

**STUDI KARAKTERISTIK BIOAVTUR GETAH PINUS  
BERBASIS HIDROGENASI**

**SKRIPSI**

Disusun untuk syarat menyelesaikan Gelar Sarjana Sains



**Diajukan Oleh :**

**DARYANTO**

**3225136368**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

**2017**

## PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

### Studi Karakteristik Bioavtur Getah Pinus Berbasis Hidrogenasi

Nama : Daryanto

No.Reg : 3225136368

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab Dekan	: Prof. Dr. Suyono, M.Si NIP. 19671218 199303 1 005	.....	.....
Wakil Penanggung Jawab Pembantu Dekan I	: Dr. Muktiningsih, M.Si NIP. 19640511 198903 2 001	.....	.....
Ketua	: Dr. Sunaryo, M.Si NIP. 19550303 198703 1 002	.....	.....
Sekretaris	: Dr Widyaningrum Indrasari, M.Si NIP. 19770510 200604 2 001	.....	.....
Anggota Pembimbing I	: Drs. Cecep E. Rustana, PhD NIP. 19590729 198602 1 001	.....	.....
Pembimbing II	: Sabar P. Simanungkalit, M.T NIP. 19820106 200801 1 009	.....	.....
Penguji Ahli	: Dr. Esmar Budi, M.T NIP. 19720728 199903 1 002	.....	.....

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 7 Februari 2017

## ABSTRAK

**Daryanto.** Telah dilakukan studi penelitian terkait karakteristik bioavtur berbahan dasar getah pinus dengan menggunakan metode hidrogenasi. Senyawa hidrokarbon pada minyak terpentin merupakan senyawa hidrokarbon monoterpen ( $C_{10}H_{16}$ ) yang memiliki jumlah karbon sesuai dengan avtur yakni  $C_{10}$ - $C_{15}$ . Sehingga, hal ini memungkinkan getah pinus dapat dijadikan bahan bakar bioavtur. Untuk mengubah minyak terpentin menjadi bioavtur, dapat digunakan metode hidrogenasi (penambahan sejumlah hidrogen pada ikatan rangkap) yang bertujuan untuk mengurangi ketidakjenuhan pada minyak. Pada penelitian ini, proses hidrogenasi dilakukan didalam reaktor batch dengan variasi tekanan hidrogen (10 bar, 15 bar dan 20 bar), serta variasi suhu ( $200^{\circ}C$ ,  $250^{\circ}C$  dan  $300^{\circ}C$ ) yang diproses selama 1 jam. Karakteristik masing-masing produk kemudian dianalisa (GC-MS, elemental dan nilai kalor). Produk dengan spesifikasi terbaik, kemudian diuji (titik beku, titik nyala dan massa jenis) berdasarkan standard internasional (ASTM International) untuk melihat kelayakan penggunaan bioavtur yang diteliti. Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh bahwa nilai titik beku produk mencapai  $-69^{\circ}C$  dan titik nyala produk mencapai  $46^{\circ}C$ . Kedua parameter ini telah memenuhi standard spesifikasi bahan bakar avtur yang dipersyaratkan yaitu maksimal memiliki titik beku  $-47^{\circ}C$  dan minimal memiliki titik nyala  $38^{\circ}C$ . Sedangkan massa jenis yang terukur adalah sebesar  $852.8 \text{ kg/m}^3$ , dimana nilai cenderung lebih tinggi dari standard spesifikasi avtur yang dipersyaratkan yaitu berada pada rentang  $775\text{-}840 \text{ kg/m}^3$ .

**Kata Kunci : Bioavtur, Minyak Terpentin, Monoterpen, Hidrogenasi.**

## ABSTRACT

**Daryanto.** Research studies related to the characteristics of bioavtur made from pine resin was investigated by using hydrogenation method. Hydrocarbons in turpentine oil is a hydrocarbon monoterpenes ( $C_{10}H_{16}$ ) having a carbon number of aviation fuel in accordance with the  $C_{10}$ - $C_{15}$ . Thus, this allows the pine resin can be used as aviation fuel. To change the oil of turpentine into bioavtur, can be used hydrogenation method (the addition of a number of hydrogen) on a bond aimed at reducing unsaturation in the oil. In this study, the hydrogenation process is carried out in a batch reactor with variations in initial pressure (10 bar, 15 bar and 20 bar) and temperature ( $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) are processed for 1 hour. The characteristics of each product were analyzed (GC-MC analysis, elemental and calorific value). Products with the best specifications, then tested (freezing point, flash point and density) based on the international standard (ASTM International) to look at the feasibility of using bioavtur studied. Based on the measurement results, obtained that the value of the freezing point of the product reaches  $-69\text{ }^{\circ}\text{C}$  and the flash point of the product reached  $46\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Both of these parameters have met the specifications required aviation fuel which has a maximum freezing point of  $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$  and has a minimum flash point of  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The measured density tends to be higher than standard of avtur required in the amount of  $852.8\text{ kg / m}^3$ . This value tends not meet standard specifications of aviation fuel which is in the range  $775\text{-}840\text{ kg/m}^3$ .

**Keywords : Bioavtur, Turpentine Oil, Monoterpenes, Hydrogenation.**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena telah memberikan karunia-Nya yang berlimpah sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi yang berjudul “**Studi Karakteristik Bioavtur Getah Pinus Berbasis Hidrogenasi**”. Penelitian yang ditulis dalam laporan ini tidak lepas dari pihak-pihak yang turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Cecep E Rustana, PhD selaku Pembimbing I atas waktu, bimbingan dan saran yang membangun dalam membantu menyelesaikan penelitian ini.
2. Bapak Sabar P. Simanungkalit, M.T. selaku Pembimbing II atas waktu, bimbingan dan saran yang membangun dalam membantu menyelesaikan penelitian.
3. Bapak Riser Fahdiran, M.Si. selaku dosen pengajar atas waktu dan saran yang membangun dalam membantu menyelesaikan penelitian ini.
4. Ibu Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si selaku ketua program studi Fisika FMIPA, UNJ.
5. Seluruh dosen program studi Fisika Universitas Negeri Jakarta yang telah membimbing dan memberikan berbagai pengetahuan.
6. Ibu Dr. Dieni Mansur dan Bapak Muhammad Arifuddin Fitriady selaku peneliti di LIPI KIMIA (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia-Kimia) yang telah membantu dalam jalannya proses penelitian baik dengan saran maupun pengetahuan.
7. Bapak Dadi (LIPI KIMIA) yang telah membantu memberikan pengarahan dalam penggunaan reaktor selama proses penelitian berlangsung.
8. Teman-teman Fisika 2013 yang telah bersama-sama melewati perkuliahan khususnya kepada Ruliana dan Raihan Ardirianto yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
9. Keluarga yang telah mendukung dengan doa dan motivasinya.

Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan dimasa depan. Namun, penulis menyadari akan keterbatasan dalam ilmu pengetahuan dan pengalaman, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penulisan selanjutnya yang lebih baik.

Jakarta, Februari 2017

Daryanto

## DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI.....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GRAFIK.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Identifikasi Masalah.....	3
I.3 Pembatasan Masalah .....	3
I.4 Perumusan Masalah .....	3
I.5 Tujuan Penelitian .....	3
I.6 Manfaat Penelitian .....	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
II.1 Bioavtur .....	5
II.2 Minyak Terpentin .....	7
II.3 Hidrogenasi.....	11
II.4 GC-MS (Gas Chromatography–Mass spectrometry) .....	12
II.5 Analisa Elemental.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	15
III.1 Tujuan Operasional .....	15
III.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	15
III.2.1 Waktu Penelitian.....	15
III.2.2 Tempat Penelitian .....	15
III.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	15
III.4 Metode Penelitian.....	16
III.5 Prosedur Penelitian.....	18

III.5.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Bioavtur Getah Pinus .....	18
III.5.2 Ekstraksi Minyak Terpentin Dari Getah Pinus .....	19
III.5.3 Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin Dengan Variasi Tekanan Hidrogen.....	21
III.5.4 Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin Dengan Variasi Suhu .....	23
III.5.5 Analisa GC-MS.....	25
III.5.6 Analisa CHN.....	25
III.5.7 Analisa Titik Beku Produk .....	26
III.5.8 Analisa Massa Jenis Produk .....	26
III.5.9 Analisa Titik Nyala Produk .....	26
III.5.10 Diagram Alir Penelitian .....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
IV.1 Karakteristik Minyak Terpentin .....	28
IV.1.1 Analisa GC-MS Minyak Terpentin .....	28
IV.1.2 Analisa Elemental Minyak Terpentin.....	30
IV.1.3 Analisa Nilai Kalor Minyak Terpentin.....	32
IV.2 Pengaruh Variasi Tekanan Pada Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin..	33
IV.2.1 Analisa GC-MS Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan .....	33
IV.2.2 Analisa Elemental Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan .....	37
IV.2.3 Analisa Nilai Kalor Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan ...	39
IV.3 Pengaruh Variasi Suhu Pada Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin .....	40
IV.3.1 Analisa GC-MS Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu.....	40
IV.3.2 Analisa Elemental Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu .....	44
IV.3.3 Analisa Nilai Kalor Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu.....	47
IV.4 Analisa Produk Terbaik.....	49
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>52</b>
V.1 Kesimpulan.....	52
V.2 Saran.....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>
Lampiran .....	55



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Proyeksi Total Kebutuhan Energi Berdasarkan Jenis Bahan Bakar...	1
Gambar 2.1. Pohon Pinus.....	8
Gambar 2.2. Perangkat Destilasi.....	8
Gambar 2.3. Reaksi Hidrogenasi.....	11
Gambar 2.4. Hidrogenasi Senyawa Hidrokarbon Terpentin.....	11
Gambar 2.5. Spektrum GC-MS Minyak Terpentin.....	12
Gambar 2.6. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Agilent Technologies 5977A MSD - DB WAX column (NIST mass spectral database).....	13
Gambar 2.7. Elemental Analyzer (Truespec CHN628; Leco).....	14
Gambar 3.1. Diagram Alir Proses Pembuatan Bioavtur Getah Pinus.....	18
Gambar 3.2. Diagram Alir Ekstraksi Minyak Terpentin dari Getah Pinus.....	20
Gambar 3.3. Diagram Alir Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin dengan Variasi Tekanan Hidrogen.....	22
Gambar 3.4. Diagram Alir Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin dengan Variasi Suhu.....	24
Gambar 3.5. Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 4.1. Hasil Spektrum GC-MS Minyak Terpentin.....	29
Gambar 4.2. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hidrogenasi Tekanan 10 .....	35
Gambar 4.3. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hidrogenasi Tekanan 15 Bar .....	35
Gambar 4.4. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hidrogenasi Tekanan 20 Bar .....	36
Gambar 4.5. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hidrogenasi Suhu 200 °C.....	42
Gambar 4.6. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hidrogenasi Suhu 250 °C.....	42
Gambar 4.7. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hidrogenasi Suhu 200 °C.....	43
Gambar 4.8. Mekanisme Dimerisasi senyawa hidrokarbon monoterpen .....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Standar Parameter Analisa Spesifikasi Avtur.....	5
Tabel 2.2. Karakteristik Bahan Bakar Pesawat Terbang Menurut ASTM International.....	7
Tabel 2.3. Fungsi masing – masing perangkat destilasi.....	9
Tabel 2.4. Komposisi Minyak Terpentin.....	10
Tabel 2.5. Sifat Fisika Minyak Terpentin.....	10
Tabel 4.1. Hasil Analisa GC-MS Minyak Terpentin.....	28
Tabel 4.2. Hasil Analisa Elemental Minyak Terpentin.....	30
Tabel 4.3. Ratio $\frac{H}{C}$ , $\frac{O}{C}$ Minyak Terpentin dan Avtur.....	31
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Nilai Kalor Minyak Terpentin.....	32
Tabel 4.5. Hasil Analisa GC-MS Produk Dengan Variasi Tekanan Hidrogen.....	34
Tabel 4.6. Hasil Analisa Elemental Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan .....	37
Tabel 4.7. Ratio $\frac{H}{C}$ dan $\frac{O}{C}$ Dari Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan.....	38
Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Nilai Kalor Produk Dengan Variasi Tekanan.....	39
Tabel 4.9. Hasil Analisa GC-MS Produk Dengan Variasi Suhu.....	41
Tabel 4.10. Hasil Analisa Elemental Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu.....	44
Tabel 4.11. Ratio $\frac{H}{C}$ dan $\frac{O}{C}$ Dari Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu.....	45
Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Nilai Kalor Produk Dengan Variasi Suhu.....	47
Tabel 4.13. Perbandingan Hasil Analisa Produk Terbaik Dengan Karakteristik Bahan Bakar Pesawat Terbang Menurut ASTM International.....	52

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Ratio H/C dan O/C Minyak Terpentin dan Avtur.....	31
Grafik 4.2. Perbandingan Nilai Kalor Terpentin dan Avtur.....	32
Grafik 4.3. Ratio $\frac{H}{C}$ dan $\frac{O}{C}$ Minyak Terpentin, Produk Hidrogenasi Dan Avtur.....	38
Grafik 4.4. Hubungan Antara Variasi Tekanan Hidrogen Terhadap Nilai Kalor Minyak Terpentin.....	39
Grafik 4.5. Hubungan Variasi Suhu Terhadap Ratio $\frac{H}{C}$ dan $\frac{O}{C}$ Produk Hidrogenasi .....	46
Grafik 4.6. Hubungan Antara Variasi Suhu Terhadap Nilai Kalor Minyak Terpentin.....	48

## DAFTAR LAMPIRAN

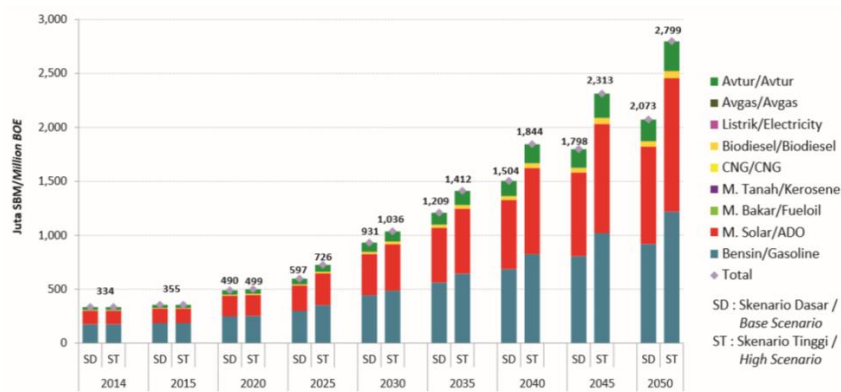
Lampiran 1. Hasil Analisa GC-MS Produk Dengan Variasi Tekanan.....	57
Lampiran 2. Hasil Analisa GC-MS Produk Dengan Variasi Suhu.....	60
Lampiran 3. Menentukan Rumus Empiris dari Minyak Terpentin.....	63
Lampiran 4. Menentukan Rumus Empiris Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan Hidrogen.....	64
Lampiran 5. Menentukan Rumus Empiris Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu Pemanasan.....	67
Lampiran 6. Menentukan Nilai Kalor Minyak Terpentin.....	70
Lampiran 7. Menentukan Nilai Kalor Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan Hidrogen.....	71
Lampiran 8. Menentukan Nilai Kalor Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu Pemanasan.....	74
Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian.....	77

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Penggunaan bahan bakar minyak mendominasi penggunaan energi saat ini yang cenderung mengalami peningkatan setiap tahunnya. Salah satu bahan bakar minyak yang penggunaannya terus meningkat yaitu Avtur. Berikut ditampilkan proyeksi peningkatan konsumsi avtur untuk kurun waktu 2014-2050 :



Gambar 1.1. Proyeksi Kebutuhan Energi Pada Sektor Transportasi (Agus, 2016).

Menurut Agus (2015), cadangan minyak bumi sebagai sumber energi konvensional jumlahnya semakin menipis dan tidak dapat diperbaharui. Sehingga, sangat berpotensi untuk menimbulkan krisis energi di masa yang akan datang. Oleh karena itu, manusia mulai beralih menggunakan bahan bakar alternatif berbasis bio, salah satunya adalah bioavtur.

Riset mengenai bioavtur dilakukan untuk mengatasi peningkatan konsumsi avtur dan kewajiban penurunan emisi karbon dari sektor penerbangan. (Setyaningsih, 2013). Sejauh ini, pengembangan dan pembuatan bioavtur yang telah banyak digunakan adalah berasal dari tumbuhan kelapa sawit yang telah diteliti oleh beberapa peneliti sebelumnya (Shinta dkk, 2014). Pada penelitian ini, pembuatan bioavtur dilakukan dari tumbuhan pinus (*pinus merkusii*). Karakteristik senyawa hidrokarbon minyak terpenin yang diperoleh dari ekstraksi getah pinus (*monoterpen*), cenderung lebih identik dengan bahan bakar avtur jika dibandingkan dengan tumbuhan kelapa sawit (*trigliserida*). Sehingga, getah pinus lebih mudah untuk diproses menjadi bioavtur.

Bioavtur yang berasal dari getah pinus memiliki bahan baku berlimpah dialam yang dapat diperbaharui dengan mudah. Sehingga, dapat meminimalisir dampak akan krisis energi di masa depan. Secara alamiah, getah pinus tidak mengandung unsur-unsur impuritas yang tidak diperbolehkan pada avtur seperti kandungan sulfur, logam, dll. Sehingga, bioavtur yang berasal dari getah pinus merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan.

Jika ditinjau dari tingkat produksinya, Indonesia merupakan penghasil getah pinus terbesar ke-3 dunia setelah China dan Brazil (Sukadaryati, 2014). Sehingga, getah pinus memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan menjadi bioavtur. Ditinjau dari sudut pandang secara kimia, minyak terpenin yang dihasilkan dari ekstraksi getah pinus (monoterpen- $C_{10}H_{16}$ ) memiliki jumlah karbon yang identik dengan avtur yakni  $C_{10}$ - $C_{14}$ . Sehingga, hal ini memungkinkan getah pinus dapat dijadikan bahan bakar bioavtur.

Jika ditinjau dari sudut pandang secara fisika, karakteristik minyak terpenin yang dihasilkan dari ekstraksi getah pinus memiliki kemiripan dengan standar avtur internasional khususnya pada tingkat titik beku yang dimilikinya. Sehingga, bioavtur berbahan dasar getah pinus memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan dan menggantikan penggunaan sumber energi konvensional.

Untuk mengetahui mutu dan kualitas dari bioavtur, ada 2 parameter analisa yang dapat digunakan yaitu parameter kimia dan parameter fisika. Parameter kimia tersebut seperti kandungan sulfur, kandungan air, kandungan aromatik. Sementara parameter fisiknya seperti massa jenis, titik beku, titik nyala dan nilai kalor.

Dengan demikian, penelitian yang akan dilakukan adalah untuk membuat bioavtur dari getah pinus dengan metode hidrogenasi, dengan parameter yang diukur adalah parameter fisika yang meliputi : massa jenis, titik beku, titik nyala dan nilai kalor. Hasil pengukuran diatas kemudian akan dilakukan perbandingan dengan spesifikasi standard internasional avtur (ASTM International) untuk mengetahui kelayakan penggunaan bioavtur yang diteliti.

## **I.2 Identifikasi Masalah**

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

## **I.3 Pembatasan Masalah**

Pada penelitian ini, permasalahan akan dibatasi dalam peningkatan kualitas minyak terpentin dengan proses hidrogenasi. 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 titik beku, massa jenis, titik nyala dan nilai kalor.

## **I.4 Perumusan Masalah**

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana membuat bioavtur dari getah pinus yang memiliki karakteristik sesuai dengan standard avtur.

## **I.5 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kondisi operasi terbaik (tekanan dan suhu) pada proses hidrogenasi minyak terpentin (*alpha pinen*).
2. Mengetahui pengaruh variasi tekanan hidrogen dan suhu terhadap nilai kalor produk yang dihasilkan.
3. Membandingkan spesifikasi kesesuaian secara parameter fisika dari bioavtur yang berasal dari getah pinus dengan spesifikasi standard internasional avtur (*ASTM International*).

## **I.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendukung kegiatan penelitian yang berhubungan dengan energi khususnya bahan bakar pesawat.
2. Mengembangkan sumber energi alternatif khususnya sumber energi minyak nabati nonpangan sebagai pengganti bahan bakar fosil.
3. Sebagai penelitian awal untuk diteliti lebih lanjut untuk berbagai karakteristik bioavtur.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### II.1 Bioavtur

Bioavtur didefinisikan sebagai bahan bakar pesawat yang terbuat dari unsur-unsur nabati (tanaman/tumbuhan) yang dapat diperbaharui secara alam (*Renewable Energy*). Bioavtur merupakan bahan bakar nabati (biofuel) yang digunakan sebagai sumber energi utama pada pesawat (khususnya pesawat yang menggunakan mesin turbin seperti pesawat jet). Keunggulan bioavtur sebagai bahan bakar nabati adalah karena bioavtur bersifat ramah lingkungan (rendahnya emisi karbon, sulfur dan logam yang dihasilkan). Serta, memiliki bahan baku yang berlimpah dialam dan dapat diperbaharui dengan mudah.

Avtur (*aviation turbine*) merupakan bahan bakar pesawat komersial yang memiliki komponen utama berupa hidrokarbon paraffin C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub> (Setyaningsih, 2013). Komposisi dan karakteristik yang dimiliki oleh bioavtur, merujuk kepada komposisi dan karakteristik yang dimiliki oleh avtur. Menurut Linda (2006), komposisi bahan bakar avtur terdiri dari *iso-paraffin* (40%), *n-paraffin* (20%), *cycloparaffin* (20%) dan *aromatic* (20%).

