biokerosine, biodiesel dan lain lain. Hal ini dapat dilakukan, karena minyak nabati terdiri dari komponen asam lemak bebas (trigliserida) yang memiliki ikatan rantai karbon yang panjang ($\geq C_{16}$). Proses *hydrocracking* ini sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu, tekanan, waktu, dan jenis katalis yang digunakan. Menurut Savitri (2015), proses *hydrocracking* minyak nyamplung dengan menggunakan katalis NiMo/Al₂O₃ yang diproses pada suhu 350°C, tekanan 60 bar dan waktu selama 150 menit mampu memperoleh senyawa hidrokarbon C₁₀-C₁₅ sebanyak 41% dan C₁₆-C₁₉ sebanyak 59%. Komponen hidrokarbon C₁₀-C₁₅ merupakan bahan dasar utama dalam pembuatan

avtur. Sehingga, minyak nyamplung berpotensi untuk diproses menjadi bioavtur. Berikut ditampilkan mekanisme proses *hydrocracking* minyak nyamplung:



Gambar 2.2 Proses mekanisme hydrocracking (Erlan,2012).

2.5 Analisa CHN

Analisa CHN digunakan untuk menentukan besarnya komposisi dari unsur karbon, hydrogen dan nitrogen yang dimiliki dari suatu sampel uji. Besarnya komposisi dari masing-masing unsur tersebut dinyatakan dalam persen (%). Analisa CHN dilakukan dengan memasukkan sampel uji kedalam vial yang tertutup yang terdapat di dalam alat *CHN Analyzer*. Sampel ini kemudian dibakar hingga suhu $950^{\circ}C$. Hasil pembakaran dari sampel ini kemudian dideteksi oleh detector untuk diketahui seberapa besar persentase komposisi dari unsur karbon, hydrogen dan nitrogen yang terdapat didalam sampel tersebut. Persentase dari unsur karbon, hydrogen dan nitrogen ini akan berfungsi untuk menentukan seberapa besar panas pembakaran (*caloric value*) yang mampu dihasilkan dari sampel tersebut

2.6 Analisa GC-MS

.GC-MS (Gas chromatography–mass spectrometry) merupakan metode pemisahan senyawa organik secara analitik yang mengkombinasikan antara dua teknik yang berbeda, yakni kromatografi gas (untuk menganalisis suatu senyawa secara kualitatif, biasanya ditunjukkan dengan grafik kromatografi) dan spektrometri massa (untuk mengetahui besarnya komposisi yang terdapat dari suatu senyawa). GC-MS ini berfungsi untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang terdapat dari suatu sampel uji dan juga dapat menentukan persentase komposisi dari masing-masing senyawa yang terkandung didalamnya. Salah satu syarat suatu senyawa dapat dianalisa dengan GC-MS adalah senyawa tersebut harus bersifat mudah menguap (volatil). Minyak nyamplung merupakan senyawa yang tidak bersifat volatile (sulit untuk menguap), maka perlu dilakukannya proses derivatisasi yang bertujuan untuk menghasilkan sampel yang bersifat volatil sehingga dapat dilakukan analisa GC-MS.



Gambar 2.3 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Agilent Technologies 5977A MSD - DB WAX

2.7 Massa Jenis (Density)

Massa jenis merupakan indikator kualitas yang penting untuk bahan bakar, dimana hal itu mempengaruhi penyimpanan, penanganan dan pembakaran. Kualitas dari minyak (minyak berat maupun minyak ringan) ditentukan salah satunya oleh densitas (Jadinta, 2015). Densitas merupakan perbandingan antara massa suatu zat yang berisi partikel-partikel dengan volume tertentu dari zat tertentu. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sehingga, semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka akan semakin besar pula massa setiap volumenya. Densitas suatu bahan bakar salah satunya juga dapat dipengaruhi oleh temperature. Semakin tinggi temperature, maka densitas yang dihasilkan akan semakin kecil. Berdasarkan standar international, massa jenis bahan bakar avtur diharuskan berada pada rentang 775 – $840 \frac{Kg}{m^3}$.

Berikut rumus untuk menentukan densitas (massa jenis) dari suatu zat cair :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dimana,

m = Massa zat cair (Kg)

V = Volume zat cair (m^3)

$$\rho = \text{Densitas Massa jenis zat cair} \frac{Kg}{m^3}$$

2.8 Titik Beku (*Freezing Point*)

Selain itu, parameter lain yang penting dalam avtur yaitu terkait dengan titik beku dari avtur. *Freezing point* merupakan titik temperature dimana sebuah cairan dari komposisi tertentu membeku dibawah tekanan tetap. Dalam arti kata, yaitu titik dimana suatu cairan mengalami perubahan fase menjadi fase padatan pada temperature tertentu. *Freezing point* yang sesuai dengan spesifikasi standar international bahan bakar pesawat Jet A-1 adalah $\leq - 47^\circ C$. Jika sampel telah membeku pada suhu di atas $\geq - 47^\circ C$ maka sampel tersebut tidak memenuhi spesifikasi bahan bakar pesawat Jet A-1.

2.9 Nilai Kalor (Caloric Value)

Nilai kalor merupakan salah satu parameter yang menentukan kualitas suatu bahan bakar avtur. Nilai kalor menyatakan besarnya energi yang terkandung didalam suatu bahan bakar. Berdasarkan standar international, bahan bakar avtur diharuskan memenuhi persyaratan minimal sebesar 42.8 MJ/kg. Nilai kalor suatu bahan bakar cair ditentukan dengan mengacu kepada analisa elemental (*elemental analysis*). Berikut rumusan matematis yang terkait dengan besar panas pembakaran minimum suatu bahan bakar cair (*lower heating value*)(Zoran dkk, 2008):

$$\text{LHV } \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8} \quad 2 - 1$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tujuan Operasional

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan bioavtur dari hasil ekstraksi minyak biji nyamplung dan membandingkan spesifikasi dari bioavtur tersebut dengan standar internasional berdasarkan parameter fisika yaitu nilai kalor, massa jenis (densitas) dan titik beku (*freezing point*) dari bioavtur.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

3.2.1 Waktu Penelitian

Waktu penelitian akan mulai dilaksanakan pada bulan Januari 2017 sampai dengan Agustus 2017.

3.2.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Termokimia, Pusat Penelitian Kimia (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan, dan Lab. Energi Jurusan Fisika Universitas Negeri Jakarta, Rawamangun, Jakarta Timur, serta pengujian sampel akan dilakukan di Sucofindo Cibitung, Bekasi, Jawa Barat.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

- | | |
|---|-----------------------|
| 1. Reaktor <i>Batch autoclave</i> | 8. Stirrer (Pengaduk) |
| 2. Neraca Digital | 9. Pipet Tetes |
| 3. Hotplate | 10. Termometer |
| 4. Low Freezer -40°C | 11. Corong Pisah |
| 5. Density Meter Digital | 12. Gelas Kimia |
| 6. <i>Elemental Analyzer</i>
(CHN628 Analyzer) | 13. Gelas Ukur |
| 7. GC-MS | 14. Botol Sampel |
| | 15. Stopwatch |

3.3.3 Bahan Penelitian

1. Minyak Nyamplung
2. Gas Hidrogen
3. Katalis NiMo/Al₂O₃.

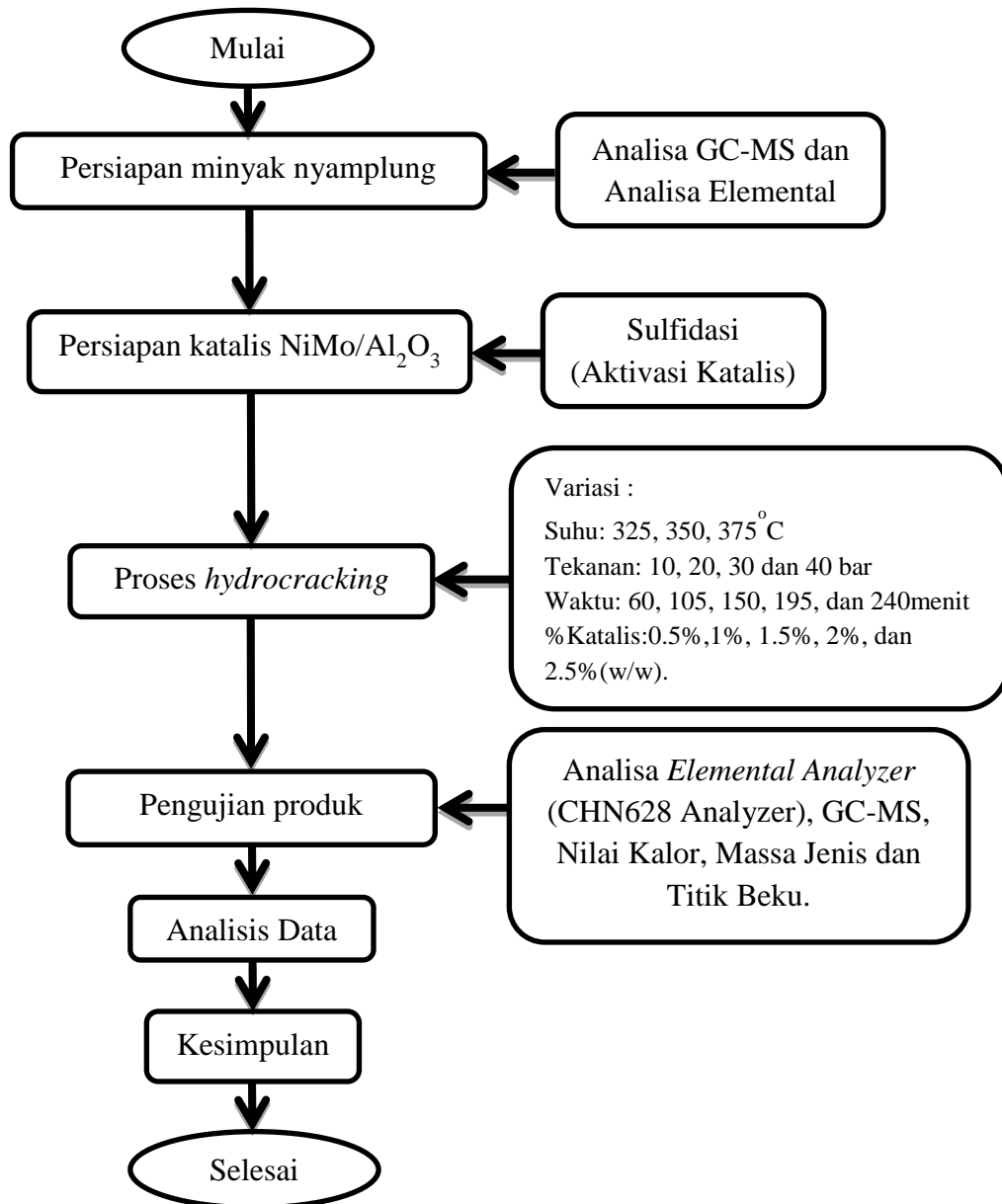
BASF M8-21, dengan konsentrasi MoO₃ 14,5 % NiO 3%.

3.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperiment. Dalam penelitian ini, akan dikembangkan bioavtur yang terbuat dari bahan dasar minyak Nyamplung. Proses diawali dengan menyiapkan minyak nyamplung sebanyak 20 ml dan preparasi katalis NiMo/Al₂O₃ sebanyak 1% (w/w). Kemudian menerapkan metode *hydrocracking* terhadap kedua bahan tersebut, dengan cara mereaksikannya dengan gas hidrogen di dalam reaktor *batch autoclave* yang diputar dengan kecepatan 700rpm, yang dilakukan dengan memvariasikan suhu (325, 350, dan 375°C), variasi tekanan H₂ awal (10, 20, 30, dan 40 bar), variasi waktu (60, 105, 150, 195, dan 240 menit) dan juga memvariasikan jumlah presentase katalis yang digunakan yakni sebesar 0% katalis (tanpa katalis), 0.5% katalis (w/w), 1% katalis (w/w), 1.5% katalis (w/w), 2% katalis (w/w), dan 2.5% katalis (w/w).

Produk hasil *hydrocracking* kemudian dianalisa dengan menggunakan *Elemental Analyzer (CHN628 Analyzer)* yang bertujuan untuk mengetahui kandungan *carbon*, *hydrogen* dan *nitrogen* yang terdapat pada produk. Serta, dilakukan uji GC-MS (*Agilent Technologies 6890 Gas Chromatograph 5978 Mass Selective Detector*) untuk mengetahui komposisi dari produk yang dihasilkan. Produk dengan nilai kalor dan komposisi terbaik akan digunakan untuk pengujian lebih lanjut terkait sifat-sifat fisiknya, yaitu seperti nilai massa jenis (*density*), dan titik beku (*freezingpoint*). Kemudian, membandingkan hasil pengukuran tersebut dengan Standar Uji Amerika yang kitakenal sebagai ASTM International (American Standard Testing Material) untuk melihat kelayakan penggunaan bioavtur yang diteliti.

3.4.1. Diagram Alir Proses Pembuatan dan Analisa Bioavtur



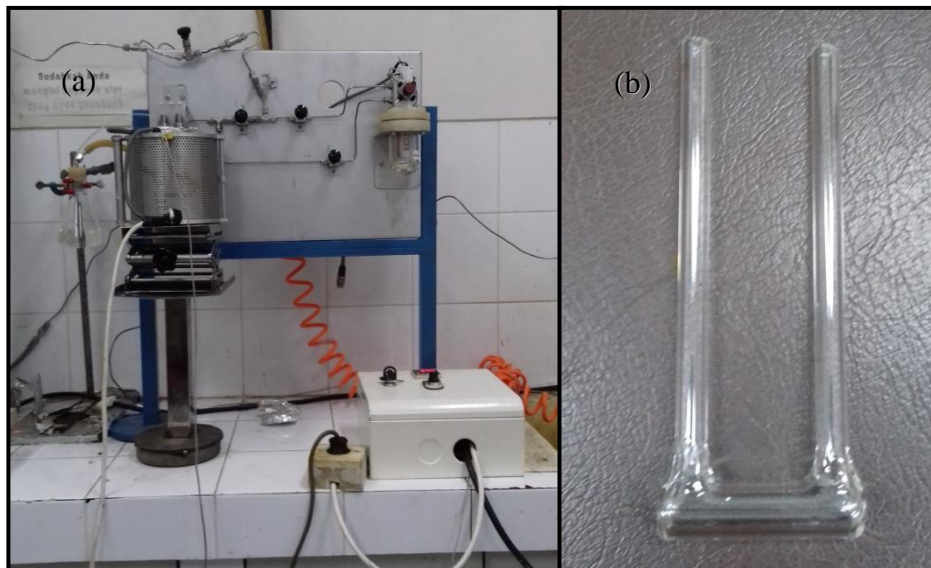
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Dan Analisa Bioavtur.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1. Preparasi Katalis dan Sampel Minyak Nyamplung

3.5.1.1 Preparasi Katalis Komersial NiMo/Al₂O₃

Proses Preparasi Katalis ini diawali dengan menyiapkan Katalis Komersial NiMo/Al₂O₃BASF M8-21, dengan konsentrasi MoO₃ 14,5 % NiO 3%. Katalis yang telah dipersiapkan kemudian ditimbang sebanyak 1%(w/w) dari massa bahan baku minyak nyamplung yang akan dilakukan proses *hydrocracking*. Selanjutnya sebelum dilakukannya proses *hydrocracking*, katalis tersebut harus diaktivasi terlebih dahulu. Aktivasi katalis dilakukan dengan proses sulfidasi. Sulfidasi katalis ini bertujuan untuk mengubah katalis dari bentuk oksida (tidak aktif) menjadi bentuk sulfide logam (aktif), sehingga proses ini dapat meningkatkan stabilitas katalis ketika dilakukannya proses *hydrocracking*. Pada proses sulfidasi terdapat 2 tahap, yakni tahap mengalirkan gas N₂ (Nitrogen) yang berfungsi untuk membersihkan pori-pori katalis dari kotoran organik (*flushing*) dan dilanjutkan dengan tahap mengalirkan gas H₂ (Hidrogen) dan cairan CS₂.



