



**PRODUKSI DAN KARAKTERISASI BAHAN BAKAR *GREEN DIESEL* DARI
PIROLISIS MINYAK JELANTAH BERBANTUAN GELOMBANG MIKRO**

SKRIPSI

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin**

Oleh

Eko Purwanto

NIM.5212416026

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Eko Purwanto

NIM : 5212416026

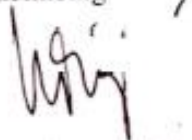
Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Produksi dan Karakterisasi Bahan Bakar *Green Diesel* dari
Pirolisis Minyak Jelantah Berbantuan Gelombang Mikro

Skripsi ini telah disetujui oleh dosen pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia
ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri
Semarang

Semarang, 28 Agustus 2020

Pembimbing



Samsudin Anis S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197601012003121002

PENGESAHAN

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Produksi dan Karakteristik Bahan Bakar *Green Diesel* dari Pirolisis Minyak Jelantah Berbantuan Gelombang Mikro" telah dipertahankan di depan sidang panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal

Oleh

Nama : Eko Purwanto
NIM : 5212416026
Program Studi : Teknik Mesin

Panitia:

Ketua



Rusiyanto, S. Pd., M.T.
NIP.197403211999031002

Sekretaris



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T. IPP.
NIP.197509272006041002

Penguji 1



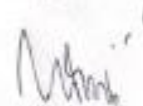
Danang Dwi Saputro, S.T., M.T.
NIP.197811052005011001

Penguji 2



Ahmad Mustamil Khoiron, S.Pd., M.Pd.
NIP.1988080820140511154

Penguji 3



Samsudin Anis S.T., M.T., Ph.D.
NIP.197601012003121002

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM
NIP.196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan pembimbing dan masukan tim penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 28 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,



Eko Purwanto
NIM.5212416026

MOTTO

“Barang siapa tidak mau merasakan pahitnya belajar, ia akan merasakan hinanya kebodohan sepanjang hidupnya” (Imam Syafi’i).

“Mencari ilmu itu seperti ibadah, mengungkapkannya seperti bertasbih, menyelidikinya seperti berjihad, mengerjakannya seperti bersedekah dan memikirkannya seperti berpuasa” (Ibnu Adz Bin Jabbal).

“Jangan menyerah menderitalah sekarang dan hiduplah sebagai juara nantinya” (Muhammad Ali).

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Almamater Universitas Negeri Semarang yang selalu saya banggakan
2. Keluarga mahasiswa Teknik Mesin S1 dan kawan seperjuangan angkatan 2016
3. Bapak dan Ibu atas doa dan dukungannya.

SARI

Purwanto Eko. 2020. Produksi dan Karakterisasi Minyak *Green Diesel* dari Pirolisis Minyak Jelantah Berbantuan Gelombang Mikro. Samsudin Anis. Teknik Mesin.

Penelitian ini bertujuan mengetahui perolehan minyak *green diesel* dari pirolisis *bio-oil* minyak jelantah dan meneliti sifat fisika yang terkandung dalam minyak *green diesel* dari destilasi *bio-oil* minyak jelantah berbasis *microwave technology*.

Bahan baku yang digunakan adalah minyak jelantah. Sebelum digunakan minyak jelantah dilakukan proses *pre-treatment*. Bahan baku dikonversi menjadi *bio-oil* menggunakan proses pirolisis secara kontinu dengan bantuan gelombang mikro. Proses pirolisis penelitian ini menggunakan iradiasi gelombang mikro dengan daya 900W dan sistem penyinaran gelombang mikro dikontrol pada temperatur 450°C. Laju pemasukan bahan baku sebesar 4ml/menit. Menggunakan gas nitrogen sebagai pendorong dari reaktor ke kondensor sebesar 0,2 Nl/menit. *Bio-oil* hasil proses pirolisis kemudian dilakukan proses destilasi. Proses destilasi dilakukan pada suhu 230°C untuk menghilangkan fraksi *kerosene* dan pada suhu 340°C untuk mendapatkan fraksi minyak *green diesel*. Minyak *green diesel* dari pirolisis minyak jelantah dikarakterisasi menggunakan metode *density*, *kinemtic viscosity*, pH, *flash point*, *pour point*, nilai kalor dan *cetane index*.

Hasil penelitian diketahui bahwa perolehan *fraksi green diesel* yaitu sebesar 16% dan 60% fraksi *kerosene*. Hasil karakterisasi minyak *green diesel* dari pirolisis minyak jelantah memiliki nilai berturut-turut (832,5 kg/m³; 2,620; 4.05; 54,5°C; -9°C; 41,1 MJ/kg dan 39,6 MJ/kg; 50,3). Hasil pengukuran menunjukkan nilai yang dihasilkan telah memenuhi SNI untuk bahan bakar jenis minyak diesel atau solar 48 (*density*, *kinemtic viscosity*, pH, *flash point*, *pour point* dan *cetane index*). Namun nilai kalor yang dihasilkan masih rendah dari solar, baik nilai kalor bruto (HHV) maupun nilai kalor bersih (LHV). Secara umum minyak *green diesel* yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel.

Kata Kunci: Minyak jelantah, gelombang mikro, pirolisis, *bio-oil*, destilasi, *green diesel*,

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Shalawat serta salam juga kita haturkan pada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman kegelapan ke zaman yang terang benderang dan semoga kita termasuk umatnya yang mendapatkan syafa'at nya di yaumul akhir nanti.

Skripsi dengan judul "Produksi dan Karakteristik Bahan Bakar *Green Diesel* dari Pirolisis Minyak Jelantah Berbantuan Gelombang Mikro" dapat terselesaikan berkat bantuan, bimbingan, motivasi dan doa dari berbagai pihak. Sebagai rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rakhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
3. Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
4. Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D., pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan saran kepada penulis.

5. Danang Dwi Saputro, S.T., M.T. dan Ahmad Mustamil Khoiron S.Pd., M.Pd. penguji yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan saran kepada penulis.
6. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendo'akan serta memberikan dukungan dan motivasi.
7. Tim penelitian B100 yang menjadi patner terbaik pada penelitian kali ini (Arya Yudhistira, Diyan Pujo Utomo dan Doni Setyo Aji).
8. Teman-teman Program Studi Teknik Mesin angkatan 2016 yang telah memberikan motivasi dan saran kepada penulis.
9. Teman-teman seperjuangan atas kebersamaan dan semua motivasi yang tercurah kepada penulis.
10. CRC Mesin UNNES, RISTEK UNNES dan Padepokan Fake House yang telah mengajarkan banyak hal di luar perkuliahan.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun terhadap skripsi ini.

Semarang, 28 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTO	v
SARI.....	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Masalah	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
1.6.1 Secara Teoritis	5
1.6.2 Secara Praktis	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
2.1 Kajian Pustaka	7
2.2 Landasan Teori.....	13
2.2.1 Minyak Jelantah	13
2.2.2 Gelombang Mikro	14
2.2.3 Pirolisis.....	15

2.2.4 <i>Bio-oil</i>	17
2.2.5 Destilasi.....	18
2.2.6 <i>Green Diesel</i>	22
2.2.7 Karakterisasi <i>Green Diesel</i>	24
2.2.7.1 <i>Density</i>	24
2.2.7.2 <i>Kinematic Viscosity</i>	25
2.2.7.3 pH.....	26
2.2.7.4 <i>Flash Point</i>	28
2.2.7.5 <i>Pour Point</i>	29
2.2.7.6 Nilai Kalor.....	31
2.2.7.7 <i>Cetane Number</i>	32

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.3.1 Waktu Penelitian	34
3.3.2 Tempat Penelitian.....	34
3.2 Desain Penelitian	34
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	39
3.3.1 Alat Penelitian	39
3.3.2 Bahan Penelitian.....	48
3.4 Parameter Penelitian	51
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	53
3.6 Kalibrasi Instrumen.....	56
3.7 Teknik Analisis Data.....	59

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data.....	62
4.1.1 Data Proses Destilasi <i>Bio-Oil</i> Minyak Jelantah	63
4.1.2 Data Karakterisasi Minyak <i>Green Diesel</i>	65
4.2 Analisis dan Pembahasan.....	68
4.2.1 Analisis Karakterisasi Minyak <i>Green Diesel</i>	68

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran.....	78

DAFTAR PUSTAKA	79
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	85
----------------------	-----------

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

DAFTAR LAMBANG

ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>
BP-PEN	Blueprint Pengelolaan Energi Nasional
g	Gram
GC-MS	<i>Gas Chromatography Mass Spectrometry</i>
GCV	<i>Gross Calorific Value</i>
GHz	Giga Hertz
HHV	<i>High Heating Value</i>
kg	Kilogram
LHV	<i>Low Heating Value</i>
MHz	Mega Hertz
MJ	Mol Joule
mm ²	Milimeter Kuadrat
m ³	Meter Kubik
NCV	<i>Net Calorific Value</i>
sec	Sekon
SKK MIGAS	Satuan Kerja Khusus Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi
V _B	Volume Bio-oil
V _K	Volume Kerosene

V_D	Volume Minyak Diesel
wt%	Persentase massa
$^{\circ}\text{C}$	Derajat Celcius

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Review</i> Penelitian Terkait.....	12
Tabel 2.2 Komposisi asam lemak minyak jelantah.....	13
Tabe 2.3 Keuntungan <i>microwave oven</i> dan konvensional	15
Tabel 2.4 Perbandingan sifat bio-oil	18
Tabel 2.5 Perbandingan sifat fisis dan kimia diesel petroleum, <i>green diesel</i> dan biodiesel berdasarkan standard eropa.....	23
Tabel 2.6 Densitas Air.....	25
Tabel 2.7 pH <i>Standard Solutions</i>	29
Tabel 2.8 <i>Heating value</i> beberapa jenis bahan bakar	32
Tabel 3.1 Analisis kromatogram <i>bio oil</i> dari bahan baku minyak jelantah pada temperatur 450°C	51
Tabel 3.2 Data hasil proses destilasi <i>bio- oil</i> minyak jelantah.....	55
Tabel 3.3 Data hasil proses destilasi <i>bio- oil</i> minyak jelantah.....	59
Tabel 3.4 Data Hasil Pengujian Karakteristik Minyak <i>Green Diesel</i>	64
Tabel 4.1 Data Proses <i>bio-oil</i> minyak jelantah	62
Tabel 4.2 Data proses destilasi bio-oil minyak jelantah	63
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sifat Fisik Minyak <i>Green Diesel</i>	68
Tabel 4.4 Karakterisasi densitas minyak <i>green diesel</i>	69
Tabel 4.5 Karakterisasi viskositas minyak <i>green diesel</i>	70