Untuk mengetahui mutu dan kualitas dari avtur, ada beberapa standar parameter analisa yang dapat digunakan yang terbagi dalam 2 parameter yaitu parameter kimia dan parameter fisika.

Tabel 2.1. Standar Parameter Analisa Spesifikasi Avtur (Bryan, 2005)

No	Parameter	
	Fisika	Kimia
1	Titik Beku	Sulfur
2	Titik Nyala	Sulfur Merkaptan
3	Massa Jenis	Aromatik
4	Nilai Kalor	Keasaman
5	dll	dll

Berdasarkan tabel diatas, beberapa parameter fisika yang penting dalam meninjau kualitas avtur adalah sebagai berikut :

- Titik Beku (Freezing Point)
- Titik nyala (Flash Point)
- Massa jenis (density)
- Nilai Kalor (Net Heat of Combustion).

Titik beku (*freezing point*) adalah suhu dimana bahan bakar sepenuhnya berubah fase dari cair menjadi padat. Kemampuan suatu bahan bakar untuk mempertahankan kedudukan cair nya sangat penting untuk diidentifikasi pada avtur, karena avtur bekerja pada suhu rendah. Menurut Christopher (2014), spesifikasi avtur (jet A-1) diwajibkan memenuhi persyaratan titik beku maksimal pada suhu  $-47^{\circ}\text{C}$ .

Titik nyala (*flash point*) adalah suhu minimum dimana bahan bakar dapat menyala (terbakar sekejap) setelah diberikan suatu inisiasi (berupa api). Hal ini sangat penting mengingat bahan bakar avtur bersifat mudah menyala (*flammable*). Sehingga, titik nyala sering digunakan untuk membantu mencirikan bahaya api dari cairan. Selain itu, titik nyala juga digunakan untuk prosedur penyimpanan dalam meminimalisir kemungkinan akan bahaya kebakaran. Semakin tinggi titik nyala suatu bahan bakar, itu artinya akan semakin aman dalam penggunaan dan penyimpanannya. Menurut Bryan (2005), standard internasional bahan bakar avtur diwajibkan memenuhi persyaratan titik nyala minimal pada suhu  $38^{\circ}\text{C}$ .

Massa jenis (*density*) merupakan perbandingan antara massa suatu zat (bahan bakar) dengan volume zat tersebut. Menurut Christopher (2014), massa jenis bahan bakar sangat penting dalam pengoperasian pesawat udara, hal ini terkait dengan volume tangki bahan bakar yang dapat terpenuhi. Hal ini berarti, bahan bakar yang mempunyai massa jenis ringan, akan mampu memiliki banyak ruang (volume) dalam tangki pesawat. Sehingga, dapat menempuh perjalanan terbang lebih jauh. Menurut Bryan (2005), standard internasional bahan bakar avtur diwajibkan memenuhi persyaratan massa jenis yang berada dalam rentang  $775\text{-}840\text{ kg/m}^3$ .

Faktor lain yang mempengaruhi kualitas bahan bakar avtur adalah terkait dengan besarnya nilai kalor yang mampu dihasilkan. Nilai kalor merupakan besarnya energi panas yang mampu dihasilkan dari suatu bahan bakar. Menurut Christopher (2014), nilai kalor yang tinggi merupakan parameter penting yang perlu dimiliki oleh suatu bahan bakar avtur. Karena, hal ini terkait dengan kapasitas berat maksimum yang mampu dicapai oleh pesawat. Menurut Bryan (2005), standard internasional bahan bakar avtur diwajibkan memenuhi persyaratan nilai kalor minimal 42.8 MJ/kg.

Tabel 2.2. Karakteristik Bahan Bakar Pesawat Terbang Menurut ASTM International (Bryan, 2005).

No	ASTM International		
	Parameter	Batas	Value
1	Titik Beku	Max	-47 °C
2	Titik Nyala	Min	38 °C
3	Massa Jenis (15°C)	Range	775 – 840 $\frac{Kg}{m^3}$
4	Nilai Kalor	Min	42.8 MJ/kg

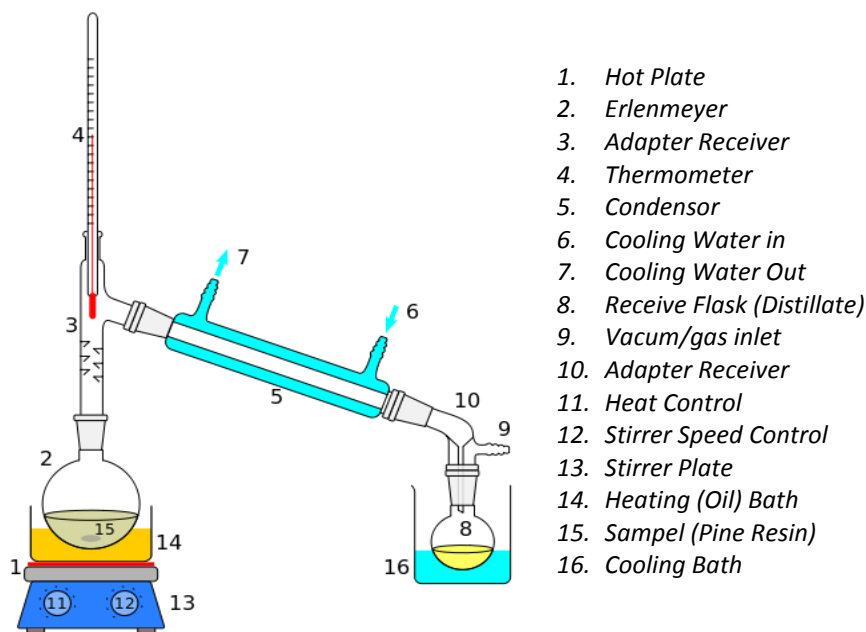
## II.2 Minyak Terpentin

Salah satu bahan yang mungkin dapat digunakan untuk membuat bioavtur adalah tanaman pinus. Tanaman pinus tumbuh diketinggian 300-1800 meter diatas permukaan laut, tingginya dapat mencapai 10-40 meter. Bentuk batangnya membulat dan arah tumbuhnya tegak lurus keatas. Batang pinus berwarna kecoklatan dengan tekstur yang tidak rata. Jika dilihat dari kejauhan, pohon pinus akan terlihat membentuk seperti kerucut, atau limas yang memanjang.



Gambar 2.1. Pohon Pinus.

Salah satu manfaat yang dapat diperoleh dari pohon pinus adalah getah yang dihasilkan dari kulitnya. Untuk menghasilkan minyak terpenin dari getah pinus dapat digunakan metode destilasi. Destilasi adalah metode pemisahan cairan yang bekerja berdasarkan prinsip perbedaan titik didih atau berdasarkan kemampuan zat untuk menguap. Pemisahan getah dengan proses destilasi vakum akan menghasilkan minyak terpenin sebagai distilat sekitar 13-25% dan rosin atau gondorukem sebagai produk bawah sekitar 70-75% (Tedi, 2013). Dalam proses destilasi, campuran zat dididihkan hingga menguap, dan uap ini kemudian didinginkan kembali kedalam bentuk cairan melalui kondensor.



Gambar 2.2. Perangkat Destilasi.

Tabel 2.3. Fungsi masing-masing perangkat destilasi diatas :

<b>No</b>	<b>Perangkat</b>	<b>Kegunaan</b>
1	<i>Hot Plate</i>	Sebagai alat pemanas yang akan digunakan untuk memanaskan sampel.
2	<i>Erlenmeyer</i>	Sebagai wadah sampel (getah pinus) selama proses destilasi berlangsung.
3	<i>Adapter Receiver</i>	Sebagai perantara untuk membawa uap yang dihasilkan melalui proses destilasi menuju kondensor.
4	<i>Thermometer</i>	Untuk mengetahui suhu proses destilasi
5	<i>Condensor</i>	Untuk mendinginkan uap yang dihasilkan melalui proses destilasi.
6	<i>Cooling Water in</i>	Untuk tempat masuknya aliran air yang digunakan sebagai pendingin.
7	<i>Cooling Water out</i>	Untuk tempat keluarnya aliran air yang digunakan sebagai pendingin.
8	<i>Receive Flask</i>	Sebagai wadah yang digunakan untuk menampung distilat.
9	<i>Vacum/gas inlet</i>	Untuk mencegah aliran udara masuk.
10	<i>Adapter Receiver</i>	Sebagai perantara untuk mengalirkan cairan yang dihasilkan melalui proses destilasi
11	<i>Heat Control</i>	Sebagai pengatur panas yang dihasilkan.
12	<i>Stirrer Speed Control</i>	Sebagai pengatur kecepatan pengadukan
13	<i>Stirrer Plate</i>	Alat yang digunakan untuk mengaduk cairan.
14	<i>Heating Oil Bath</i>	Media yang digunakan sebagai penghantar panas pada proses destilasi agar lebih merata.
15	<i>Sampel</i>	Bahan yang akan didestilasi.
16	<i>Cooling Bath</i>	Wadah yang digunakan sebagai pendingin.

Berikut ini ditampilkan komposisi utama dari minyak terpentin :

Tabel 2.4. Komposisi Minyak Terpentin.

Jenis Komponen	Rumus Molekul	%Berat (Bambang, 2016)
$\alpha - pinen$	$C_{10}H_{16}$	82.9
$\beta - pinen$	$C_{10}H_{16}$	2.2
3-Karen	$C_{10}H_{16}$	11.0
p-Cymene	$C_{10}H_{14}$	1.1
d-Limonen	$C_{10}H_{16}$	1.3

Tabel 2.5. Sifat Fisika Minyak Terpentin. (Nofra, 2014)

No	Sifat Fisika Minyak Terpentin	
1	Warna	Tidak Berwarna
2	Titik Beku	-55 °C
3	Titik Didih	156 °C

Minyak terpentin cenderung tidak berwarna. Selain itu, titik beku yang dihasilkan pun sangat rendah yaitu mencapai -55 °C. Jika dibandingkan dengan standard spesifikasi bahan bakar avtur, rentang titik beku ini telah masuk dalam syarat titik beku avtur. Dimana, avtur diwajibkan memiliki titik beku maksimum pada suhu -47 °C.

Minyak terpentin mengandung sejumlah senyawa hidrokarbon monoterpen. Senyawa hidrokarbon monoterpen adalah senyawa hidrokarbon yang memiliki 10 atom karbon dan 16 atom hidrogen ( $C_{10}H_{16}$ ). Menurut Setyaningsih (2013), bahan bakar avtur memiliki komponen utama berupa hidrokarbon paraffin dengan rentang atom karbon  $C_{10}$ - $C_{14}$ . Sehingga, jumlah atom karbon ini, memiliki kesesuaian dengan jumlah atom karbon pada minyak terpentin. Namun, pada hidrokarbon monoterpen terdapat kekurangan sejumlah atom hidrogen. Untuk membentuk senyawa menyerupai avtur, maka diperlukan tambahan 6 atom

hidrogen pada minyak terpenin. Penambahan sejumlah atom hidrogen ini dapat dilakukan dengan cara menerapkan metode hidrogenasi pada minyak terpenin.

### II.3 Hidrogenasi

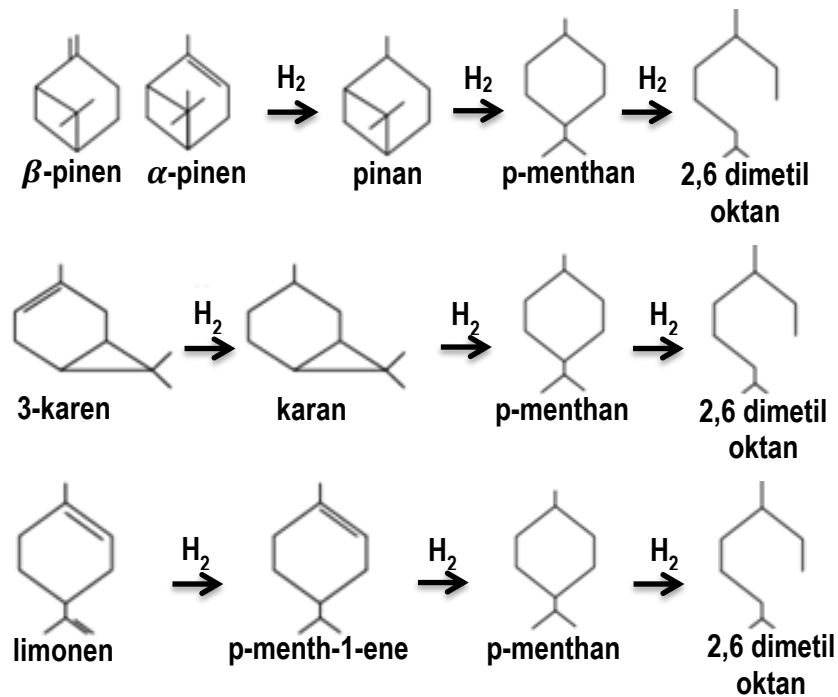
Untuk mengubah minyak terpenin menjadi avtur, dapat digunakan metode hidrogenasi. Hidrogenasi adalah proses penambahan sejumlah hidrogen pada ikatan rangkap yang bertujuan untuk mengurangi ketidakjenuhan minyak (*unsaturated*) yang dilakukan pada temperatur dan tekanan tertentu.

Reaksi hidrogenasi dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.3. Reaksi Hidrogenasi (Tedi, 2013).

Berikut adalah gambaran proses hidrogenasi minyak terpenin :

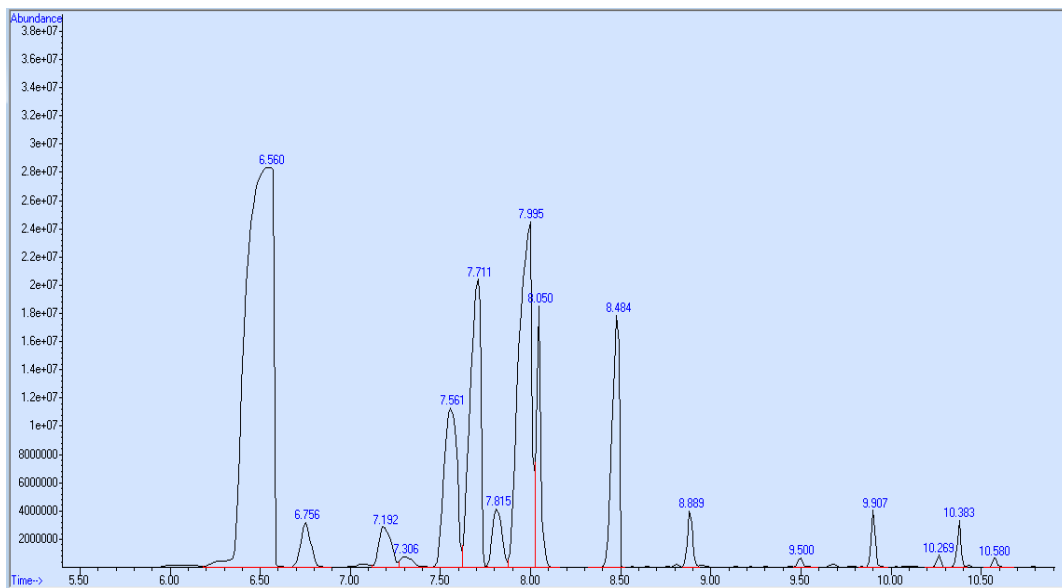


Gambar 2.4. Hidrogenasi Senyawa Hidrokarbon Terpenin (Tedi, 2013).

Berdasarkan uraian diatas, maka kandungan minyak terpenin dari hasil ekstraksi getah pinus dapat ditingkatkan hingga kualitasnya dapat menyerupai avtur dengan menerapkan metode hidrogenasi.

## II.4 GC-MS (Gas Chromatography–Mass spectrometry)

GC-MS merupakan metode analitik yang mengkombinasikan antara dua teknik yang berbeda, yakni kromatografi gas dan spektrometri massa. 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. Hasil analisis GC-MS berupa kromatogram, yang dapat ditelusuri dengan menggunakan *library* pada *spektrometri massa* untuk mengetahui jenis senyawa yang terkandung didalamnya.



Gambar 2.5. Spektrum GC-MS Minyak Terpentin.

Spektrum GC-MS menggambarkan banyaknya senyawa-senyawa yang terkandung didalam suatu sampel. Semakin banyak peak yang muncul pada spektrum GC-MS, menunjukkan bahwa kandungan senyawa yang terdapat didalam sampel akan semakin banyak. Spektrum GC-MS berupa peak yang memiliki waktu retensi (waktu penguapan) yang berbeda-beda. Semakin tinggi peak yang dihasilkan, maka kelimpahan (yang dinyatakan oleh persentase) senyawa yang terkandung didalam sampel tersebut akan semakin besar. Semakin besar waktu retensi yang terukur, menunjukkan bahwa titik didih senyawa yang terdapat didalam sampel akan semakin tinggi. Analisa GC-MS sangat penting untuk mengetahui kandungan senyawa yang terdapat dari suatu bahan bakar.





Gambar 2.6. *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Agilent Technologies 5977A MSD - DB WAX column (NIST mass spectral database).*

## **II.5 Analisa Elemental**

Analisa Elemental digunakan untuk menentukan besarnya komposisi dari unsur karbon, hidrogen dan nitrogen yang terkandung didalam suatu seyawa. Besarnya komposisi dari masing-masing unsur tersebut dinyatakan dalam persen (%). Persentase masing-masing unsur ini akan berfungsi untuk menentukan tingkat ratio  $\frac{H}{C}, \frac{O}{C}$  yang dimiliki oleh suatu bahan bakar. Semakin tinggi ratio  $\frac{H}{C}$  yang dihitung dari suatu bahan bakar, maka kualitas bahan bakar tersebut akan semakin baik. Sedangkan, semakin tinggi ratio  $\frac{O}{C}$  yang dihitung dari suatu bahan bakar, maka kualitas bahan bakar tersebut akan semakin rendah.

Hasil analisa elemental, sangat berkaitan dengan nilai kalor (LHV dan HHV) yang dimiliki oleh suatu bahan bakar. Perhitungan nilai kalor didasarkan pada persamaan elemental. Menurut Zoran (2008), perhitungan nilai kalor (LHV dan HHV) bahan bakar cair dapat ditentukan dengan mengacu kepada persamaan berikut :

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

$$\text{HHV} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) = \text{LHV} + 2.5(9H + w) \quad 2 - 2$$

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.



Gambar 2.7. *Elemental Analyzer* (Truespec CHN628; Leco).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **III.1 Tujuan Operasional**

Penelitian ini bertujuan untuk membuat bioavtur dari getah pinus dan membandingkan spesifikasi dari bioavtur yang dihasilkan dengan standar internasional melalui kajian kualitas & spesifikasi bioavtur berdasarkan parameter fisika diantaranya meliputi titik beku (*freezing point*), titik nyala (*flash point*), massa jenis (*density*) dan nilai kalor (*net heat of combustion*).

#### **III.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

##### **III.2.1 Waktu Penelitian**

Penelitian ini dimulai pada 1 September 2016 sampai 30 Desember 2016..

##### **III.2.2 Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) Kawasan PUSPITEK Serpong, Tangerang Selatan 15314 Indonesia dan pengujian dilakukan di PT. Sucofindo Jl. Arteri Tol Cibitung No. 1, Cibitung Bekasi 17520, Indonesia.

#### **III.3 Alat dan Bahan Penelitian**

1. Satu Set Alat Destilasi
2. Satu Set Reaktor Batch
3. Gelas Kimia
4. Gelas Ukur
5. Corong Pemisah
6. Neraca Digital
7. Getah Pinus
8. GC-MS Analyzer (Agilent Technologies 5977A MSD - DB WAX column).
9. Elemental Analyzer (Truespec CHN628; Leco).
10. Gas Hidrogen (Teknis & UHP).

### III.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperiment. Dalam penelitian ini dikembangkan bioavtur yang dibuat dari bahan dasar getah pinus. Proses awal yaitu dengan menyiapkan getah pinus yang akan diproses, kemudian mengekstrak minyak yang berasal dari getah pinus dengan cara penyulingan (destilasi) pada variasi suhu 140<sup>0</sup>C, 160<sup>0</sup>C, 190<sup>0</sup>C, 220<sup>0</sup>C dan 260<sup>0</sup>C yang dilakukan secara berurutan dengan interval waktu masing-masing adalah 30 menit. Variasi suhu pemanasan pada proses destilasi ini bertujuan untuk mengekstrak senyawa-senyawa hidrokarbon yang terdapat didalam getah pinus secara bertahap. Dari proses destilasi ini, diperoleh minyak terpentin.

Setelah minyak terpentin diperoleh, kemudian dilanjutkan dengan proses hidrogenasi menggunakan reaktor *batch autoclave* yang dilakukan dengan memvariasikan tekanan hidrogen dan suhu proses pemanasan. Proses pertama, diawali dengan variasi tekanan yaitu 10, 15 dan 20 bar dengan suhu dan waktu yang konstan yaitu 200<sup>0</sup>C selama 1 jam. Masing-masing produk yang dihasilkan dilakukan analisa GC-MS dengan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) Agilent Technologies 5977A MSD-DB WAX column (NIST mass spectral database) untuk mengetahui senyawa yang terkandung didalam produk yang dihasilkan. Selain itu, dilakukan juga analisa CHN untuk mengetahui kandungan karbon, hidrogen dan nitrogen dengan menggunakan "Elemental Analyzer (Truespec CHN628; Leco)". Dari hasil analisa CHN tersebut, kemudian dihitung besarnya nilai kalor (LHV dan HHV) produk yang dihasilkan berdasarkan persamaan 1 & 2. Produk dengan tekanan terbaik kemudian digunakan sebagai variabel tetap pada variasi suhu yang akan dilakukan pada proses berikutnya.