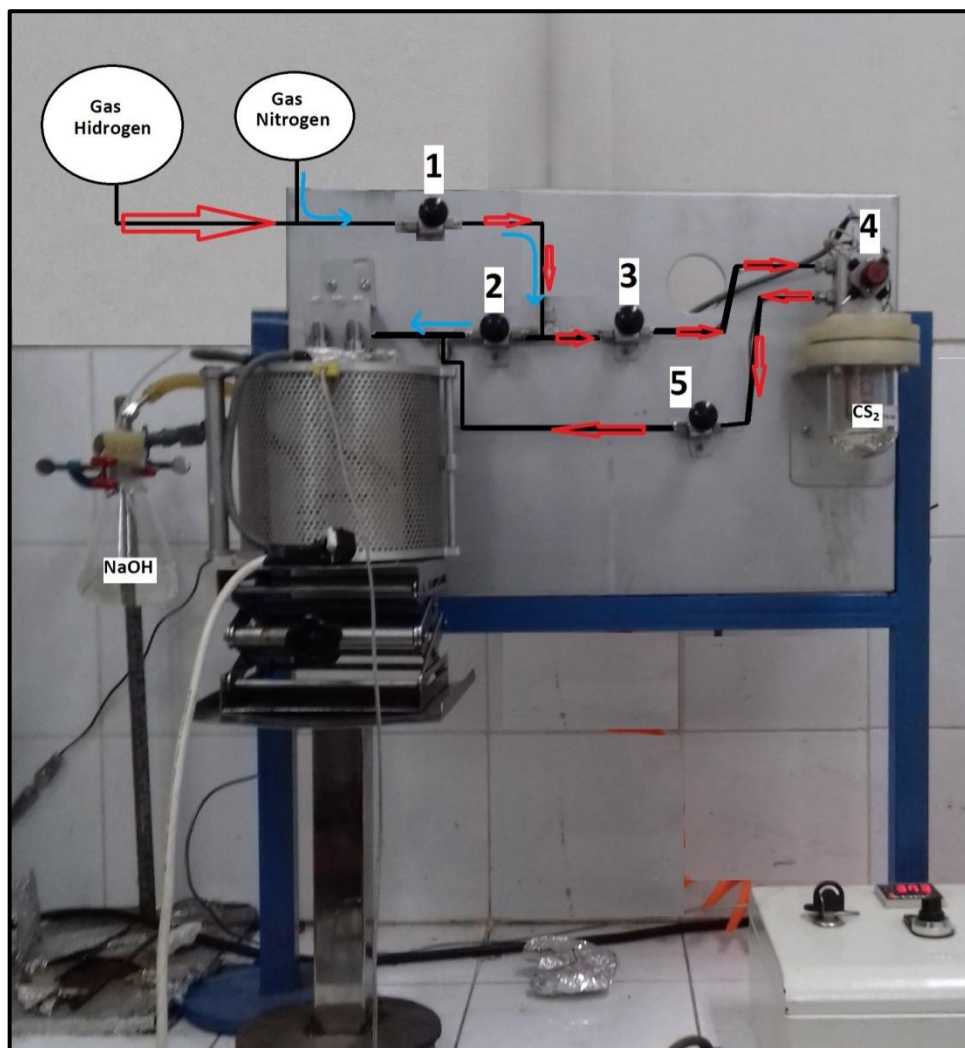
Gambar 3.2 (a) Reaktor Sulfidasi dan (b) Tabung “U” khusus sulfidasi.

Berikut prosedur Sulfidasi Katalis Komersial NiMo/Al₂O₃:

1. Mempersiapkan larutan NaOH konsentrasi 10% dengan mencampurkan dan melarutkan 30 gr NaOH kedalam 300 ml Aquadest.
2. Menuang larutan NaOH tersebut ke dalam labu erlemeyer, lalu memasangnya ke bagian reaktor sulfidasi.
3. Menimbang sampel katalis NiMo/Al₂O₃ sebanyak 1%(w/w) dari massa minyak nyamplung. Disini karena setiap proses *hydrocracking* membutuhkan 20 ml minyak nyamplung (18.6378 gr), maka katalis yang harus di sulfidasi hanya sebesar 0.1864 gr.
4. Memasukan Katalis yang telah di timbang ke dalam tabung “U” khusus Sulfidasi, lalu memasang tabung tersebut ke reaktor sulfidasi.
5. Membuka Gas Nitrogen dan atur tekanan gas nitrogen yang keluar sebesar 1.5 bar.
6. Mengalirkan gas nitrogen dengan mengatur valve (kran) no.1 dan no.2, dalam mengatur aliran gas nitrogen yang keluar harus stabil, kestabilan keluarnya gas dapat dilihat melalui gelembung gas yang keluar pada larutan NaOH yang sudah terpasang.
7. Mengatur *heater controller* pada suhu 135°C, dan biarkan proses nitrogenasi berjalan selama 30 menit.
8. Setelah 30 menit, menutup semua valve (no.1 dan no.2) dan tutup gas nitrogen.
9. Mematikan *heater controller* dan mendinginkan tabung “U” untuk beberapa saat.
10. Membuka gas hidrogen danatur tekanan gas hidrogen yang keluar sebesar 1.5 bar.
11. Mengalirkan gas hidrogen dengan mengatur valve (kran) no.1, no.3, no.4 dan no.5. kestabilan gas yang keluar harus diperhatikan.
12. Mengatur *heater controller* pada suhu 385°C, dan biarkan proses sulfidasi berjalan selama 120 menit.

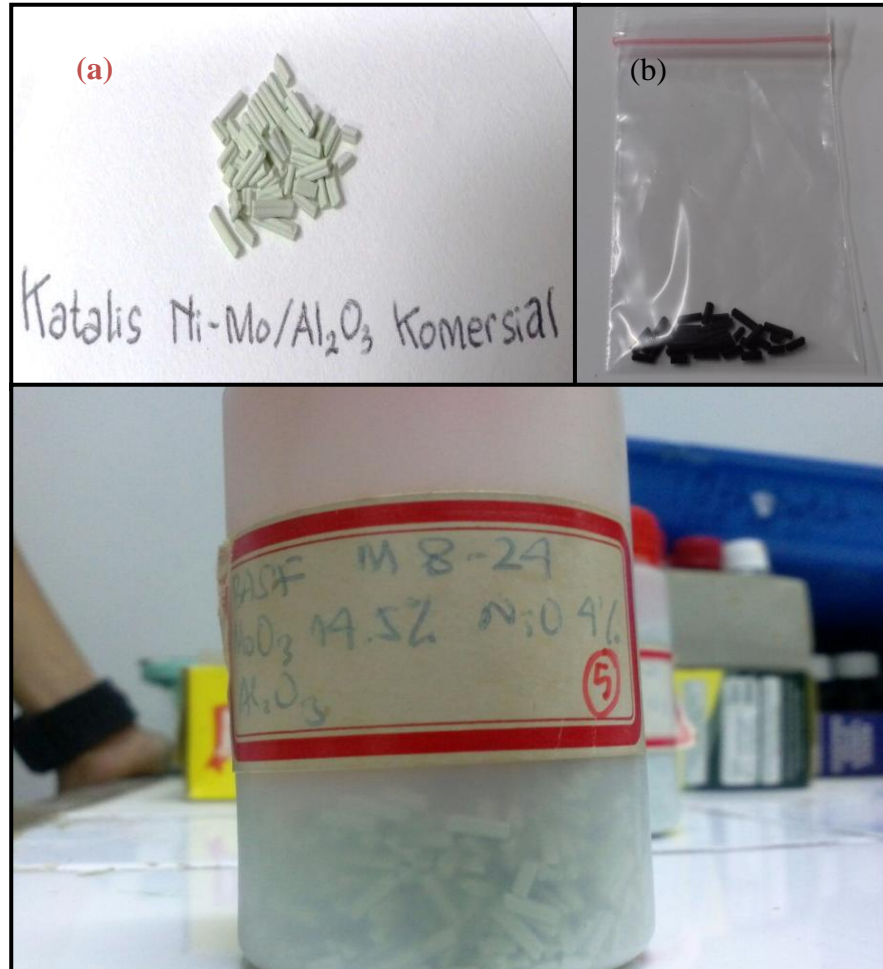
13. Setelah 120 menit, menutup semua valve dan tutup gas hidrogen.
14. Mematikan *heater controller* dan mendinginkan tabung “U” untuk beberapa saat.
15. Katalis $\text{NiMo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang telah tersulfidasi telah siap untuk digunakan pada proses *hydrocracking*.

Berikut merupakan skematik aliran gas yang mengalir pada reaktor sulfidasi.



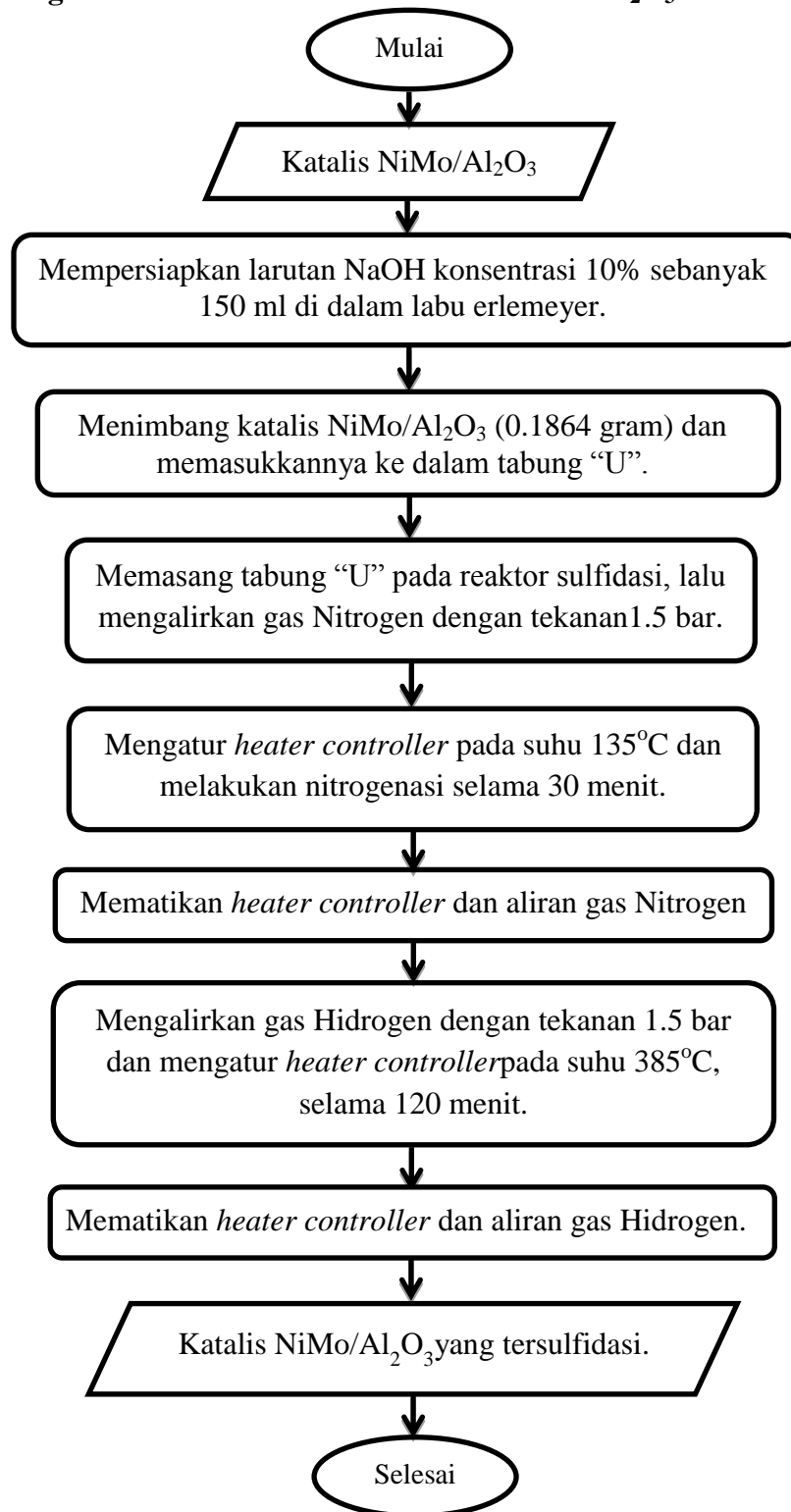
Gambar 3.3 Skematik Aliran Gas Hidrogen dan Nitrogen

Berikut merupakan gambar katalis NiMo/Al₂O₃ saat sebelum dan sesudah disulfidasi :



Gambar 3.4 (a) Katalis NiMo/Al₂O₃ Komersial (b) Katalis tersulfidasi.

3.5.1.2 Diagram Alir Proses Sulfidasi Katalis NiMo/Al₂O₃



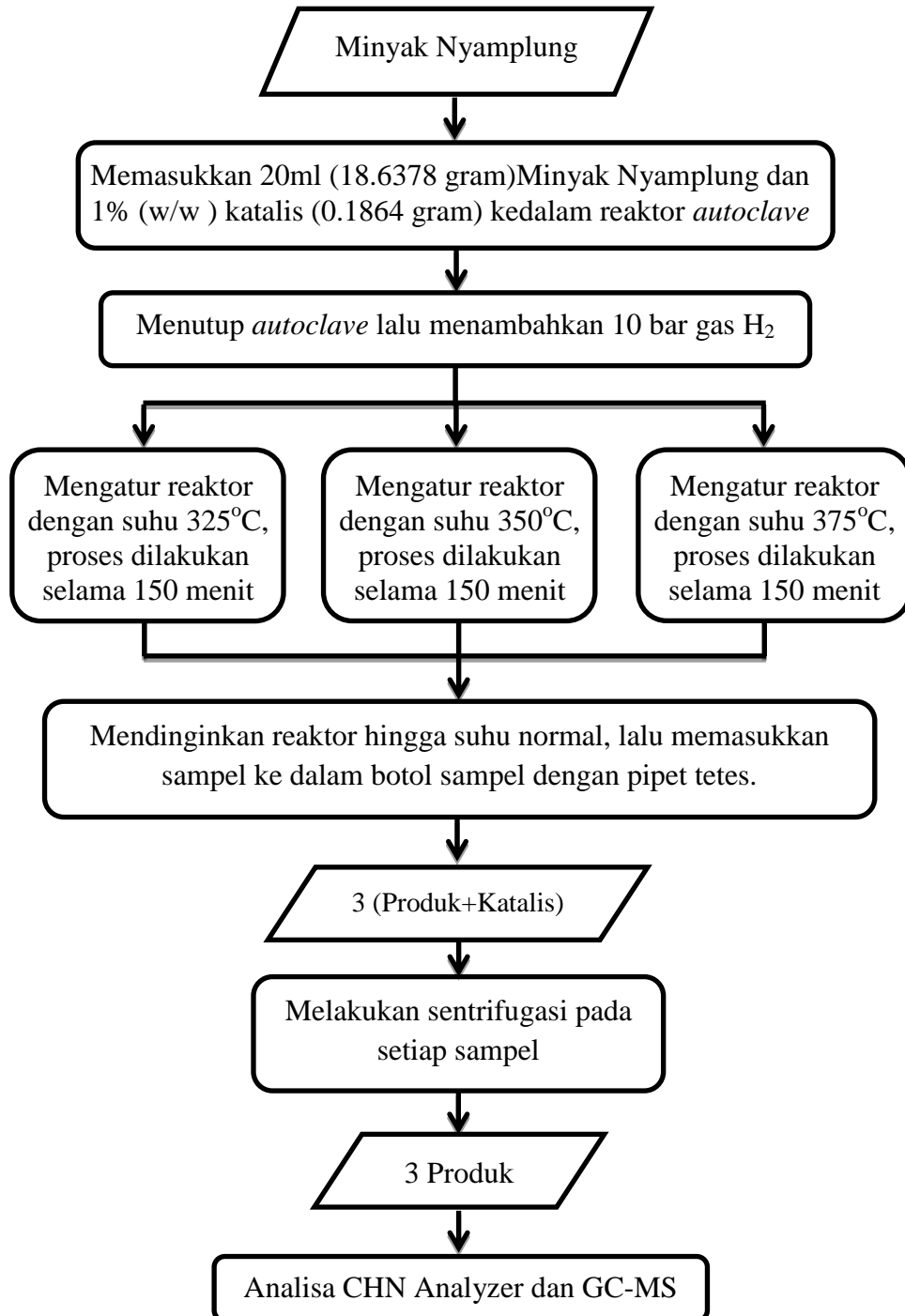
Gambar 3.5 Diagram Alir Proses Sulfidasi Katalis NiMo/Al₂O₃ Komersial.

3.5.2. Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Suhu

Berikut prosedur *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi suhu :

1. Mempersiapkan 20ml (18.6378 gram) minyak nyamplung, 1%(w/w) katalis NiMo/Al₂O₃ yang telah disulfidasi (0.1864 gram), dan seperangkat reaktor *autoclave*.
2. Memasukkan minyak nyamplung, *magnetic stirrer* dan katalis tersebut ke dalam reaktor.
3. Menutup *autoclave* dengan rapat, lalu menambahkan 10 bar gas H₂.
4. Setelah itu, memasang kembali reaktor *batch autoclave* tersebut dan memastikan *thermocouple* telah terpasang dengan benar.
5. Menyalakan reaktor *batch* dan mengatur *heater controller*. Suhu yang digunakan yaitu dengan variasi (325, 350 dan 375°C) yang diputar dengan kecepatan 700rpm. Setelah suhu tercapai, kemudian proses *hydrocracking* dimulai. Proses *hydrocracking* minyak nyamplung dilakukan selama 150 menit.
6. Setelah proses berakhir, terlebih dahulu dinginkan reaktor kemudian produk dipisahkan dari reaktor *batch*, dan menyimpannya kedalam wadah tertutup.
7. Produk hasil *hydrocracking* kemudian dilakukan *sentrifugasi*, dengan tujuan untuk memisahkan minyak dan katalis.
8. Produk kemudian dianalisa dengan menggunakan *Elemental Analyzer* (CHN628 Analyzer) dan GC-MS Analyzer (*Agilent Technologies 6890 Gas Chromatograph 5978 Mass Selective Detector*), untuk mendapatkan suhu optimal dari variasi suhu yang digunakan (325, 350, dan 375°C).