Tabel 4.6 Karakterisasi pH <i>minyak green diesel</i>	71
Tabel 4.7 Karakterisasi <i>flash point</i> minyak <i>green diesel</i>	72
Tabel 4.8 Karakterisasi <i>pour point</i> minyak <i>green diesel</i>	73
Tabel 4.9 Karakterisasi nilai kalor minyak <i>green diesel</i>	74
Tabel 4.10 Karakterisasi <i>cetane index</i> minyak <i>green diesel</i>	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Urutan Reaksi biomassa proses pirolisis	16
Gambar 2.2 <i>Schematic Diagram of Conventional batch column</i>	19
Gambar 2.3 <i>Continuous Distillation Column Configuration</i>	20
Gambar 2.4 <i>Unit Destilasi Atmosferik</i>	21
Gambar 2.5 Skema destilasi vakum	21
Gambar 2.6 <i>Scheme of Extractive Heterogeneous-Azeotropic Distillation</i>	22
Gambar 2.7 Viskometer Aliran Balik Tipe <i>Cross-Arm</i> merk <i>Zeitfuchs</i>	27
Gambar 2.8 <i>Apparatus Pensky-Martens Closed Cup</i> untuk menentukan <i>flash point</i>	30
Gambar 2.9 <i>Apparatus</i> untuk pengujian <i>Pour Point</i>	31
Gambar 3.1 <i>Times Series Design</i>	35
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian	36
Gambar 3.3 Skema alat pirolisis	37
Gambar 3.4 Skema Alat Destilasi <i>Bio-Oil</i> Minyak Jelantah	38
Gambar 3.5 <i>Microwave Oven</i>	39
Gambar 3.6 Kondensor	40
Gambar 3.7 Labu Destilasi	41
Gambar 3.8 Pompa Pendingin	41
Gambar 3.9 <i>Oil Pot</i>	42

Gambar 3.10 <i>Thermocouple</i>	42
Gambar 3.11 <i>Thermo Controller</i>	43
Gambar 3.12 Botol Sampel.....	43
Gambar 3.13 Sikat Pembersih.....	44
Gambar 3.14 Alat Penelitian 1) Gelas Ukur Minyak Hasil Destilasi 2) Gelas Ukur <i>Bio-Oil</i> Minyak Jelantah	44
Gambar 3.15 Timbangan	45
Gambar 3.16 Kipas Angin.....	45
Gambar 3.17 Tangki Minyak	46
Gambar 3.18 Pompa Peristaltik.....	46
Gambar 3.19 <i>Box Ice</i>	47
Gambar 3.20 Reaktor	47
Gambar 3.21 Peralatan pendukung	48
Gambar 3.22 <i>Bio-oil</i> Minyak Jelantah	49
Gambar 3.23 Isopropil Alkohol	49
Gambar 3.24 Karbon Aktif	50
Gambar 3.25 Gasket Packing TBA.....	50
Gambar 3.26 <i>Kromatogram Bio-oil</i> Minyak Jelantah Temperatur 450 ⁰ C.....	41
Gambar 3.27 Modifikasi lubang keluaran pada <i>microwave oven</i>	56
Gambar 3.28 Kalibrasi Pompa Peristaltik	58

Gambar 4.1 <i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Minyak Jelantah.....	63
Gambar 4.2 Minyak <i>Green Diesel</i> Hasil Destilasi Minyak Jelantah	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Berita Acara

Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian

Lampiran 3 Hasil Uji Karakteristik Sifat Fisik Minyak *Green Diesel*

Lampiran 4 SK Pembimbing

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pertumbuhan jumlah penduduk, ekonomi dan pola konsumsi energi yang semakin meningkat membuat kebutuhan energi Indonesia selalu mengalami peningkatan tiap tahunnya (Sa'adah et al, 2017). Menurut Humas SKK Migas tingkat konsumsi bahan bakar minyak secara nasional mencapai 1,6 juta barel per hari, sedangkan kemampuan produksi hanya 834 ribu barel per hari. Sementara cadangan bahan bakar fosil di alam semakin menipis. Roby Hervindo selaku *Unit Manager Communication & CSR MOR I*, menyampaikan bahwa cadangan minyak bumi Indonesia hanya sekitar 3,3 miliar barel dan diperkirakan akan habis tahun 2030. Hal ini membuat perhatian dan kepedulian terhadap energi terbarukan (*renewable*) semakin meningkat (Pratiwi, 2016).

Sejalan dengan permasalahan tersebut, kemudian pemerintah mengeluarkan *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional (BP-PEN) tahun 2006, tentang substitusi fosil menjadi energi baru terbarukan (*renewable*) untuk memenuhi kebutuhan energi nasional dengan target 5% pada tahun 2025. Salah satu jenis energi terbarukan adalah bahan bakar *green diesel*. Bahan bakar *Green diesel* dapat diproduksi dengan menggunakan minyak nabati atau hewani dan limbah restoran.

Salah satu limbah yang berpotensi sebagai bahan baku pembuatan *green diesel* adalah minyak jelantah. Secara karakteristik minyak jelantah dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *green diesel*, karena mengandung trigliserida dan asam lemak bebas seperti minyak kelapa sawit (Prasetyo, 2018). *Green diesel* dapat diproduksi menggunakan berbagai metode, salah satunya dengan menggunakan gelombang mikro. Proses pemanasan menggunakan gelombang mikro berbeda dengan pemanasan konvensional, dimana perpindahan panasnya lebih efektif dan laju reaksinya semakin cepat sehingga dapat menghemat waktu reaksi dan energi secara signifikan (Syarif, 2016). Produk (*bio-oil*) yang dihasilkan dari gelombang mikro juga lebih banyak.

Produk pirolisis (*bio-oil*) berbahan baku minyak jelantah *index* kemurniannya belum mencapai 100 hal ini menunjukkan produk yang dihasilkan perlu dilakukan proses lanjutan atau destilasi (Rohmah et al, 2015). Proses destilasi *bio-oil* pada suhu 220°C fraksi yang dihasilkan 60% *kerosine*, 22% *gasoline*, 8% *petroleum ester*, 6% aspal dan 2% gas (Azizah et al, 2015). Sedangkan pada suhu 320°C yaitu untuk menghilangkan kandungan air (Mahardika, 2017).

Produksi *green diesel* dilakukan dengan *deoxygenation processing* dimana fraksi yang dihasilkan adalah golongan hidrokarbon serta mampu menghasilkan produk yang lebih besar dan reaksi yang cepat dibandingkan dengan *hydro-processing* (Asikin et al, 2017). Intensitas gelombang mikro dan waktu reaksi tidak berpengaruh terhadap sifat *green diesel* yang dihasilkan (bilangan asam, viskositas dan massa jenis), namun berpengaruh nyata terhadap rendemen *green diesel*

(Haryanto et al, 2015). Sedangkan untuk *cetane number* dan *flash point* dipengaruhi oleh jenis asam lemak yang ada pada bahan baku serta kemurnian produk (Miskah et al, 2016).

Pemanfaatan limbah minyak jelantah yang dikonversi menjadi bahan bakar alternatif dengan memanfaatkan gelombang mikro terus dikembangkan. Mengingat sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil jumlahnya semakin terbatas. Pemanfaatan *green diesel* diharapkan tidak hanya mengurangi beban pemerintah terhadap subsidi diesel, melainkan mendorong pemanfaatan energi yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan (Ernawati, 2018). Hal ini sejalan dengan peraturan pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional, tentang prioritas pengembangan energi nasional yaitu dengan meminimalisir penggunaan minyak bumi serta memaksimalkan penggunaan energi terbarukan.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, produksi dan karakterisasi bahan bakar *green diesel* dari pirolisis minyak jelantah perlu dilakukan. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui jumlah fraksi yang dihasilkan dari proses destilasi *bio-oil* minyak jelantah. Disamping itu penulis juga ingin mengetahui karakteristik yang meliputi, *density*, *kinematic viscosity*, pH, *flash point*, *pour point*, nilai kalor dan *cetane index green diesel* sebagai bahan bakar alternatif.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah adapun identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Meningkatnya konsumsi bahan bakar minyak dari tahun ke tahun.
- b. Ketersediaan bahan bakar fosil di alam yang semakin menipis.
- c. Potensi limbah minyak jelantah (*waste cooking oil*) sebagai bahan bakar alternatif.
- d. *Index* kemurnian *bio-oil* dari proses pirolisis belum 100 sehingga perlu tindakan lanjutan untuk mendapatkan *green diesel*.
- e. *Green diesel* yang sudah dihasilkan perlu dilakukan pengujian karakteristik untuk mengetahui kandungan apa saja yang ada di dalamnya.
- f. *Green diesel* yang dihasilkan memiliki standard mutu yang sama atau mirip dengan minyak solar (*density, kinematic viscosity, pH, flash point, pour point*, nilai kalor dan *cetane index*) agar dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang diuraikan di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menggunakan minyak jelantah sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar *green diesel*
- b. Menggunakan iradiasi gelombang mikro dengan daya 900 W dan temperatur dengan variasi 230°C dan 340°C.
- c. Proses destilasi *Bio-oil* dilakukan dengan menggunakan proses destilasi biasa (satu tingkat)

- d. Pengujian karakteristik *green diesel* difokuskan *density*, *kinematic viscosity*, pH, *flash point*, *pour point*, nilai kalor dan *cetane index*.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang penelitian ini dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Berapa fraksi volume yang diperoleh dari proses destilasi *bio-oil*?
- b. Bagaimana karakteristik *density*, *kinematic viscosity*, pH, *flash point*, *pour point*, nilai kalor dan *cetane index*?

1.5 Tujuan Masalah

- a. Mengetahui perolehan fraksi volume yang diperoleh dari proses destilasi *green diesel*.
- b. Mengetahui karakteristik *density*, *kinematic viscosity*, pH, *flash point*, *pour point*, nilai kalor dan *cetane index*

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1.6.1 Secara Teoritis

- a. Memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan wawasan mengenai pembuatan B100 (*Green Diesel*) menggunakan proses destilasi (satu

tingkat) dari bahan baku *bio-oil* minyak jelantah dengan bantuan iradiasi gelombang mikro.

- b. Sebagai acuan dan bahan pertimbangan pada penelitian destilasi (satu tingkat) menggunakan iradiasi gelombang mikro selanjutnya.
- c. Memberikan informasi tentang sifat fisik *green diesel* dari limbah minyak jelantah.

1.6.2 Secara Praktis

- a. Pemanfaatan minyak jelantah (*waste cooking oil*) sebagai bahan bakar alternatif.
- b. Sebagai dasar industri dalam memproduksi *green diesel* dari minyak jelantah (*waste cooking oil*).