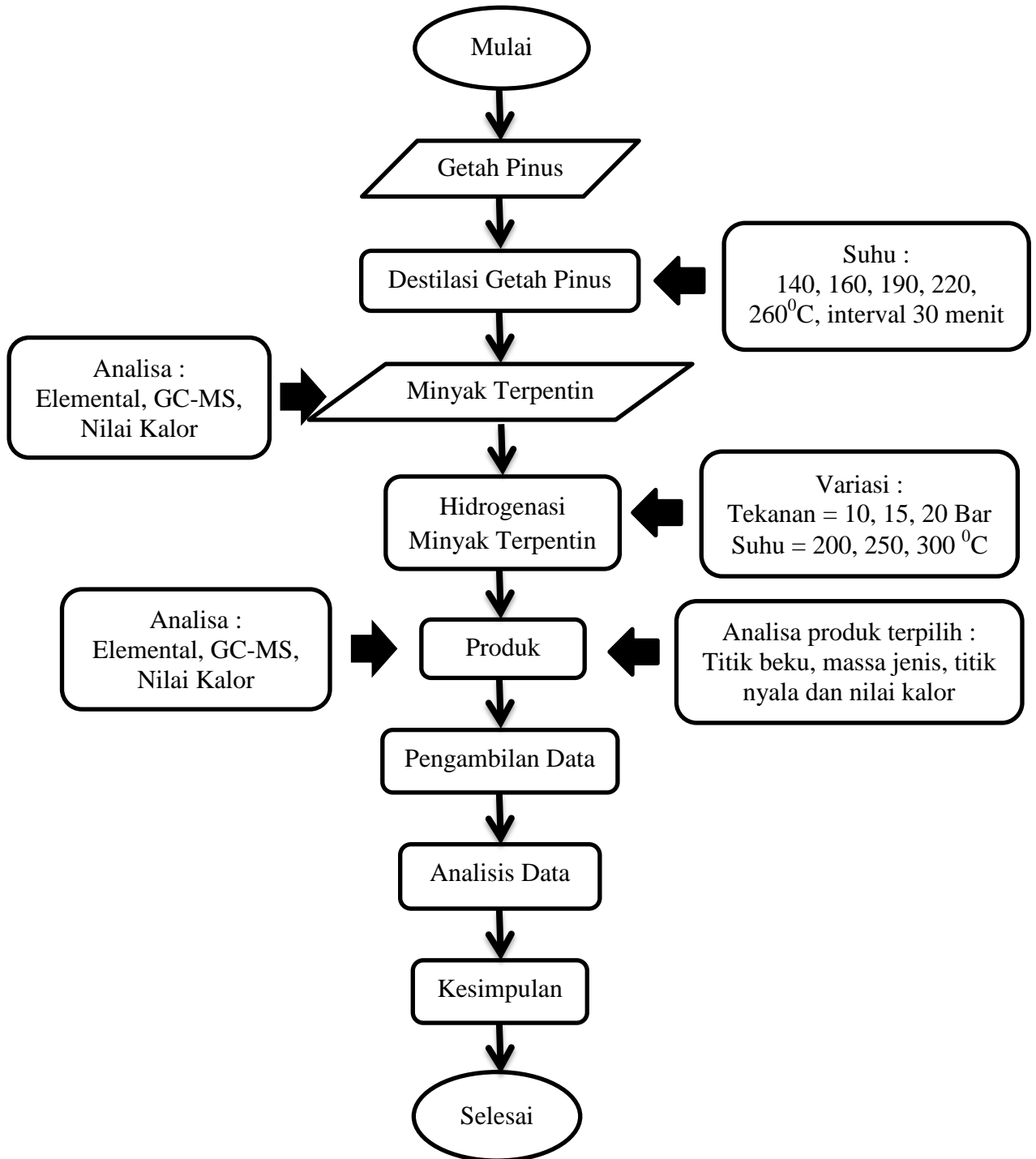
Setelah tekanan terbaik diperoleh, dilanjutkan dengan variasi suhu proses pemanasan yang bertujuan untuk memperoleh kondisi suhu optimum. Variasi suhu yang digunakan adalah 200<sup>0</sup>C, 250<sup>0</sup>C dan 300<sup>0</sup>C dengan tekanan dan waktu yang konstan. Besarnya tekanan yang digunakan mengacu kepada hasil yang telah diperoleh dari sebelumnya, yang diproses selama 1 jam. Produk yang dihasilkan

kemudian dilakukan analisa GC-MS dan CHN, kemudian dihitung besarnya nilai kalor (HHV) dari produk yang dihasilkan. Setelah itu, produk dengan kondisi suhu terbaik diperoleh.

Setelah tekanan dan suhu optimum diperoleh, produk kemudian diuji diuji sifat-sifat fisiknya yang meliputi : titik beku, massa jenis, titik nyala dan nilai kalor. Kemudian, membandingkan hasil pengukuran tersebut dengan *Standar International Avtur* (ASTM International) untuk melihat kelayakan penggunaan bioavtur yang diteliti.

### III.5 Prosedur Penelitian

#### III.5.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Bioavtur Getah Pinus

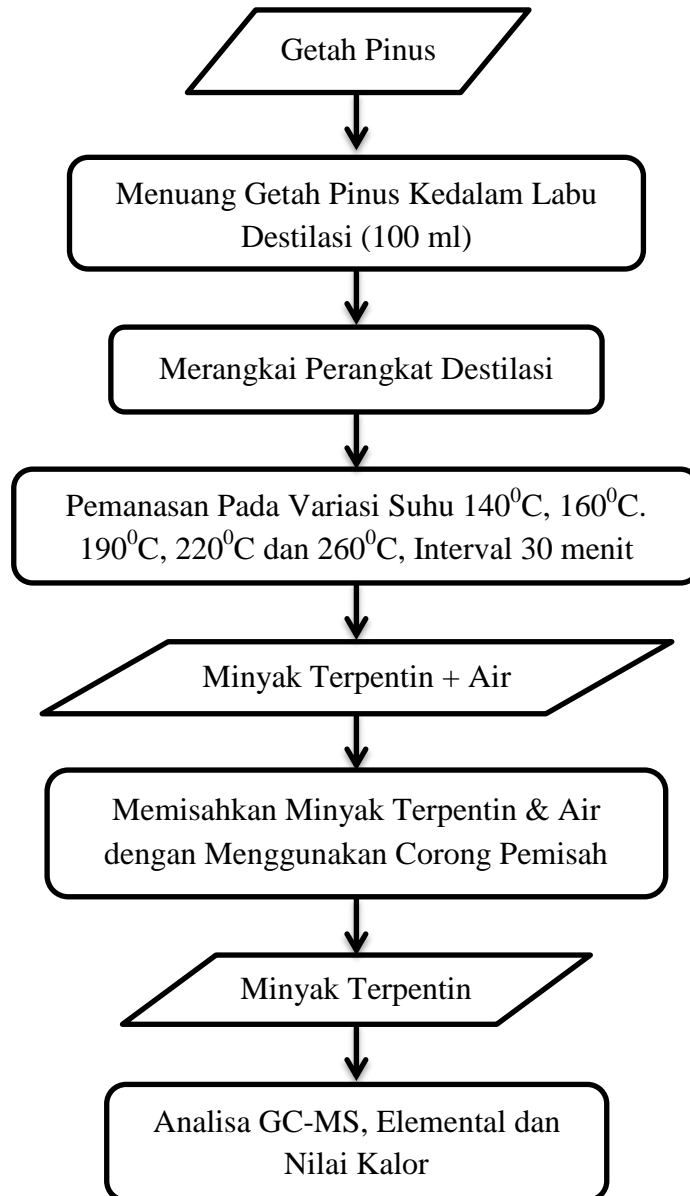


Gambar 3.1. Diagram Alir Proses Pembuatan Bioavtur Getah Pinus.

### III.5.2 Ekstraksi Minyak Terpentin Dari Getah Pinus

Proses ekstraksi minyak terpentin dari getah pinus diawali dengan menyiapkan getah pinus sebanyak 100 ml yang diukur dengan menggunakan labu destilasi berkapasitas 100 ml. Kemudian menyiapkan stopwatch yang akan digunakan untuk mencatat waktu yang dibutuhkan selama proses destilasi. Setelah itu, merangkai satu set perangkat destilasi. Proses destilasi dilakukan secara bertahap mulai dari suhu 140 °C, 160 °C, 190 °C, 220°C hingga 260 °C dengan interval waktu masing-masing adalah 30 menit. Proses destilasi dilakukan dengan memanaskan getah pinus didalam labu destilasi hingga muncul sejumlah uap. Uap hasil destilasi ini kemudian dialirkan menuju kondensor untuk dilakukan proses pengembunan yang bertujuan untuk mengubah uap hasil proses destilasi menjadi minyak. Minyak hasil proses destilasi ini yang disebut dengan minyak terpentin. Produk hasil destilat yang dihasilkan yaitu berupa air dan minyak. Kemudian, dilakukan pemisahan antara minyak terpentin dan air dengan menggunakan corong pemisah. Minyak terpentin yang dihasilkan, kemudian dianalisa GC-MS (*Gas chromatography–mass spectrometry*) untuk mengetahui komponen senyawa yang terkandung didalamnya. Selain itu, juga dilakukan analisa elemental dan juga perhitungan nilai kalor.

### III.5.2.1 Diagram Alir Proses Destilasi Minyak Terpentin



Gambar 3.2. Diagram Alir Proses Ekstraksi Minyak Terpentin Dari Getah Pinus.



### **III.5.3 Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin Dengan Variasi Tekanan Hidrogen**

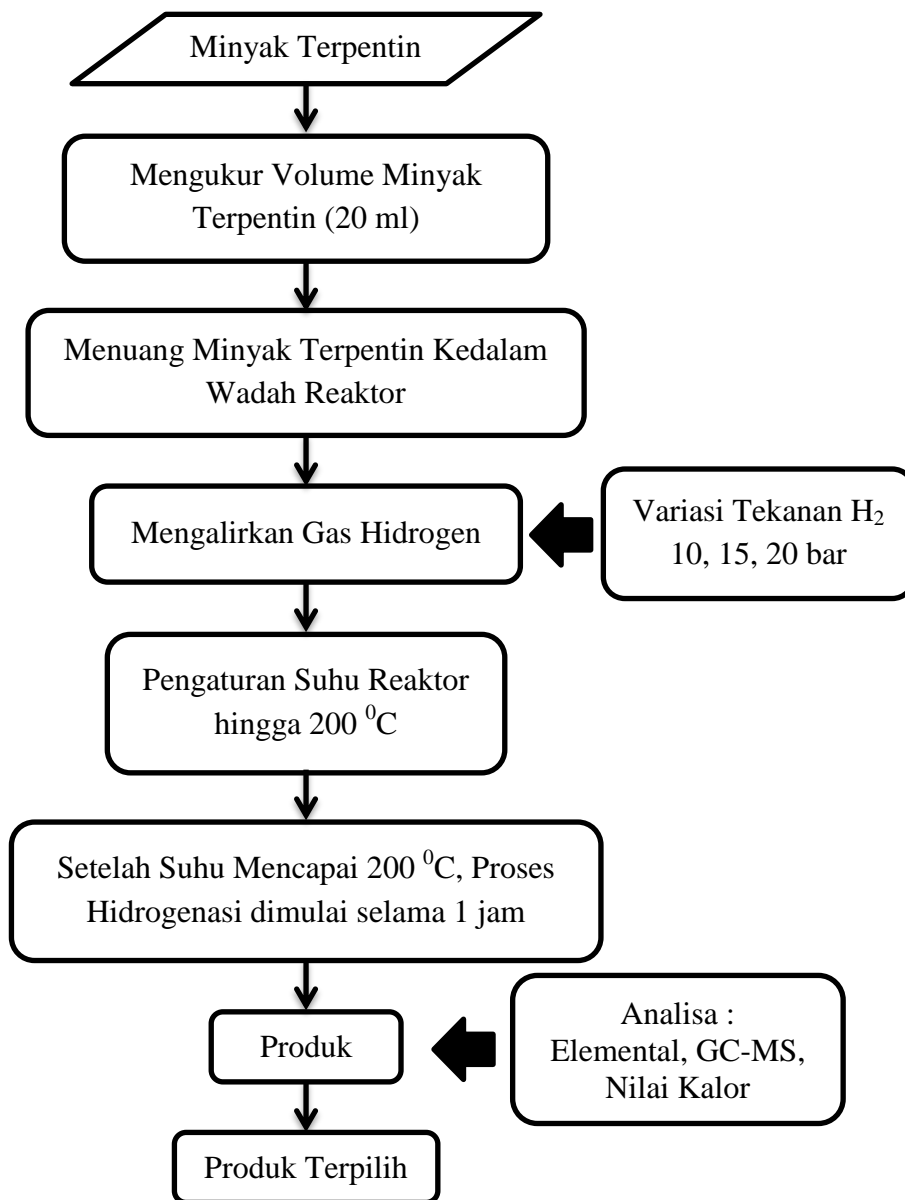
Setelah minyak terpenin diperoleh, kemudian dilanjutkan dengan menerapkan metode hidrogenasi. Proses hidrogenasi dilakukan dengan memvariasikan tekanan hidrogen sebesar 10 bar, 15 bar dan 20 bar dengan suhu dan waktu pemanasan yang konstan. Suhu yang digunakan pada proses pemanasan adalah sebesar 200 °C selama 1 jam. Proses hidrogenasi dilakukan dengan menggunakan reaktor batch autoclave.

Proses hidrogenasi diawali dengan menyiapkan sampel minyak terpenin sebanyak 20 ml, yang diukur dengan menggunakan gelas ukur. Sampel kemudian dituang ke dalam reaktor batch dan ditutup rapat hingga tidak ada udara yang masuk ke dalamnya. Gas hidrogen kemudian dialirkan ke dalam reaktor yang diatur hingga tekanan tertentu, dalam hal ini proses diawali dengan tekanan hidrogen awal sebesar 10 bar. Setelah tekanan hidrogen telah tercapai, kemudian proses hidrogenasi siap untuk dilakukan.

Proses pemanasan dimulai dengan mengatur suhu pemanasan reaktor hingga suhu 200 °C. Setelah suhu tercapai, proses hidrogenasi dimulai. Proses hidrogenasi dilakukan selama 1 jam proses pemanasan. Setelah 1 jam, proses hidrogenasi dihentikan dan produk dipisahkan dari reaktor untuk kemudian disimpan di dalam wadah penutup. Mengulangi kegiatan di atas dengan variasi tekanan hidrogen sebesar 15 bar dan 20 bar.

Produk hasil hidrogenasi kemudian dianalisa GC-MS untuk mengetahui komponen senyawa yang telah terbentuk di dalamnya. Selain itu, juga dilakukan analisa elemental dan juga perhitungan nilai kalor dari masing-masing produk yang dihasilkan. Produk dengan nilai kalor terbesar dan spesifikasi terbaik dari hasil uji GC-MS digunakan sebagai tekanan tetap yang akan digunakan pada proses hidrogenasi selanjutnya yang dilakukan dengan variasi suhu pada waktu yang konstan.

### III.5.3.1 Diagram Alir Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin Dengan Variasi Tekanan Hidrogen



Gambar 3.3. Diagram Alir Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin Dengan Variasi Tekanan Hidrogen.

### **III.5.4 Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin Dengan Variasi Suhu**

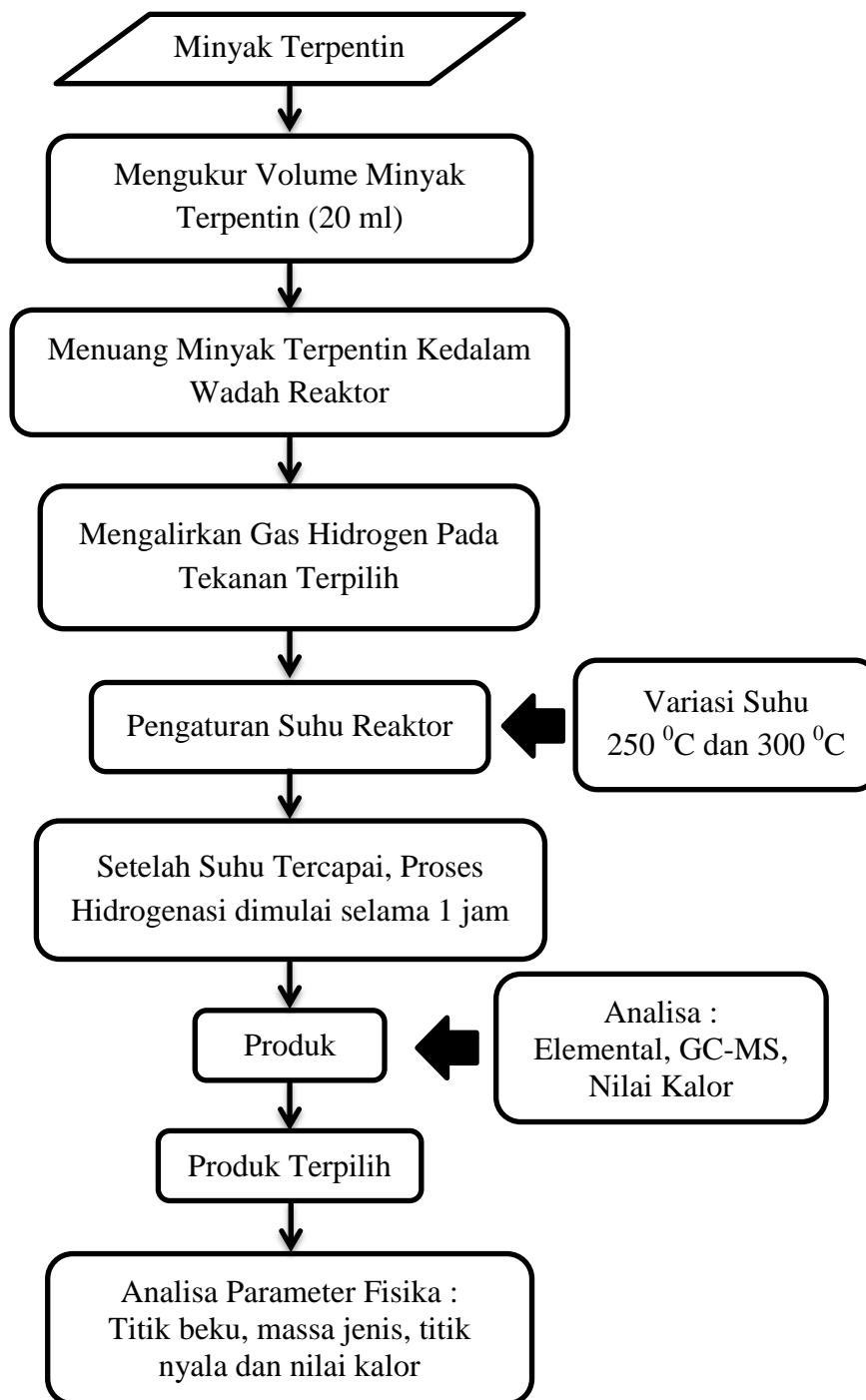
Setelah tekanan terbaik dari proses hidrogenasi sebelumnya diperoleh, proses hidrogenasi kemudian dilanjutkan dengan memvariasikan suhu pemanasan yaitu sebesar 250 °C dan 300 °C dengan tekanan dan waktu yang konstan. Tekanan yang digunakan pada proses pemanasan adalah tekanan terpilih yang diperoleh dari proses sebelumnya yang dioperasikan selama 1 jam.

Proses hidrogenasi dengan variasi suhu diawali dengan menyiapkan sampel minyak terpentin sebanyak 20 ml, yang diukur dengan menggunakan gelas ukur. Sampel kemudian dituang ke dalam reaktor batch dan ditutup rapat hingga tidak ada udara yang masuk ke dalamnya. Gas hidrogen kemudian dialirkan ke dalam reaktor hingga tekanan terpilih tercapai. Setelah tekanan hidrogen terpilih telah tercapai, kemudian proses hidrogenasi siap untuk dilakukan.

Kemudian, proses pemanasan dimulai dengan mengatur suhu pemanasan reaktor hingga suhu 250 °C. Setelah suhu tercapai, proses hidrogenasi dimulai. Proses hidrogenasi dilakukan selama 1 jam. Setelah 1 jam, proses hidrogenasi dihentikan dan produk dipisahkan dari reaktor untuk kemudian disimpan di dalam wadah penutup. Mengulangi kegiatan di atas dengan mengganti suhu pemanasan sebesar 300 °C.

Produk hasil hidrogenasi kemudian dianalisa GC-MS untuk mengetahui komponen senyawa yang telah terbentuk di dalamnya. Selain itu, juga dilakukan analisa elemental dan juga perhitungan nilai kalor dari masing-masing produk yang dihasilkan. Produk dengan nilai kalor terbesar dan spesifikasi terbaik dari hasil uji GC-MS digunakan sebagai produk terbaik untuk dianalisa parameter fisiknya meliputi : titik beku, massa jenis, titik nyala dan nilai kalor .