3.5.3. Diagram Alir Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Suhu



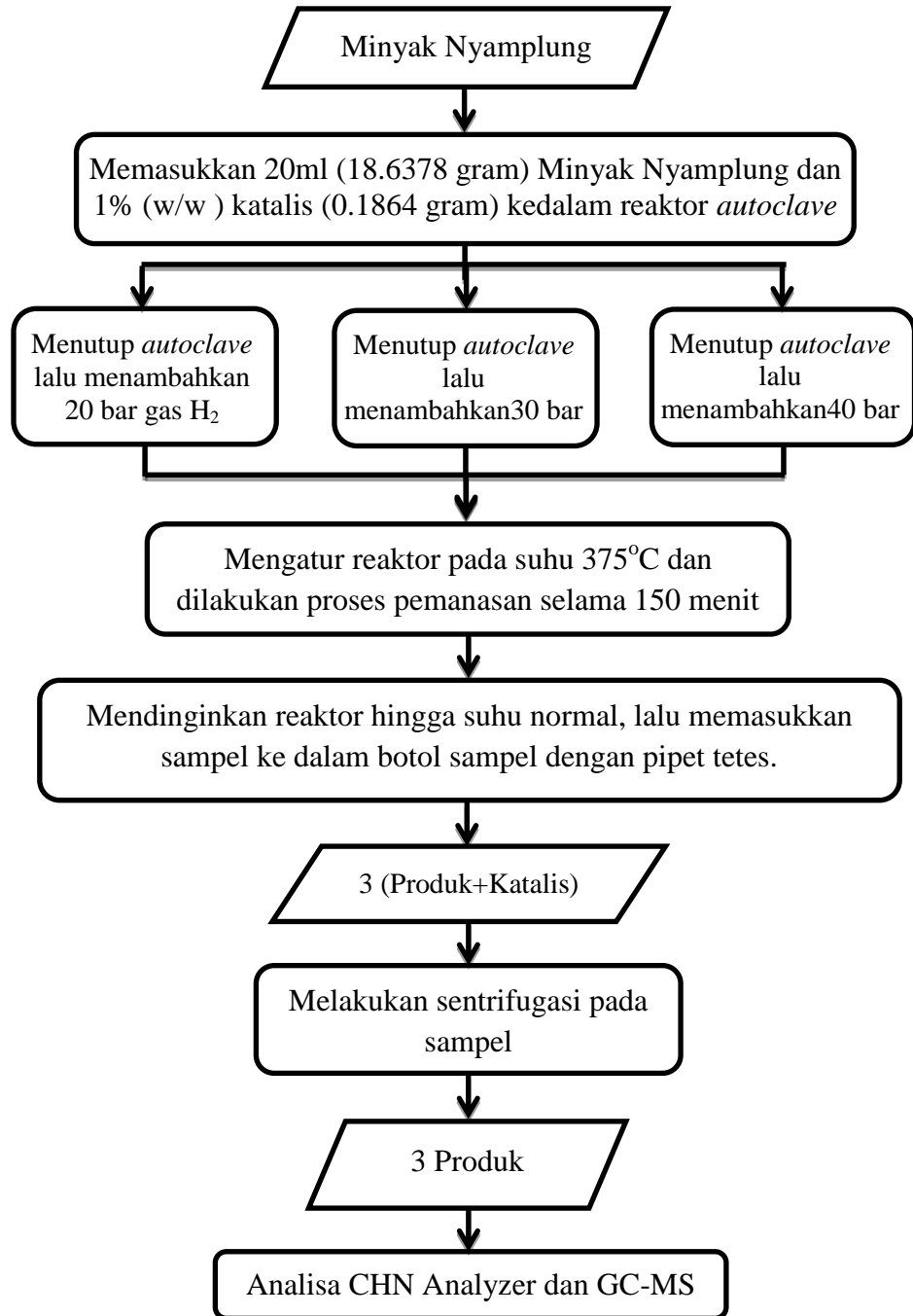
Gambar 3.6. Diagram Alir Proses Hydrocracking Minyak Nyamplung Dengan Variasi suhu.

3.5.4. Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Tekanan

Setelah mendapatkan kondisi suhu optimal dari proses sebelumnya (yaitu pada suhu proses 375°C), maka dilanjutkan dengan memvariasikan tekanan proses. Prosedur *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi tekanan dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan 20ml (18.6378 gram) minyak nyamplung, 1%(w/w) katalis NiMo/Al₂O₃ yang telah disulfidasi (0.1864 gram), dan seperangkat reaktor *autoclave*.
2. Memasukkan minyak nyamplung dan katalis tersebut ke dalam reaktor.
3. Menutup *autoclave* dengan rapat agar tidak terjadi kebocoran selama proses, lalu menambahkan gas H₂ dengan variasi tekanan awal (10, 20, 30, dan 40 bar).
4. Setelah itu, pasang kembali reaktor *batch autoclave* tersebut dan pastikan *thermocouple* telah terpasang dengan benar.
5. Menyalakan reaktor *batch* dan mengatur *heater controller* yaitu pada suhu 375°C yang diputar dengan kecepatan 700rpm. Setelah suhu tercapai, kemudian proses *hydrocracking* dimulai. Proses *hydrocracking* minyak nyamplung dilakukan selama 150 menit.
6. Setelah proses berakhir, terlebih dahulu dinginkan reaktor kemudian produk dipisahkan dari reaktor *batch*, dan kemudian menyimpannya ke dalam wadah tertutup.
7. Produk hasil *hydrocracking* kemudian dilakukan sentrifugasi, dengan tujuan untuk memisahkan minyak dan katalis.
8. Produk kemudian dianalisa dengan menggunakan *Elemental Analyzer* (CHN628 *Analyzer*) dan GC-MS *Analyzer* guna mendapatkan kondisi tekanan optimal dari variasi tekanan H₂ awal yang digunakan (10, 20, 30, dan 40 bar).

3.5.5. Diagram Alir Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Tekanan



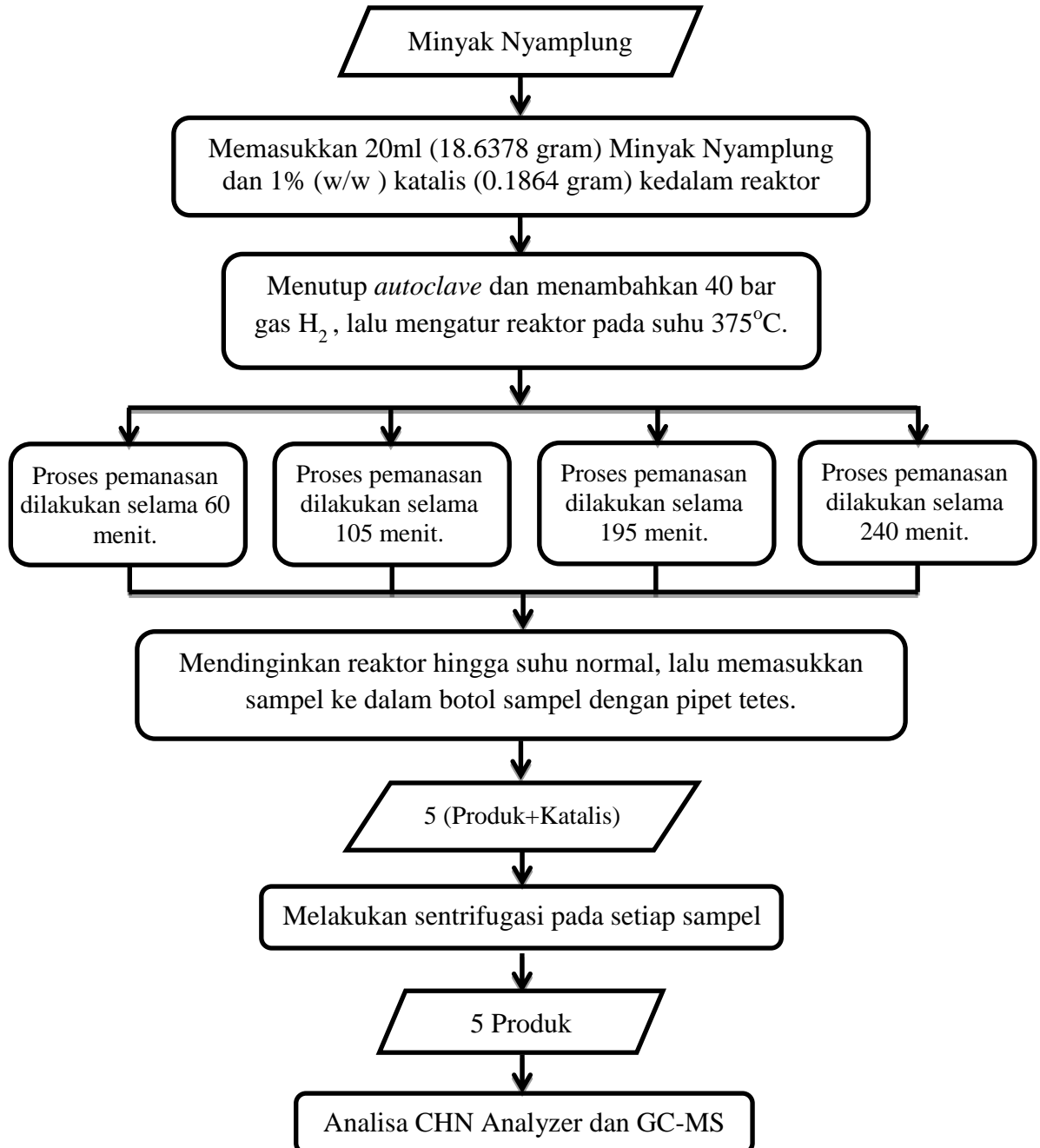
Gambar 3.7. Diagram Alir Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Variasi Tekanan.

3.5.6. Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Waktu

Setelah mendapatkan kondisi suhu dan tekanan terbaik dari proses sebelumnya, maka dilanjutkan dengan memvariasikan waktu proses. Prosedur *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi waktu dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan 20ml (18.6378 gram) minyak nyamplung, 1%(w/w) katalis NiMo/Al₂O₃ yang telah disulfidasi (0.1864 gram), dan seperangkat reaktor *autoclave*.
2. Memasukkan minyak nyamplung dan katalis tersebut ke dalam reaktor.
3. Menutup *autoclave* dengan rapat, lalu menambahkan 40 bar gas H₂ (sesuai dengan tekanan terbaik yang telah diperoleh dari proses sebelumnya).
4. Setelah itu, memasang kembali reaktor *batch autoclave* tersebut dan memastikan *thermocouple* telah terpasang dengan benar.
5. Menyalakan reaktor *batch* dan mengatur *heater controller* yaitu pada suhu 375°C yang diputar dengan kecepatan 700rpm. Setelah suhu tercapai, kemudian proses *hydrocracking* dimulai. Proses *hydrocracking* minyak nyamplung dilakukan dengan memvariasikan waktu pemanasan yakni 60, 105, 150, 195 dan 240 menit.
6. Setelah proses berakhir, terlebih dahulu dinginkan reaktor kemudian produk dipisahkan dari *reactor batch*, dan kemudian menyimpannya ke dalam wadah tertutup.
7. Produk hasil *hydrocracking* kemudian dilakukan sentrifugasi, dengan tujuan untuk memisahkan minyak dan katalis.
8. Produk kemudian dianalisa dengan menggunakan *Elemental Analyzer* (CHN628 Analyzer) dan GC-MS Analyzer.

3.5.7. Diagram Alir Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Waktu



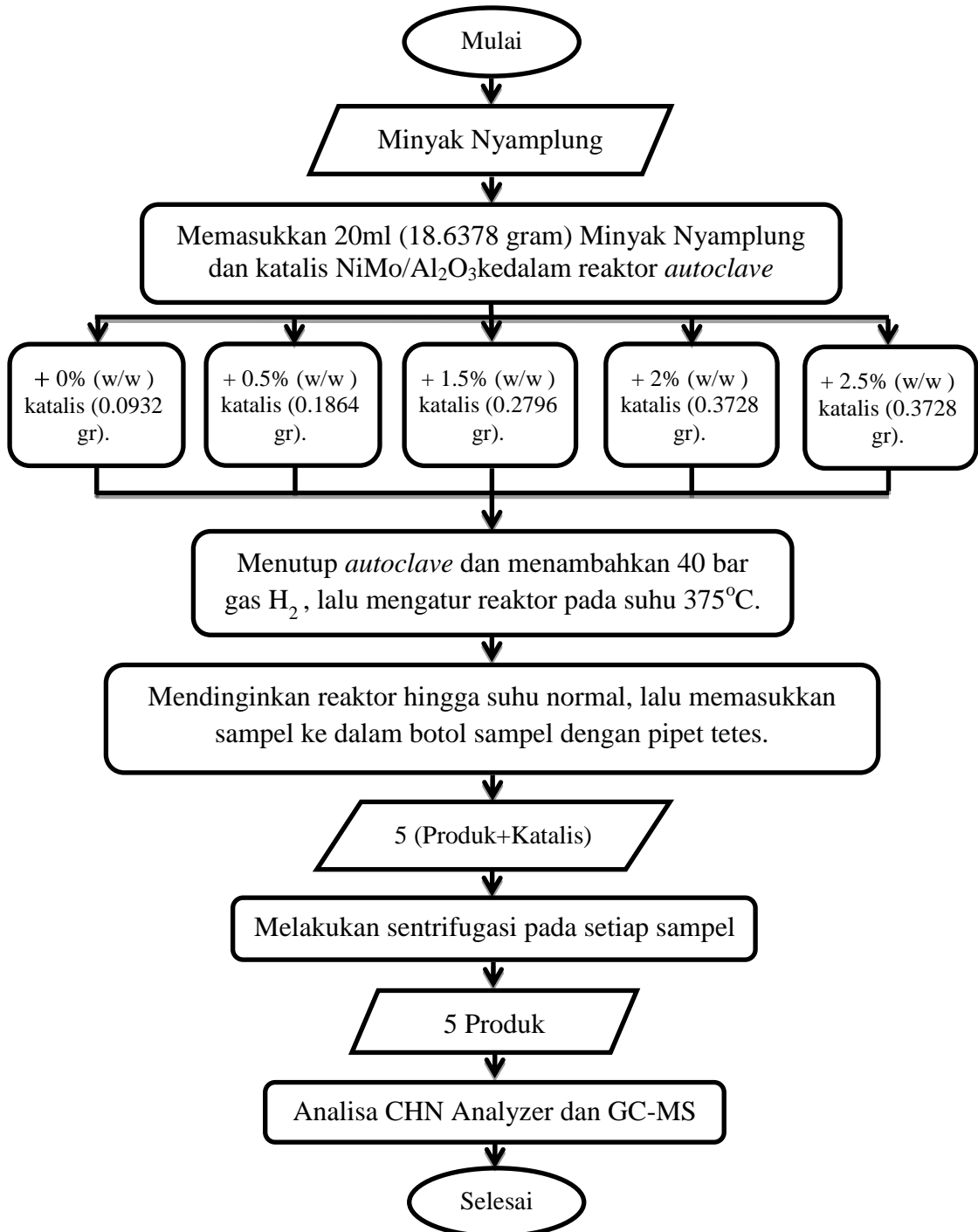
Gambar 3.8 Diagram Alir Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Variasi Waktu.

3.5.8. Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Katalis

Setelah mendapatkan kondisi suhu, tekanan, dan waktu optimal dari proses sebelumnya, maka dilanjutkan dengan memvariasikan persentase jumlah katalis. Prosedur *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi persentase jumlah katalis dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan 20ml (18.6378 gram) minyak nyamplung, katalis NiMo/Al₂O₃ yang telah disulfidasi, dan seperangkat reaktor *autoclave*. Pada proses *hydrocracking* ini, akan divariasikan jumlah presentasi katalis yang digunakan yakni 0% katalis (tanpa katalis), 0.5%(w/w) yaitu sebesar 0.0932 gr, 1.5%(w/w) yaitu sebesar 0.2796 gr, 2%(w/w) yaitu sebesar 0.3728gr, dan 2.5%(w/w) yaitu sebesar 0.4659 gr.
2. Memasukkan minyak nyamplung dan katalis tersebut ke dalam reaktor.
3. Menutup *autoclave* dengan rapat, lalu menambahkan 40 bar gas H₂ (sesuai dengan tekanan terbaik yang telah diperoleh dari proses sebelumnya).
4. Setelah itu, memasang kembali reaktor *batch autoclave* tersebut dan memastikan *thermocouple* telah terpasang dengan benar.
5. Menyalakan reaktor *batch* dan mengatur *heater controller* yaitu pada suhu 375°C yang diputar dengan kecepatan 700rpm. Setelah suhu tercapai, kemudian proses *hydrocracking* dimulai. Proses *hydrocracking* minyak nyamplung dilakukan selama 150 menit.
6. Setelah proses berakhir, terlebih dahulu dinginkan reaktor kemudian produk dipisahkan dari *reactor batch*, dan kemudian menyimpannya ke dalam wadah tertutup.
7. Produk hasil *hydrocracking* kemudian dilakukan sentrifugasi, dengan tujuan untuk memisahkan minyak dan katalis. Sehingga, analisa produk yang dihasilkan akan dapat dilakukan dengan mudah.
8. Produk kemudian dianalisa dengan menggunakan *Elemental Analyzer* (CHN628 Analyzer) dan GC-MS Analyzer.

3.5.9. Diagram Alir Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Katalis



Gambar 3.9 Diagram Alir Proses Hidrocracking Minyak Nyamplung Dengan Variasi Katalis.

3.5.10. Analisa Minyak Nyamplung dengan GC MS

Sebelum proses *hydrocracking* dilakukan, sampel minyak nyamplung terlebih dahulu dilakukan analisa GC-MS, hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa yang terdapat dari suatu sampel uji dan juga dapat menentukan persentase komposisi dari masing-masing senyawa yang terkandung didalamnya. Namun sebelum dilakukan analisa GC-MS, minyak nyamplung tersebut harus dilakukan derivatisasi agar memiliki volatil yang cocok sehingga dapat dilakukan analisa GC-MS.