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Produksi *bio-oil* menggunakan gelombang mikro sebelumnya dilakukan oleh Wang et al (2016), yaitu *Upgraded bio-oil production via catalytic fast co-pyrolysis of waste cooking oil and tea residual*. Bahan baku yang digunakan minyak jelantah dan teh dengan temperatur 450-700⁰C, laju pemanasan pada 20⁰C/ms suhu pirolisis dikontrol selama 20 detik menggunakan gas helium sebagai pendorong aliran sebesar 1,0 mL/menit. Pada temperatur 600⁰C adalah hasil optimal sebagai hasil maksimum hidrokarbon aromatik dan olefin masing-masing 31,17% dan 14,74%. Hasil karbon aromatik lebih tinggi dari olefin karena pirolisis WCO dengan rasio H atau C yang tinggi, proses *fast pyrolysis* mempercepat rantai pemotongan dan pemecahan bahan organik dalam WCO. Setelah suhu 600⁰C produk yang dihasilkan cenderung menurun, hal ini disebabkan oleh reaksi sekunder selama CFP boimassa.

Penelitian tentang destilasi sebelumnya sudah dilakukan Azizah et al (2015) yaitu Pengaruh panjang kolom destilasi bahan isian terhadap hasil produk cair sampah plastik. Bahan yang digunakan yaitu hasil pirolisis sampah plastik pada suhu 450⁰C berwarna coklat kehitaman. Bio-oil sampah plastik dimasukkan pada labu tiga leher sebesar 200 ml kemudian dipanaskan sampai mendidih dan terjadi tetesan (hasil produk), kemudian lakukan pengukuran volume destilat tiap interval 5 menit sampai

ke menit 30. Disebutkan dalam diagram hasil fraksi destilasi pada suhu 220°C dihasilkan 60% *kerosine*, 22% *gasoline*), 8% petroleum eter, 6% aspal dan 2% gas. Hal ini disebabkan karena sampel bio-oil sampah plastik menghasilkan pembentukan unsur hidrokarbon yang cenderung bervariasi karena proses pirolisis.

Mahardika (2017) yaitu Perancangan proses destilasi atmosferik dan penghilangan gas oil dalam pengolahan minyak bekas. Program simulasi *Aspen Plus V.9* digunakan untuk pemisahan minyak pelumas bekas. Proses pemurnian untuk menghilangkan kandungan air dan *light ends* menggunakan destilasi atmosferik, kolom destilasi untuk memisahkan *gas oil*. Suhu *feed*, tekanan kolom dan *reflux ratio* dari kolom distilasi adalah variabel yang diatur pada simulasi kolom distilasi *vacuum*. Pada suhu 320°C kondisi optimum kandungan air, dan *light ends* dapat dihilangkan dengan *pre-flash drum* yakni sebesar 99,73% dan *%removal light ends* sebesar 81,35%, kebutuhan *steam* meningkat seiring dengan peningkatan suhu *feed pre-flash drum*.

Proses produksi dan karakterisasi biodiesel sebelumnya dilakukan Rezeika (2017), yaitu sintesis biodiesel dari minyak jelantah dengan katalis NaOH dengan variasi waktu reaksi transesterifikasi dan uji performanya pada mesin diesel. Penelitian ini menggunakan metode *refluks* pada temperatur 65°C, dengan perbandingan minyak dan methanol 1:2 dan massa katalis 0,5 % terhadap massa minyak jelantah. Variasi waktu penelitian yang digunakan yaitu 30, 60 dan 90 menit, dengan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali setiap variasinya. Proses pembuatan

biodiesel dilakukan menggunakan labu 3 leher dan direfluks pada temperatur 65°C selama variasi waktu yang ditentukan serta dilakukan pengadukan dengan kecepatan 800 rpm. Biodiesel yang dihasilkan kemudian dilakukan evaporasi dengan evaporator untuk mendapatkan biodiesel murni berwarna kuning jernih. Biodiesel yang dihasilkan tertinggi terjadi pada waktu 60 menit sebesar 93,92% dengan densitas rata-rata sebesar $854,4\text{ kg/m}^3$. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa semakin cepat waktu reaksi maka biodiesel yang dihasilkan semakin banyak. Namun terjadi penurunan pada waktu 90 menit. Hal ini terjadi karena adanya reaksi balik (*reversible*) sehingga menyebabkan terbentuknya sabun sehingga waktu reaksi semakin lama dan tidak menjamin menghasilkan produk yang lebih banyak.

Trisnaliani dan Ahmad (2018), yaitu *separation of gliserol from biodiesel oil products using high voltage electrolysis*. Penelitian ini menggunakan bahan baku minyak jelantah, methanol zeolite dan NaOH. Penelitian ini dilakukan dengan proses elektrolisis dengan gelombang tinggi. Produksi biodiesel dilakukan dengan menggunakan reaktor tangki alir berpengaduk. Proses pemanasan dilakukan pada temperatur $35\text{-}60^{\circ}\text{C}$. Rasio minyak dan methanol sebesar (5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1) menggunakan katalis NaOH 0,1 N. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi optimal suhu menghasilkan persentase tertinggi pada suhu 60°C dengan perbandingan minyak jelantah dan methanol 5:1 dengan hasil 88,88%, viskositas kinematik 2,560, titik nyala 55°C . Persentase hasil yang tinggi disebabkan semakin cepatnya pergerakan molekul zat karena kenaikan suhu.

Ningsih et al (2017), yaitu rasio molar minyak sawit dengan etanol konsentrasi rendah dalam pembuatan biodiesel. Penelitian ini menggunakan bahan baku minyak sawit, etanol 70%, NaOH dan aquades. Rasio mol minyak sawit dengan etanol sebesar (1:2; 1:14; 1:16) dengan pemanasan pada suhu 60⁰C dengan waktu reaksi selama 3 jam. Proses produksi dilakukan dengan memanaskan minyak hingga mencapai suhu reaksi 60⁰C, mencampurkan etanol dan NaOH serta dilakukan pengadukan selama 15 menit agar homogen. Hasil pencampuran etanol dan NaOH dimasukkan *beaker glass* yang berisi minyak panas dan direaksikan selama 3 jam serta dilakukan pengadukan. Hasil penelitian menunjukkan *yield* terbesar diperoleh dengan rasio mol 1:16 yaitu 59,26% dan *cetane index* sebesar 51. *Yield* yang dihasilkan semakin meningkat dengan bertambahnya ratio mol minyak etanol.

Murni et al (2018), yaitu pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dengan bantuan gelombang ultrasonik. Pada penelitian ini menggunakan metode *ultrasonic processor VCX-series 750 W*. Produksi biodiesel dilakukan dengan dua tahap, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Pada penelitian ini minyak jelantah dilakukan *pretreatment* untuk menghilangkan kotoran dan kandungan air dengan cara disaring dan dipanaskan pada suhu 110⁰C, minyak jelantah yang digunakan memiliki kandungan asam lemak bebas 7,93% dan densitas 907,5 g/m³. Tahap esterifikasi reaksi dilakukan dengan rasio molar 6:1; jumlah katalis 1% dari berat minyak dengan waktu reaksi 1 jam. Tahap transesterifikasi direaksikan menggunakan metanol menggunakan katalis KOH 1% dari berat minyak dengan perbandingan rasio molar

dengan minyak dan waktu reaksi bervariasi, pada suhu 30 dan 60⁰C. Hasil maksimal dihasilkan pada waktu reaksi 40 menit sebesar 83%, nilai kalor 8521,1 kkal/kg telah memenuhi SNI. Penggunaan gelombang ultrasonik mempercepat waktu reaksi dan meningkatkan konversi, hal ini disebabkan karena meningkatnya transfer massa antara methanol dan minyak akibat proses kavitasi.

Pratiwi et al, 2016 yaitu Perbandingan proses esterifikasi dan transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel dari minyak jelantah. Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini minyak jelantah, aquades, NaOH (0,1M), H₂SO₄, H₃PO₄ dan asam asetat. Bahan baku dilakukan pemisahan kotoran dengan proses *De-Gumming* kemudian dipanaskan selama 30 menit pada suhu 70⁰C. Pada proses penelitian ini menggunakan dua tahap yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Proses esterifikasi dan transesterifikasi dilakukan pada suhu 70 C selama 70 menit dengan perbandingan minyak jelantah dan methanol sebanyak 2:1 dari berat minyak jelantah (Esterifikasi). Hasil dari proses esterifikasi kemudian dilakukan proses transesterifikasi dengan perbandingan yang sama dengan tujuan mengubah asam lemak dari trigliserida dalam bentuk ester. Biodiesel yang dihasilkan kemudian dilakukan pencucian dan pengeringan dengan cara dipanaskan pada suhu 100⁰C sampai kandungan airnya hilang. Pada penelitian ini *yield* tertinggi sebesar 62,667% pada proses transesterifikasi dan nilai pH sebesar 6,5. Hal ini karena pencucian menggunakan metode *buble* menggunakan aquades sebagai pencuci dan untuk mendapatkan nilai pH pencucian harus dilakukan berulang kali.

Beberapa penelitian terkait dapat di sederhanakan berdasarkan bahan baku, metode pemanas, serta tipe dan sistem pirolisis yang digunakan. Tabel *review* penelitian terkait ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 *Review* penelitian terkait

No	Peneliti	Bahan Baku	Metode Pemanasan	Tipe Pirolisis/ Destilasi	Sistem Pirolisis/ Destilasi
1	Wang, et al, 2017	Minyak jelantah dan teh	<i>Microwave</i>	<i>Fast</i>	<i>Batch</i>
2	Azizah et al, 2015	Bio-oil sampah plastik	<i>Microwave</i>	<i>Slow</i>	<i>Batch</i>
3	Mahardika et al, 2017	Minyak pelumas bekas	Konvensional	<i>Flash</i>	<i>Batch</i>
4	Rezeika, 2017	Minyak Jelantah	Konvensional	<i>Slow</i>	<i>Batch</i>
5	Trisnaliani dan Ahmad, 2018	Minyak jelantah	<i>Microwave</i>	<i>Slow</i>	<i>Batch</i>
6	Ningsih et al 2017	Minyak jelantah, etanol	<i>Microwave</i>	<i>Slow</i>	<i>Batch</i>
7	Murni et al, 2018	Minyak jelantah	<i>Microwave</i>	<i>Slow</i>	<i>Batch</i>
8	Pratiwi et al, 2016	Minyak jelantah	<i>Microwave</i>	<i>Slow</i>	<i>Batch</i>

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, peneliti bermaksud melakukan penelitian tentang proses produksi *green diesel* menggunakan metode pemanasan iradiasi gelombang mikro. Hal yang berbeda dari penelitian yang telah dilakukan terletak pada tipe pirolisis. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan sistem pirolisis kontinu dengan tipe *fast pyrolysis* (produksi *bio-oil*) dan sistem *batch distillation* (produksi *green diesel*) menggunakan bahan baku minyak jelantah. Proses karakteristik *green diesel* yang dilakukan oleh Murni, et al (2018), digunakan sebagai acuan menentukan parameter penelitian.