### III.5.4.1 Diagram Alir Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin Dengan Variasi Suhu



Gambar 3.4. Diagram Alir Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin Dengan Variasi Suhu

### III.5.5 Analisa GC-MS

Analisa GC-MS dilakukan dengan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) Agilent Technologies 5977A MSD - DB WAX column (NIST mass spectral database), 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 sebagai berikut: suhu dipertahankan 50 °C selama 5 menit, kemudian dinaikkan sampai 100 °C pada kecepatan kenaikan suhu 3 °C /menit selama 0 menit, lalu suhu dinaikkan kembali sampai 160 °C pada kecepatan suhu 4 °C/menit selama 0 menit, kemudian suhu dinaikkan kembali sampai 220 °C pada kecepatan 5 °C/menit selama 0 menit. Gas pembawa yang digunakan yaitu helium dengan kecepatan 0.8 ml/menit. 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.

### III.5.6 Analisa CHN

Analisa CHN digunakan untuk menentukan besarnya komposisi dari unsur karbon, hidrogen dan nitrogen yang terkandung didalam suatu senyawa. Besarnya komposisi dari masing-masing unsur tersebut dinyatakan dalam persen (%). Analisa CHN dilakukan dengan metode "*Liquid Hydrokarbon*" dengan menggunakan "Elemental Analyzer (Truespec CHN628; Leco)". Analisa CHN dilakukan dengan cara memasukkan sampel uji kedalam vial yang tertutup yang terdapat didalam mesin, kemudian sampel dibakar hingga suhu 960 °C.

Hasil pembakaran dari sampel ini kemudian dideteksi oleh detektor untuk diketahui seberapa besar persentase komposisi dari unsur karbon, hidrogen dan nitrogen yang terdapat didalam sampel tersebut. Persentase masing-masing unsur ini akan berfungsi untuk menentukan seberapa besar nilai kalor (LHV dan HHV) yang mampu dihasilkan oleh sampel. Dari hasil analisa CHN tersebut kemudian dihitung besarnya nilai kalor (LHV dan HHV) produk yang dihasilkan berdasarkan persamaan elemental.

### **III.5.7 Analisa Titik Beku Produk**

Analisa titik beku produk dilakukan dengan menggunakan metode ASTM 2386-06. Pengukuran titik beku produk dilakukan pada variasi suhu pendinginan yaitu  $-47^{\circ}\text{C}$ ,  $-55^{\circ}\text{C}$  dan  $-69^{\circ}\text{C}$ . Diawali dengan menyiapkan sampel produk yang akan diuji sebanyak 5ml. Kemudian menuanginya kedalam *freezer* dengan terlebih dahulu mengatur suhu *freezer* hingga mencapai  $-47^{\circ}\text{C}$ . Kemudian, produk dimasukkan kedalam freezer dan mendinginkannya selama 24 jam. Setelah 24 jam, produk dikeluarkan dari freezer dan dilakukan pengamatan perubahan fase cairan. Hasil pengamatan kemudian dicatat.

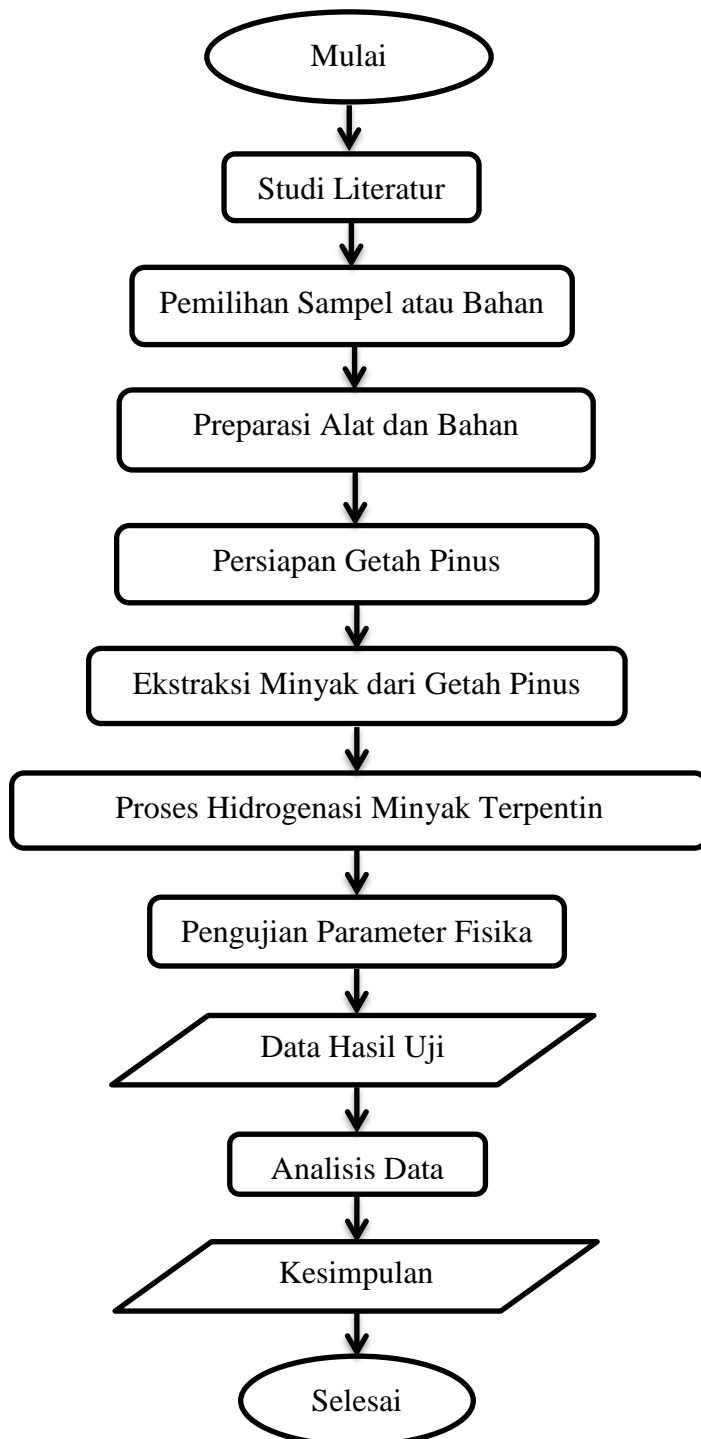
### **III.5.8 Analisa Massa Jenis Produk**

Analisa massa jenis produk dilakukan dengan menggunakan metode ASTM D4052-11 dengan terlebih dahulu menyiapkan sampel produk yang akan diuji sebanyak 20 ml. Sampel kemudian dimasukan kedalam mesin dengan terlebih dahulu mengatur suhu pengukuran ( $15^{\circ}\text{C}$ ). Setelah dilakukan pengaturan, proses pengukuran dimulai. Kemudian mencatat data yang dihasilkan. Mengulangi kegiatan yang sama sebanyak 3 kali pengukuran.

### **III.5.9 Analisa Titik Nyala Produk**

Analisa titik nyala produk dilakukan dengan menggunakan metode ASTM D93-13. Proses pengukuran diawali dengan melakukan kalibrasi terhadap mesin dengan cara memanaskannya selama 10 menit. Kemudian, menyiapkan produk sebanyak 5 ml dan menuanginya kedalam mesin. Setelah itu, melakukan pengaturan pemanasan yang dilakukan dalam rentang  $40$  hingga  $360^{\circ}\text{C}$ . Nilai titik nyala produk yang terukur akan teramati melalui monitor. Kemudian mencatat suhu yang teramati. Mengulangi kegiatan yang sama sebanyak 3 kali pengukuran.

### III.5.10 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5. Diagram Alir Penelitian.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### IV.1 Karakteristik Minyak Terpentin

Karakteristik minyak terpentin ditentukan berdasarkan 3 analisa yaitu *analisa GC-MS, analisa elemental dan analisa nilai kalor*. Hasil ketiga analisa tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

##### IV.1.1 Analisa GC-MS Minyak Terpentin

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

Tabel 4.1. Hasil Analisa GC-MS Minyak Terpentin.

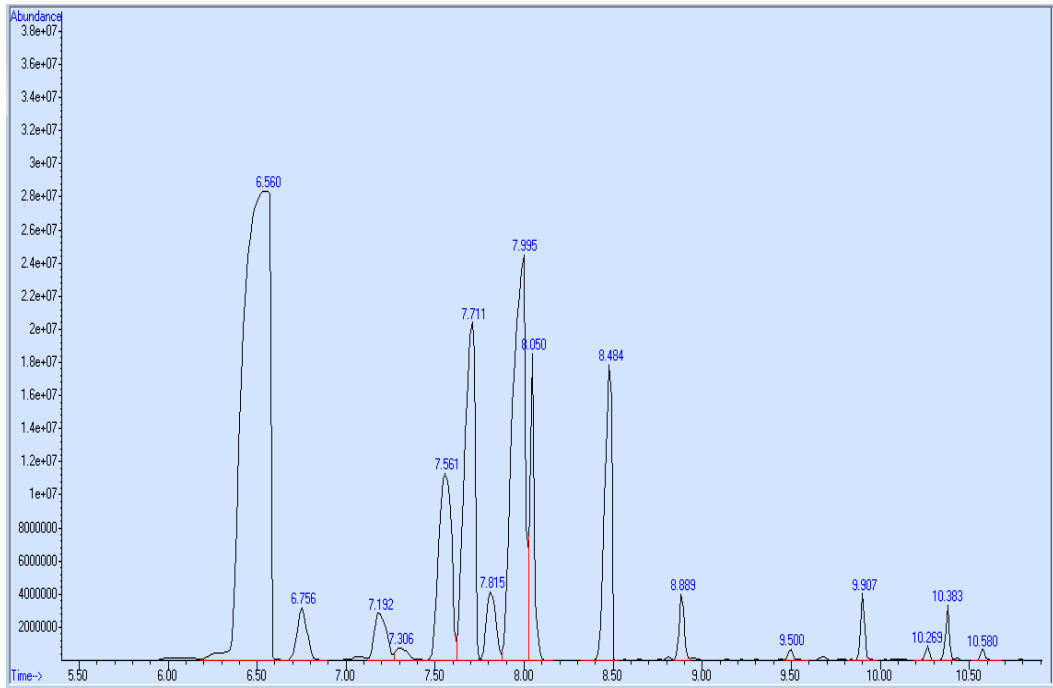
No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)	
				Eksperimen	Literatur <sup>a</sup>
1	6.561	$\alpha$ -Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	42.00	82.9
2	6.750	Camphene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.77	-
3	7.192	$\beta$ -Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.90	2.2
4	7.557	4(8)-p-Menthene	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	8.10	-
5	7.708	(+)-3-Carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	11.56	11.0
6	7.809	$\alpha$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.18	-
7	7.998	p-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	17.05	1.1
8	8.049	Limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	4.62	1.3
9	8.490	$\gamma$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	6.49	-
10	8.893	Terpinolene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.11	-
<b>Luas Total %</b>				<b>96.78</b>	<b>98.5</b>

\*Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1 % yang ditampilkan.

<sup>a</sup>Literatur mengacu kepada hasil penelitian yang dilakukan oleh Bambang dkk (2006)



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



Gambar 4.1. Hasil Spektrum GC-MS Minyak Terpentin.

Menurut Bambang (2006), senyawa hidrokarbon  $\alpha$ -pinen merupakan monoterpen yang memiliki kandungan terbesar didalam minyak terpentin. Berdasarkan hasil analisa GC-MS, diketahui bahwa  $\alpha$ -pinen merupakan senyawa hidrokarbon yang memiliki komposisi terbesar didalam minyak terpentin dengan persentase mencapai 42 % (persentase  $\alpha$ -pinen teramati berdasarkan luas peak yang dihasilkan). Sehingga, hal ini sesuai dengan kajian literature yang ada.

Berdasarkan hasil analisa GC-MS, dengan mengacu kepada rumus molekul dari masing-masing senyawa hidrokarbon yang dihasilkan, dapat diketahui bahwa tidak ada kandungan oksigen didalam minyak terpentin. Selain itu, komposisi yang dihasilkan berdasarkan eksperimen cenderung lebih bervariasi, yakni muncul senyawa-senyawa hidrokarbon lain seperti : *camphene*,  *$\gamma$ -terpinene*,  *$\alpha$ -terpinene* dan *terpinolene*. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan prinsip transformasi hidrokarbon monoterpen yang telah dijelaskan oleh Rachwalik dkk.

Menurut Rachwalik (2012), senyawa hidrokarbon  $\alpha$ -pinen dapat dikonversi menjadi senyawa hidrokarbon lain seperti : *camphene*, *limonene*,  $\gamma$ -*terpinene*,  $\alpha$ -*terpinene*, *terpinolene*, *p-cymene* dll. Sehingga, hal ini sesuai dengan kajian literature yang ada, yang menjelaskan bahwa terbentuknya senyawa-senyawa hidrokarbon lain pada terpentin (*camphene*,  $\gamma$ -*terpinene*,  $\alpha$ -*terpinene* dan *terpinolene*) disebabkan oleh terjadinya konversi senyawa hidrokarbon  $\alpha$ -pinen sebagai konsekuensi dari pengaruh suhu destilasi yang digunakan. Hal ini dibuktikan oleh rendahnya persentase kandungan  $\alpha$ -pinen yang terukur berdasarkan eksperimen dibandingkan dengan literatur.

#### IV.1.2 Analisa Elemental Minyak Terpentin

Analisa elemental bertujuan untuk menentukan ratio  $\frac{H}{C}$  dan  $\frac{O}{C}$  yang terkandung didalam minyak terpentin. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4.2. Hasil Analisa Elemental Minyak Terpentin.

Sampel	Karbon (%)	Hidrogen (%)	Nitrogen (%)
Terpentin	82.6550	11.2400	8.1369
Terpentin	85.4770	11.5330	6.2327
Terpentin	86.1990	11.6960	5.5113
$\sum \bar{x}$	$84.7770 \pm 1.8728$	$11.4897 \pm 0.2311$	$6.6270 \pm 1.3565$

<sup>a</sup>Dihitung berdasarkan selisih (100 - C% - H% - N%).

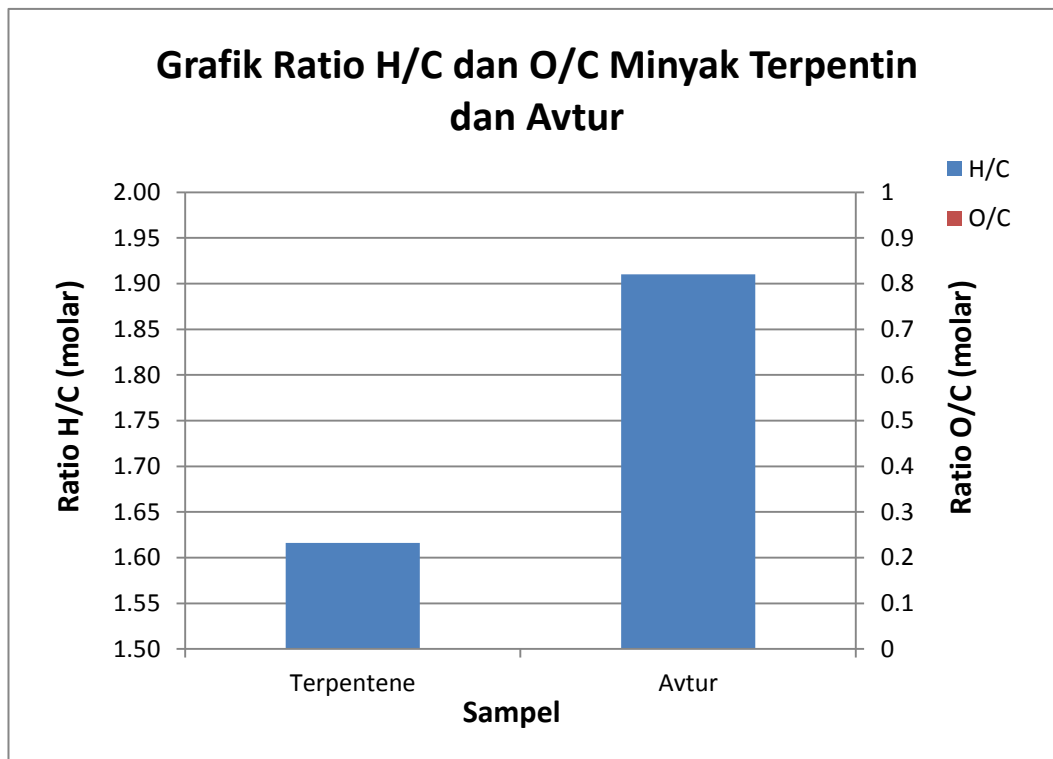
Berdasarkan hasil analisa elemental, diketahui bahwa besarnya persentase kandungan hidrogen dan karbon yang terdapat didalam minyak terpentin mencapai 11.4897% dan 84.7770%. Selain itu, analisa elemental menunjukkan bahwa kandungan oksigen didalam minyak terpentin adalah sebesar nol persen. Hal ini sesuai dengan hasil analisa GC-MS yang menunjukkan bahwa tidak adanya kandungan oksigen didalam minyak terpentin.

Dengan menggunakan data elemental yang telah diperoleh diatas, maka ditentukan ratio  $\frac{H}{C}$  dan  $\frac{O}{C}$  dari minyak terpentin yang dihasilkan (perhitungan rumus empiris dapat dilihat dilampiran 3). Berikut ditampilkan ratio  $\frac{H}{C}$  dan  $\frac{O}{C}$  dari minyak terpentin yang diteliti.

Tabel 4.3. Ratio  $\frac{H}{C}$ ,  $\frac{O}{C}$  Minyak Terpentin dan Avtur.

Sampel	Rumus Empiris	Ratio	
		$\frac{H}{C}$	$\frac{O}{C}$
Terpentin	$CH_{1.616}N_{0.067}$	1.616	0
Avtur*	$C_{1.1}H_{2.1}$	1.910	0

\*Karakteristik bahan bakar avtur (Philippe, 2006)



Grafik 4.1. Ratio H/C dan O/C Minyak Terpentin dan Avtur.

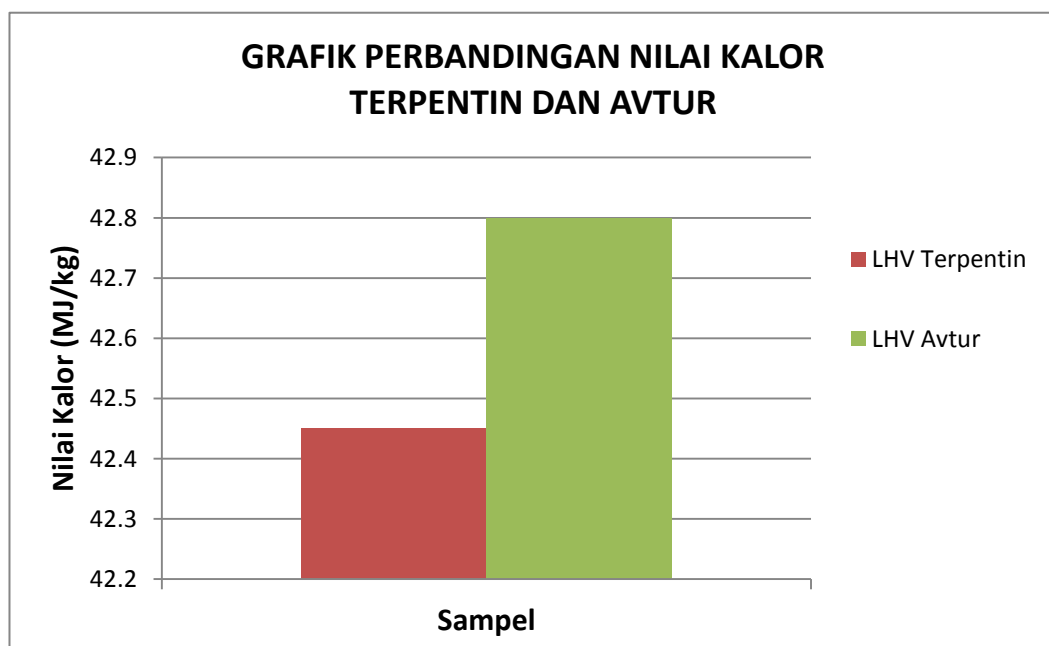
Dari grafik diatas, terlihat bahwa ratio  $\frac{H}{C}$  minyak terpentin lebih rendah dibandingkan avtur. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas bahan bakar avtur lebih baik daripada minyak terpentin. Sedangkan ratio  $\frac{O}{C}$  keduanya sama yaitu setara dengan nol. Hal ini disebabkan karena masing-masing sampel tidak mengandung oksigen.

#### IV.1.3 Analisa Nilai Kalor Minyak Terpentin

Berdasarkan hasil analisa elemental, kemudian dihitung besarnya nilai kalor minyak terpentin (LHV dan HHV) yang dihasilkan menggunakan persamaan (2-1) dan (2-2) (perhitungan dapat dilihat dilampiran 6). Berdasarkan perhitungan, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Nilai Kalor Minyak Terpentin.

Sampel	Nilai Kalor (MJ/kg)	
	LHV	HHV
Terpentin	42.1824	44.7675



Grafik 4.2. Perbandingan Nilai Kalor Terpentin dan Avtur.