Analisa GC-MS dilakukan dengan cara memasukkan sampel ke dalam vial yang tertutup, lalu senyawa volatil dari sampel tersebut kemudian diinjeksikan pada kolom GC-MS yang bersifat *nonpolar* yang digunakan dengan mengatur program berdasarkan metode GCMS yang telah ditentukan. Hasil analisis berupa kromatogram yang selanjutnya ditelusuri dengan menggunakan library pada spektrometri massa. Dari analisis ini dapat diperoleh senyawa-senyawa yang terdapat dari sampel uji dan juga dapat diperoleh persentase dari masing-masing senyawa yang dihasilkan.



Gambar 3.10 GC-MS (Gas Chromatography Mass Spectrometry).

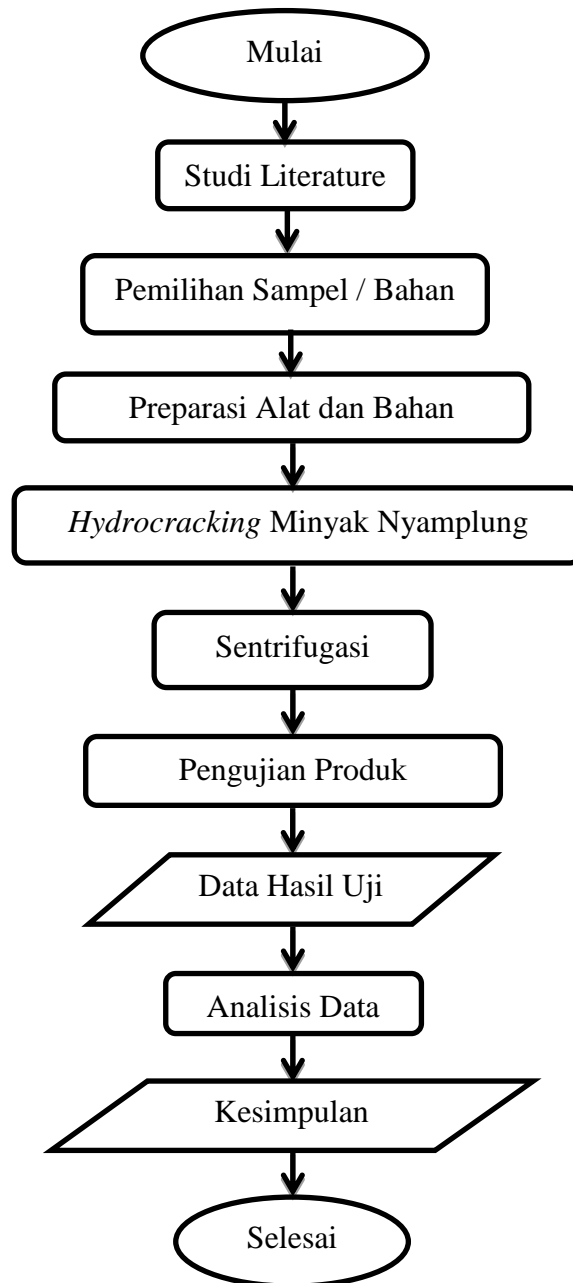
3.5.11. Analisa Elemental

Analisa CHN digunakan untuk menentukan besarnya komposisi dari unsur karbon, hydrogen dan nitrogen yang dimiliki dari suatu sampel uji. Besarnya komposisi dari masing-masing unsur tersebut dinyatakan dalam persen (%). Analisa CHN dilakukan dengan memasukkan sampel uji kedalam vial yang tertutup yang terdapat di dalam alat *CHN Analyzer*. Sampel ini kemudian dibakar hingga suhu 950°C . Hasil pembakaran dari sampel ini kemudian dideteksi oleh detector untuk diketahui seberapa besar persentase komposisi dari unsur karbon, hydrogen dan nitrogen yang terdapat didalam sampel tersebut. Persentase dari unsur karbon, hydrogen dan nitrogen ini akan berfungsi untuk menentukan seberapa besar panas pembakaran (*caloric value*) yang mampu dihasilkan dari sampel tersebut.



Gambar 3.11 Elemental Analyzer (Leco CHN628).

3.5.12. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan proses *hydrocracking* berbahan dasar minyak nyamplung dengan menggunakan katalis NiMo/Al₂O₃ yang dikaji dibawah pengaruh kondisi suhu, tekanan hidrogen, waktu dan persentase katalis. Proses *hydrocracking* pada penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan suhu pemanasan (325, 350 dan 375 °C) , tekanan H₂awal (10, 20, 30, dan 40 bar), waktu (60, 105, 150, 195 dan 240 menit) dan persentase katalis (0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%). Produk *hydrocracking* yang dihasilkan kemudian dikaji berdasarkan 2 parameter analisa yaitu nilai kalor dan GC-MS. Produk *hydrocracking* terbaik akan dianalisa lebih lanjut terkait massa jenis dan titik beku yang dihasilkan. Masing-masing analisa tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

4.1 Analisa Bahan Baku Minyak Nyamplung

Pada pembahasan ini, minyak nyamplung yang digunakan berasal dari daerah Cilacap Jawa Tengah. Analisa bahan baku minyak nyamplung ditentukan berdasarkan 2 parameter analisa yaitu analisa GCMS dan analisa nilai kalor. Hasil kedua analisa tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

4.1.1 Analisa GC-MS Minyak Nyamplung

Analisa GC-MS bertujuan untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung didalam minyak nyamplung, serta besarnya persentase senyawa-senyawa yang dihasilkan. Berikut ditampilkan hasil analisa GC-MS minyak nyamplung :

Tabel 4.1 Hasil Analisa GC-MS Minyak Nyamplung.

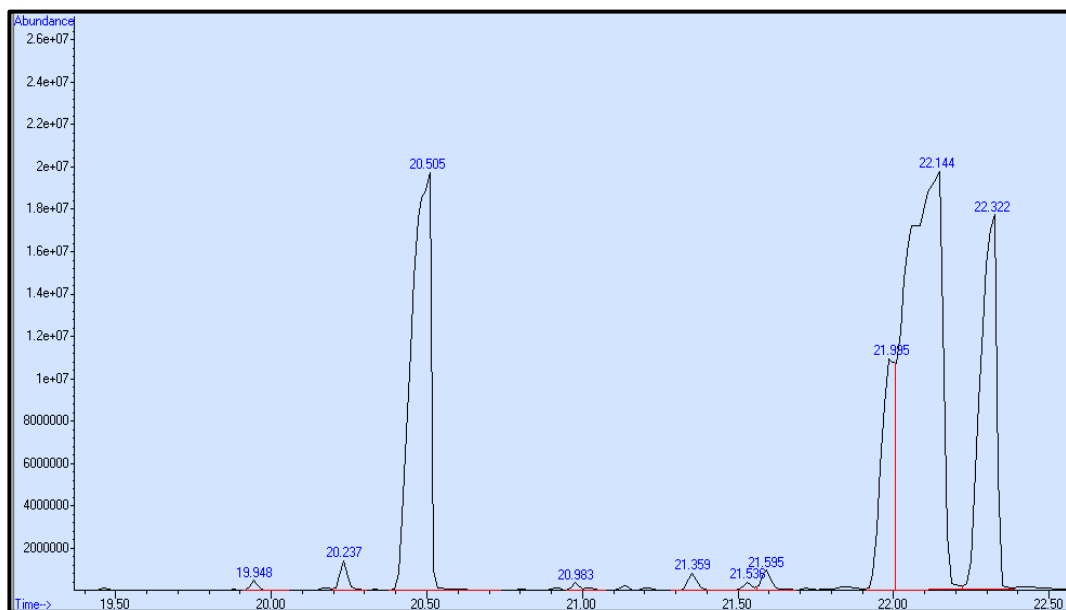
RT (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)	
			Eksperiment	Literatur ^{a)}
20.509	Palmatic Acid, TMS	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	21.48	14.20
21.996	Linoleic Acid, TMS	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	7.25	28.10
22.148	Oleic Acid, TMS	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	41.10	39.80

22.324	Stearic Acid, TMS	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	15.78	15.90
Luas Total			85.61	98.00

*Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1.75% yang ditampilkan

^{a)}Literatur mengacu kepada hasil penelitian yang dilakukan oleh Chyuan dkk (2014)

Berikut ditampilkan hasil spektrum yang diperoleh dari hasil analisa GC-MS minyak nyamplung :



Gambar 4.1. Hasil Spektrum GC-MS Minyak Nyamplung.

Menurut Chyuan (2014), komposisi asam lemak nabati (*free fatty acid*) terbesar yang terkandung didalam minyak nyamplung adalah asam oleic (*oleic acid*). Berdasarkan hasil analisa GC-MS, diketahui bahwa asam oleic merupakan asam lemak nabati yang memiliki komposisi terbesar didalam minyak nyamplung dengan persentase mencapai 41.10 % (persentase *asam oleic* teramati berdasarkan luas peak yang dihasilkan). Sehingga, hal ini sesuai dengan kajian literature yang ada. Selain itu, hasil analisa GC-MS menunjukkan bahwa keseluruhan asam lemak yang dihasilkan mengandung ikatan oksigen.

4.1.2 Analisa Nilai Kalor

Analisa nilai kalor minyak nyamplung bertujuan untuk mengetahui besarnya energi yang terdapat didalam minyak nyamplung. Besarnya nilai kalor bahan baku minyak nyamplung ditentukan berdasarkan hasil pengujian elemental

dengan menggunakan *Elemental Analyzer (CHN628 Analyzer)*. Melalui analisa *elemental* diperoleh besarnya persentase kandungan unsur karbon, hidrogen, dan nitrogen yang terkandung didalam bahan baku. Berikut ditampilkan hasil analisa elemental bahan baku minyak nyamplung :

Tabel 4.2 Hasil Analisa Elemental dari Minyak Nyamplung.

Sampel	Karbon (%)	Hidrogen (%)	Nitrogen (%)	Oksigen ^{a)} (%)
Minyak Nyamplung	77.564	11.281	0.000	11.155

^{a)}Dihitung berdasarkan selisih $[100 - (C\% + H\% + N\%)]$.

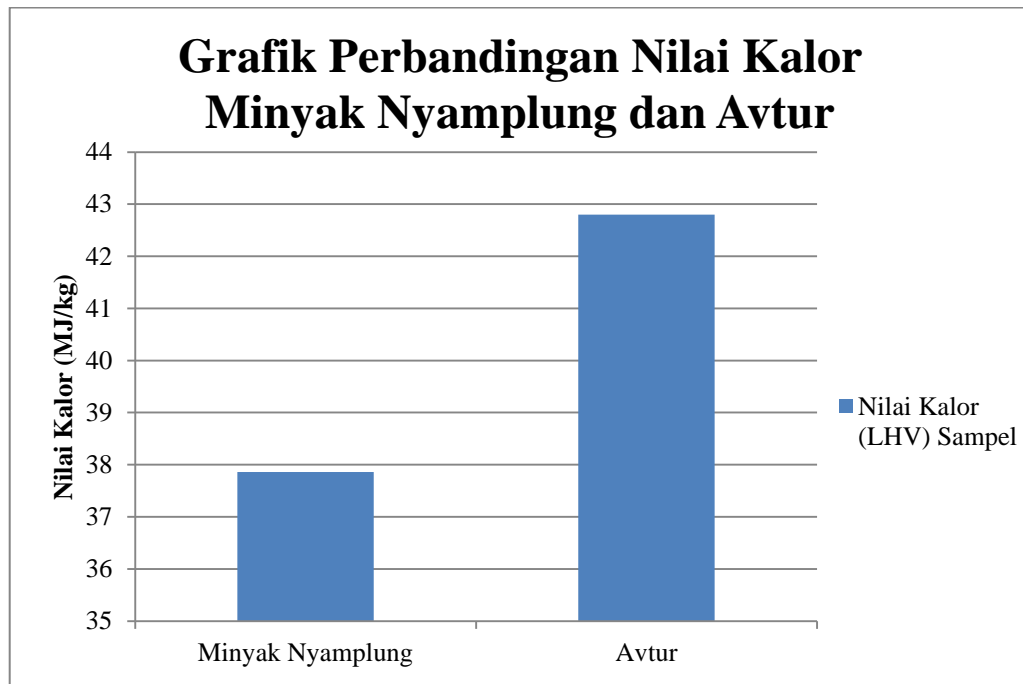
Berdasarkan Tabel 4.2 diatas, diketahui bahwa persentase karbon dan hidrogen yang terkandung didalam minyak nyamplung masing-masing sebesar 77.564 % dan 11.281%. Serta, kandungan oksigen yang dimilikinya cukup tinggi yaitu sebesar 11.155%. Hal ini sejalan dengan hasil analisa GC-MS yang menunjukkan adanya kandungan oksigen didalam bahan baku minyaknyamplung. Berdasarkan hasil analisa GC-MS, keseluruhan asam lemak nabati yang dihasilkan mengandung ikatan oksigen, sehingga kadar oksigen yang terkandung didalamnya masih cukup tinggi.

Dari hasil analisa elemental tersebut kemudian dihitung besarnya nilai kalor bahan baku minyak nyamplung dengan menggunakan persamaan (2-1). Perhitungan nilai kalor minyak nyamplung dapat dilihat pada lampiran 2. Berdasarkan hasil perhitungan nilai kalor yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.3. Hasil analisa Elemental dan Perhitungan Nilai Kalor Minyak Nyamplung.

Sampel	Nilai Kalor (MJ/kg)
	LHV
Minyak Nyamplung	37.862
Avtur ^{b)}	42.8

^{b)}Karakteristik bahan bakar avtur (Philippe, 2006)



Grafik 4.1. Perbandingan Nilai Kalor Minyak Nyamplung dan Avtur.

Berdasarkan perhitungan nilai kalor yang terdapat pada tabel 4.3, diketahui besarnya nilai kalor minimum (LHV) minyak nyamplung adalah sebesar 37.862 MJ/kg. Sedangkan menurut Bryan (2005), standar minimum nilai kalor bahan bakar avtur yang dipersyaratkan berdasarkan ASTM Internasional yaitu sebesar 42.8 MJ/kg. Sehingga, nilai kalor minimum minyak nyamplung masih lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai kalor minimum bahan bakar avtur. Oleh karena itu, diperlukan proses *hydrocracking* yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kalor bahan baku minyak nyamplung tersebut.

4.2 Analisa *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Suhu

Berdasarkan hasil analisa nilai kalor minyak nyamplung yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa nilai kalor minyak nyamplung yang dihasilkan lebih rendah dari standar minimum bahan bakar avtur yang dipersyaratkan. Sehingga, proses *hydrocracking* diperlukan untuk meningkatkan nilai kalor minyak nyamplung agar sesuai dengan standar minimal yang dipersyaratkan. Selain itu, proses *hydrocracking* dengan variasi suhu ini juga

bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan pengaruh suhu proses terhadap besarnya nilai kalor dari masing-masing produk yang dihasilkan.

Pada penelitian ini, proses *hydrocracking* minyak nyamplung dilakukan dengan memvariasikan suhu proses pemanasan yaitu sebesar 325°C, 350°C, dan 375°C pada tekanan, waktu dan jumlah katalis yang konstan. Tekanan H₂ awal yang digunakan yaitu 10 bar, yang di proses selama 150 menit dengan jumlah katalis NiMo/Al₂O₃ sebanyak 1% (w/w) dari massa minyak nyamplung yang digunakan. Produk *hydrocracking* yang dihasilkan kemudian dikaji terkait besarnya nilai kalor yang dihasilkan.

4.2.1 Analisa Nilai Kalor *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Suhu

Analisa nilai kalor *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi suhu ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu proses terhadap besarnya nilai kalor dari masing-masing produk yang dihasilkan. Melalui analisa elemental yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.4. Hasil analisa elemental *hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan variasi suhu.

Sampel	Karbon (%)	Hydrogen (%)	Nitrogen (%)	Oksigen ^{a)} (%)
Minyak Nyamplung	77.564	11.281	0.000	11.155
325°C	79.205	11.738	0.000	9.057
350°C	82.996	12.239	0.008	4.757
375°C	84.773	12.201	0.000	3.026

^{a)}Dihitung berdasarkan selisih $[100 - (C\% + H\% + N\%)]$.

Berdasarkan tabel 4.4 diatas, diketahui bahwa persentase karbon dan hidrogen yang dihasilkan dari proses *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi suhu mengalami peningkatan, sedangkan persentase oksigen yang

dihasilkan mengalami penurunan jika dibandingkan dengan bahan baku minyak nyamplung yang digunakan. Kemudian persentase karbon terbesar dan oksigen terendah diperoleh pada penggunaan suhu pemanasan sebesar 375°C yaitu masing – masing sebesar 84.773% dan 3.026%.

Secara keseluruhan, semakin tinggi suhu proses pemanasan yang digunakan pada proses *hydrocracking* ini maka akan meningkatkan persentase karbon dan hidrogen, serta menurunkan persentase oksigen yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan temperature yang tinggi pada proses perengkahan katalitik (*cracking*) akan meningkatkan proses pemutusan ikatan rantai karbon dan oksigen yang ada pada minyak nyamplung.