2.2. Landasan Teori

2.2.1 Minyak Jelantah

Istilah minyak jelantah merujuk pada jenis minyak yang diperoleh dari sisa penggorengan dalam proses memasak. Secara karakteristik minyak jelantah dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *green diesel* karena memiliki kesamaan dengan minyak kelapa sawit yaitu, mengandung trigliserida dan asam lemak bebas (Prasetyo, 2018). Akibat penggunaan yang berulang kali, minyak jelantah mengalami perubahan kimia karena oksidasi dan hidrolisis, sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada minyak (Pratiwi et al 2016).

Berdasarkan analisis yang dilakukan Banani et al (2015), minyak jelantah memiliki potensi yang cukup besar sebagai salah satu bahan baku *green diesel* karena memiliki asam lemak yang tinggi. Hasil analisis komposisi asam lemak minyak jelantah menggunakan *gas chromatography- mass spectrometry* (GC-MS) ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Komposisi asam lemak minyak jelantah hasil analisis Banani, *et al* (2015)

Asam Lemak	Nama Metil Ester	Rumus Kimia	Rumus Umum	%Wt
<i>Palmitic acid/ Hexadecanoic Acid</i>	<i>Methyl Palmitate/Methyl Hexadecanoate</i>	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	C16:0	15,86
<i>Stearic acid / Octadecanoic Acid</i>	<i>Methyl Stearate/Methyl Octadecanoate</i>	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	C18:0	4,87
<i>Oleic acid / 9(E)- Octadecenoic Acid</i>	<i>Methyl Oleate/ Methyl 9(E) Octadecenoate</i>	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	C18:1 (E)	29,83

<i>Linoleic acid/</i> <i>9(Z),12(Z)</i>	<i>Methyl Linoleate</i> <i>/Methyl</i> <i>9(Z),12(Z)</i>	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	C18:2 (Z,Z)	28,85
<i>Octadecadienoic</i> <i>Acid</i>	<i>Octadecadienoate</i>			
<i>Linolenic acid/</i> <i>9(Z),12(Z),15(Z)-</i> <i>Z)-</i>	<i>Methyl Linoleate</i> <i>/Methyl</i> <i>9(Z),12(Z),15(Z)-</i> <i>oic</i>	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	C18:3 (Z,Z,Z)	2,49
<i>Octadecatrienoic</i> <i>Acid</i>	<i>Octadecadienoate</i>			

Sumber: Banani et al, 2015

Penggunaan minyak jelantah sebagai bahan dasar pembuatan bahan bakar alternatif sangat menguntungkan karena minyak jelantah merupakan limbah yang jumlahnya banyak dan sudah tidak digunakan lagi, sehingga dapat diperoleh dengan mudah karena banyak disekitar masyarakat serta harganya yang murah.

2.2.2 Gelombang Mikro

Gelombang mikro merupakan istilah yang terkait dengan iradiasi elektromagnetik dalam rentang frekuensi 300MHz- 300GHz. Gelombang mikro beroperasi pada frekuensi 2,5 GHz, proses berlangsung sangat cepat karena tidak memerlukan konduksi panas seperti konvensional (Suryanto et al, 2018). *Microwave* menyebabkan polarisasi ion dan rotasi molekul dipol yang menimbulkan gesekan antar molekul, sehingga menimbulkan panas dalam waktu sangat singkat (Sulaiman, 2016).

Gelombang mikro merupakan teknologi alternatif untuk dekomposisi termal. Gelombang mikro digunakan untuk mengatasi beberapa kelemahan dari proses pirolisis menggunakan metode konvensional, seperti lambatnya laju reaksi dan rendahnya produk yang dihasilkan, dengan menggunakan gelombang mikro dapat menghemat waktu reaksi dan energi secara signifikan (Syarif, 2016). Keuntungan penggunaan *microwave oven* dan pemanasan konvensional disajikan pada Tabel 2.3

Tab 2.3 keuntungan *microwave oven* dan konvensional

Parameter	Microwave oven	Konvensional
Sumber tenaga	Listrik	Listrik
Harga	Harga cukup ekonomis, tidak perlu biaya lebih untuk penyetelan	Harga dipengaruhi oleh biaya set up awal dan jenis sumber tenaganya
Pemanasan	Kemampuan pemanasannya cepat	Perlu waktu lama untuk pemanasan
Waktu ekstraksi	Waktu ekstraksi pada suatu sampel lebih singkat	Waktu ekstraksi pada suatu sampel lebih lama.
Distribusi panas	Bersifat selektif (<i>dielectric properties</i>) dan distribusi panas lebih merata	Mendistribusikan panas hampir merata
Kelebihan	Waktu ekstraksi lebih cepat	Dapat dipertahankan dan diatur suhunya
Kekurangan	Harganya terlalu mahal dan membutuhkan proses curing	Membutuhkan waktu yang lama, menggunakan pelarut yang lebih banyak

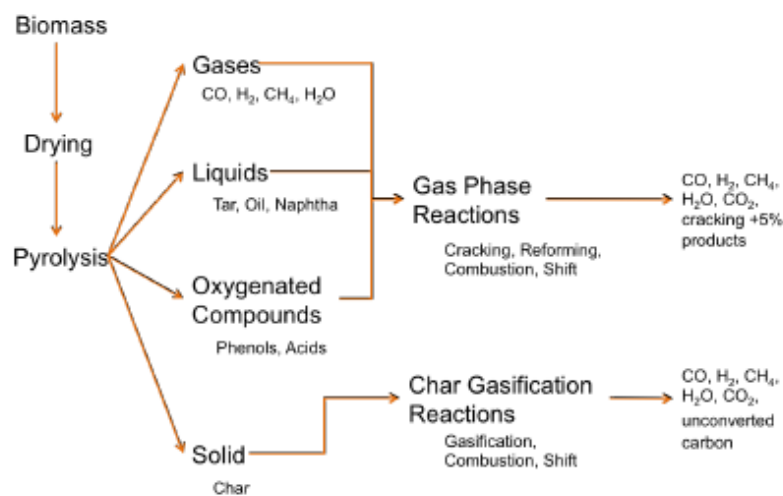
Sumber: Syarifah, 2018

2.2.3 Pirolisis

Pirolisis pertama kali dikenal pada zaman mesir kuno, yang menggunakan cairan pirolitik untuk mendempul kapal. Pada tahun 1918 penelitian dimulai pada

degradasi termal selulosa menggunakan proses pirolisis. Dekade 50-an penelitian pirolisis meningkat, yaitu digunakan untuk meningkatkan jumlah *biochar* dan *bio-oil* yang dihasilkan. Ketertarikan ini disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan untuk mencari pengganti bahan bakar fosil. Dekade 80-an proses pirolisis sebagai alternatif yang cocok untuk mendapatkan *bio-oil* (Alvares Chaves, 2019).

Pirolisis adalah degradasi termal biomassa oleh panas tanpa oksigen, yang menghasilkan produk padatan (arang), cairan (*bio-oil*) dan produk bahan bakar gas (Demirba et al dalam Pineda, 2014). Berdasarkan Gambar 2.1 dapat disimpulkan bahwa reaksi pirolisis adalah kompleks dan bervariasi tergantung pada jenis biomassa. Proses pirolisis memecah biomassa menjadi gas yang meliputi CO, H₂, CH₄, H₂O; cairan termasuk *tar*, minyak dan nafta; senyawa beroksigen termasuk fenol dan asam; dan *solid* yaitu *char* (Pineda, 2014).



Gambar 2.1 Urutan Reaksi biomassa proses pirolisis
(Sumber: Pineda, 2014 : 4)

Berdasarkan laju pemanasan dan waktu tinggal pirolisis dibedakan menjadi tiga tipe : *fast pyrolysis*, *flash pyrolysis* dan *slow pyrolysis*. *Fast pyrolysis* digunakan untuk menghasilkan *bio-oil* pada kisaran suhu sekitar 400-600⁰C, laju pemanasan sekitar 100-1000⁰C/menit, ukuran partikel sekitar 3,0 mm dan waktu reaksi berlangsung cepat antara 0,5-2 detik pada tekanan atmosfer. *Flash pyrolysis* terjadi dengan waktu reaksi yang lebih singkat kurang dari 0,5 detik pada suhu 400-1000⁰C dan ukuran partikel kurang dari 0,5 mm. *Slow pyrolysis* adalah tingkat pemanasan rendah, kurang dari 80⁰C, laju pemanasan 350-500⁰C, waktu reaksi yang dibutuhkan yang relatif lama (Alvares Chaves, 2019).

2.2.4 Bio-oil

Bio-oil adalah campuran kompleks dari berbagai senyawa organik yang berasal dari dekomposisi *thermal* selulosa, hemiselulosa dan lignin, berupa cairan kental, polar dan berwarna gelap. *Bio-oil* tidak dapat larut dengan minyak bahan bakar, karena itu perlu ditingkatkan sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar atau dicampur dengan minyak mentah (Patel dan Kumar, 2016).

Bio-oil tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar transportasi tetapi dapat digunakan sebagai pemanas industri. Komposisi molekulnya yang beragam dengan berat molekul yang berbeda, kandungan oksigen tinggi, keasaman tinggi dari fase berair viskositas tinggi dan volatilitas rendah serta reaktivitas tinggi sehingga mempersulit deoksigenasi dan peningkatan (Hall, 2017).

Bio-oil juga bersifat korosif dan tidak stabil selama penyimpanan jangka panjang (Patel dan Kumar, 2016). *Bio-oil* mengandung molekul organik yang sangat teroksigenasi fenol, alkohol, alheida asam organik dan oligomer turunan lignin dengan komposisi spesifik yang tergantung bahan baku biomassa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 perbandingan sifat *bio-oil* yang dihasilkan oleh berbagai bahan baku lignoselulosa dan bahan bakar destilasi umum.