Berdasarkan perhitungan nilai kalor, diketahui bahwa besarnya nilai LHV (*lower heating value*) dari minyak terpentin yang dihasilkan adalah sebesar 42.1824 MJ/kg. Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai kalor minimum (LHV) yang terkandung didalam minyak terpentin lebih rendah dari bahan bakar avtur. Hasil ini sesuai dengan analisa elemental, yang menunjukkan bahwa ratio  $\frac{H}{C}$  minyak terpentin lebih rendah dibandingkan avtur. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas minyak terpentin yang dihasilkan lebih rendah dari bahan bakar avtur.

#### **IV.2 Pengaruh Variasi Tekanan Pada Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin**

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh sebelumnya, diketahui bahwa kualitas minyak terpentin masih lebih rendah dari bahan bakar avtur. Sehingga, perlu dilakukan peningkatan kualitas minyak terpentin tersebut. Berdasarkan referensi, proses hidrogenasi merupakan salah satu proses yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas sebuah bahan bakar cair. Maka pada penelitian ini dilakukan proses hidrogenasi terhadap minyak terpentin dengan memvariasikan tekanan hidrogen dan suhu proses.

Variasi tekanan hidrogen bertujuan untuk mengetahui karakteristik masing-masing produk yang dihasilkan dibawah pengaruh tekanan. Variasi tekanan hidrogen yang digunakan adalah sebesar 10 bar, 15 bar dan 20 bar yang diproses pada suhu dan waktu yang konstan yaitu dengan suhu 200 °C selama 1 jam. Karakteristik masing-masing produk hasil hidrogenasi dikaji berdasarkan 3 analisa yaitu analisa GC-MS, analisa elemental dan perhitungan nilai kalor.

##### **IV.2.1 Analisa GC-MS Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan**

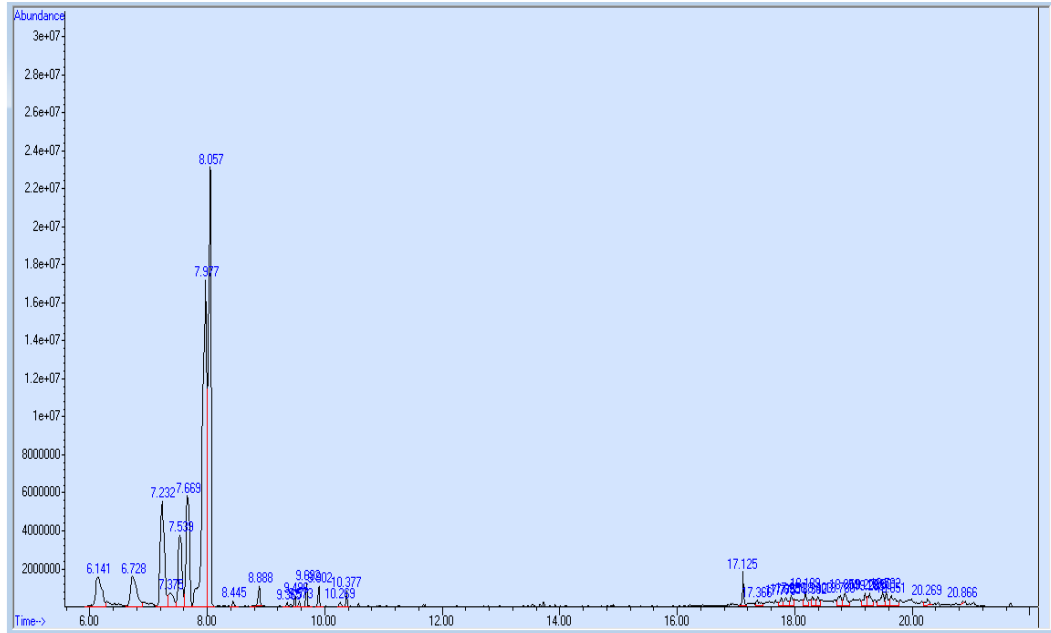
Berdasarkan hasil analisa GC-MS, diketahui bahwa produk hidrogenasi yang dilakukan dengan memvariasikan tekanan hidrogen sebesar 10 bar, 15 bar dan 20 bar mengandung senyawa hidrokarbon yang bervariasi dengan persentase yang berbeda-beda. Berikut ditampilkan hasil analisa GC-MS produk hidrogenasi dengan variasi tekanan hidrogen :

Tabel 4.5. Hasil Analisa GC-MS Produk Dengan Variasi Tekanan Hidrogen.

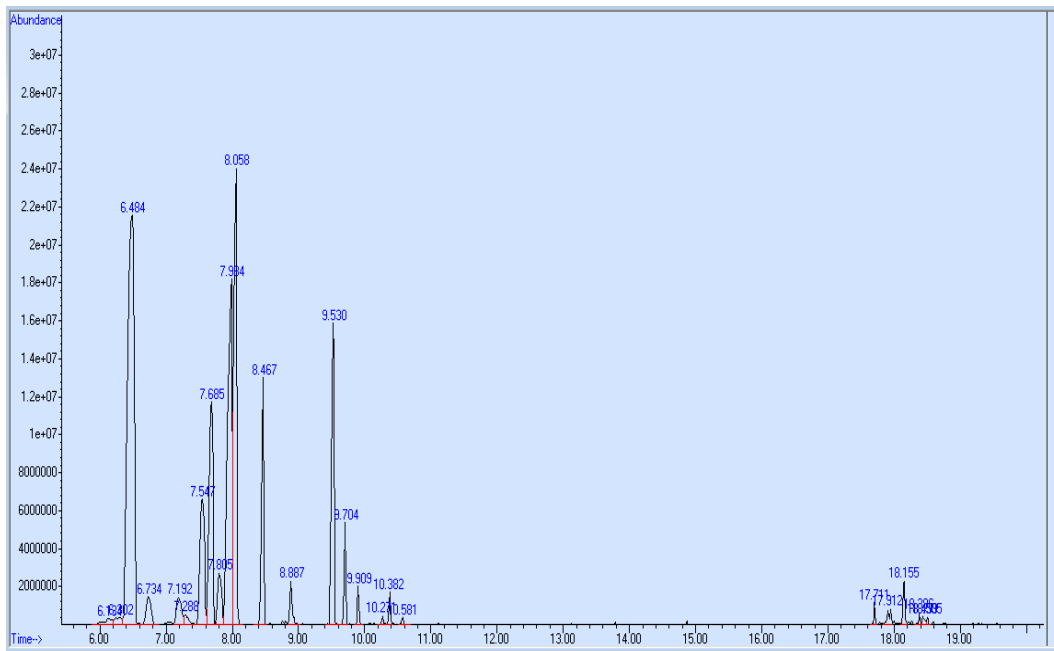
No	RT (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)			
				Tekanan (Bar)			Turpentine
				10	15	20	
1	6.146	$\beta$ -Pyronene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.82	-	-	-
2	6.561	$\alpha$ -Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	29.11	34.59	42.00
3	6.725	Cyclohexene, 1-Methyl-4-1-Methylethyl idene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.92	-	-	-
4	6.750	Camphene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	-	-	1.77
5	7.192	$\beta$ -Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	1.55	-	1.90
6	7.229	$\gamma$ -Pyronene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	8.87	-	-	-
7	7.381	1,3-Hexadiene, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	1.51	-	-	-
8	7.544	4(8)-p-Menthene	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	5.52	5.94	7.46	8.10
9	7.670	(+)-3-Carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	8.19	9.31	9.95	11.56
10	7.809	$\alpha$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	2.10	2.45	2.18
11	7.973	p-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	28.44	16.32	19.26	17.05
12	8.049	Limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	25.01	13.90	9.25	4.62
13	8.490	$\gamma$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	5.08	6.96	6.49
14	9.511	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	-	3.10	-
15	9.536	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	7.52	-	-
16	9.700	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	1.57	-	-
17	18.156	o-Isopropylphenol	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O	-	3.58	-	-
<b>Luas Total %</b>				<b>85.28</b>	<b>95.98</b>	<b>93.02</b>	<b>95.67</b>

\* Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1.5 % yang ditampilkan.

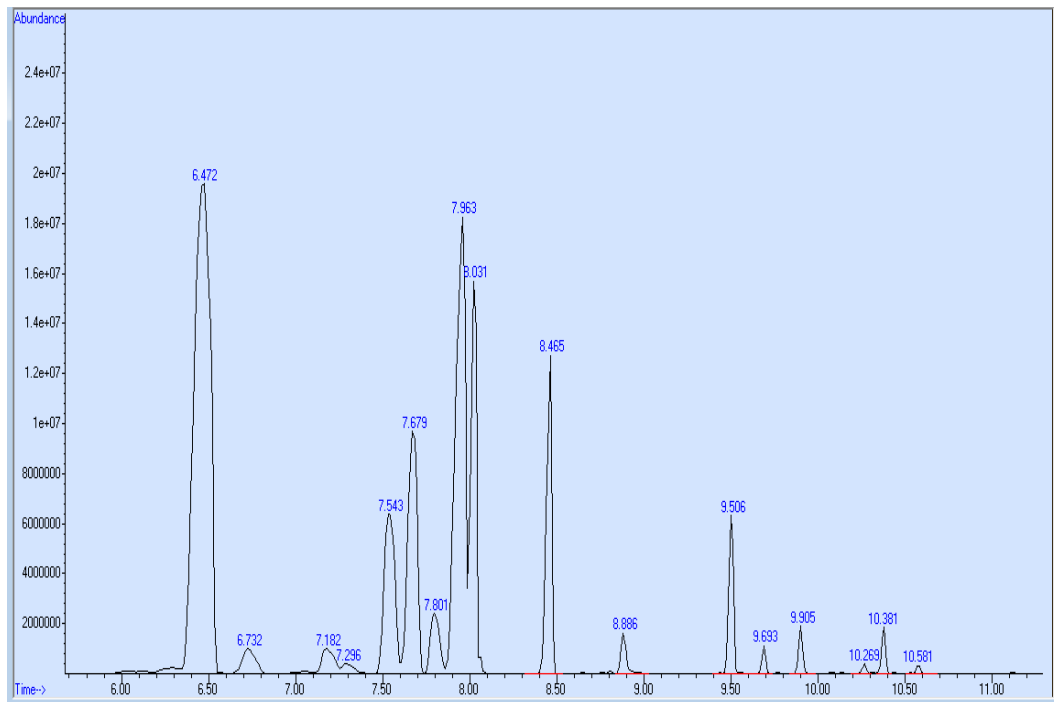
Berikut ditampilkan hasil spektrum GC-MS yang diperoleh dari produk hidrogenasi dengan variasi tekanan hidrogen :



Gambar 4.2. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hidrogenasi Dengan Tekanan 10 Bar.



Gambar 4.3. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hidrogenasi Dengan Tekanan 15 Bar.



Gambar 4.4. Hasil Spektrum GC-MS Dari Produk Dengan Tekanan 20 Bar.

Berdasarkan hasil analisa GC-MS, diketahui bahwa hanya pada tekanan 10 bar dapat terbentuk senyawa hidrokarbon dengan rumus molekul  $C_{10}H_{18}$  dengan persentase sebesar 1.51%. Hasil lain yang didapat adalah konversi alpha pinen terbesar yakni 100% ada pada tekanan 10 bar. Hasil ini didukung dengan hasil yang didapatkan oleh simakova (2000).

Simakova (2000) menghidrogenasi alpha pinen dan menghasilkan senyawa hidrokarbon  $C_{10}H_{18}$  dengan konversi 90%. Namun, struktur molekul (isomer) yang dihasilkan dalam penelitian ini berbeda dengan yang dihasilkan oleh simakova (2000). Hasil analisa GC-MS menunjukkan bahwa struktur molekul yang terbentuk memiliki struktur rantai bercabang, sedangkan studi yang telah dilakukan oleh simakova menghasilkan senyawa hidrokarbon yang memiliki rantai siklik. Hal ini diprediksi disebabkan karena pengaruh penggunaan katalis pada proses hidrogenasi. Pada eksperimen yang dilakukan, proses hidrogenasi dilakukan tanpa menggunakan katalis.

Berdasarkan hal ini tekanan hidrogenasi 10 bar dianggap sebagai tekanan optimum dalam penelitian ini.



#### IV.2.2 Analisa Elemental Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan

Variasi tekanan hidrogen pada proses hidrogenasi minyak terpenin diharapkan mampu meningkatkan ratio  $\frac{H}{C}$  dan menurunkan ratio  $\frac{O}{C}$  dari produk yang dihasilkan. Melalui analisa elemental, diperoleh besarnya persentase dari masing-masing unsur karbon, hidrogen dan nitrogen yang terkandung didalam minyak terpenin. Berikut ditampilkan hasil analisa elemental produk hidrogenasi dengan variasi tekanan hidrogen :

Tabel 4.6. Hasil Analisa Elemental Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan.

Tekanan (Bar)	Carbon %	Hidrogen %	Nitrogen %	Oksigen <sup>a</sup> %
10	85.6320	12.0870	5.3876	0.0000
15	80.1850	11.2630	4.7202	3.8318
20	83.4000	11.7550	4.5814	0.2636

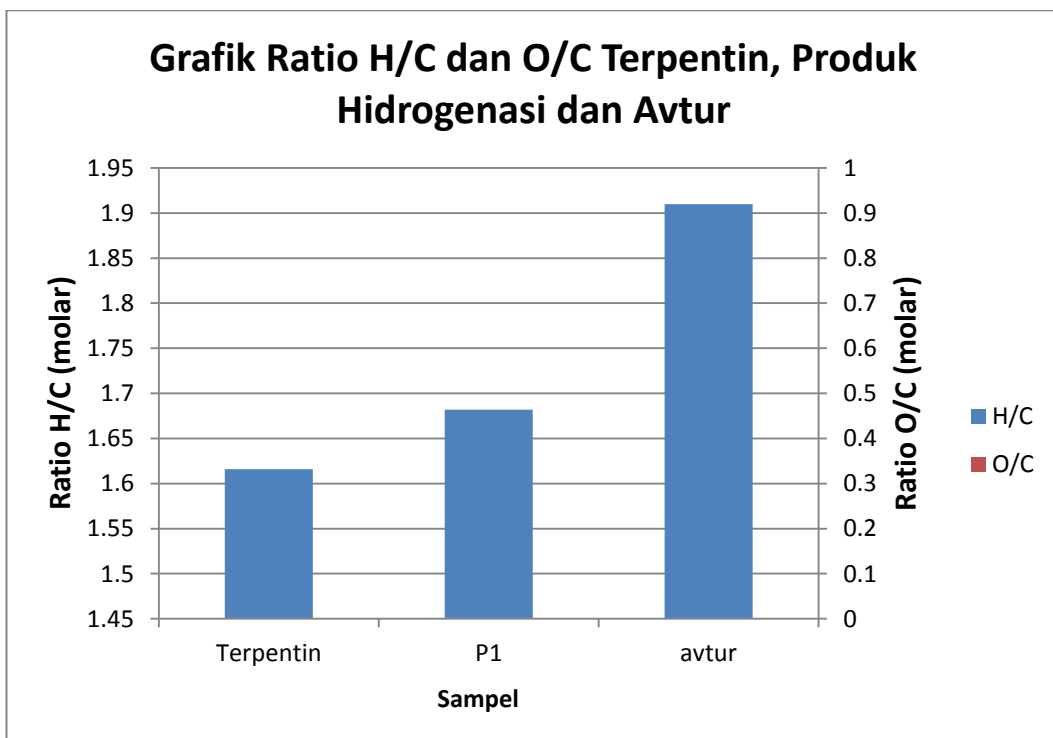
<sup>a</sup>Dihitung berdasarkan selisih (100 - C% - H% - N%).

Berdasarkan hasil analisa elemental, diketahui bahwa produk dengan persentase nilai karbon dan hidrogen terbesar diperoleh pada penggunaan tekanan 10 bar, dengan persentase mencapai 85.6320% dan 12.087%. Serta, produk dengan persentase nilai oksigen terendah juga diperoleh pada penggunaan tekanan 10 bar yaitu sebesar 0 %. Pada penggunaan tekanan hidrogen yang lebih tinggi, produk yang dihasilkan cenderung mengandung oksigen. Berdasarkan hasil analisa elemental, tekanan proses 10 bar merupakan tekanan yang paling optimum.

Dengan menggunakan data elemental yang telah diperoleh diatas, maka dihitung besarnya ratio  $\frac{H}{C}$  dan  $\frac{O}{C}$  dari produk yang dihasilkan. Hasil perhitungan yang didapat kemudian dibandingkan dengan ratio ratio  $\frac{H}{C}$  dan  $\frac{O}{C}$  dari bahan baku (minyak terpenin) dan standard bahan bakar avtur. Hasil perbandingan tersebut dijelaskan dalam tabel berikut :

Tabel 4.7. Ratio  $\frac{H}{C}$  dan  $\frac{O}{C}$  Dari Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan.

Sampel	Tekanan (Bar)	Rumus Empiris	Ratio	
			$\frac{H}{C}$	$\frac{O}{C}$
Terpentin	-	$CH_{1.616}N_{0.067}$	1.616	0
P1	10	$CH_{1.682}N_{0.054}$	1.682	0
Avtur	-	$C_{1.1}H_{2.1}$	1.910	0



Grafik 4.3. Ratio  $\frac{H}{C}$  dan  $\frac{O}{C}$  Minyak Terpentin, Produk Hidrogenasi Dan Avtur.

Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa produk hidrogenasi yang diperoleh dengan tekanan 10 bar dapat meningkatkan ratio  $\frac{H}{C}$  dari minyak terpentin sebesar 0.066 atau 4%.

### IV.2.3 Analisa Nilai Kalor Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan

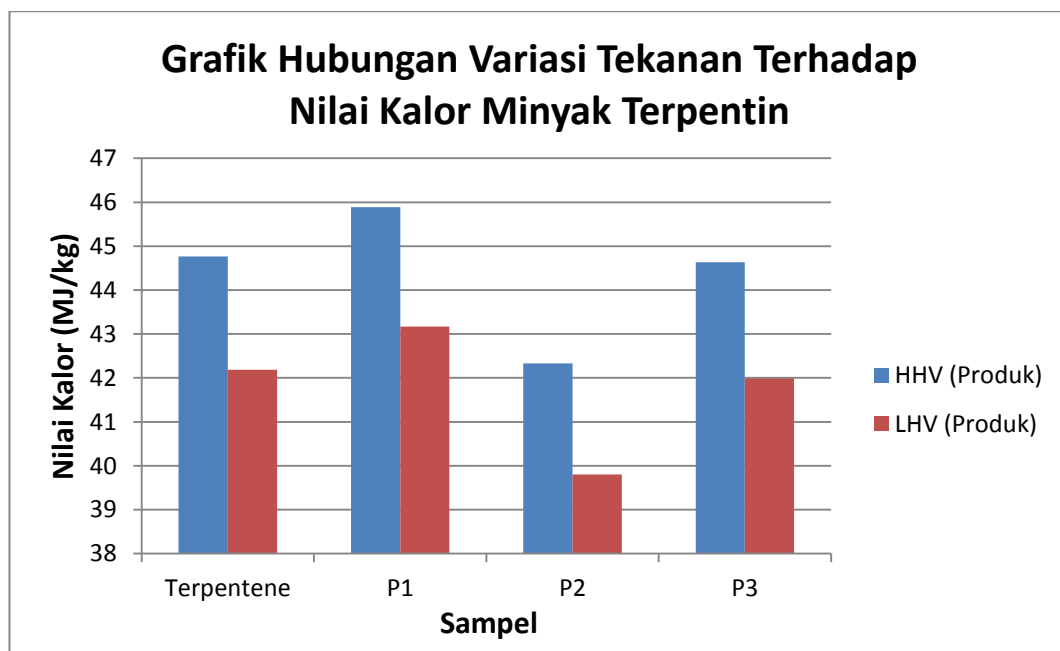
Berdasarkan hasil analisa elemental, kemudian dihitung besarnya nilai kalor (LHV dan HHV) produk hidrogenasi yang dihasilkan berdasarkan persamaan (2-1) dan (2-2). Data yang digunakan mengacu kepada hasil dari analisa elemental yang telah diperoleh berdasarkan pengukuran sebelumnya. Berdasarkan perhitungan (perhitungan dapat dilihat dilampiran 7), diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Nilai Kalor Produk Dengan Variasi Tekanan.

Sampel	Tekanan (Bar)	Nilai Kalor (MJ/kg)	
		LHV	HHV
P1	10	43.1710	45.8906
P2	15	39.8000	42.3342
P3	20	41.9874	44.6323

<sup>a</sup>Dihitung berdasarkan selisih (100 - C% - H% - N%).

Berikut ditampilkan grafik hubungan antara variasi tekanan hidrogen terhadap nilai kalor produk hidrogenasi :



Grafik 4.4. Hubungan Antara Variasi Tekanan Terhadap Nilai Kalor Minyak Terpentin.

Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa hanya pada penggunaan tekanan 10 bar, produk yang dihasilkan memiliki nilai kalor lebih besar dari bahan baku yang digunakan (minyak terpentin). Sedangkan pada penggunaan tekanan yang lebih tinggi yaitu 15 bar dan 20 bar, produk yang dihasilkan cenderung memiliki nilai kalor lebih rendah dari bahan baku yang digunakan. Produk dengan nilai kalor terbesar diperoleh pada penggunaan tekanan sebesar 10 bar (terdapat pada sampel P1) dengan nilai HHV dan LHV masing-masing adalah sebesar 45.8906 MJ/kg dan 43.1710 MJ/kg. Hal ini memperkuat bahwa proses hidrogenasi pada tekanan 10 bar merupakan tekanan optimum pada penelitian ini.