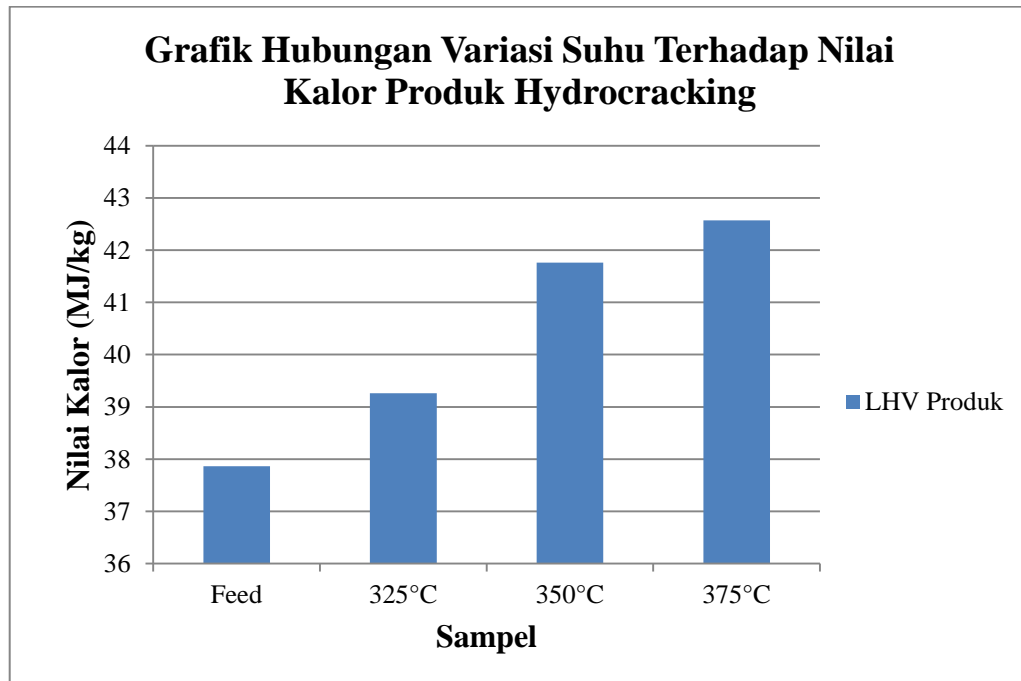
Dari hasil analisa elemental tersebut kemudian dihitung besarnya nilai kalor dari produk *hydrocracking* yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan (2-1). Perhitungan nilai kalor minyak nyamplung dengan variasi suhu dapat dilihat pada lampiran 3. Berdasarkan hasil perhitungan nilai kalor yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Nilai Kalor produk *hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan variasi suhu.

Sampel	Nilai Kalor (MJ/kg)
	LHV
Minyak Nyamplung	37.862
325°C	39.259
350 °C	41.760
375 °C	42.571
Avtur ^{c)}	42.8

^{c)}Karakteristik bahan bakar avtur (Philippe, 2006)

Berikut ini adalah grafik perbandingan nilai kalor terhadap variasi suhu yang dihasilkan dari proses *hydrocracking* minyak nyamplung :



Grafik 4.2. Perbandingan Nilai Kalor Produk *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Terhadap Variasi Suhu.

Berdasarkan perhitungan nilai kalor yang terdapat pada tabel 4.5, diketahui bahwa proses *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi suhu pemanasan sebesar 325 °C, 350 °C dan 375 °C mampu meningkatkan nilai kalor produk yang dihasilkan jika dibandingkan dengan bahan baku yang digunakan. Secara keseluruhan, semakin tinggi suhu proses pemanasan yang digunakan pada proses *hydrocracking* ini, maka nilai kalor yang dihasilkan akan semakin tinggi. Dimana kondisi optimum diperoleh pada penggunaan suhu pemanasan sebesar 375°C dengan nilai kalor minimum (LHV) yang dihasilkan mencapai 42.571 MJ/kg. Dimana, nilai kalor ini telah mendekati dengan standar minimum nilai kalor bahan bakar avtur yang di persyaratkan berdasarkan ASTM Internasional yaitu sebesar 42.8 MJ/kg. Namun, nilai kalor minimum (LHV) yang dihasilkan masih lebih rendah sekitar 0.229 MJ/kg.

Berdasarkan hal ini, kondisi optimum dari proses *hydrocracking* dengan variasi suhu diperoleh pada suhu 375 °C karena memiliki nilai kalor terbesar,

namun masih belum memenuhi standar yang dipersyaratkan bahan bakar avtur. Oleh karena itu, perludilakukan proses *hydrocracking* lebih lanjut dengan memvariasikan tekanan proses H₂, yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kalor produk yang dihasilkan. Kemudian, suhu 375°C dijadikan sebagai suhu acuan yang digunakan untuk proses *hydrocracking* dengan variasi tekanan yang akan dilakukan pada proses selanjutnya.

4.3 Analisa *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Tekanan

Berdasarkan hasil analisa nilai kalor produk *hydrocracking* minyak nyamplung yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa kondisi optimum pada proses *hydrocracking* dengan variasi suhu diperoleh pada suhu 375 °C karena memiliki nilai kalor terbesar yaitu mencapai 42.571 MJ/kg. Namun, masih belum memenuhi standar minimum bahan bakar avtur yaitu 42.8 MJ/kg. Salah satu cara untuk meningkatkan nilai kalor suatu bahan bakar yaitu dengan cara memvariasikan tekanan H₂ selama proses *hydrocracking* berlangsung. Penambahan gas hidrogen sangat berpengaruh terhadap nilai kalor produk yang dihasilkan, karena selain berperan sebagai reaktan, penambahan gas hidrogen juga berperan penting dalam proses pemutusan ikatan rangkap (*unsaturated*) menjadi ikatan tunggal (*saturated*).

Oleh karena itu, proses *hydrocracking* dilanjutkan dengan memvariasikan tekanan proses H₂ yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kalor produk yang dihasilkan agar sesuai dengan standar minimal bahan bakar avtur yang dipersyaratkan. Pada penelitian ini, variasi tekanan H₂ yang digunakan yaitu sebesar 10 bar, 20 bar, 30 bar dan 40 bar yang diproses pada suhu, waktu dan jumlah katalis yang konstan. Suhu yang digunakan adalah 375 °C (dipilih berdasarkan kondisi optimum) di proses selama 150 menit dengan jumlah katalis NiMo/Al₂O₃ sebanyak 1%(w/w) dari massa minyak nyamplung yang digunakan. Produk *hydrocracking* yang dihasilkan kemudian dikaji terkait besarnya nilai kalor yang dihasilkan:

4.3.1 Analisa Nilai Kalor *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Tekanan

Analisa nilai kalor *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi tekanan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan proses terhadap besarnya nilai kalor dari masing-masing produk yang dihasilkan. Serta, untuk mengetahui tekanan hydrogen minimal yang diperlukan untuk mencapai standar energi minimal yang dibutuhkan. Melalui analisa elemental yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.6. Hasil analisa elemental *hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan variasi tekanan.

Sampel	Karbon (%)	Hidrogen (%)	Nitrogen (%)	Oksigen ^{a)} (%)
Minyak Nyamplung	77.564	11.281	0.000	11.155
10 Bar	84.773	12.201	0.000	3.026
20 Bar	82.788	11.842	0.000	5.37
30 Bar	83.363	12.18	0.000	4.457
40 Bar	84.604	12.504	0.000	2.892

^{a)}Dihitung berdasarkan selisih $[100 - (C\% + H\% + N\%)]$.

Berdasarkan tabel 4.6 diatas, diketahui bahwa persentase karbon dan hidrogen yang dihasilkan dari proses *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi tekanan mengalami peningkatan, sedangkan persentase oksigen yang dihasilkan mengalami penurunan jika dibandingkan dengan bahan baku minyak nyamplung yang digunakan. Kemudian, persentase hidrogen terbesar dan oksigen terendah diperoleh pada penggunaan tekanan proses sebesar 40 bar yaitu masing – masing sebesar 12.504% dan 2.892%.

Dari hasil analisa elemental tersebut kemudian dihitung besarnya nilai kalor dari produk *hydrocracking* yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan (2-1). Perhitungan nilai kalor produk *hydrocracking* minyak nyamplung dengan

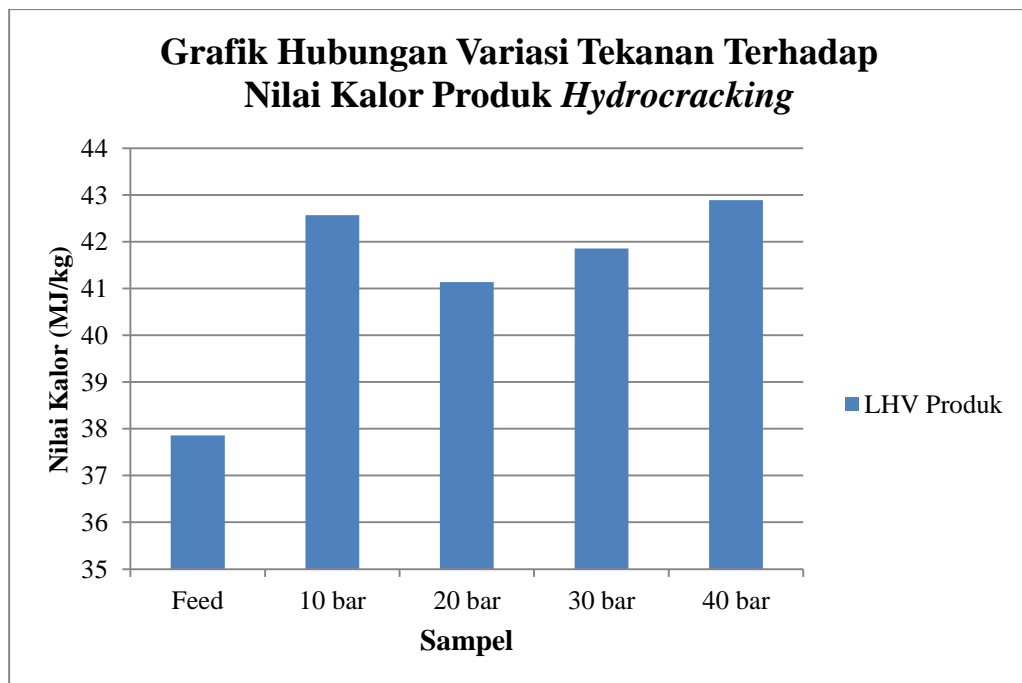
variasi tekanan dapat dilihat pada lampiran 4. Berdasarkan hasil perhitungan nilai kalor yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Nilai Kalor produk hydrocracking Minyak Nyamplung dengan variasi tekanan.

Sampel	Nilai Kalor (MJ/kg)
	LHV
Minyak Nyamplung	37.862
10 Bar	42.571
20 Bar	41.135
30 Bar	41.859
40 Bar	42.887
Avtur ^{c)}	42.8

^{c)}Karakteristik bahan bakar avtur (Philippe, 2006)

Berikut ini adalah grafik perbandingan nilai kalor terhadap variasi tekanan H₂ yang dihasilkan dari proses *hydrocracking* minyak nyamplung :



Grafik4.3. Perbandingan Nilai Kalor Produk *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Terhadap Variasi Tekanan.

Berdasarkan perhitungan nilai kalor yang terdapat pada tabel 4.7, diketahui bahwa proses hydrocracking minyak nyamplung dengan variasi tekanan H₂ sebesar 10 bar, 20 bar, 30 bar dan 40 bar mampu meningkatkan nilai kalor produk yang dihasilkan jika dibandingkan dengan bahan baku yang digunakan. Dimana, kondisi optimum diperoleh pada penggunaan tekanan proses H₂ sebesar 40 bar dengan nilai kalor minium (LHV) yang dihasilkan mencapai 42.887 MJ/kg. Proses dengan penggunaan tekanan proses H₂ sebesar 40 bar, telah memenuhi standar minimum nilai kalor bahan bakar avtur yang di persyaratkan berdasarkan ASTM Internasional yaitu sebesar 42.8 MJ/kg.

Berdasarkan hal ini, kondisi optimum pada proses hydrocracking dengan variasi tekanan H₂ diperoleh pada tekanan 40 bar, karena memiliki nilai kalor terbesar yaitu mencapai 42.887 MJ/kg. Dimana, nilai ini telah memenuhi standar yang dipersyaratkan bahan bakar avtur yaitu minimal 42.8 MJ/kg. Kemudian, untuk meningkatkan efisiensi dalam proses pembuatan bahan bakar dilakukan proses *hydrocracking* lebih lanjut dengan memvariasikan waktu proses pemanasan. Lalu, tekanan 40 bar dijadikan sebagai tekanan acuan yang digunakan untuk proses *hydrocracking* dengan variasi waktu yang akan dilakukan pada proses selanjutnya.

4.4 Analisa *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Waktu

Berdasarkan hasil analisa nilai kalor produk hydrocracking minyak nyamplung yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa kondisi optimum pada proses hydrocracking dengan variasi tekanan diperoleh pada tekanan 40 bar, karena memiliki nilai kalor terbesar yaitu mencapai 42.887 MJ/kg. Dimana, nilai ini telah memenuhi standar yang dipersyaratkan bahan bakar avtur yaitu minimal 42.8 MJ/kg.

Untuk meningkatkan efisiensi dalam proses pembuatan bahan bakar, maka dilakukan proses *hydrocracking* lebih lanjut dengan memvariasikan waktu proses pemanasan. Pada penelitian ini, variasi waktu yang digunakan yaitu selama 60 menit, 105 menit, 150 menit, 195 menit dan 240 menit, yang diproses pada suhu, tekanan dan jumlah katalis yang konstan. Suhu yang digunakan adalah 375°C

(dipilih berdasarkan kondisi optimum), yang di proses pada tekanan 40 bar (dipilih berdasarkan tekanan optimum) dengan jumlah katalis NiMo/Al₂O₃ sebanyak 1%(w/w) dari massa minyak nyamplung yang digunakan. Produk hydrocracking yang dihasilkan kemudian dikaji terkait besarnya nilai kalor yang dihasilkan:

4.4.1 Analisa Nilai Kalor *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Waktu

Analisa nilai kalor *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi waktu ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu proses terhadap besarnya nilai kalor dari masing-masing produk yang dihasilkan. Melalui analisa elemental yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.8. Hasil analisa elemental *hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan variasi waktu.

Sampel	Karbon (%)	Hidrogen (%)	Nitrogen (%)	Oksigen ^{a)} (%)
Minyak Nyamplung	77.564	11.281	0.000	11.155
60 Menit	81.581	12.290	0.000	6.129
105 Menit	82.951	12.301	0.000	4.748
150 Menit	84.604	12.504	0.000	2.892
195 Menit	84.149	12.671	0.000	3.180
240 Menit	83.273	12.480	0.000	4.247

^{a)}Dihitung berdasarkan selisih $[100 - (C\% + H\% + N\%)]$.

Berdasarkan tabel 4.8 diatas, diketahui bahwa persentase karbon dan hidrogen yang dihasilkan dari proses hydrocracking minyak nyamplung dengan variasi waktu mengalami peningkatan, sedangkan persentase oksigen yang dihasilkan mengalami penurunan jika dibandingkan dengan bahan baku minyak nyamplung yang digunakan. Peningkatan waktu proses antara 60 menit hingga

150 menit, menunjukkan peningkatan persentase karbon dan hydrogen, serta penurunan persentase oksigen. Dimana, persentase hidrogen terbesar dan oksigen terendah diperoleh pada penggunaan waktu proses selama 150 menit yaitu masing – masing sebesar 84.604 % dan 2.892%. Pada penggunaan waktu proses lebih besar dari 150 menit, produk yang dihasilkan cenderung menghasilkan persentase karbon yang lebih rendah, serta persentase oksigen yang lebih besar.

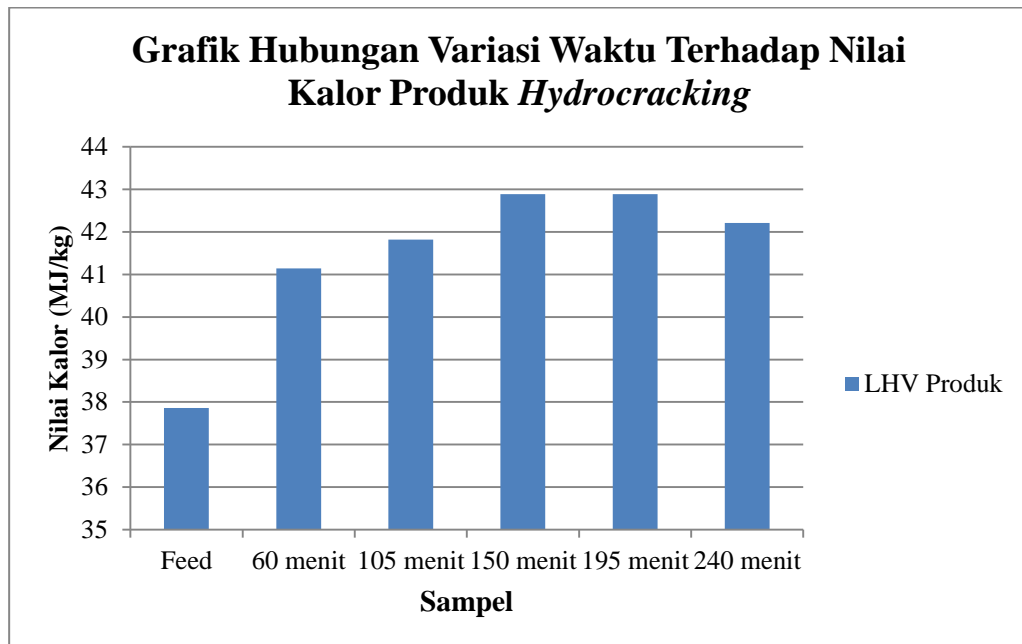
Dari hasil analisa elemental tersebut kemudian dihitung besarnya nilai kalor dari produk hydrocracking yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan (2-1). Perhitungan nilai kalor produk hydrocracking minyak nyamplung dengan variasi waktu dapat dilihat pada lampiran 5. Berdasarkan hasil perhitungan nilai kalor yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Nilai Kalor produk hydrocracking Minyak Nyamplung dengan variasi waktu.