<i>Properties</i>	<i>Wood</i>	<i>Willow</i>	<i>Straw</i>	<i>Sweet Grass</i>	<i>Petroleum Destilat Fuel</i>
<i>Water Content, wt%</i>	15-30	17.4	47.4	24.7	0.1
<i>Carbon, wt%</i>	54-58	43.17	28.2	38.3	85
<i>Hydrogen, wt%</i>	5.5-7	7.15	8.78	7.42	11
<i>Oxygen, wt%</i>	35-40	49.49	62.83	54.08	1
<i>Nitrogen, wt%</i>	0-0.2	0.1	0.1	0.1	0.3
<i>Ash, wt%</i>	0-0.2				0.1
<i>pH</i>	2-3	2.68	3.45	2.87	-
<i>Viscosity, mm²/s</i>	40-100	53.2	17.2	34.2	2.39
<i>Density, kg/m³</i>	1.2				0.94
<i>HHV, MJ/kg</i>	16-19	18.4	13.6	16.4	40
<i>Solid Prticulates, wt%</i>	0.2-1				
<i>Distillation Residu, wt%</i>	Up to 50				

Sumber: Douvartzides et al, 2019.

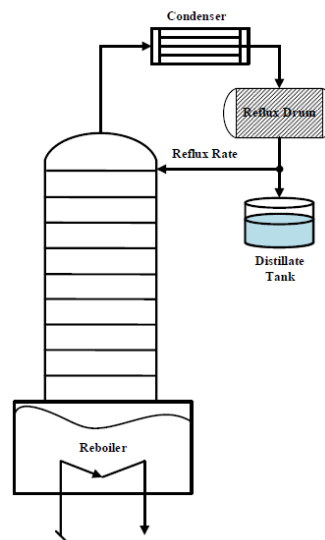
2.2.5 Destilasi

Destilasi adalah teknik yang digunakan untuk memisahkan komponen dari campuran berdasarkan perbedaan volatilitasnya, proses destilasi melibatkan pemanasan zat cair ke kondisi uap sehingga memungkinkan kondensasi selektif. Metode destilasi sederhana hanya memiliki efisiensi terbatas (Yang et al, 2016).

Berdasarkan tekniknya destilasi dibagi menjadi dua jenis yaitu, *batch distillation* dan *continuous distillation* (Wiyantoko, 2016:13).

1. *Batch distillation*

Prinsip kerja *batch distillation* adalah uap mengalami kesetimbangan fasa gas-cair pada saat campuran dipanaskan dan mengalami kondensasi menghasilkan kondensat. Kelemahan dari *batch distillation* adalah prosesnya lama dan sangat terbatas volume umpan (*feed*) yang digunakan.



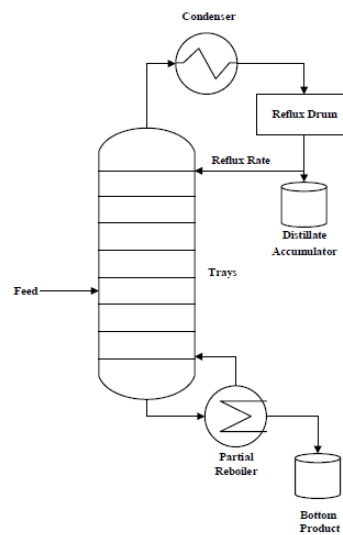
Gambar 2.2 *Schematic Diagram of Conventional batch column*

(Sumber: Aqar, 2018)

2. *Continuous distillation*

Prinsip kerja *continuous distillation* adalah umpan dialirkan secara terus menerus kedalam *tray* atau mangkok destilasi sehingga pada sistem ini terdapat uap

cairan bawah atau *bottom* dan terjadi kesetimbangan uap, aliran dan *bottom*. Kesetimbangan berlangsung terus menerus pada beberapa *stage tray* sehingga dihasilkan destilat yang memiliki kemurnian lebih tinggi dan proses yang berlangsung terus menerus.



Gambar 2.3 *Continuous Distillation Column Configuration*

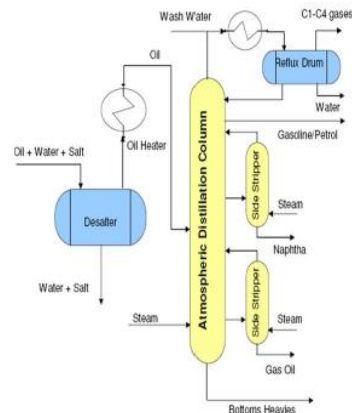
(Sumber: Aqar, 2018)

Berdasarkan tekanannya destilasi dibagi menjadi tiga yaitu, destilasi atmosferik, destilasi vakum dan destilasi azeotrop (Wiyantoko, 2016: 13)

a. Destilasi Atmosferik

Umpan dialirkan ke dalam dengan sistem destilasi kontinyu pada temperatur 650-700⁰F dan tekanan atmosfer. Proses ini berlaku untuk minyak fraksi berat atau

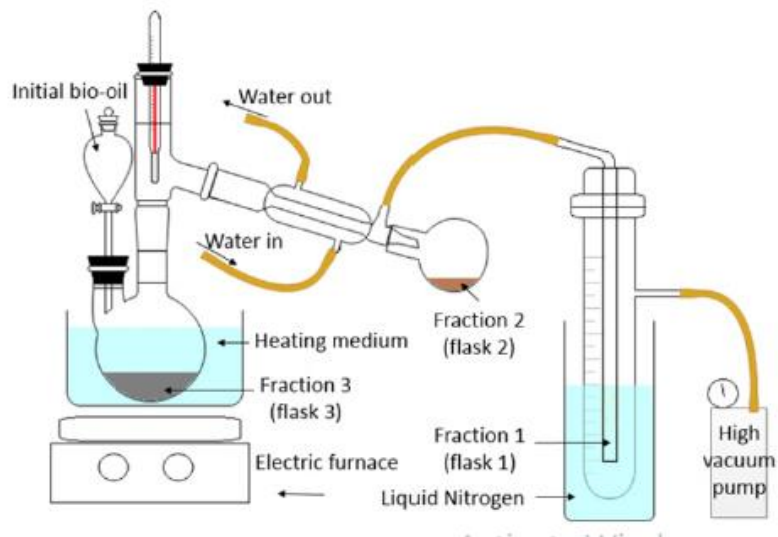
residu aspal. Pada temperatur tinggi data menghasilkan minyak pelumas, minyak bakar, *gasoline*, dan fraksi tak terkondensasi.



Gambar 2.4 Unit Destilasi Atmosferik
(Sumber: Bavarva, 2015)

b. Destilasi Vakum

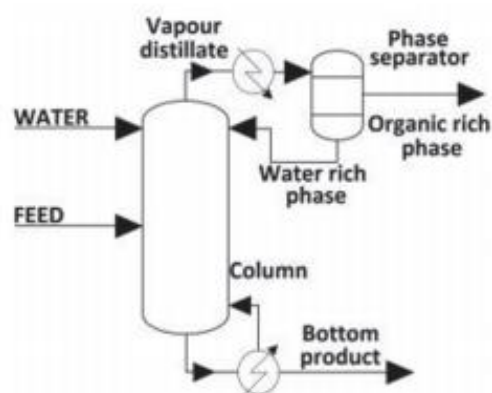
Digunakan untuk pemisahan produk kurang *volatile* seperti minyak pelumas dari minyak bumi tanpa perlu melalui perengkahan. Titik didih fraksi tersebut diperoleh pada tekanan atmosfer dan dibatasi pada temperatur 350°C atau 660°F dimana residu mulai mengalami dekomposisi.



Gambar 2.5 Skema destilasi vakum
(Sumber : Nam et al, 2016)

c. Destilasi Azeotrop

Proses ini dilakukan untuk mengakomodasi kebutuhan produk minyak bumi yang spesifik. Destilasi azeotrop digunakan untuk pemisahan dua komponen yang memiliki perbedaan volatilitas sangat kecil dengan penambahan *entrainer* yaitu penambahan komponen yang dapat membentuk azeotrop dengan azeotrop lain.



Gambar 2.6 Scheme of Extractive Heterogeneous-Azeotropic Distillation
(Sumber: Toth et al, 2017).

2.2.6 Green Diesel

Green diesel adalah *biofuel* generasi baru yang dikenal dengan diesel terbarukan. *Green diesel* adalah campuran hidrokarbon jenuh rantai lurus dan bercabang dan biasanya mengandung 15 hingga 18 atom karbon. Komposisi ini menyerupai diesel minyak bumi fosil dan dapat dimanfaatkan dalam bentuk murni atau sebagai campuran tanpa modifikasi mesin. *Green diesel* memiliki keunggulan yaitu tidak meningkatkan emisi NO_x dan memiliki nilai *cetane number* yang lebih tinggi. *Green diesel* dapat diproduksi dari biomassa melalui empat teknologi yaitu, (i) *hydro processing*, (ii) Peningkatan katalitik, gula pati dan alkohol, (iii) konversi termal (pirolisis) dan peningkatan bio-oil, (iv) proses termokimia (Douvartzides, 2019).

Green diesel adalah bahan bakar hidrokarbon seperti diesel, memiliki sifat bahan bakar yang baik seperti viskositas yang lebih rendah, stabilitas yang baik dan kerapatan yang lebih baik daripada biodiesel. *Green diesel* secara kimia memiliki dengan diesel petroleum (Gerven dan Brian, 2014). Berikut perbandingan sifat diesel *petroleum*, *green diesel* dan biodiesel berdasarkan standard eropa yang disajikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Perbandingan sifat fisis dan kimia diesel *petroleum*, *green diesel* dan biodiesel berdasarkan standard eropa

<i>Property</i>	<i>Petroleum diesel</i> standard eropa		<i>Green diesel</i> standard eropa		Biodiesel standard eropa	
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
<i>Cetane Number (CN)</i>	51	-	70/51	-	51	-
<i>Cetane Index</i>	46	-	-	-	-	-

<i>Density at 15 °C</i> (kg/m ³)	820	845	765/7 80	800/810	860	890
<i>Viscosity at 40 °C</i> (mm ² /s)	2	4,5	2	4,5	3,5	5,0
<i>Flash Point (°C)</i>	55	-	55	-	101	-
<i>Could Point (°C)</i>	Down to -34		Down to -34		-	-
<i>Ash Content (wt%)</i>	-	0,01	-	0,01	-	-
<i>Water Content (Mg/kg)</i>	-	200	-	200	-	500
<i>Carbon Residu on</i>	-	0,3	-	0,3	-	0,3
<i>10% Distillation (wt%)</i>						
<i>Fatty Acid Methyl</i>	-	7	-	7	96,5wt	-
<i>Esters (vol%)</i>					%	
<i>Aromaticity</i>	-	-	-	1,1 wt%	-	-
<i>Sulful Content (Mg/kg)</i>	-	10	-	5	-	10
<i>Manganese Content</i> (Mg/lt)	-	2	-	-	-	-
<i>Water And Sedimen</i> (vol%)	-	-	-	0,02	-	-
<i>Total Contamination</i> (Mg/kg)	-	24	-	24	-	24
<i>Oxidation Stability</i>	20 h	25g/m ³	20 h	25g/m ³	6 h	-
<i>Carbon (wt%)</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Hydrogen (wt%)</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Oxygen (wt%)</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Lower Heating Value</i> (LHV) MJ/kg	-	-	-	-	-	-
<i>Polycyclic Aromatic</i> <i>Hydrocarbons (wt%)</i>	-	8	-	-	-	-

(Sumber: Douvartzides et al, 2019)

2.2.7 Karakterisasi Sifat Fisis *Green Diesel*

2.2.7.1 *Density* (Massa Jenis)

Density atau massa jenis adalah pengukuran massa tiap satuan volume benda. Semakin besar massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa satuan volumenya. Massa jenis suatu benda adalah jumlah total massa dibagi dengan total

volume. Satuan massa jenis SI adalah kg/m^3 . Massa jenis berfungsi untuk menentukan massa jenis suatu zat, karena setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Berapapun massa dan volume suatu zat akan memiliki massa jenis yang sama (Landi dan Arjianto, 2017).