### **IV.3 Pengaruh Variasi Suhu Pada Proses Hidrogenasi Minyak Terpentin**

Setelah penentuan tekanan hidrogenasi terbaik diperoleh pada proses sebelumnya, kemudian dilakukan variasi suhu pemanasan yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik masing-masing produk yang dihasilkan dibawah pengaruh suhu. Variasi suhu yang digunakan adalah sebesar 200 °C, 250 °C dan 300 °C yang diproses pada tekanan dan waktu yang konstan yaitu dengan tekanan 10 bar selama 1 jam. Karakteristik masing-masing produk yang dihasilkan dari proses hidrogenasi dengan variasi suhu dikaji berdasarkan 3 analisa yaitu analisa elemental, analisa nilai kalor dan analisa GC-MS. Hasil ketiga analisa tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

#### **IV.3.1 Analisa GC-MS Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu**

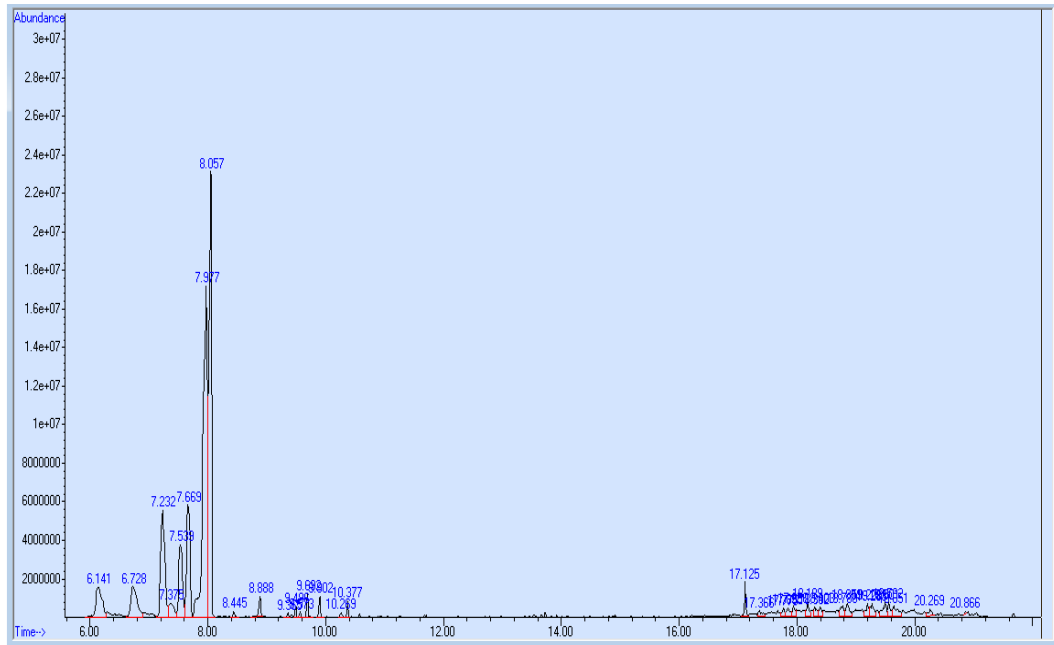
Berdasarkan hasil analisa GC-MS, diketahui bahwa produk hidrogenasi yang dilakukan dengan memvariasikan suhu pemanasan sebesar 200 °C, 250 °C dan 300 °C cenderung mengandung senyawa hidrokarbon yang bervariasi dengan persentase yang berbeda-beda. Berikut ditampilkan hasil analisa GC-MS produk dengan variasi suhu :

Tabel 4.9. Hasil Analisa GC-MS Produk Dengan Variasi Suhu.

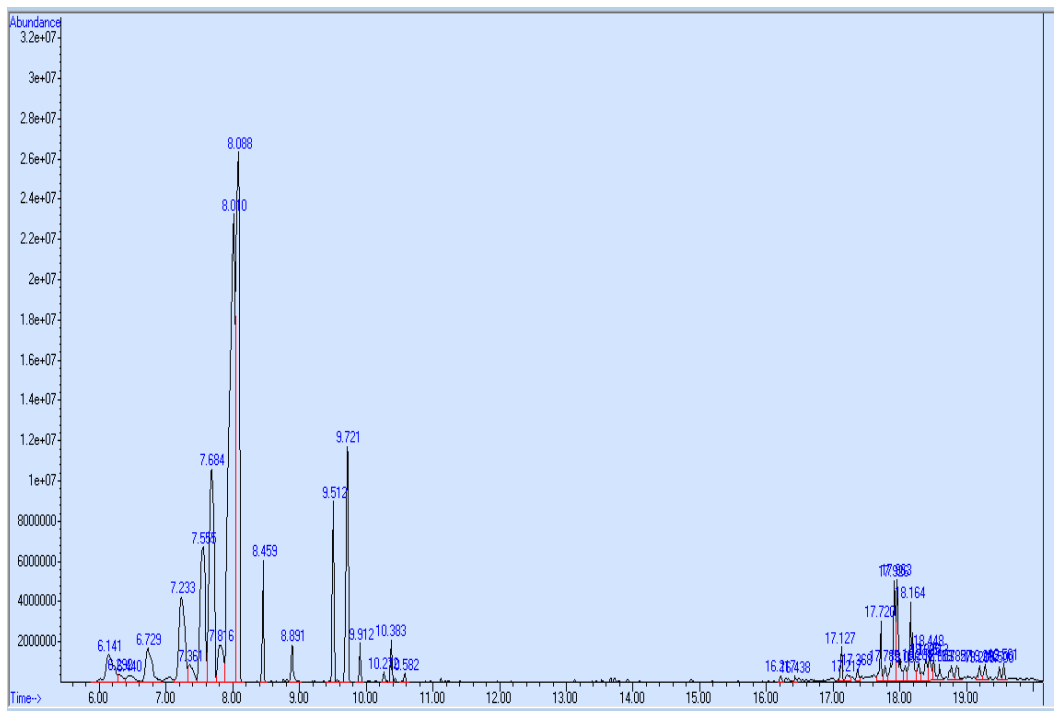
No	RT (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)			Terpentin
				Suhu (°C)			
				200	250	300	
1	6.146	$\beta$ -Pyronene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.82	2.19	2.50	-
2	6.561	$\alpha$ -Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	-	-	42.00
3	6.725	Cyclohexene, 1-Methyl-4-(1-Methyl ethylidene)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.92	2.30	-	-
4	6.738	Cyclohexene, 4-methyl-3-(1-methyl ethylidene)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	-	3.84	-
5	6.750	Camphene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	-	-	1.77
6	7.192	$\beta$ -Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	-	-	1.90
7	7.229	$\gamma$ -Pyronene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	8.87	4.60	6.06	-
8	7.381	1,3-Hexadiene, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	1.51	-	-	-
9	7.406	5-t-Butyl-4-methyl imidazole	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub>	-	-	2.32	-
10	7.544	4(8)-p-Menthene	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	5.52	6.75	3.58	8.10
11	7.670	(+)-3-Carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	8.19	9.63	4.32	11.56
12	7.809	$\alpha$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	1.81	-	2.18
13	7.973	p-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	28.44	24.52	30.88	17.05
14	8.049	Limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	25.01	18.94	14.00	4.62
15	8.490	$\gamma$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	2.08	-	6.49
16	9.511	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	3.13	-	-
17	9.725	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	5.09	-	-
18	17.929	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	2.24	-	-
19	17.967	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	2.18	-	-
20	18.169	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	2.40	-	-
21	19.240	Cembrene	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub>	-	-	1.76	-
22	19.480	Sandaracopimaradiene	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub>	-	-	2.03	-
<b>Luas Total %</b>				<b>85.28</b>	<b>87.86</b>	<b>71.29</b>	<b>95.67</b>

\*Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1.5 % yang ditampilkan.

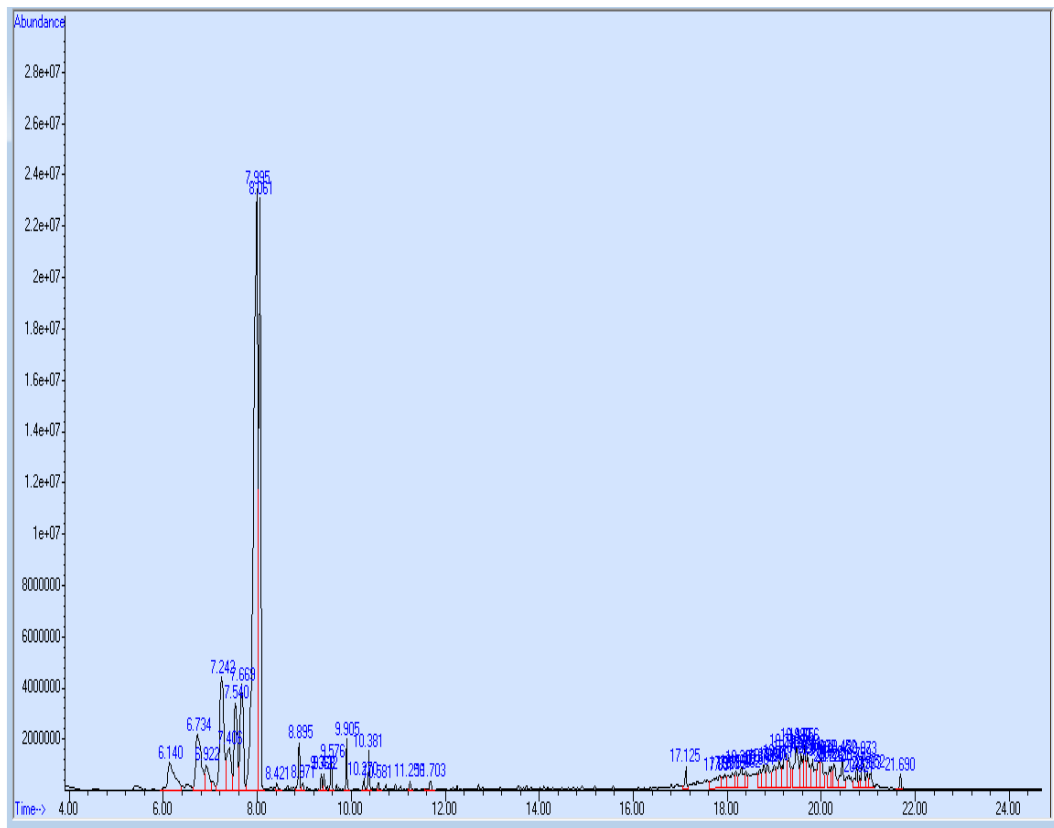
Berikut ditampilkan hasil spektrum dan analisa GC-MS yang diperoleh dari produk hidrogenasi dengan variasi suhu pemanasan :



Gambar 4.5. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hidrogenasi Dengan Suhu 200 °C.



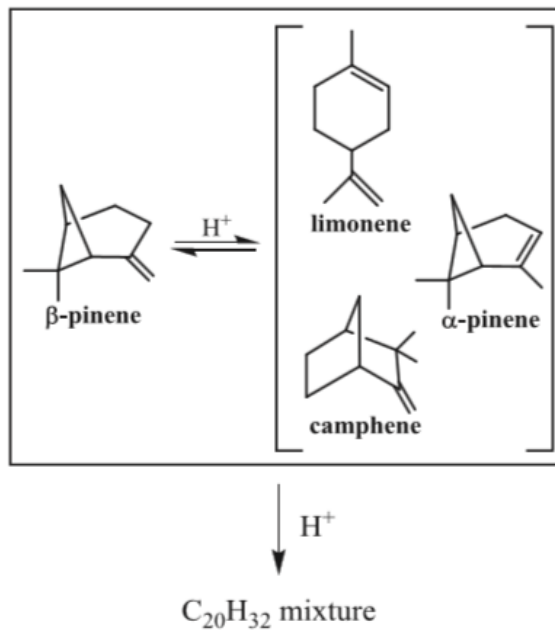
Gambar 4.6. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hidrogenasi Dengan Suhu 250 °C.



Gambar 4.7. Hasil Spektrum GC-MS Produk Hidrogenasi Dengan Suhu 300 °C.

Berdasarkan analisa GC-MS, diketahui bahwa hanya pada suhu 200 °C senyawa hidrokarbon dengan rumus molekul  $C_{10}H_{18}$  dihasilkan dengan persentase sebesar 1.51%. Sedangkan pada suhu yang lebih tinggi, senyawa hidrokarbon  $C_{10}H_{18}$  tidak dihasilkan. Oleh karena itu, suhu 200 °C merupakan suhu optimum dalam penelitian ini.

Pada penggunaan suhu pemanasan sebesar 300 °C, analisa GC-MS menunjukkan adanya kandungan senyawa dimer ( $C_{20}H_{32}$ ) dengan persentase sebesar 3.79 %. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan prinsip dimerisasi yang telah dijelaskan oleh Heather, dkk. Menurut Heather (2012), penggabungan senyawa hidrokarbon terpen yang disertai dengan interaksi hidrogen, dapat membentuk senyawa dimer ( $C_{20}H_{32}$ ). Berikut ditampilkan mekanisme dimerisasi senyawa hidrokarbon monoterpen menurut Heather, dkk :



Gambar 4.8. Mekanisme Dimerisasi senyawa hidrokarbon monoterpen  $C_{20}H_{32}$  (Heather, 2012).

#### IV.3.2 Analisa Elemental Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu

Variasi suhu pemanasan pada proses hidrogenasi minyak terpenin diharapkan mampu meningkatkan ratio  $\frac{H}{C}$  dan menurunkan ratio  $\frac{O}{C}$  dari produk yang dihasilkan. Berikut ditampilkan hasil analisa elemental produk hidrogenasi dengan variasi suhu pemanasan :

Tabel 4.10. Hasil Analisa Elemental Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu.

Suhu ( $^{\circ}C$ )	Karbon %	Hidrogen %	Nitrogen %	Oksigen <sup>a</sup> %
200	85.6320	12.0870	5.3876	0.0000
250	86.0630	11.7210	6.7185	0.0000
300	84.9360	11.5040	5.7512	0.0000

<sup>a</sup>Dihitung berdasarkan selisih (100 - C% - H% - N%).



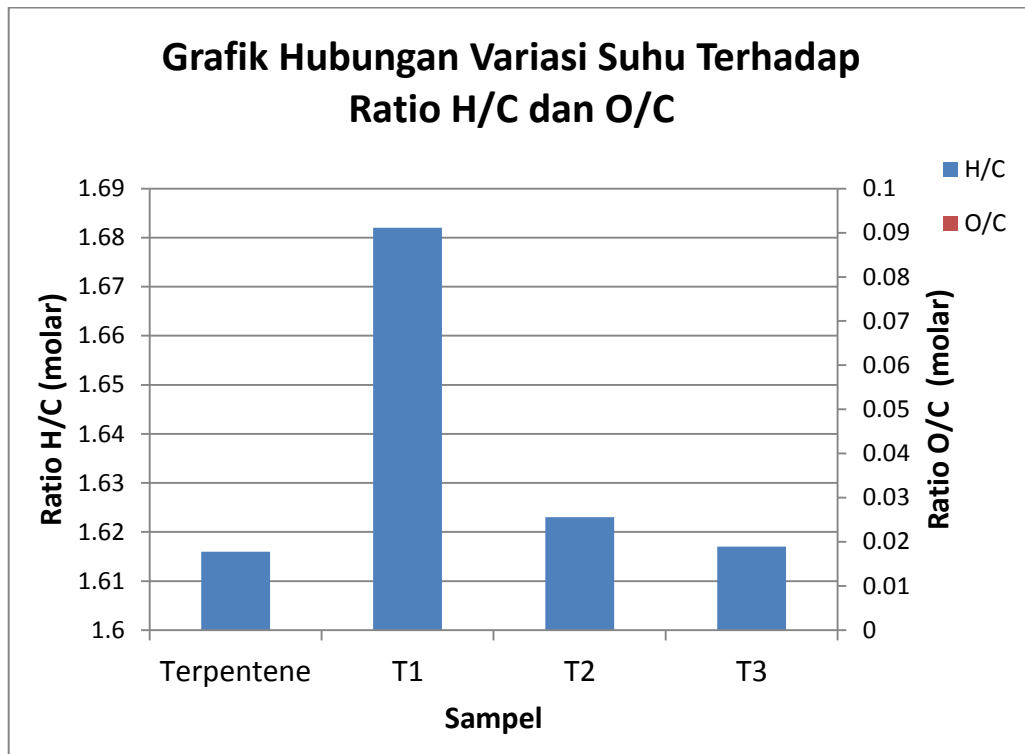
Berdasarkan hasil analisa elemental, diketahui bahwa produk dengan persentase kandungan hidrogen terbesar diperoleh pada penggunaan suhu pemanasan sebesar 200 °C dengan persentase mencapai 12.087 %. Sedangkan produk dengan persentase kandungan karbon terbesar diperoleh pada penggunaan suhu pemanasan sebesar 250 °C dengan persentase mencapai 86.0630 %.

Hasil analisa elemental menunjukkan bahwa produk dengan variasi suhu pemanasan sebesar 200 °C, 250 °C dan 300 °C tidak mengandung oksigen. Hal ini sesuai dengan hasil analisa GC-MS yang menunjukkan bahwa tidak adanya kandungan oksigen didalam produk hidrogenasi yang dihasilkan.

Dengan menggunakan data elemental yang telah diperoleh diatas, dapat ditentukan rumus empiris dari masing-masing produk yang diteliti (perhitungan rumus empiris dapat dilihat dilampiran 5). Sehingga, ratio  $\frac{H}{C}$  dan  $\frac{O}{C}$  dari produk hidrogenasi dengan variasi suhu dapat ditentukan. Berikut ditampilkan ratio  $\frac{H}{C}$  dan  $\frac{O}{C}$  dari produk hidrogenasi dengan variasi suhu pemanasan:

Tabel 4.11. Ratio  $\frac{H}{C}$  dan  $\frac{O}{C}$  Dari Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu.

Sampel	Suhu (°C)	Rumus Empiris	Ratio	
			$\frac{H}{C}$	$\frac{O}{C}$
Terpentin	-	$CH_{1.616}N_{0.067}$	1.616	0
T1	200	$CH_{1.682}N_{0.054}$	1.682	0.000
T2	250	$CH_{1.623}N_{0.067}$	1.623	0.000
T3	300	$CH_{1.617}N_{0.058}$	1.617	0.000



Grafik 4.5. Hubungan Variasi Suhu Terhadap Ratio  $\frac{H}{C}$  dan  $\frac{O}{C}$  Produk Hidrogenasi.

Dari grafik diatas, terlihat bahwa proses hidrogenasi dengan variasi suhu pemanasan sebesar 200 °C, 250 °C dan 300 °C mampu meningkatkan ratio  $\frac{H}{C}$  produk yang dihasilkan dari bahan baku yang digunakan (minyak terpentin). Ini menunjukkan bahwa proses hidrogenasi yang dilakukan berhasil meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan.

Secara garis besar, peningkatan suhu proses hidrogenasi menyebabkan ratio  $\frac{H}{C}$  produk yang dihasilkan cenderung menurun dan ratio  $\frac{O}{C}$  produk yang dihasilkan cenderung sama yaitu setara dengan nol. Dari grafik diatas, diketahui bahwa ratio  $\frac{H}{C}$  dengan nilai terbesar berturut-turut diperoleh pada penggunaan suhu pemanasan sebesar 200 °C, 250 °C dan 300 °C. Pada penggunaan suhu pemanasan sebesar 200 °C, produk yang dihasilkan memiliki ratio  $\frac{H}{C}$  terbesar karena produk yang diperoleh pada kondisi ini cenderung memiliki kandungan hidrogen lebih besar.

Berdasarkan analisa elemental, dengan mengacu kepada ratio  $\frac{H}{C}$  dan  $\frac{O}{C}$  produk yang dihasilkan, kondisi operasi terbaik pada proses hidrogenasi dengan variasi suhu diperoleh pada penggunaan suhu pemanasan sebesar 200 °C. Karena pada kondisi ini, produk yang dihasilkan cenderung memiliki ratio  $\frac{H}{C}$  paling besar. Dengan alasan tersebut, maka suhu proses 200 °C dianggap sebagai kondisi optimal.