Sampel	Nilai Kalor (MJ/kg)
	LHV
Minyak Nyamplung	37.862
60 Menit	41.139
105 Menit	41.818
150 Menit	42.887
195 Menit	42.887
240 Menit	42.210
Avtur ^{c)}	42.8

^{c)}Karakteristik bahan bakar avtur (Philippe, 2006)

Berikut ini adalah grafik perbandingan nilai kalor terhadap variasi waktu yang dihasilkan dari proses *hydrocracking* minyak nyamplung :



Grafik 4.4. Perbandingan Nilai Kalor Produk *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Terhadap Variasi Waktu.

Berdasarkan perhitungan nilai kalor yang terdapat pada tabel 4.9, diketahui bahwa proses *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi waktu selama 60 menit, 105 menit, 150 menit, 195 menit dan 240 menit, mampu meningkatkan nilai kalor produk yang dihasilkan jika dibandingkan dengan bahan baku yang digunakan. Dimana, kondisi optimum diperoleh pada waktu proses selama 150 menit dengan nilai kalor minimum (LHV) yang dihasilkan mencapai 42.887 MJ/kg. Nilai kalor ini telah memenuhi standar minimum nilai kalor bahan bakar avtur yang di persyaratkan berdasarkan ASTM Internasional yaitu sebesar 42.8 MJ/kg.

Berdasarkan hal ini, kondisi optimum pada proses *hydrocracking* dengan variasi waktu diperoleh pada waktu proses selama 150 menit, karena memiliki nilai kalor terbesar yaitu mencapai 42.887 MJ/kg. Kemudian, untuk meningkatkan efisiensi dalam proses pembuatan bahan bakar dilakukan proses *hydrocracking* lebih lanjut dengan memvariasikan persentase katalis yang digunakan. Lalu, waktu proses 150 menit dijadikan sebagai waktu acuan yang digunakan untuk proses *hydrocracking* dengan variasi persentase katalis yang akan dilakukan pada proses selanjutnya.

4.5 Analisa *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Jumlah Katalis

Berdasarkan hasil analisa nilai kalor produk *hydrocracking* minyak nyamplung yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa kondisi optimum pada proses *hydrocracking* dengan variasi waktu diperoleh pada waktu proses selama 150 menit, karena memiliki nilai kalor terbesar yaitu mencapai 42.887 MJ/kg. Dimana, nilai ini telah memenuhi standar yang dipersyaratkan bahan bakar avtur yaitu minimal 42.8 MJ/kg. Untuk meningkatkan efisiensi dalam proses pembuatan bahan bakar, maka dilakukan proses *hydrocracking* lebih lanjut dengan memvariasikan jumlah katalis yang digunakan.

Katalis pada proses *hydrocracking* berperan untuk meningkatkan laju reaksi. Sehingga, penambahan katalis dalam proses *hydrocracking* merupakan salah satu faktor penting yang diperlukan dalam proses perengkahan hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai yang lebih pendek. Katalis Ni-Mo/Al₂O₃ ini telah banyak digunakan sebagai katalis yang paling efektif dalam melakukan proses *hydrocracking*, karena diketahui memiliki aktivitas yang baik dalam proses *hydrotreating*, *cracking*, dan lain-lain (Zhao *et al.*, 2015). Hal ini disebabkan karena adanya situs asam yang terdapat pada katalis Ni-Mo/Al₂O₃ yang berperan dalam proses perengkahan hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek.

Pada penelitian ini, variasi jumlah katalis yang digunakan yaitu 0% katalis (tanpa menggunakan katalis), 0.5% katalis (w/w), 1.5% katalis (w/w), 2% katalis (w/w), dan 2.5% katalis (w/w), yang diproses pada suhu, tekanan dan waktu yang konstan. Suhu yang digunakan adalah 375 °C yang di proses pada tekanan 40 barselama 150 menit (dipilih berdasarkan kondisi optimum). Produk *hydrocracking* yang dihasilkan kemudian dikaji terkait besarnya nilai kalor yang dihasilkan:

4.5.1 Analisa Nilai Kalor *Hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan Variasi Jumlah Katalis

Analisa nilai kalor *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi jumlah katalis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah katalis terhadap

besarnya nilai kalor dari masing-masing produk yang dihasilkan. Melalui analisa elemental yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.10 Hasil analisa elemental *hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan variasi jumlah katalis.

Sampel	Karbon (%)	Hidrogen (%)	Nitrogen (%)	Oksigen ^{a)} (%)
Minyak Nyamplung	77.564	11.281	0.000	11.155
0 %	83.776	11.792	0.000	4.432
0.5 %	84.094	12.154	0.000	3.752
1 %	84.604	12.504	0.000	2.892
1.5 %	85.261	12.362	0.000	2.377
2 %	85.158	12.580	0.000	2.262
2.5 %	84.087	12.394	0.000	3.519

^{a)}Dihitung berdasarkan selisih $[100 - (C\% + H\% + N\%)]$.

Berdasarkan tabel 4.10 diatas, diketahui bahwa persentase karbon dan hidrogen yang dihasilkan dari proses *hydrocracking* minyak nyamplung dengan variasi jumlah katalis mengalami peningkatan, sedangkan persentase oksigen yang dihasilkan mengalami penurunan jika dibandingkan dengan bahan baku minyak nyamplung yang digunakan.

Peningkatan persentase katalis pada proses *hydrocracking* minyak nyamplung antara 0% (w/w) hingga 2% (w/w), menunjukkan peningkatan persentase karbon dan hidrogen, serta penurunan persentase oksigen. Dimana, persentase hidrogen terbesar dan oksigen terendah diperoleh pada penggunaan persentase katalis sebesar 2% (w/w) yaitu masing – masing sebesar 12.580 % dan 2.262%. Pada penggunaan persentase katalis lebih besar dari 2% (w/w), produk yang dihasilkan cenderung menghasilkan persentase karbon dan hidrogen yang lebih rendah, serta persentase oksigen yang lebih besar.

Dari hasil analisa elemental tersebut kemudian dihitung besarnya nilai kalor dari produk *hydrocracking* yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan (2-1). Perhitungan nilai kalor produk *hydrocracking* minyak nyamplung dengan

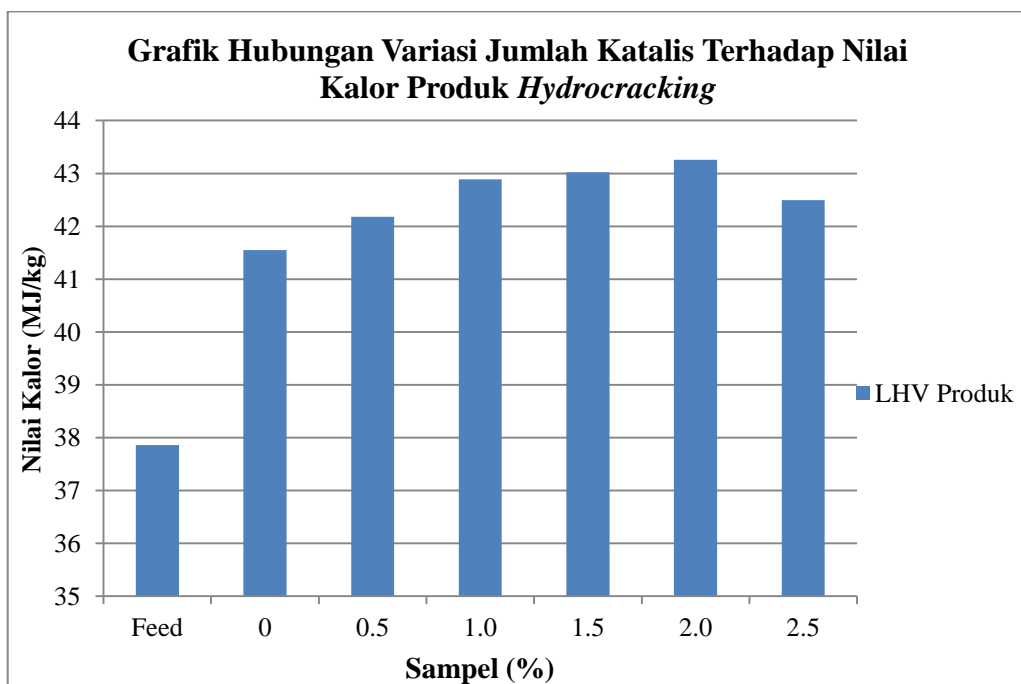
variasi jumlah katalis dapat dilihat pada lampiran 6. Berdasarkan hasil perhitungan nilai kalor yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Nilai Kalor produk *hydrocracking* Minyak Nyamplung dengan variasi jumlah katalis.

Sampel	Nilai Kalor (MJ/kg)
	LHV
Minyak Nyamplung	37.862
0 %	41.549
0.5 %	42.179
1 %	42.887
1.5 %	43.019
2 %	43.256
2.5 %	42.492
Avtur ^{c)}	42.8

^{c)}Karakteristik bahan bakar avtur (Philippe, 2006)

Berikut ini adalah grafik perbandingan nilai kalor terhadap variasi jumlah katalis yang dihasilkan dari proses *hydrocracking* minyak nyamplung :



Grafik 4.5. Perbandingan Nilai Kalor Produk *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Terhadap Variasi Jumlah Katalis.

Berdasarkan perhitungan nilai kalor yang terdapat pada tabel 4.11, diketahui bahwa proses hydrocracking minyak nyamplung dengan variasi jumlah katalis 0% katalis (tanpa menggunakan katalis), 0.5% (w/w), 1.5%(w/w), 2%(w/w), dan 2.5%(w/w), mampu meningkatkan nilai kalor produk yang dihasilkan jika dibandingkan dengan bahan baku yang digunakan. Dimana, kondisi optimum diperoleh pada penggunaan persentase katalis sebanyak 2% (w/w) dengan nilai kalor minimum (LHV) yang dihasilkan mencapai 43.256MJ/kg. Nilai kalor ini telah memenuhi standar minimum nilai kalor bahan bakar avtur yang di persyaratkan berdasarkan ASTM Internasional yaitu sebesar 42.8 MJ/kg.

4.6 Analisa GC-MS Produk *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Terbaik

Berdasarkan hasil analisa nilai kalor produk hydrocracking minyak nyamplung dengan variasi suhu, tekanan H₂, waktu dan jumlah katalis yang telah dijelaskan sebelumnya, diketahui bahwa kondisi optimal proses *hydrocracking* minyak nyamplung tercapai pada penggunaan tekanan hidrogen awal sebesar 40 bar yang diproses pada suhu 375°C dalam waktu 150 menit dengan jumlah katalis NiMo/Al₂O₃ yang digunakan adalah sebanyak 2% (w/w). Sehingga, analisa GC-MS difokuskan pada produk *hydrocracking* terbaik. Berikut ditampilkan hasil analisa GC-MS produk *hydrocracking* minyak nyamplung terbaik yaitu sebagai berikut:

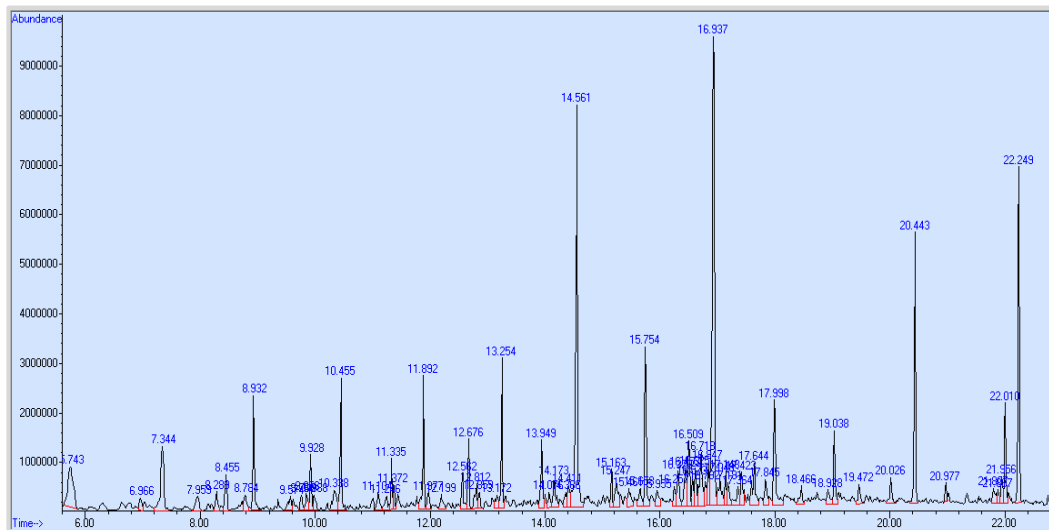
Tabel 4.12 Hasil Analisa GC-MS Produk Hydrocracking Minyak Nyamplung Terbaik
(Kondisi Proses : 375 °C, 40 Bar, 150 Menit, 2% Katalis NiMo/Al₂O₃ (w/w).

RT (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)	
			Minyak Nyamplung	Eksperimen
5.738	Nonane	C ₉ H ₂₀	-	2.39
7.339	Decane	C ₁₀ H ₂₂	-	2.29
8.927	Undecane	C ₁₁ H ₂₄	-	2.14
10.452	Dodecane	C ₁₂ H ₂₆	-	2.17
11.889	Tridecane	C ₁₃ H ₂₈	-	2.14
13.250	Tetradecane	C ₁₄ H ₃₀	-	2.15
14.548	Pentadecane	C ₁₅ H ₃₂	-	8.58
15.745	Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	-	2.89
16.501	8-Heptadecene	C ₁₇ H ₃₄	-	5.28
16.917	Heptadecane	C ₁₇ H ₃₆	-	11.89
17.988	Octadecane	C ₁₈ H ₃₈	-	2.56
20.433	Palmitic Acid, TMS	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	21.48	5.02
21.996	Linoleic Acid, TMS	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	7.25	-
22.148	Oleic Acid, TMS	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	41.1	-
22.236	Stearic Acid, TMS	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	15.78	4.81
Luas Total			85.61	65.82

*Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1.75% yang ditampilkan

*TMS (Trimethylsilyl Ester) : penderivative GC-MS

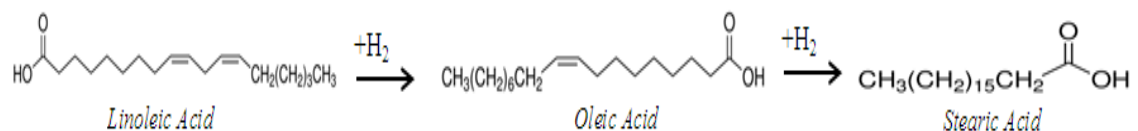
Berikut ditampilkan hasil spektrum GC-MS yang diperoleh dari produk *hydrocracking* minyak nyamplung terbaik yang diproses pada kondisi suhu 375 °C, dengan tekanan hydrogen awal sebesar 40 bar dalam waktu 150 menit dengan jumlah katalis NiMo/Al₂O₃ sebanyak 2% (w/w):



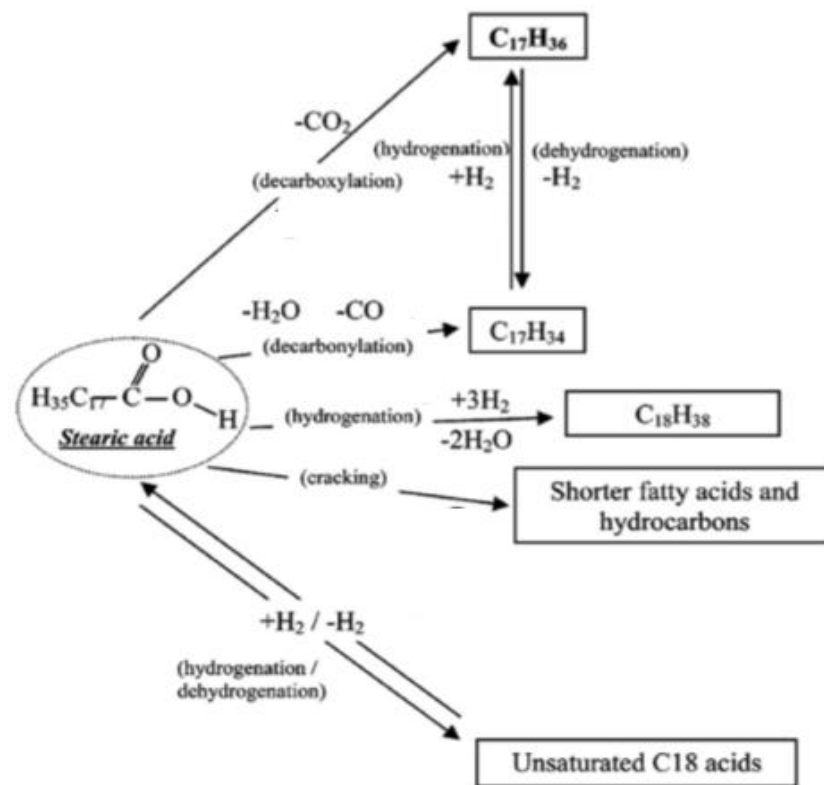
Gambar 4.2. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hydrocracking Terbaik (Kondisi Proses : 375°C, 40 Bar, 150 Menit, 2% Katalis NiMo/Al₂O₃ (w/w)).