Metode pengujian mencakup penentuan densitas atau kerapatan relatif dari destilat minyak bumi dan minyak kental yang dapat dilakukan sebagai cairan pada suhu uji antara 15 dan 35. Penerapannya dibatasi untuk cairan dengan tekanan uap dibawah 600mm Hg (80kPa) dan viskositas sekitar dibawah 15000 cSt (mm^2/detik) pada suhu. *Digital Density Analyzer* adalah sebuah analisa digital yang terdiri dari tabung sampel berbentuk osilasi dan sistem untuk eksitasi elektronik, penghitungan frekuensi dan tampilan. Tabel densitas disajikan dalam Tabel 2.6. Densitas dapat dihitung dengan:

$$1. \text{ Densitas, g/mL (kg/dm}^3\text{) pada } t = d_w + K_1(T_s^2 - T_w^2) \dots\dots\dots (2.1)$$

$$2. \text{ Kerapatan relative, } t/t = 1 + K_2(T_s^2 - T_w^2) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

- T_w : Periode osilasi yang mengandung air
- T_s : Periode osilasi sampel yang mengandung sel
- d_w : Kepadatan air pada suhu uji
- K_1 : Konstanta instrument untuk kerapatan
- K_2 : Konstanta instrument untuk kerapatan relatif
- T : Temperatur uji

Tabel 2.6 densitas air

Temperatur $^{\circ}\text{C}$	Density, g/ml	Temperatur $^{\circ}\text{C}$	Density, g/ml	Temperatur $^{\circ}\text{C}$	Density, g/ml
0.0	0.999840	21.0	0.997991	40.0	0.992212
3.0	0.999964	22.0	0.997769	45.0	0.990208

4.0	0.999972	23.0	0.997537	50.0	0.988030
5.0	0.999964	24.0	0.997295	55.0	0.985688
10.0	0.999699	25.0	0.997043	60.0	0.983191
15.0	0.999099	26.0	0.996782	65.0	0.980546
15.56	0.999012	27.0	0.996511	70.0	0.977759
16.0	0.998943	28.0	0.996231	75.0	0.974837
17.0	0.998774	29.0	0.995943	80.0	0.971785
18.0	0.998505	30.0	0.995645	85.0	0.96806
19.0	0.998404	35.0	0.994029	90.0	0.965305
20.0	0.998203	37.78	0.993042	100	0.958345

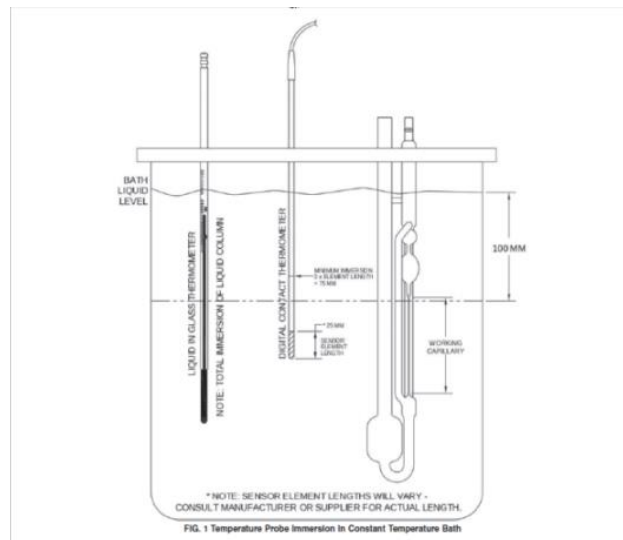
Sumber: ASTM D-4052

2.2.7.2 Kinematic Viscosity

Kinematic viscosity merupakan suatu rasio antara viskositas absolut untuk kapadatan (densitas) dengan jumlah dimana tidak ada kekuatan yang terlibat. Satuan SI *kinematic viscosity* adalah mm^2/s atau *centistoke (cSt)*. Viskositas kinematik yang lebih tinggi mengakibatkan berkurangnya kebocoran bahan bakar (Giakoumis, 2018).

ASTM D 445 menyebutkan tentang metode pengujian standar viskositas kinematik untuk cairan transparan dan keruh serta ASTM D 446 tentang spesifikasi standar dan prosedur operasional gelas kapiler pengukur viskositas kinematik. Terdapat 3 jenis viskometer standar untuk mengukur viskositas kinematik yaitu : viskometer *ostwald* termodifikasi untuk cairan transparan, viskometer level tersuspensi untuk cairan transparan dan viskometer aliran balik untuk cairan transparan dan keruh. Viskometer aliran balik lebih fleksibel karena dapat digunakan untuk mengukur viskositas cairan yang tembus cahaya maupun yang tidak tembus

cahaya. Viskometer jenis ini dapat digunakan untuk mengukur viskositas sampai dengan 300.000 mm²/s. Berikut salah satu contoh viskometer aliran balik/*reverse flow viscometer*:



Gambar 2.7 Viskometer Aliran Balik Tipe *Cross-Arm* merk Zeitfuchs
Sumber: ASTM D445

Viskositas kinematik (mm²/s), dapat dihitung dari dimensi viskometer dengan rumus:

$$V_{1,2} = C \cdot t_{1,2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

$V_{1,2}$ = Nilai viskositas kinematik (mm²/s).

C = Konstanta kalibrasi viscometer (mm²/s).

$t_{1,2}$ = Waktu aliran yang diukur.

Menghitung viskositas dinamis dari viskositas kinematik dan densitas dengan

menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = V \times \rho \times 10^{-3} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

η = Viskositas dinamis (mPa.s)

ρ = Densitas (kg/m³)

V = viskositas kinematik (mm²/s)

2.2.7.3 pH (Derajat Keasaman)

pH adalah tingkat keasaman dan kebasaan yang dimiliki suatu larutan. Nilai pH terendah adalah pH 0 menunjukkan kerajad kesamaan tinggi dan nilai pH paling tinggi adalah pH 14 yang menunjukkan tingkat kebasaan tinggi. Jika nilai $\text{pH} < 6.5$ larutan bersifat asam sedangkan $\text{pH} > 7.5$ larutan bersifat basa. Nilai pH normal berkisar 6.5 s/d 7.5 (Azmi et al, 2016). pH meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat pH larutan atau senyawa semi padat, pengukuran yang digunakan dalam pH meter yaitu pengukuran secara potencimeter (Ngafifuddin dan Susilo, 2017).

Berdasarkan ASTM E70 Pengukuran pH dengan presisi dapat dilakukan dalam larutan air yang mengandung elektrolit konsentrasi tinggi atau senyawa organik yang larut dalam air atau keduanya. Namun harus dipahami bahwa pengukuran pH dalam larutan semacam itu hanya merupakan indikasi *semiquantitatif* konsentrasi atau aktivitas ion hidrogen. Secara umum metode pengujian ini memberikan ukuran aktivitas ion hidrogen yang akurat kecuali pH berada diantara 2 dan 12 konsentrasi elektrolit atau non elektrolit melebihi 0,1 mol/L.

Alat yang digunakan pada pengukuran adalah pH meter, pH meter dapat beroperasi dengan prinsip deteksi nol atau dengan pembacaan digital atau meter defleksi langsung dengan skala besar. Daya dapat disuplai dengan baterai atau dengan

arus a-c. Arus yang diambil dari elektroda tidak boleh lebih dari 2×10 . Penyesuaian otomatis atau manual akan memungkinkan untuk perubahan F/ (RT In 10) ketika rakitan diubah. Enam solusi standard pH pada beberapa suhu tercantum pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 pH *standard solutions*

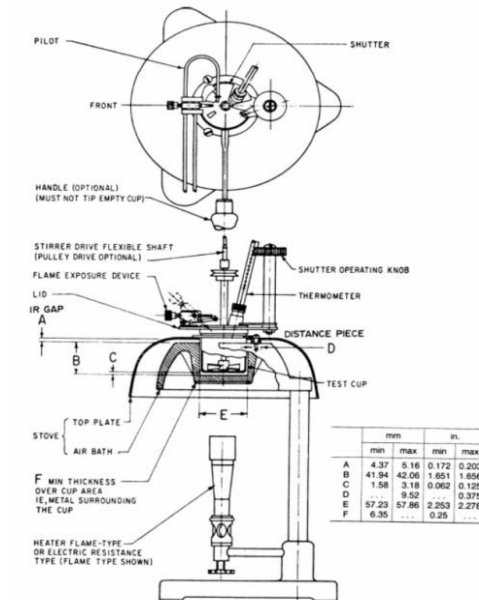
Temperatur $^{\circ}\text{C}$	A	B	C	D	E	F
0	3.863	4.003	6.934	7.534	9.464	10.317
10	3.820	3.998	6.923	7.472	9.332	10.179
20	3.788	4.002	6.881	7.429	9.225	10.062
25	3.776	4.008	6.885	7.413	9.180	10.012
30	3.766	4.015	6.853	7.400	9.139	9.966
35	3.759	4.024	6.844	7.389	9.102	9.925
40	3.753	4.035	6.838	7.380	9.068	9.889
50	3.749	4.060	6.833	7.360	9.011	9.828
60		4.091	6.836		8.962	
70		4.126	6.845		8.921	
80		4.164	6.859		8.885	
90		4.205	6.877		8.850	

Sumber: ASTM E70

2.2.7.4 *Flash Point* (Titik Nyala)

Flash point (titik nyala) adalah temperatur terendah dari suatu bahan bakar saat dipanaskan, pemanasan akan menyala apabila diberikan kompresi yang tinggi karena uap bercampur dengan udara (Febriantoro 2017). *Flash point* akan mempengaruhi perawatan penyimpanan *green diesel*, temperatur yang tinggi akan mempercepat molekul trigliserida untuk dikonversi menjadi metil ester sehingga proses pemecahan dan reaksi menjadi lebih cepat (Trisnaliani dan ahmad, 2018). Standar ASTM yang digunakan untuk menentukan *flash point* adalah ASTM D 93.