#### IV.3.3 Analisa Nilai Kalor Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu

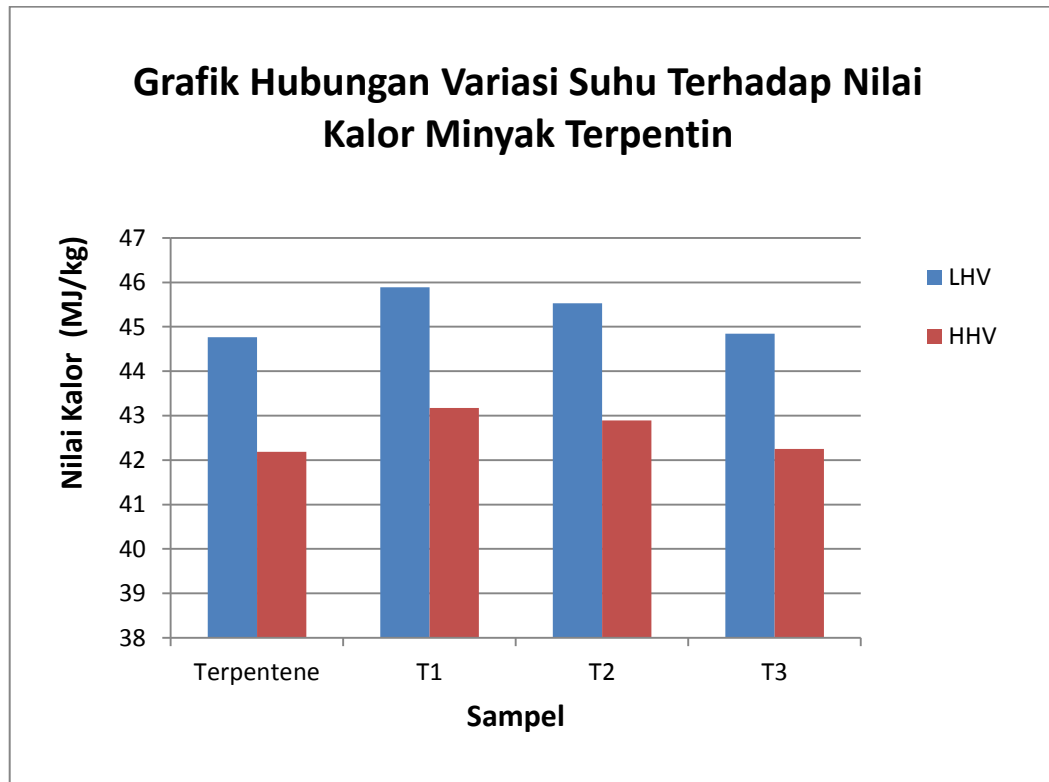
Berdasarkan hasil analisa elemental, kemudian dihitung besarnya nilai kalor produk hidrogenasi yang dihasilkan berdasarkan persamaan (2-1) dan (2-2). Data yang digunakan mengacu kepada hasil dari analisa elemental yang telah diperoleh berdasarkan pengukuran sebelumnya. Berdasarkan perhitungan (perhitungan dapat dilihat dilampiran 8), diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Nilai Kalor Produk Dengan Variasi Suhu.

Sampel	Suhu (°C)	Nilai Kalor (MJ/kg)	
		LHV	LHV
Terpentin	-	42.1824	44.7675
T1	200	43.1710	45.8906
T2	250	42.8889	45.5262
T3	300	42.2530	44.8414

<sup>a</sup>Dihitung berdasarkan selisih (100 - C% - H% - N%).

Berikut ditampilkan grafik hubungan antara variasi suhu pemanasan terhadap nilai kalor Produk :



Grafik 4.6. Hubungan Antara Variasi Suhu Terhadap Nilai Kalor Minyak Terpentin.

Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa produk hidrogenasi dengan variasi suhu pemanasan sebesar  $200^{\circ}\text{C}$ ,  $250^{\circ}\text{C}$  dan  $300^{\circ}\text{C}$  cenderung memiliki nilai kalor lebih besar dari bahan baku yang digunakan (minyak terpentin). Ini menunjukkan bahwa proses hidrogenasi minyak terpentin yang dilakukan dengan variasi suhu pemanasan mampu untuk meningkatkan kualitas minyak yang dihasilkan. Dimana, nilai kalor terbesar diperoleh pada suhu pemanasan sebesar  $200^{\circ}\text{C}$  dengan nilai HHV dan LHV masing-masing sebesar 45.8906 MJ/kg dan 43.1710 MJ/kg. Kemudian menurun pada suhu pemanasan sebesar  $250^{\circ}\text{C}$  dengan nilai HHV dan LHV masing-masing sebesar 45.5262 MJ/kg dan 42.8889 MJ/kg. Serta, nilai kalor terendah diperoleh pada suhu pemanasan  $300^{\circ}\text{C}$  dengan nilai HHV dan LHV masing-masing sebesar 44.8414 MJ/kg dan 42.2530 MJ/kg.

#### IV.4 Analisa Produk Terbaik

Pada proses sebelumnya, telah diperoleh kondisi optimal proses hidrogenasi yaitu pada penggunaan tekanan hidrogen awal sebesar 10 bar yang diproses pada suhu 200 °C dalam waktu 1 jam. Produk terbaik kemudian dianalisa lebih lanjut terkait besarnya nilai titik beku, titik nyala, massa jenis dan nilai kalor. Kemudian, membandingkan hasil yang diperoleh dengan standard international 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 Dengan Karakteristik Bahan Bakar Pesawat Terbang Menurut ASTM International.

No	ASTM International			Eksperimen
	Parameter	Batas	Nilai	Nilai
1	Titik Beku	Max	-47 °C	-69 °C
2	Titik Nyala	Min	38 °C	46 °C
3	Massa Jenis (15°C)	Range	775 – 840 $\frac{Kg}{m^3}$	852.8 $\frac{Kg}{m^3}$
4	Nilai Kalor	Min	42.8 MJ/kg	43.17 MJ/kg

Analisa titik nyala produk bertujuan untuk mengetahui suhu minimum dimana bahan bakar (produk hidrogenasi) yang dihasilkan dapat menyala (terbakar sekejap). Hal ini sangat penting mengingat bahan bakar avtur bersifat mudah menyala (flammable). Sehingga, titik nyala pada umumnya digunakan untuk membantu mencirikan bahaya api dari cairan. Selain itu, juga digunakan untuk prosedur penyimpanan dalam meminimalisir kemungkinan akan bahaya kebakaran. Berdasarkan standar internasional (ASTM International), avtur diwajibkan memenuhi persyaratan titik nyala minimal pada suhu 38 °C. Berdasarkan hasil pengukuran, diketahui bahwa titik nyala produk berada diatas

titik nyala bahan bakar avtur. Ini menunjukkan bahwa titik nyala produk yang dihasilkan telah memenuhi standard spesifikasi bahan bakar avtur yang diperbolehkan, dengan nilai titik nyala mencapai  $46^{\circ}\text{C}$ .

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  $775\text{-}840 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ . Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, diketahui bahwa massa jenis produk berada diatas massa jenis bahan bakar avtur. Ini menunjukkan bahwa massa jenis produk yang dihasilkan belum memenuhi standard spesifikasi bahan bakar avtur yang diperbolehkan, dengan nilai yang masih cukup besar yaitu mencapai  $852.8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ . Hal ini diprediksi disebabkan karena tingginya suhu pemanasan yang digunakan pada proses destilasi minyak terpentin. Sehingga, fraksi minyak berat yang terdapat didalam getah pinus ikut terdestilasi. Hal ini mengakibatkan tingginya massa jenis minyak terpentin yang dihasilkan. Sehingga, produk hasil proses hidrogenasi minyak terpentin yang dihasilkan juga cenderung memiliki massa jenis yang masih cukup besar.

Analisa titik beku produk bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan bahan bakar (produk hidrogenasi) dalam mempertahankan keadaan cairnya. Hal ini sangat penting mengingat bahan bakar avtur bekerja pada suhu rendah ( $-47^{\circ}\text{C}$ ). Berdasarkan standar internasional, bahan bakar avtur diwajibkan memenuhi persyaratan titik beku maksimal pada suhu  $-47^{\circ}\text{C}$ . Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, diketahui bahwa titik beku produk berada dibawah titik beku bahan bakar avtur. Ini menunjukkan bahwa titik beku produk yang dihasilkan telah memenuhi standard spesifikasi bahan bakar avtur yang diperbolehkan, dengan nilai titik beku mencapai  $-69^{\circ}\text{C}$ .

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 hidrogenasi terbaik yang dihasilkan yaitu mencapai 43.1710 MJ/kg. Berdasarkan standard internasional, bahan bakar avtur diwajibkan memenuhi persyaratan nilai kalor minimal 42.8 MJ/kg. Sehingga, nilai kalor produk hidrogenasi yang dihasilkan cenderung lebih tinggi dari bahan bakar avtur. Ini menunjukkan bahwa nilai kalor produk yang dihasilkan telah memenuhi standard spesifikasi bahan bakar avtur yang diperbolehkan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **V.1 Kesimpulan**

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

1. Kondisi operasi terbaik pada hidrogenasi minyak terpentin diperoleh pada penggunaan tekanan awal hidrogen sebesar 10 bar dengan suhu 200 °C.
2. Semakin besar tekanan hidrogen dan suhu proses hidrogenasi yang digunakan, nilai kalor produk yang dihasilkan cenderung semakin menurun.
3. Besarnya nilai kalor, titik beku dan titik nyala yang dihasilkan dari produk hidrogenasi telah memenuhi standard spesifikasi bahan bakar avtur Internasional (ASTM Internasional).
4. Massa jenis produk hidrogenasi yang dihasilkan lebih besar dari standard bahan bakar avtur, sehingga belum memenuhi standard spesifikasi bahan bakar avtur yang dipersyaratkan.

#### **V.2 Saran**

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

1. Perlu dilakukan kajian untuk pengaruh suhu destilasi terhadap kualitas minyak terpentin yang dihasilkan.
2. Variasi waktu proses hidrogenasi minyak terpentin.
3. Penggunaan katalis untuk meningkatkan kualitas minyak terpentin.



## DAFTAR PUSTAKA

- Agus, S., Anindhita, M.S., Boedoyo., Adiarso., (2015), Pengembangan Energi Untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Jakarta.
- Agus, S., Anindhita., Adiarso., Laode M.A. Wahid., (2016), Pengembangan Energi Untuk Mendukung Industri Hijau, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Jakarta.
- Bambang, W., Sanro, T., Djaban., T., (2006), Chemical Compositions Of Pine Resin, Rosin and Turpentine Oil From West Java, Forest Products Research and Development Center, Bogor.
- Bryan, M., (2005), World Jet Fuel Specifications, Exxon Mobile Aviation, United Kingdom.
- Christopher, J.C., Joseph, D., (2014), The Compatibility of Potential Bioderived Fuels With Jet A-1 Aviation Kerosene, Centre For Sustainable Chemical Technologies, United Kingdom.
- Heather, A.M., Roxanne, L.Q., Benjamin, G.H., (2012), Efficient Conversion of Pure and Mixed Terpene Feedstocks to High Density Fuels, Unites States Navy-Naval Air Systems Command (NAVAIR), USA.
- Holmgren, J., (2008), Bio Aviation Fuels, World Biofuels Markets Congress, Brussels, Belgium.
- Holmgren, J., (2009), Creating Alternative Fuel Options for the Aviation Industry: Role of Biofuels, UOP LLC, Montreal, Canada.
- 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.

- Nofra, H.S., (2014), Perancangan Pabrik Alpa-Terpineol ( $C_{10}H_{18}O$ ) Dari Turpentin Dan Air ( $H_2O$ ) Dengan Kapasitas 15.000 Ton/Tahun, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- 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.
- Rachwalik, R., Hunger, M., Sulikowski, B., (2012), Transformations of Monoterpene Hydrocarbons On Ferrierite Type Zeolites, Institute of Organic Chemistry and Technology, Poland.
- Setyaningsih, D., Hambali, E., Permatasari, S., Muna, N., (2013), Bioavtur Production Process From Palm Oil Based Through Hydrogenation And Catalytic Cracking, Bogor Agricultural University, Bogor.
- Shinta, P., (2014), Pengaruh Kondisi Suhu dan Lama Reaksi Deoksigenasi dan Cracking RPO Dalam Sintesis Bioavtur, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Simakova, I.L and V.A. Semikolenov., (2000), Kinetics of the Hydrogenation  $\alpha$ -Pinene to *cis*-and *trans*-Pinales on Pd/C, Boreskov Institute of Catalysis, Russia.
- Sukadaryati., (2014), Harvesting of Pine Resin Using Three Tapping Techniques, Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan, Bogor.
- Tedi, H., Antonius, R., Tatang, H.S., (2013), Hidrogenasi Elektrokimia Hidrokarbon Terpen, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Zoran, K.M., Dusan, D.G., (2008), Applied Industrial Energy and Environmental Management, University of Novi Sad, Serbia.

## Lampiran 1. Hasil Analisa GC-MS Produk Dengan Variasi Tekanan.

### A. Hasil Analisa GC-MS Produk Pada Tekanan 10 Bar.

No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)
1	6.146	$\beta$ -Pyronene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.82
2	6.725	Cyclohexene, 1-Methyl-4-(1-Methyl ethylidene)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.92
3	7.229	$\gamma$ -Pyronene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	8.87
4	7.381	1,3-Hexadiene, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	1.51
5	7.544	4(8)-p-Menthene	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	5.52
6	7.670	(+)-3-Carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	8.19
7	7.973	p-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	28.44
8	8.061	Limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	25.01
<b>Luas Total %</b>				<b>85.28</b>

\*Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1.5% yang ditampilkan.

**B. Hasil Analisa GC-MS Produk Pada Tekanan 15 Bar.**

No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)
1	6.486	$\alpha$ -Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	29.11
2	7.192	$\beta$ -Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.55
3	7.545	4(8)-p-Menthene	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	5.94
4	7.683	(+)-3-Carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	9.31
5	7.809	$\alpha$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.10
6	7.986	p-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	16.32
7	8.061	Limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	13.90
8	8.465	$\gamma$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	5.08
9	9.536	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	7.52
10	9.700	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.57
11	18.156	o-Isopropylphenol	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O	3.58
<b>Luas Total %</b>				<b>95.98</b>

\*Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1.5% yang ditampilkan.

### C. Hasil Analisa GC-MS Produk Pada Tekanan 20 Bar.

No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)
1	6.473	$\alpha$ -Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	34.59
2	7.544	4(8)-p-Menthene	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	7.46
3	7.683	(+)-3-Carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	9.95
4	7.797	$\alpha$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.45
5	7.960	p-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	19.26
6	8.036	Limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	9.25
7	8.464	$\gamma$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	6.96
8	9.511	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.10
<b>Luas Total %</b>				<b>93.02</b>

\*Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1.5% yang ditampilkan.

## Lampiran 2. Hasil Analisa GC-MS Produk Dengan Variasi Suhu.

### A. Hasil Analisa GC-MS Produk Pada Suhu 200 °C.

No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)
1	6.146	$\beta$ -Pyronene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.82
2	6.725	Cyclohexene, 1-Methyl-4-(1-Methyl ethylidene)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.92
3	7.229	$\gamma$ -Pyronene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	8.87
4	7.381	1,3-Hexadiene, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	1.51
5	7.544	4(8)-p-Menthene	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	5.52
6	7.670	(+)-3-Carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	8.19
7	7.973	p-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	28.44
8	8.061	Limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	25.01
<b>Luas Total %</b>				<b>85.28</b>

\*Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1.5 % yang ditampilkan.

**B. Hasil Analisa GC-MS Produk Pada Suhu 250 °C.**

No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)
1	6.146	$\beta$ -Pyronene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.19
2	6.725	Cyclohexene, 5-methyl-3-(1-methyl ethenyl)-, trans(-)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.30
3	7.229	$\gamma$ -Pyronene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	4.60
4	7.557	4(8)-p-Menthene	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	6.75
5	7.683	(+)-3-Carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	9.63
6	7.822	$\alpha$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.81
7	8.011	p-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	24.52
8	8.086	Limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	18.94
9	8.465	$\gamma$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.08
10	9.511	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.13
11	9.725	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	5.09
12	17.929	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.24
13	17.967	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.18
14	18.169	2,4,6-Octatriene, 3,4-dimethyl-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.40
<b>Luas Total %</b>				<b>87.86</b>

\*Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1.5 % yang ditampilkan.

**C. Hasil Analisa GC-MS Produk Pada Suhu 300 °C.**

No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Luas Peak (%)
1	6.146	$\beta$ -Pyronene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.50
2	6.738	Cyclohexene, 4-methyl-3-(1-methyl ethylidene)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.84
3	7.242	$\gamma$ -Pyronene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	6.06
4	7.406	5-t-Butyl-4-methylimidazole	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub>	2.32
5	7.544	4(8)-p-Menthene	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	3.58
6	7.670	(+)-3-Carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	4.32
7	7.998	p-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	30.88
8	8.061	Limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	14.00
9	19.240	Gembrene	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub>	1.76
10	19.480	Sandaracopimaradiene	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub>	2.03
<b>Luas Total %</b>				<b>71.29</b>

\*Hanya luas peak dengan nilai lebih dari 1.5% yang ditampilkan.



### Lampiran 3. Menentukan Rumus Empiris dari Minyak Terpentin

Berdasarkan hasil Analisis Elemental, diperoleh persentase dari masing-masing unsur carbon, hidrogen dan nitrogen yang terkandung didalam minyak terpentin :

Sampel	Karbon (%)	Hidrogen (%)	Nitrogen (%)
Terpentin	82.6550	11.2400	8.1369
Terpentin	85.4770	11.5330	6.2327
Terpentin	86.1990	11.6960	5.5113
$\sum \bar{x}$	$84.7770 \pm 1.8728$	$11.4897 \pm 0.2311$	$6.6270 \pm 1.3565$

Asumsikan bahwa terdapat 100 g sampel, sehingga persentase komposisi dari masing-masing elemen dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{84.7770}{100} = 84.7770 \text{ g atom C}$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{11.4897}{100} = 11.4897 \text{ g atom H}$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{6.6270}{100} = 6.6270 \text{ g atom N}$$

Perhitungan rumus empiris dinyatakan dalam bentuk ratio mol untuk setiap elemen, sehingga perlu mengubah jumlah gram dalam bentuk mol.

$$84.7770 \text{ g atom C} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12.01115 \text{ g C}} = 7.0582 \text{ mol atom C}$$

$$11.4897 \text{ g atom H} \times \frac{1 \text{ mol H}}{1.00787 \text{ g H}} = 11.4000 \text{ mol atom H}$$

$$6.6270 \text{ g atom N} \times \frac{1 \text{ mol N}}{14.0067 \text{ g N}} = 0.4731 \text{ mol atom N}$$

Untuk menentukan rumus empiris, dapat ditentukan dengan membagi masing-masing jumlah molar oleh jumlah molar atom C. Dimana :

$$\frac{C}{C} = \frac{7.0582}{7.0582} = 1 \qquad \frac{H}{C} = \frac{11.4000}{7.0582} = 1.6161 \qquad \frac{N}{C} = \frac{0.4731}{7.0582} = 0.0670$$

Sehingga diperoleh rumus empiris sebagai berikut : **CH<sub>1.616</sub>N<sub>0.067</sub>**

#### Lampiran 4. Menentukan Rumus Empiris Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan Hidrogen.

##### A. Menentukan Rumus Empiris Produk Hidrogenasi Pada Penggunaan Tekanan 10 Bar

Berdasarkan hasil Analisis Elemental pada penggunaan tekanan hidrogen sebesar 10 bar, diperoleh data sebagai berikut :

$$C = 85.6320 \%$$

$$H = 12.0870 \%$$

$$N = 5.3876 \%$$

Asumsikan bahwa terdapat 100 g sampel, sehingga persentase komposisi dari masing-masing elemen dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{85.6320}{100} = 85.6320 \text{ g atom C}$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{12.0870}{100} = 12.0870 \text{ g atom H}$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{5.3876}{100} = 5.3876 \text{ g atom N}$$

Perhitungan rumus empiris dinyatakan dalam bentuk ratio mol untuk setiap elemen, sehingga perlu mengubah jumlah gram dalam bentuk mol.

$$85.6320 \text{ g atom C} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12.01115 \text{ g C}} = 7.1294 \text{ mol atom C}$$

$$12.0870 \text{ g atom H} \times \frac{1 \text{ mol H}}{1.00787 \text{ g H}} = 11.9926 \text{ mol atom H}$$

$$5.3876 \text{ g atom N} \times \frac{1 \text{ mol N}}{14.0067 \text{ g N}} = 0.38464 \text{ mol atom N}$$

Untuk menentukan rumus empiris, dapat ditentukan dengan membagi masing-masing jumlah molar oleh jumlah molar atom C. Dimana :

$$\frac{C}{C} = \frac{7.1294}{7.1294} = 1$$

$$\frac{H}{C} = \frac{11.9926}{7.1294} = 1.68214$$

$$\frac{N}{C} = \frac{0.38464}{7.1294} = 0.05395$$

Sehingga, diperoleh rumus empiris sebagai berikut :  $\text{CH}_{1.682}\text{N}_{0.054}$

## B. Menentukan Rumus Empiris Produk Hidrogenasi Pada Penggunaan Tekanan 15 Bar

Berdasarkan hasil Analisis Elemental pada penggunaan tekanan hidrogen sebesar 15 bar, diperoleh data sebagai berikut :

$$C = 80.1850 \% \quad N = 4.7202 \%$$

$$H = 11.2630 \% \quad O = 3.8318 \%$$

Asumsikan bahwa terdapat 100 g sampel, sehingga persentase komposisi dari masing-masing elemen dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{80.1850}{100} = 80.1850 \text{ g atom C}$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{11.2630}{100} = 11.2630 \text{ g atom H}$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{4.7202}{100} = 4.7202 \text{ g atom N}$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{3.8318}{100} = 3.8318 \text{ g atom O}$$

Perhitungan rumus empiris dinyatakan dalam bentuk ratio mol untuk setiap elemen, sehingga perlu mengubah jumlah gram dalam bentuk mol.

$$80.1850 \text{ g atom C} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12.01115 \text{ g C}} = 6.67588 \text{ mol atom C}$$

$$11.2630 \text{ g atom H} \times \frac{1 \text{ mol H}}{1.00787 \text{ g H}} = 11.17505 \text{ mol atom H}$$

$$4.7202 \text{ g atom N} \times \frac{1 \text{ mol N}}{14.0067 \text{ g N}} = 0.336996 \text{ mol atom N}$$

$$3.8318 \text{ g atom O} \times \frac{1 \text{ mol O}}{15.9994 \text{ g O}} = 0.239497 \text{ mol atom O}$$