Berdasarkan hasil analisa GC-MS, menunjukkan bahwa kandungan asam lemak bebas (*free fatty acid*) yang terdapat di dalam bahan baku minyak nyamplung telah terkonversi menjadi senyawa hidrokarbon alkena (C_nH_{2n}), alkana (C_nH_{2n+2}) dan n-alkana ($n-C_nH_{2n+2}$), senyawa hidrokarbon yang dimaksud yakni *nonane*, *decane*, *undecane*, *dodecane*, *tridecane*, *tetradecane*, *pentadecane*, *hexadecane*, *heptadecane*, *8-heptadecane* dan *octadecane*.

Berdasarkan hasil analisa GC-MS tersebut, terlihat bahwa *asam linoleic* dan *asam oleic* yang terdapat pada minyak nyamplung telah terkonversi seluruhnya. Menurut Lilis (2015), konversi *linoleic acid* akan dapat membentuk *oleic acid*, *stearic acid*, *heptadecane*, dan senyawa hidrokarbon rantai pendek lainnya ($\leq C_{17}$). Sedangkan konversi asam stearic dapat membentuk *heptadecane*, *8-heptadecane*, dan *octadecane*. Berikut ditampilkan skematik konversi dari asam linoleic dan asam stearic.



Gambar 4.3. Konversi Asam Linoleic (Lilis, 2015).



Gambar 4.4. Konversi Asam Stearic (Lilis, 2015).

Menurut Amir (2014), komponen utama yang terdapat didalam bahan bakar avtur yaitu senyawa *hydrocarbonnonane*, *decane* dan *dodecane* (C₉, C₁₀ dan C₁₂). Sedangkan menurut Shinta (2014) dan Setyaningsih (2013), kandungan senyawa utama yang terdapat pada avtur yakni senyawa hidrokarbon C₇-C₁₂ dan C₁₀-C₁₄. Pada tabel 4.12 terlihat bahwa senyawa hidrokarbon setara avtur (C₉-C₁₅) telah berhasil terbentuk. pada proses *hydrocracking* minyak nyamplung dengan persentase mencapai 21.86%. Senyawa – senyawa hidrokarbon yang terbentuk antara lain : *nonane*, *decane*, *undecane*, *dodecane*, *tridecane*, *tetradecane* dan *pentadecane*.

4.7 Analisa Parameter Fisika Produk Terbaik *Hydrocracking* Minyak Nyamplung

Pada proses sebelumnya, telah diperoleh kondisi optimal proses hydrocracking minyak nyamplung yaitu pada penggunaan tekanan hidrogen awal sebesar 40 bar yang diproses pada suhu 375°C dalam waktu 150 menit dengan jumlah katalis NiMo/Al₂O₃ yang digunakan adalah sebanyak 2% (w/w). Produk terbaik kemudian dianalisa lebih lanjut terkait besarnya nilai titik beku, massa jenis dan nilai kalor yang dihasilkan. Kemudian, membandingkan hasil yang diperoleh dengan standar international bahan bakar avtur (ASTM Internasional) untuk melihat kelayakan penggunaan bioavtur yang diteliti. Hasil masing-masing analisa tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Analisa Produk Terbaik Hydrocracking Minyak Nyamplung Dengan Karakteristik Bahan Bakar Pesawat Terbang Menurut ASTM International.

No	ASTM International ^a			Eksperimen
	Parameter	Batas	Nilai	Nilai
1	Nilai Kalor	Min	42.8 MJ/kg	43.256MJ/kg
2	Titik Beku	Max	-47 °C	-22°C
3	Massa Jenis (15 ⁰ C)	Range	775 – 840 $\frac{Kg}{m^3}$	848 $\frac{Kg}{m^3}$

^aStandar spesifikasi bahan bakar avtur (Bryan, 2005).

Analisa nilai kalor produk bertujuan untuk mengetahui besarnya energi panas yang mampu dihasilkan dari suatu bahan bakar. Berdasarkan perhitungan nilai kalor (LHV) yang telah dilakukan pada proses sebelumnya, diketahui bahwa nilai kalor produk hydrocracking terbaik yang dihasilkan yaitu mencapai 43.256 MJ/kg. Berdasarkan standar internasional, bahan bakar avtur diwajibkan memenuhi persyaratan nilai kalor minimal 42.8 MJ/kg. Sehingga, nilai kalor produk hydrocracking minyak nyamplung yang dihasilkan lebih tinggi dari bahan bakar avtur. Ini menunjukkan bahwa nilai kalor produk yang dihasilkan telah memenuhi standar spesifikasi bahan bakar avtur yang dipersyaratkan.

Analisa titik beku produk bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan bahan bakar (produk *hydrocracking* minyak nyamplung) dalam mempertahankan keadaannya. Hal ini sangat penting mengingat bahan bakar avtur bekerja pada suhu rendah (-47°C). Berdasarkan standar internasional, bahan bakar avtur diwajibkan memenuhi persyaratan titik beku maksimal pada suhu -47°C . Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, diketahui bahwa titik beku produk berada di atas titik beku bahan bakar avtur. Ini menunjukkan bahwa titik beku produk yang dihasilkan belum memenuhi standar spesifikasi bahan bakar avtur yang dipersyaratkan, dengan nilai titik beku yang terukur adalah -22°C . Hal ini disebabkan karena kecenderungan senyawa yang dihasilkan melalui proses *hydrocracking* $\geq 63.43\%$ (diamati melalui analisa GC-MS) menghasilkan senyawa-senyawa hidrokarbon dan asam lemak bebas yang cenderung memiliki titik beku $> -47^{\circ}\text{C}$., sedangkan senyawa hidrokarbon yang memiliki nilai titik beku $\leq -47^{\circ}\text{C}$ hanya mencapai 2.39% . Sehingga, hal ini menyebabkan titik beku produk *hydrocracking* yang dihasilkan lebih tinggi dari standar bahan bakar avtur yang dipersyaratkan.

Analisa massa jenis produk bertujuan untuk mengetahui massa per satuan volume dari suatu bahan bakar. Hal ini sangat penting mengingat bahan bakar avtur haruslah cukup ringan agar tidak terjadi penambahan beban yang berlebihan pada pesawat. Berdasarkan standar internasional (ASTM International), avtur diwajibkan memenuhi persyaratan massa jenis dalam rentang $775-840 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, diketahui bahwa massa jenis produk berada di atas massa jenis bahan bakar avtur. Ini menunjukkan bahwa massa jenis produk yang dihasilkan belum memenuhi standar spesifikasi bahan bakar avtur yang dipersyaratkan, dengan nilai yang terukur yaitu mencapai $848 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$. Hal ini disebabkan karena pada produk *hydrocracking* yang dihasilkan, masih terdapat senyawa yang mengandung rantai karbon tinggi ($\geq \text{C}_{15}$), sehingga massa jenis produk yang dihasilkan masih cukup tinggi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian pada hasil dan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Kondisi optimal pada proses *hydrocracking* minyak nyamplung diperoleh pada penggunaan tekanan hidrogen awal sebesar 40 bar yang diproses pada suhu 375°C dalam waktu 150 menit, dengan jumlah katalis NiMo/Al₂O₃ sebanyak 2% (w/w).
2. Semakin besar suhu proses *hydrocracking* yang digunakan, nilai kalor produk yang dihasilkan semakin meningkat.
3. Peningkatan nilai kalor produk terjadi pada penggunaan waktu proses selama 60 – 195 menit dan jumlah katalis NiMo/Al₂O₃ sebanyak 0% – 2% (w/w). Serta terjadi penurunan pada penggunaan waktu proses selama 240 menit dan jumlah katalis sebesar 2.5%.
4. Besarnya nilai kalor yang dihasilkan dari produk *hydrocracking* minyak nyamplung telah memenuhi standar spesifikasi bahan bakar avtur Internasional (ASTM Internasional).
5. Titik beku dan massa jenis produk *hydrocracking* yang dihasilkan lebih besar dari standar bahan bakar avtur, sehingga belum memenuhi standar spesifikasi bahan bakar avtur yang dipersyaratkan.

5.2 Saran

Beberapa rekomendasi yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian ini yang mungkin dapat berguna pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan proses destilasi di setiap produk yang dihasilkan pada akhir proses *hydrocracking*.
2. Perlu kajian lebih lanjut untuk pengaruh jenis katalis yang berbeda terhadap kualitas produk *hydrocracking* yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antonius, R., Hudaya, T. & Soerawidjaja, T. H., 2013. *Hidrogenasi Elektrokimia Hidrokarbon Terpen*. Universitas Katolik Parahyangan. Bandung.
- [2] Budianto, A., Sumari, S. & Udyani, K., 2015. *Biofuel Production From Nyamplung Oil Using Catalytic Cracking Process With Zn-HZSM/ γ -alumina Catalyst*, Desember. Volume 10.
- [3] Bryan, M. 2005. "World Jet Fuel Specifications". Exxon Mobile Aviation. United Kingdom
- [4] Chavan, C. B., Kumbhar, R. R. & Deshmukh, R. B., 2013. *Calophyllum Inophyllum Linn ("honne") Oil, A source for Biodiesel Production*, Bhagwant University. Rajasthan. India: International Science Congress Association.
- [5] Chyuan Ong, H. et al., 2014. *Optimization of Biodiesel Production And Engine Performance From High Free Fatty Acid C.Inophyllum Oil In CI Diesel engine*. University of Malaya. Malaysia.
- [6] Erlan, R. 2012. *Konversi Minyak Nabati Menjadi Green Diesel Dan Green Gasoline Dengan Proses Hydrocracking Dan Hydrotreating pada Katalis NiMo/Al₂O₃ , NiMo/Al₂O₃ - SiO₂ , dan NiMo/Zeolit*. Intitut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [7] Ginting, J., Ubaidillah, A.P., M.A. Abro. 2014. "Process Evaluation Of Creating Avtur (Aviation Turbine) Based On Analysis Physical And Chemical Of Crude Oil In PT Pertamina RU II Dumai". Universitas Sriwijaya. Palembang.
- [8] K.Belagur, V. & V. R., 2013. *Fuel. Few physical, chemical and Fuel Related Properties of C.Inophyllum Oil and Its Blends With Diesel Fuel For Their Use in Diesel Engine*. Basaveshwar Engineering College. Karnataka.
- [9] Leksono, B., Windyarini. S, E. & Maria Hasnah, T., 2014. *Budidaya Tanaman Nyamplung (Calophyllum Inophyllum) Untuk Bioenergy dan Prospek Pemanfaatan Lainnya*. Bogor: IPB Press.

- [10] Linda, M.S., Richard, C.S., Jeff, G., Edwards. 2006, Chemical Class Composition of Commercial Jet Fuels and Other Specialty Kerosene Fuels, University of Dayton Research Institute (UDRI), Ohio
- [11] Muhammad, F. R., J, S., Qadariyah, L. & Mahfud, 2014. *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung Menggunakan Pemanasan Gelombang Mikro*, Surabaya: Jurnal Teknik POMITS.
- [12] Philippe, D., Michel, Cathonnet. 2006. "The Ignition, Oxidation, and Combustion of Kerosene: A Review of Experimental and Kinetic Modeling". Laboratoire de Combustion et systemes Reactifs (LCSR). France.
- [13] Savitri, Effendi, R. & Tursiloadi, S., 2015. *Cracking Vegetable Oil from Callophylluminnophyllum L. Seeds to Bio-gasoline by Ni-Mo/Al₂O₃ and Ni-Mo/Zeolite as Micro-porous Catalysts*. Pusat Penelitian Kimia LIPI. Serpong.
- [14] Setyaningsih, D., E, Hambali., S, Permatasari. & N, Muna., 2013. *Bioavtur Production Process From Palm Oil Based Through Hydrogenation And Catalytic Cracking*. Bogor Agricultural University. Bogor.
- [15] Sugiyono, A., Anindhita., M.S., Boedoyo., Adiarso 2015. *Pengembangan Energi Untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Jakarta.
- [16] Supriadi, H., 2013. *Keragaman Tanaman Nyamplung Di Taman Wisata Alam Pangandaran, Jawa Barat*, Sukabumi: Warta Puslitbang Perkebunan.
- [17] Zhao, Y., Lin, X. & Li, D. 2015. Catalytic Hydrocracking of a Bitumen-Derived Asphaltene over NiMo/ γ -Al₂O₃ at Various Temperatures. *Chemical Engineering Technology*, 38(2): 297-303

Lampiran 1. Hasil Analisa GCMS

A. Hasil Analisa GCMS Minyak Nyamplung

RT (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)	
			Eksperiment	Literatur
20.509	Palmatic Acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	21.48	14.20
21.996	Linoleic Acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	7.25	28.10
22.148	Oleic Acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	41.1	39.80
22.324	Stearic Acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	15.78	15.90
Luas Total			85.61	98.00

*Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1.75% yang ditampilkan

B. Hasil Analisa GCMS Dari Produk *Hydrocracking* Minyak

Nyamplung Terbaik (Suhu 375°C, tekanan 40 bar, waktu 150 menit dan presentase Katalis 2%)

RT (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)
5.738	Nonane	C ₉ H ₂₀	2.39
7.339	Decane	C ₁₀ H ₂₂	2.29
8.927	Undecane	C ₁₁ H ₂₄	2.14
10.452	Dodecane	C ₁₂ H ₂₆	2.17
11.889	Tridecane	C ₁₃ H ₂₈	2.14
13.250	Tetradecane	C ₁₄ H ₃₀	2.15
14.548	Pentadecane	C ₁₅ H ₃₂	8.58
15.745	Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	2.89
16.501	8-Heptadecene	C ₁₇ H ₃₅	5.28
16.917	Heptadecane	C ₁₇ H ₃₆	11.89
17.988	Octadecane	C ₁₈ H ₃₈	2.56

19.034	Nonadecane	C ₁₉ H ₄₀	-
20.433	Palmitic acid, trimethylsilyl ester	C ₁₄ H ₄₀ O ₂ Si	5.02
22.009	Oleic acid, trimethylsilyl ester	C ₂₁ H ₄₂ O ₂ Si	-
22.236	Stearic acid, trimethylsilyl ester	C ₂₁ H ₄₄ O ₂ Si	4.81
Luas Total			54.31

*Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1.75% yang ditampilkan

Lampiran 2. Perhitungan Nilai Kalor Minyak Nyamplung

A. Menentukan Lower Heating Value dari Minyak Nyamplung

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 77.564 \%$$

$$H = 11.281 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 11.155 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV MJ kg} = 33.9 \cdot 0.7756 + 117.0 \cdot 0.1128 - \frac{0.1115}{8}$$

$$\text{LHV MJ kg} = 26.2942 + 11.5662$$

$$\text{LHV MJ kg} = \mathbf{37.8604 MJ kg.}$$

B. Menentukan Higher Heating Value dari Minyak Nyamplung

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{37.8604} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1128 + 0$$

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{37.8604} + 2.5382$$

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{40.3986 MJ kg.}$$

Lampiran 3. Perhitungan Nilai Kalor Dari Hasil *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Variasi Suhu

A. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Suhu 325°C

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 79.205 \%$$

$$H = 11.738 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 9.057 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV MJ kg} = 33.9 \cdot 0.7920 + 117.0 \cdot 0.1174 - \frac{0.0906}{8}$$

$$\text{LHV MJ kg} = 26.8505 + 12.4089$$

$$\text{LHV MJ kg} = \mathbf{39.2593 \text{ MJ kg}}$$

B. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Suhu 325°C

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{39.2593} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1173 + 0$$

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{39.2593} + 2.6410$$

$$\text{HHV } MJ \text{ kg} = 41.9004 \text{ MJ kg.}$$

C. Menentukan Lower Heating Value dari dari Proses Hydrocracking Minyak Nyamplung Pada Suhu 350°C

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV } \frac{MJ}{kg} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 82.996 \%$$

$$H = 12.239 \%$$

$$N = 0.00805 \%$$

$$O = 4.7569 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV } MJ \text{ kg} = 33.9 \cdot 0.8299 + 117.0 \cdot 0.1224 - \frac{0.0475}{8}$$

$$\text{LHV } MJ \text{ kg} = 28.1356 + 13.6239$$

$$\text{LHV } MJ \text{ kg} = 41.7596 \text{ MJ kg.}$$

D. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses Hydrocracking Minyak Nyamplung Pada Suhu 350°C

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV } \frac{MJ}{kg} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV } MJ \text{ kg} = 41.7596 + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1224 + 0$$

$$\text{HHV } MJ \text{ kg} = 41.7596 + 2.7537$$

$$\text{HHV } MJ \text{ kg} = 44.5133 \text{ MJ kg.}$$

**E. Menentukan Lower Heating Value dari dari Proses
Hydrocracking Minyak Nyamplung Pada Suhu 375°C**

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 84.773 \%$$

$$H = 12.201 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 3.026 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV MJ kg} = 33.9 \cdot 0.8477 + 117.0 \cdot 0.1220 - \frac{0.0303}{8}$$

$$\text{LHV MJ kg} = 28.7380 + 13.8326$$

$$\text{LHV MJ kg} = \mathbf{42.5706 MJ kg.}$$

**F. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses
Hydrocracking Minyak Nyamplung Pada Suhu 375°C**

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{42.5706} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1220 + 0$$