Alat yang digunakan adalah *Pensky-Martens Closed Cup Apparatus* (PMCC). *Aparatus* ini terdiri dari *cup*, penutup dan *shutter*, alat pengaduk, sumber pemanas, sumber nyala, air *bath* dan plat atas seperti yang terlihat pada Gambar 2.8.

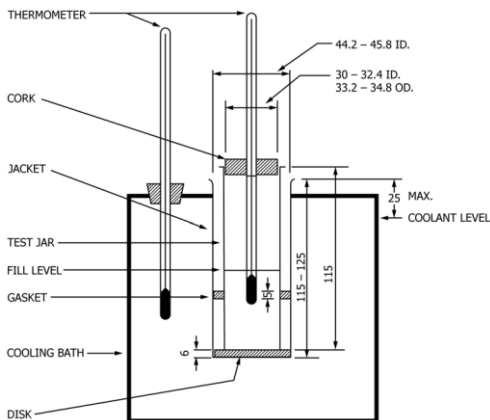


Gambar 2.8 *Apparatus Pensky-Martens Closed Cup* untuk menentukan *flash point*
Sumber: ASTM D97

2.2.7.5 *Pour Point* (Titik Tuang)

Pour point (titik tuang) digunakan sebagai indikator paling mudah untuk mengetahui viskositas. *Pour point* adalah indikasi suhu terendah dimana bahan bakar masih bisa mengalir karena beratnya sendiri (Trisniani dan Achmad, 2018). *Pour point* menjadi faktor penting pada saat proses produksi terkait efisiensi untuk meningkatkan temperatur *reservoir* melebihi *pour point* (Wiyantoko, 2016).

Produk bahan bakar cair, penentuan *pour point* menggunakan standar ASTM D 97. Sampel pertama-tama diberi pemanasan awal kemudian didinginkan pada laju tertentu sambil diamati setiap penurunan 3°C. Temperatur terendah dimana masih ada pergerakan sampel merupakan titik tuang yang dicari.



Gambar 2.9 *Apparatus* untuk pengujian *Pour Point*

Sumber: ASTM D-94-04

2.2.7.6 Nilai kalor

Nilai kalor adalah jumlah energi yang dilepaskan suatu bahan bakar dalam proses pembakaran sempurna tiap satuan massa bahan bakar pada keadaan standar. Prinsip pembakaran bahan bakar adalah reaksi kimia bahan bakar dengan oksigen. Unsur yang terkandung dalam bahan bakar di dominasi karbon, hidrogen dan belerang. Senyawa C dan H memiliki kontribusi penting terhadap energi yang dilepaskan (Pratama et al, 2019).

Nilai kalor pembakaran dibagi menjadi dua, yaitu *higher heating value* (HHV) dan *lower heating value* (LHV). HHV yaitu jumlah panas yang dilepaskan

unit massa bahan bakar. HHV berada pada fasa cair sehingga terdapat laten pengembunan yang terlepas dan mengakibatkan nilai HHV semakin besar. Sedangkan LHV adalah jumlah panas yang dihasilkan dari pembakaran dengan panas uap air dalam produk pembakaran. LHV berada pada fasa gas dan nilai kalor LHV bisa didapatkan dalam kondisi pembakaran boiler (Sanjaya, 2018). Bahan bakar memiliki *heating value* yang berbeda, berikut *heating value* beberapa bahan bakar yang ditunjukkan pada Tabel 2.8

Tabel 2.8 *heating value* beberapa jenis bahan bakar

<i>Fuel</i>	<i>Higher Heating Value (HHV) (Gross Calorific Value- GCV)</i>	<i>Lower Heating Value (LHV) Net Calorific Value- NCV)</i>
Diesel	45,6 MJ/kg	42,6 MJ/kg
Gasoline	46,4 MJ/kg	43,4 MJ/kg
Kerosene	46,2 MJ/kg	43,0 MJ/kg
Biodiesel	40,2 MJ/kg	37,5 MJ/kg
Ethanol	29,7 MJ/kg	26,7 MJ/kg
Methanol	23,0 MJ/kg	19,9 MJ/kg
Petroleum naptha	48,1 MJ/kg	44,9 MJ/kg

Sumber: Engineeringtoolbox.com

2.2.7.7. *Cetane Index*

Cetane index adalah *index* penyalaan yang secara kasar berkorelasi dengan *cetane number* atau sebagai waktu yang diperlukan untuk menyala diruang pembakaran. *Cetane index* sebagai informasi mengenai kerapatan dan komposisi senyawa aromatik (Purwandono, 2016). Semakin tinggi nilai *cetane index* semakin baik mutu pembakaran pada mesin diesel (Naimah et al, 2016). *Cetane number* dapat dihitung dengan menggunakan distilasi atau yang disebut *cetane index*, untuk mendapatkan *cetane number* dari *cetane index* menggunakan rumus:

$$\text{Cetane number} = \text{Cetane Index} - 2 \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk menghitung cetane index menggunakan persamaan ASTM D-4737.

Perhitungan cetane index menggunakan persamaan ASTM D-976 memerlukan nilai densitas dan temperatur destilat.

Rumus menghitung angka setana:

$$CI_{4737} = 45,2 + 0,0892 T_{10n} + [0,131 + 0,901B] T_{50N} + [0,0523 + 0,420B] T_{90N} + 0,00049 [T_{10N}^2 - T_{90N}^2] + 107 B + 60 B^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

T_{10} = Temperatur destilat pada 10%

$T_{10N} = T_{10} - 215$

T_{50} = temperatur destilat pada 50%

$T_{50N} = T_{50} - 260$

T_{90} = temperatur destilat pada 90%

$T_{90N} = T_{90} - 310$

$B = [e^{(-3,5)(D-0,85)}] - 1$

D = Densitas

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan rentang waktu bulan Oktober sampai dengan November 2019.

3.1.2 Tempat Penelitian

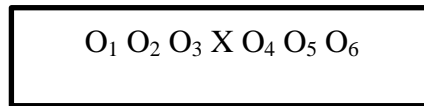
- a. Tempat penelitian dilakukan di Sekar Tekno yang beralamatkan di gang Kedawung No.5 Kelurahan Sekaran, Kecamatan Gunung Pati, Kota Semarang Jawa Tengah.
- b. Laboratorium Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang untuk pengujian GC-MS *bio-oil* minyak jelantah

3.2 Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode *quasy experimental design*. Menurut Sugiyono (2017:77) metode *quasy experimental design* adalah metode penelitian yang mempunyai kelompok kontrol,

yang mana digunakan untuk mencari perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan. Namun tidak dapat sepenuhnya berfungsi untuk mengontrol variabel yang dipengaruhi dari luar.

Penelitian *quasy experimental* kasus ini digunakan mengetahui perolehan jumlah fraksi dan karekteristik *green diesel* dengan proses destilasi menggunakan bantuan gelombang mikro dengan kontrol suhu 230⁰ dan 340⁰C. Pada penelitian ini menggunakan jenis desain penelitian *times series design*. Berikut contoh desain penelitian *times series design*.



Gambar 3.1 *Times series diesign*

Pada penelitian ini memiliki dua variabel yaitu, variabel bebas dan variabel terikat.

1. Variabel bebas:

Bahan baku : *bio-oil* minyak jelantah

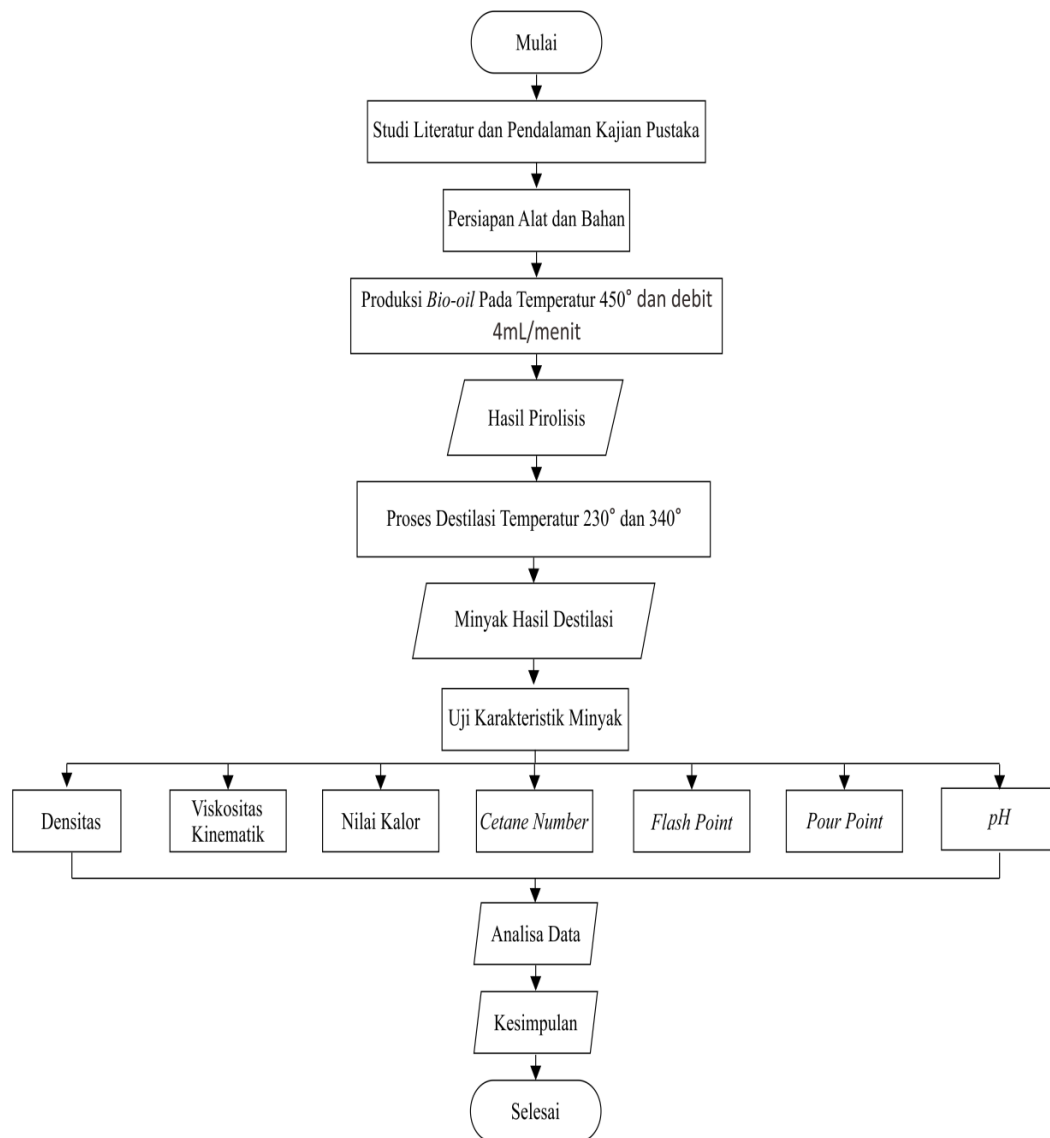
Temperatur : 230⁰C dan 340⁰C

2. Variabel terikat:

jumlah fraksi minyak *green diesel*, *kinematic viscosity*, *flash point*, *pour point*, *cetane number*, pH, densitas, nilai kalor