Untuk menentukan rumus empiris, dapat ditentukan dengan membagi masing-masing jumlah molar oleh jumlah molar atom C. Dimana :

$$\frac{C}{C} = \frac{6.67588}{6.67588} = 1$$

$$\frac{H}{C} = \frac{11.17505}{6.67588} = 1.67394$$

$$\frac{O}{C} = \frac{0.239497}{6.67588} = 0.035875$$

$$\frac{N}{C} = \frac{0.336996}{6.67588} = 0.050478$$

Sehingga diperoleh rumus empiris sebagai berikut : **CH<sub>1.674</sub>O<sub>0.036</sub>N<sub>0.050</sub>**

### C. Menentukan Rumus Empiris Produk Hidrogenasi Pada Penggunaan Tekanan 20 Bar

Berdasarkan hasil Analisis Elemental pada penggunaan tekanan hidrogen sebesar 20 bar, diperoleh data sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C &= 83.4000 \% & N &= 4.5814 \% \\ H &= 11.7550 \% & O &= 0.2636 \% \end{aligned}$$

Asumsikan bahwa terdapat 100 g sampel, sehingga persentase komposisi dari masing-masing elemen dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 100 \text{ g sampel} \times \frac{83.4000}{100} &= 83.4000 \text{ g atom C} \\ 100 \text{ g sampel} \times \frac{11.7550}{100} &= 11.7550 \text{ g atom H} \\ 100 \text{ g sampel} \times \frac{4.5814}{100} &= 4.5814 \text{ g atom N} \\ 100 \text{ g sampel} \times \frac{0.2636}{100} &= 0.2636 \text{ g atom O} \end{aligned}$$

Perhitungan rumus empiris dinyatakan dalam bentuk ratio mol untuk setiap elemen, sehingga perlu mengubah jumlah gram dalam bentuk mol.

$$\begin{aligned} 83.4000 \text{ g atom C} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12.01115 \text{ g C}} &= 6.94355 \text{ mol atom C} \\ 11.7550 \text{ g atom H} \times \frac{1 \text{ mol H}}{1.00787 \text{ g H}} &= 11.66321 \text{ mol atom H} \\ 4.5814 \text{ g atom N} \times \frac{1 \text{ mol N}}{14.0067 \text{ g N}} &= 0.32709 \text{ mol atom N} \\ 0.2636 \text{ g atom O} \times \frac{1 \text{ mol O}}{15.9994 \text{ g O}} &= 0.01648 \text{ mol atom O} \end{aligned}$$

Untuk menentukan rumus empiris, dapat ditentukan dengan membagi masing-masing jumlah molar oleh jumlah molar atom C. Dimana :

$$\begin{aligned} \frac{C}{C} &= \frac{6.94355}{6.94355} = 1 & ; & \frac{H}{C} = \frac{11.66321}{6.94355} = 1.67972 \\ \frac{O}{C} &= \frac{0.01648}{6.94355} = 0.00237 & ; & \frac{N}{C} = \frac{0.32709}{6.94355} = 0.04711 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan rumus empiris sebagai berikut : **CH<sub>1.680</sub>O<sub>0.002</sub>N<sub>0.047</sub>**

## Lampiran 5. Menentukan Rumus Empiris Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu Pemanasan.

### A. Menentukan Rumus Empiris Produk Hidrogenasi Pada Penggunaan Suhu 200 °C

Berdasarkan hasil Analisis Elemental pada penggunaan suhu pemanasan sebesar 200 °C, diperoleh data sebagai berikut :

$$C = 85.6320 \%$$

$$H = 12.0870 \%$$

$$N = 5.3876 \%$$

Asumsikan bahwa terdapat 100 g sampel, sehingga persentase komposisi dari masing-masing elemen dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{85.6320}{100} = 85.6320 \text{ g atom C}$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{12.0870}{100} = 12.0870 \text{ g atom H}$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{5.3876}{100} = 5.3876 \text{ g atom N}$$

Perhitungan rumus empiris dinyatakan dalam bentuk ratio mol untuk setiap elemen, sehingga perlu mengubah jumlah gram dalam bentuk mol.

$$85.6320 \text{ g atom C} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12.01115 \text{ g C}} = 7.1294 \text{ mol atom C}$$

$$12.0870 \text{ g atom H} \times \frac{1 \text{ mol H}}{1.00787 \text{ g H}} = 11.9926 \text{ mol atom H}$$

$$5.3876 \text{ g atom N} \times \frac{1 \text{ mol N}}{14.0067 \text{ g N}} = 0.38464 \text{ mol atom N}$$

Untuk menentukan rumus empiris, dapat ditentukan dengan membagi masing-masing jumlah molar oleh jumlah molar atom C. Dimana :

$$\frac{C}{C} = \frac{7.1294}{7.1294} = 1$$

$$\frac{H}{C} = \frac{11.9926}{7.1294} = 1.68214$$

$$\frac{N}{C} = \frac{0.38464}{7.1294} = 0.05395$$

Sehingga diperoleh rumus empiris sebagai berikut :  $\text{CH}_{1.682}\text{N}_{0.054}$

## B. Menentukan Rumus Empiris Produk Hidrogenasi Pada Penggunaan Suhu 250 °C

Berdasarkan hasil Analisis Elemental pada penggunaan suhu pemanasan sebesar 250 °C, diperoleh data sebagai berikut :

$$C = 86.0630 \%$$

$$H = 11.7210 \%$$

$$N = 6.7185 \%$$

Asumsikan bahwa terdapat 100 g sampel, sehingga persentase komposisi dari masing-masing elemen dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{86.0630}{100} = 86.0630 \text{ g atom } C$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{11.7210}{100} = 11.7210 \text{ g atom } H$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{6.7185}{100} = 6.7185 \text{ g atom } N$$

Perhitungan rumus empiris dinyatakan dalam bentuk ratio mol untuk setiap elemen, sehingga perlu mengubah jumlah gram dalam bentuk mol.

$$86.0630 \text{ g atom } C \times \frac{1 \text{ mol } C}{12.01115 \text{ g } C} = 7.16526 \text{ mol atom } C$$

$$11.7210 \text{ g atom } H \times \frac{1 \text{ mol } H}{1.00787 \text{ g } H} = 11.62948 \text{ mol atom } H$$

$$6.7185 \text{ g atom } N \times \frac{1 \text{ mol } N}{14.0067 \text{ g } N} = 0.47966 \text{ mol atom } N$$

Untuk menentukan rumus empiris, dapat ditentukan dengan membagi masing-masing jumlah molar oleh jumlah molar atom C. Dimana :

$$\frac{C}{C} = \frac{7.16526}{7.16526} = 1$$

$$\frac{H}{C} = \frac{11.62948}{7.16526} = 1.62304$$

$$\frac{N}{C} = \frac{0.47966}{7.16526} = 0.06694$$

Sehingga diperoleh rumus empiris sebagai berikut : **CH<sub>1.623</sub>N<sub>0.067</sub>**

### C. Menentukan Rumus Empiris Produk Hidrogenasi Pada Penggunaan Suhu 300 °C

Berdasarkan hasil Analisis Elemental pada penggunaan suhu pemanasan sebesar 300 °C, diperoleh data sebagai berikut :

$$C = 84.9360 \%$$

$$H = 11.5040 \%$$

$$N = 5.7512 \%$$

Asumsikan bahwa terdapat 100 g sampel, sehingga persentase komposisi dari masing-masing elemen dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{84.9360}{100} = 84.9360 \text{ g atom } C$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{11.5040}{100} = 11.5040 \text{ g atom } H$$

$$100 \text{ g sampel} \times \frac{5.7512}{100} = 5.7512 \text{ g atom } N$$

Perhitungan rumus empiris dinyatakan dalam bentuk ratio mol untuk setiap elemen, sehingga perlu mengubah jumlah gram dalam bentuk mol.

$$84.9360 \text{ g atom } C \times \frac{1 \text{ mol } C}{12.01115 \text{ g } C} = 7.07143 \text{ mol atom } C$$

$$11.5040 \text{ g atom } H \times \frac{1 \text{ mol } H}{1.00787 \text{ g } H} = 11.43417 \text{ mol atom } H$$

$$5.7512 \text{ g atom } N \times \frac{1 \text{ mol } N}{14.0067 \text{ g } N} = 0.41060 \text{ mol atom } N$$

Untuk menentukan rumus empiris, dapat ditentukan dengan membagi masing-masing jumlah molar oleh jumlah molar atom C. Dimana :

$$\frac{C}{C} = \frac{7.07143}{7.07143} = 1$$

$$\frac{H}{C} = \frac{11.43417}{7.07143} = 1.61695$$

$$\frac{N}{C} = \frac{0.41060}{7.07143} = 0.05807$$

Sehingga diperoleh rumus empiris sebagai berikut : **CH<sub>1.617</sub>N<sub>0.058</sub>**

## Lampiran 6. Menentukan Nilai Kalor Minyak Terpentin

### A. Menentukan Lower Heating Value dari Minyak Terpentin

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

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

Dimana,

$$C = 84.7770 \%$$

$$H = 11.4897 \%$$

$$N = 6.6270 \%$$

$$O = 0.0000 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV} (MJ/kg) = 33.9 (0.847770) + 117.0 \left( 0.114897 - \frac{0.0000}{8} \right)$$

$$\text{LHV} (MJ/kg) = 28.7394 + 13.4429$$

$$\text{LHV} (MJ/kg) = \mathbf{42.1824 MJ/kg.}$$

### B. Menentukan Higher Heating Value dari Minyak Terpentin

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

$$\text{HHV} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) = \text{LHV} + 2.5(9H + w)$$

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 :

$$\text{HHV} (MJ/kg) = \mathbf{42.1824} + 2.5(9(0.114897) + 0)$$

$$\text{HHV} (MJ/kg) = \mathbf{42.1824} + 2.5852$$

$$\text{HHV} (MJ/kg) = \mathbf{44.7675 MJ/kg.}$$



## Lampiran 7. Menentukan Nilai Kalor Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan Hidrogen

### A. Menentukan Lower Heating Value Dari Produk Hidrogenasi Dengan Tekanan 10 Bar

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

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

Dimana,

$$C = 85.6320 \%$$

$$H = 12.0870 \%$$

$$N = 5.3876 \%$$

$$O = 0.00000 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = 33.9 (0.85632) + 117.0 \left( 0.12087 - \frac{0.00000}{8} \right)$$

$$\text{LHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = 29.0292 + 14.1418$$

$$\text{LHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = \mathbf{43.1710 \text{ MJ}/\text{kg}}.$$

### B. Menentukan Higher Heating Value Dari Produk Hidrogenasi Dengan Tekanan 10 Bar

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

$$\text{HHV} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) = \text{LHV} + 2.5(9H + w)$$

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 :

$$\text{HHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = \mathbf{43.1710} + 2.5(9(0.12087) + 0)$$

$$\text{HHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = \mathbf{43.1710} + 2.7196$$

$$\text{HHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = \mathbf{45.8906 \text{ MJ}/\text{kg}}.$$

### C. Menentukan Lower Heating Value Dari Produk Hidrogenasi Dengan Tekanan 15 Bar

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

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

Dimana,

$$C = 80.1850 \%$$

$$H = 11.2630 \%$$

$$N = 4.7202 \%$$

$$O = 3.8313 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = 33.9 (0.80185) + 117.0 \left( 0.11263 - \frac{0.0383}{8} \right)$$

$$\text{LHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = 27.1826 + 12.6174$$

$$\text{LHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = \mathbf{39.8000 \text{ MJ}/\text{kg}}.$$

### D. Menentukan Higher Heating Value Dari Produk Hidrogenasi Dengan Tekanan 15 Bar

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

$$\text{HHV} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) = \text{LHV} + 2.5(9H + w)$$

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 :

$$\text{HHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = \mathbf{39.8000} + 2.5(9(0.11263) + 0)$$

$$\text{HHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = \mathbf{39.8000} + 2.5342$$

$$\text{HHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = \mathbf{42.3342 \text{ MJ}/\text{kg}}.$$

### E. Menentukan Lower Heating Value Dari Produk Hidrogenasi Dengan Tekanan 20 Bar

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

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

Dimana,

$$C = 83.4000 \%$$

$$H = 11.7550 \%$$

$$N = 4.5814 \%$$

$$O = 0.2636 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV} (MJ/kg) = 33.9 (0.8340) + 117.0 \left( 0.11755 - \frac{0.002636}{8} \right)$$

$$\text{LHV} (MJ/kg) = 28.2726 + 13.7148$$

$$\text{LHV} (MJ/kg) = \mathbf{41.9874 MJ/kg.}$$

### F. Menentukan Higher Heating Value Dari Produk Hidrogenasi Dengan Tekanan 20 Bar

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

$$\text{HHV} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) = \text{LHV} + 2.5(9H + w)$$

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 :

$$\text{HHV} (MJ/kg) = \mathbf{41.9874} + 2.5(9(0.11755) + 0)$$

$$\text{HHV} (MJ/kg) = \mathbf{41.9874} + 2.6449$$

$$\text{HHV} (MJ/kg) = \mathbf{44.6323 MJ/kg.}$$

## Lampiran 8. Menentukan Nilai Kalor Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu Pemanasan

### A. Menentukan Lower Heating Value Dari Produk Hidrogenasi Dengan Suhu 200 °C

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

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

Dimana,

$$C = 85.6320 \%$$

$$H = 12.0870 \%$$

$$N = 5.3876 \%$$

$$O = 0.00000 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = 33.9 (0.85632) + 117.0 \left( 0.12087 - \frac{0.0000}{8} \right)$$

$$\text{LHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = 29.0292 + 14.1418$$

$$\text{LHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = \mathbf{43.1710 \text{ MJ}/\text{kg}}.$$

### B. Menentukan Higher Heating Value Dari Produk Hidrogenasi Dengan Suhu 200 °C

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

$$\text{HHV} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) = \text{LHV} + 2.5(9H + w)$$

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 :

$$\text{HHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = \mathbf{43.1710} + 2.5(9(0.12087) + 0)$$

$$\text{HHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = \mathbf{43.1710} + 2.7196$$

$$\text{HHV} (\text{MJ}/\text{kg}) = \mathbf{45.8906 \text{ MJ}/\text{kg}}.$$

### C. Menentukan Lower Heating Value Dari Produk Hidrogenasi Dengan Suhu 250 °C

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

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

Dimana,

$$C = 86.0630 \%$$

$$H = 11.7210 \%$$

$$N = 6.7185 \%$$

$$O = 0.0000 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV} (MJ/kg) = 33.9 (0.86063) + 117.0 \left( 0.11721 - \frac{0.0000}{8} \right)$$

$$\text{LHV} (MJ/kg) = 29.1753 + 13.7136$$

$$\text{LHV} (MJ/kg) = \mathbf{42.8889 MJ/kg.}$$

### D. Menentukan Higher Heating Value Dari Produk Hidrogenasi Dengan Suhu 250 °C

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

$$\text{HHV} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) = \text{LHV} + 2.5(9H + w)$$

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 :

$$\text{HHV} (MJ/kg) = \mathbf{42.8889} + 2.5(9(0.11721) + 0)$$

$$\text{HHV} (MJ/kg) = \mathbf{42.8889} + 2.6372$$

$$\text{HHV} (MJ/kg) = \mathbf{45.5262 MJ/kg.}$$

### E. Menentukan Lower Heating Value Dari Produk Hidrogenasi Dengan Suhu 300 °C

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

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

Dimana,

$$C = 84.9360 \%$$

$$H = 11.5040 \%$$

$$N = 5.7512 \%$$

$$O = 0.0000 \%$$

Substitusi hasil analisa elemental kedalam persamaan diatas, maka :

$$\text{LHV} (MJ/kg) = 33.9 (0.84936) + 117.0 \left( 0.11504 - \frac{0.0000}{8} \right)$$

$$\text{LHV} (MJ/kg) = 28.7933 + 13.4597$$

$$\text{LHV} (MJ/kg) = \mathbf{42.2530 MJ/kg}.$$

### F. Menentukan Lower Heating Value Dari Produk Hidrogenasi Dengan Suhu 300 °C

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

$$\text{HHV} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) = \text{LHV} + 2.5(9H + w)$$

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 :

$$\text{HHV} (MJ/kg) = \mathbf{42.2530} + 2.5(9(0.11504) + 0)$$

$$\text{HHV} (MJ/kg) = \mathbf{42.2530} + 2.5884$$

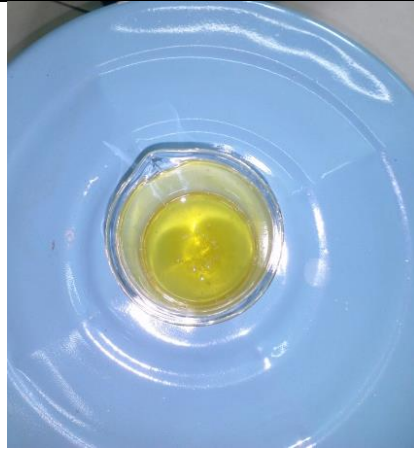
$$\text{HHV} (MJ/kg) = \mathbf{44.8414 MJ/kg}.$$

**Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian**



Getah Pinus





Getah Pinus



Seperangkat Alat Destilasi



Ekstraksi Minyak Terpentin (Melalui Proses Destilasi)





Gondorukem



Minyak Terpentin + Air



Minyak Terpentin



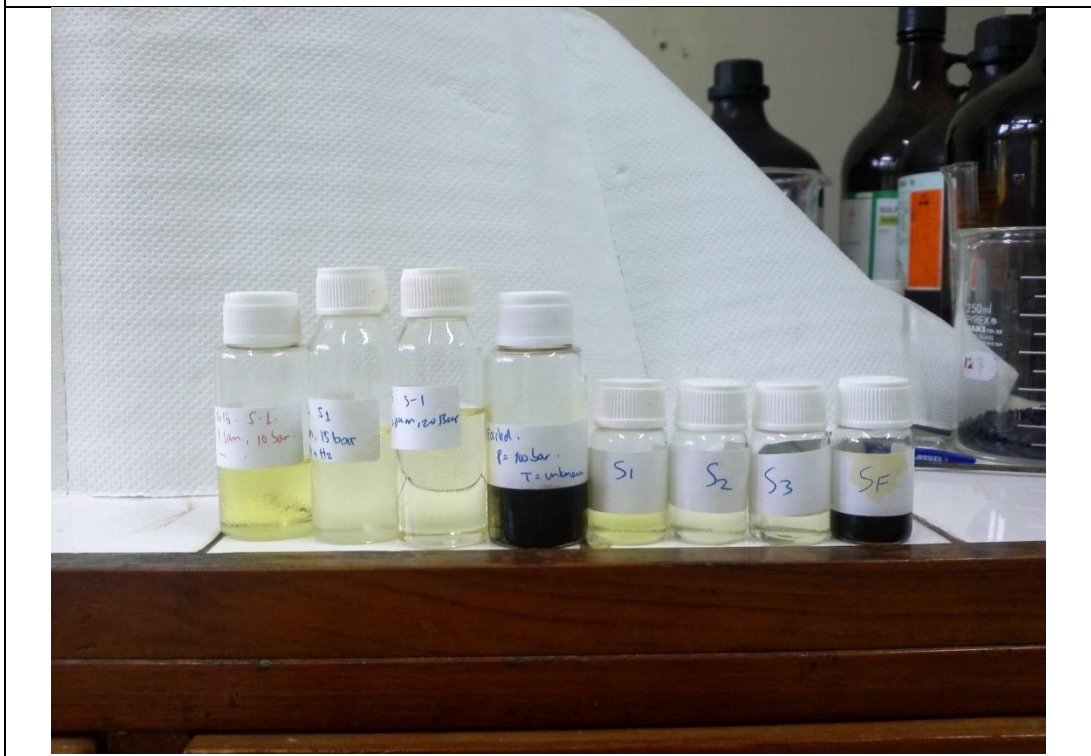
Wadah Pendingin



Oil Bath



Reaktor Batch



Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Tekanan Hidrogen



Produk Hidrogenasi Dengan Variasi Suhu

## **SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

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

Nama : Daryanto  
No. Registrasi : 3225136368  
Jurusan : Fisika  
Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Studi Karakteristik Bioavtur Getah Pinus Berbasis Hidrogenasi”** adalah :

1. Dibuat dan diselesaikan oleh saya sendiri, berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian pada bulan September 2016 sampai dengan bulan Oktober 2016.
2. Bukan merupakan duplikat skripsi yang pernah dibuat oleh orang lain atau jiplakan karya tulis orang lain atau bukan terjemahan karya tulis orang lain.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan saya bersedia menanggung segala akibat yang timbul jika pernyataan saya ini tidak benar.

Jakarta, Februari 2016

Daryanto

## RIWAYAT HIDUP



Daryanto lahir di Jakarta, 10 April 1994, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan M. Istono dan Sri Rahayu. Penulis menempuh pendidikan dasar di dua daerah yaitu Jakarta di SDN 01 Pagi dan di Yogyakarta SDN JOHO 2 dan melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 156 Jakarta. Kemudian pada tahun 2010-2013 penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 27 Jakarta. Pada tahun yang sama dengan tahun kelulusan, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Jakarta melalui jalur Mandiri (UMB). Perkuliahan tersebut ditempuh penulis dari tahun 2013 hingga lulus pada tahun 2017, dengan skripsi yang berjudul “Studi Karakteristik Bioavtur Getah Pinus Berbasis Hidrogenasi”.