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{42.5706} + 2.6410$$

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{45.3158 MJ kg.}$$

Lampiran 4. Perhitungan Nilai Kalor Dari Hasil *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Variasi Tekanan Awal Hidrogen(H₂)

A. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Tekanan Awal H₂ 10 bar

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 84.773 \%$$

$$H = 12.201 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 3.026 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV MJ kg} = 33.9 \cdot 0.8477 + 117.0 \cdot 0.1220 - \frac{0.0303}{8}$$

$$\text{LHV MJ kg} = 28.7380 + 13.8326$$

$$\text{LHV MJ kg} = \mathbf{42.5706 MJ kg.}$$

B. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Tekanan Awal H₂ 10 bar

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{42.5706} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1220 + 0$$

$$\text{HHV } MJ \text{ } kg = 42.5706 + 2.6410$$

$$\text{HHV } MJ \text{ } kg = 45.3158 \text{ MJ } kg.$$

C. Menentukan Lower Heating Value dari dari Proses

Hydrocracking Minyak Nyamplung Pada Tekanan Awal H₂ 20 bar

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV } \frac{MJ}{kg} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 82.788 \%$$

$$H = 11.842 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 5.370 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV } MJ \text{ } kg = 33.9 \cdot 0.8278 + 117.0 \cdot 0.1184 - \frac{0.5370}{8}$$

$$\text{LHV } MJ \text{ } kg = 28.0651 + 13.0698$$

$$\text{LHV } MJ \text{ } kg = 41.1349 \text{ MJ } kg.$$

D. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses

Hydrocracking Minyak Nyamplung Pada Tekanan Awal H₂ 20 bar

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV } \frac{MJ}{kg} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV } MJ \text{ } kg = 41.1349 + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1184 + 0$$

$$\text{HHV } MJ \text{ } kg = 41.1349 + 2.6645$$

$$\text{HHV } MJ \text{ } kg = 43.7994 \text{ MJ } kg.$$

E. Menentukan Lower Heating Value dari dari Proses

Hydrocracking Minyak Nyamplung Pada Tekanan Awal H₂ 30 bar

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 83.363 \%$$

$$H = 12.180 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 4.457 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = 33.9 \cdot 0.8336 + 117.0 \cdot 0.1218 - \frac{0.0445}{8}$$

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = 28.2601 + 13.5987$$

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{41.8588 \text{ MJ } \text{ kg}}$$

F. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses

Hydrocracking Minyak Nyamplung Pada Tekanan Awal H₂ 30 bar

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{41.8588} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1218 + 0$$

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{41.8588} + 2.7405$$

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{44.5993 \text{ MJ } \text{ kg}}$$

G. Menentukan Lower Heating Value dari dari Proses

Hydrocracking Minyak Nyamplung Pada Tekanan Awal H₂ 40 bar

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 84.604 \%$$

$$H = 12.504 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 2.892 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = 33.9 \cdot 0.8460 + 117.0 \cdot 0.1250 - \frac{0.0289}{8}$$

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = 28.6808 + 14.2067$$

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{42.8875 \text{ MJ } \text{ kg.}}$$

H. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses

Hydrocracking Minyak Nyamplung Pada Tekanan Awal H₂ 40 bar

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{42.8875} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1250 + 0$$

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{42.8875} + 2.8134$$

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{45.7009 \text{ MJ } \text{ kg.}}$$

Lampiran 5. Perhitungan Nilai Kalor Dari Hasil *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Variasi Waktu

A. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Waktu 60 Menit

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 81.581 \%$$

$$H = 12.290 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 6.129 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = 33.9 \cdot 0.8158 + 117.0 \cdot 0.1229 - \frac{0.0613}{8}$$

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = 27.6559 + 13.4829$$

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{41.1389 \text{ MJ } \text{ kg}.}$$

B. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Waktu 60 Menit

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{41.1389} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1229 + 0$$

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{41.1389} + 2.7653$$

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{43.9041 \text{ MJ } \text{ kg}.}$$

C. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Waktu 105 Menit

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV } \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 82.951 \%$$

$$H = 12.301 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 4.748 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV } \text{MJ } \text{kg} = 33.9 \cdot 0.8295 + 117.0 \cdot 0.1230 - \frac{0.0475}{8}$$

$$\text{LHV } \text{MJ } \text{kg} = 28.1204 + 13.6978$$

$$\text{LHV } \text{MJ } \text{kg} = \mathbf{41.8182 \text{ MJ } \text{kg}}$$

D. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Waktu 105 Menit

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV } \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV } \text{MJ } \text{kg} = \mathbf{41.8182} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1230 + 0$$

$$\text{HHV } \text{MJ } \text{kg} = \mathbf{41.8182} + 2.7675$$

$$\text{HHV } \text{MJ } \text{kg} = \mathbf{44.5857 \text{ MJ } \text{kg}}$$

E. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Waktu 150 Menit

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 84.604 \%$$

$$H = 12.504 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 2.892 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV MJ kg} = 33.9 \cdot 0.8460 + 117.0 \cdot 0.1250 - \frac{0.0289}{8}$$

$$\text{LHV MJ kg} = 28.6808 + 14.2067$$

$$\text{LHV MJ kg} = \mathbf{42.8875 MJ kg.}$$

F. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Waktu 150 Menit

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{42.8875} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1250 + 0$$

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{42.8875} + 2.8134$$

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{45.7009 MJ kg.}$$

G. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Waktu 195 Menit

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV } \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 84.149 \%$$

$$H = 12.671 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 3.180 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV } \text{MJ } \text{kg} = 33.9 \cdot 0.8415 + 117.0 \cdot 0.1267 - \frac{0.0318}{8}$$

$$\text{LHV } \text{MJ } \text{kg} = 28.5265 + 14.3599$$

$$\text{LHV } \text{MJ } \text{kg} = \mathbf{42.8865 \text{ MJ } \text{kg}}$$

H. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Waktu 195 Menit

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV } \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV } \text{MJ } \text{kg} = \mathbf{42.8865} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1267 + 0$$

$$\text{HHV } \text{MJ } \text{kg} = \mathbf{42.8865} + 2.8508$$

$$\text{HHV } \text{MJ } \text{kg} = \mathbf{45.7373 \text{ MJ } \text{kg}}$$

I. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Waktu 240 Menit

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 83.273 \%$$

$$H = 12.480 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 4.247 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = 33.9 \cdot 0.8327 + 117.0 \cdot 0.1248 - \frac{0.0424}{8}$$

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = 28.2295 + 13.9805$$

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{42.2100 \text{ MJ } \text{ kg}.}$$

J. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Pada Waktu 240 Menit

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{42.2100} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1248 + 0$$

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{42.2100} + 2.8080$$

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{45.0180 \text{ MJ } \text{ kg}.}$$

Lampiran 6. Perhitungan Nilai Kalor Dari Hasil *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Variasi Jumlah Katalis

A. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Tanpa Katalis

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 83.776 \%$$

$$H = 11.792 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 4.432 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV MJ kg} = 33.9 \cdot 0.8377 + 117.0 \cdot 0.1179 - \frac{0.0443}{8}$$

$$\text{LHV MJ kg} = 28.4000 + 13.1485$$

$$\text{LHV MJ kg} = \mathbf{41.5485 MJ kg.}$$

B. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Tanpa Katalis

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{41.5485} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1179 + 0$$

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{41.5485} + 2.6532$$

$$\text{HHV MJ kg} = \mathbf{44.2017 MJ kg.}$$

C. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Menggunakan Katalis 0.5% (w/w)

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV } \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 84.094 \%$$

$$H = 12.154 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 3.752 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV } \text{MJ } \text{kg} = 33.9 \cdot 0.8409 + 117.0 \cdot 0.1215 - \frac{0.0375}{8}$$

$$\text{LHV } \text{MJ } \text{kg} = 28.5079 + 13.6715$$

$$\text{LHV } \text{MJ } \text{kg} = \mathbf{42.1793 \text{ MJ } \text{kg}}$$

D. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Menggunakan Katalis 0.5% (w/w)

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV } \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV } \text{MJ } \text{kg} = \mathbf{42.1793} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1215 + 0$$

$$\text{HHV } \text{MJ } \text{kg} = \mathbf{42.1793} + 2.7347$$

$$\text{HHV } \text{MJ } \text{kg} = \mathbf{44.9139 \text{ MJ } \text{kg}}$$

E. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Menggunakan Katalis 1% (w/w)

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpetin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 84.604 \%$$

$$H = 12.504 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 2.892 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = 33.9 \cdot 0.8460 + 117.0 \cdot 0.1250 - \frac{0.0289}{8}$$

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = 28.6808 + 14.2067$$

$$\text{LHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{42.8875 \text{ MJ } \text{ kg}}$$

F. Menentukan Higher Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Menggunakan Katalis 1% (w/w)

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpetin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{42.8875} + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1250 + 0$$

$$\text{HHV} \text{ MJ } \text{ kg} = \mathbf{42.8875} + 2.8134$$

$$\text{HHV } MJ \text{ kg} = 45.7009 \text{ MJ kg}.$$

G. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Menggunakan Katalis 1.5% (w/w)

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV } \frac{MJ}{kg} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 85.261 \%$$

$$H = 12.362 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 2.377 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV } MJ \text{ kg} = 33.9 \cdot 0.8526 + 117.0 \cdot 0.1236 - \frac{0.0237}{8}$$

$$\text{LHV } MJ \text{ kg} = 28.9035 + 14.1159$$

$$\text{LHV } MJ \text{ kg} = 43.0194 \text{ MJ kg}.$$

H. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Menggunakan Katalis 1.5% (w/w)

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV } \frac{MJ}{kg} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV } MJ \text{ kg} = 43.0194 + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1267 + 0$$

$$\text{HHV } MJ \text{ kg} = 43.0194 + 2.7815$$

$$\text{HHV } MJ \text{ kg} = 45.8008 \text{ MJ kg}.$$

I. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Menggunakan Katalis 2% (w/w)

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV } \frac{MJ}{kg} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 85.158 \%$$

$$H = 12.580 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 2.262 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV } MJ \text{ kg} = 33.9 \cdot 0.8516 + 117.0 \cdot 0.1258 - \frac{0.0226}{8}$$

$$\text{LHV } MJ \text{ kg} = 28.8686 + 14.3878$$

$$\text{LHV } MJ \text{ kg} = 43.2563 \text{ MJ kg}.$$

J. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Menggunakan Katalis 2% (w/w)

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV } \frac{MJ}{kg} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{HHV } MJ \text{ kg} = 43.2563 + 2.5 \cdot 9 \cdot 0.1258 + 0$$

$$\text{HHV } MJ \text{ kg} = 43.2563 + 2.8305$$

$$\text{HHV } MJ \text{ kg} = 46.0868 \text{ MJ kg}.$$

K. Menentukan Lower Heating Value dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Menggunakan Katalis 2.5% (w/w)

Untuk menentukan nilai kalor terendah (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LHV } \frac{MJ}{kg} = 33.9C + 117.0 H - \frac{O}{8}$$

Dimana,

$$C = 84.087 \%$$

$$H = 12.394 \%$$

$$N = 0 \%$$

$$O = 3.519 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV } MJ \text{ kg} = 33.9 \cdot 0.8408 + 117.0 \cdot 0.1239 - \frac{0.0352}{8}$$

$$\text{LHV } MJ \text{ kg} = 28.5055 + 13.9863$$

$$\text{LHV } MJ \text{ kg} = 42.4918 \text{ MJ kg}.$$

L. Menentukan Higher Heating Value dari dari Proses *Hydrocracking* Minyak Nyamplung Dengan Menggunakan Katalis 2.5% (w/w)

Untuk menentukan nilai kalor tertinggi (HHV) yang terkandung didalam minyak terpentin, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HHV } \frac{MJ}{kg} = \text{LHV} + 2.5 \cdot 9H + w$$

Dimana,

C = massa karbon per 1 kg bahan bakar.

H = massa hidrogen per 1 kg bahan bakar.

O = massa oksigen per 1 kg bahan bakar.

w = massa air per 1 kg bahan bakar.

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\begin{aligned}\text{HHV MJ kg} &= 42.4918 + 2.5 \times 0.1239 + 0 \\ \text{HHV MJ kg} &= 42.4918 + 2.7887 \\ \text{HHV MJ kg} &= 45.2805 \text{ MJ kg.}\end{aligned}$$

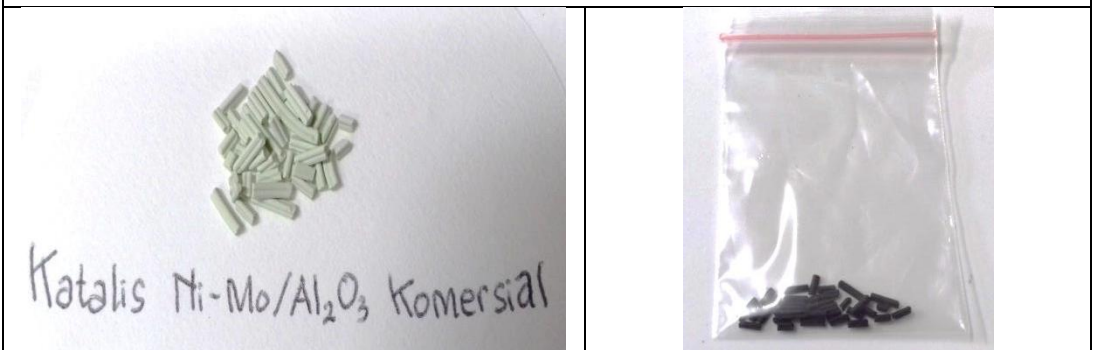
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian



Tanaman Nyamplung yang tersebar di Kawasan Puspiptek Serpong.



Minyak Nyamplung



Katalis NiMo/Al₂O₃ Sebelum dan Sesudah dilakukan proses *Sulfidasi*



Reaktor Batch



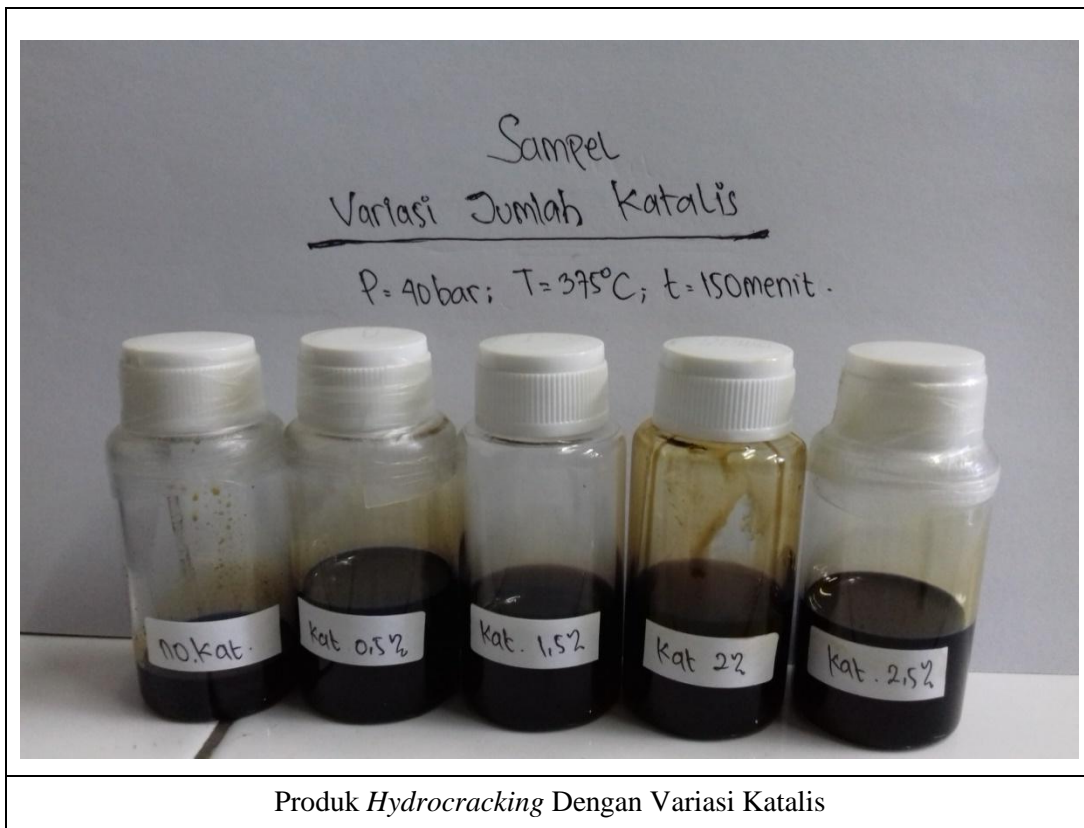
Produk *Hydrocracking* Dengan Variasi Suhu



Produk *Hydrocracking* Dengan Variasi Tekanan



Produk *Hydrocracking* Dengan Variasi Waktu



RIWAYAT HIDUP



Ruliana lahir di Jakarta, 22 Juli 1995, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Karno dan Ibu Sunarti. Penulis menempuh pendidikan dasar di Jakarta yaitu SDN 07 Pagi Jakarta Timur dan melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 194 Jakarta. Kemudian pada tahun 2010-2013 penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 113 Jakarta. Pada tahun yang sama dengan tahun kelulusan, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Jakarta melalui jalur Undangan (SNMPTN). Perkuliahan tersebut ditempuh penulis dari tahun 2013 hingga lulus pada tahun 2017, dengan skripsi yang berjudul “Studi Karakteristik Bioavtur Dari Minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum Linn Oil*) Dengan Metode *Hydrocracking Katalitik*”.