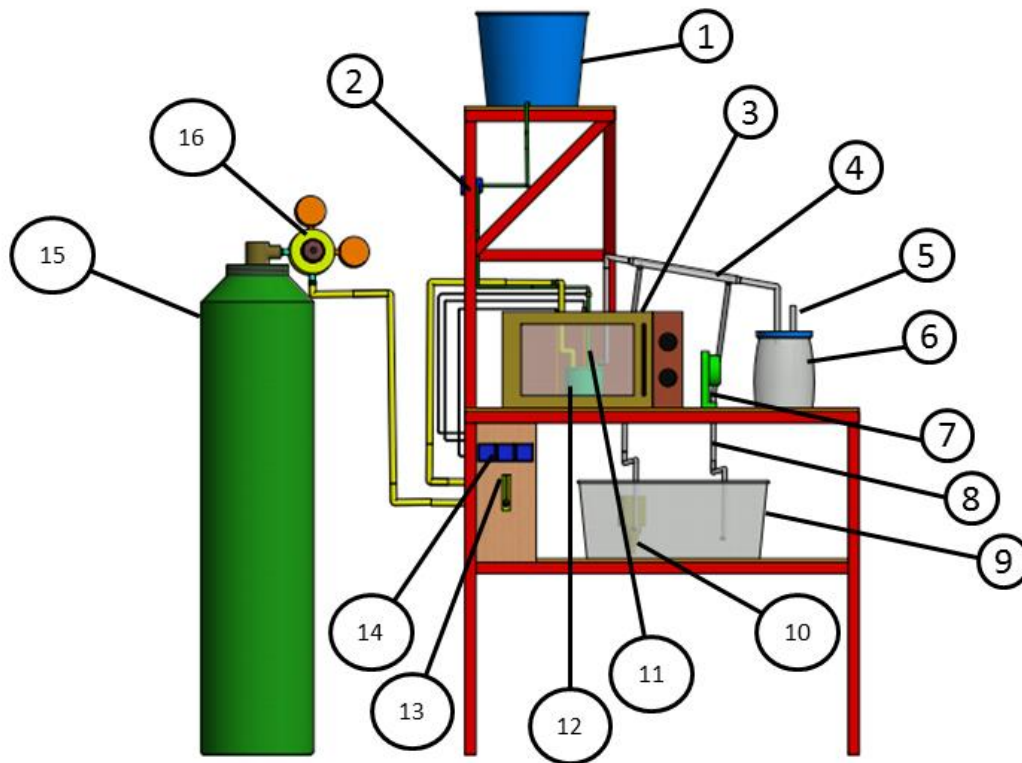
Berdasarkan skema desain penelitian dan kerangka berfikir penelitian digambarkan pada sebuah diagram alir. Diagram alir digunakan untuk mempermudah

dan memperjelas peneliti dalam melaksanakan tahapan-tahapan dalam melakukan penelitian. Berikut adalah diagram alir pelaksanaan penelitian:



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

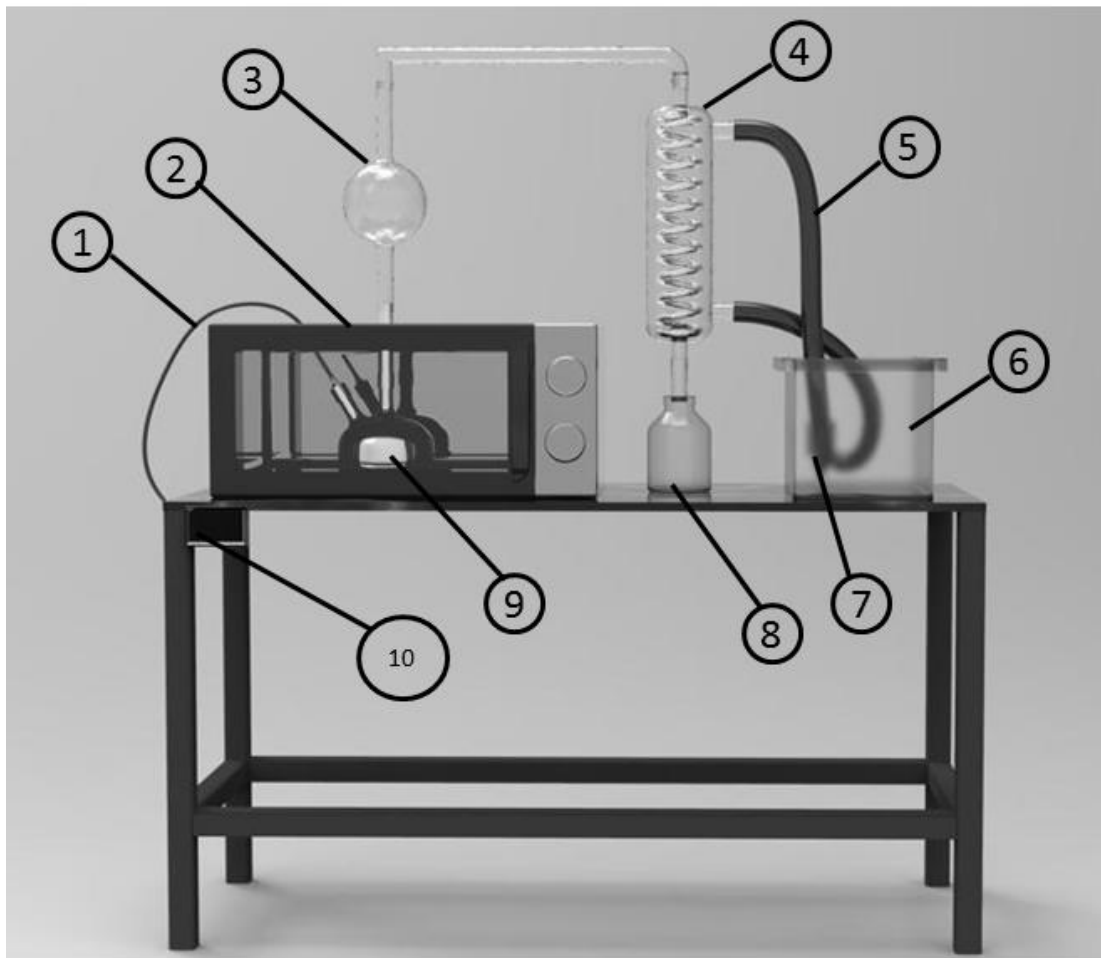
Untuk skema alat yang akan digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Skema alat pirolisis

Keterangan Gambar

- 1) Tangki Minyak
- 2) Pompa Peristaltik
- 3) *Microwave Oven*
- 4) Kondensor
- 5) Gas Pembuangan
- 6) *Oil Pot*
- 7) Kipas Angin
- 8) Selang
- 9) *Water Box*
- 10) Pompa Air
- 11) *Thermocouple*
- 12) Reaktor
- 13) *Flowmeter*
- 14) *Thermo Controller*
- 15) Unit Nitrogen



Gambar 3.4 Skema alat destilasi *bio-oil* minyak jelantah

Keterangan:

- 1) *Thermocouple*
- 2) *Microwave Oven*
- 3) Sambungan Kondensor
- 4) Kondensor
- 5) Selang
- 6) *Water Box*
- 7) Pompa Air
- 8) *Oil Pot*
- 9) Labu Destilasi
- 10) *Thermo Controller*

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam proses produksi dan karakterisasi B100 (*Green Diesel*) dari pirolisis minyak jelantah (*waste cooking oil*) adalah sebagai berikut:

a. *Microwave oven*

Microwave oven digunakan sebagai penghantar panas yang berasal dari gelombang mikro. Adapun spesifikasi *microwave oven* yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Merk : Kris
- 2) Sumber daya : 220 V 50 Hz
- 3) Input daya : 1400 W
- 4) Output daya : 900 W
- 5) Kapasitas volume : 23 L
- 6) Dimensi luar : 281 mm (H) x 483 mm (W) x 390 mm (D)
- 7) Dimensi dalam : 220 mm (H) x 340 mm (W) x 320 mm (D)
- 8) Frekuensi : 2450 MHz



Gambar 3.5 *Microwave oven*

b. Kondensor

Kondensor digunakan sebagai pendingin hasil destilasi yang menguap dari labu destilasi saat proses pemanasan berlangsung. Pada penelitian ini menggunakan kondensor jenis *liebig* kapasitas 300ml.



Gambar 3.6 Kondensor

c. Labu destilasi

Labu destilasi digunakan sebagai tempat untuk menampung *bio-oil* minyak jelantah pada saat dilakukan proses destilasi. Labu yang digunakan adalah jenis *pyrex* dengan kapasitas 1000ml.



Gambar 3.7 Labu destilasi

d. Pompa

Pompa pada penelitian ini digunakan untuk memompa air pendingin dari bak air menuju kondensor.



Gambar 3.8 Pompa pendingin

e. *Oil pot* (penampung minyak hasil destilasi)

Oil pot digunakan sebagai penampung hasil minyak destilasi dari kondensor.

Kapasitas *Oil pot* yang digunakan sebesar 500ml



Gambar 3.9 *Oil pot*

f. *Thermocouple*

Thermocouple digunakan untuk mengukur atau mendeteksi temperatur yang terjadi di dalam labu destilasi saat proses destilasi berlangsung. *Thermocouple* yang digunakan tipe K jenis *stick*.



Gambar 3.10 *Thermocouple*

g. *Thermo controller*

Thermo controller adalah alat pengukur dan pengatur temperatur dari *thermocouple*. *Thermo controller* yang digunakan jenis *Omron*.

Adapun spesifikasinya sebagai berikut:

Merk	: Omron
Dimension	: 44,8mm x 44,8mm
Tipe	: E5CWL
Control output	: Relay and SSR
Sensor type	: <i>Thermocouple</i> (K, J, T, R, S)



Gambar 3.11 *Thermo controller*

h. Botol sampel

Botol sampel digunakan untuk menampung sampel minyak hasil destilasi.



Gambar 3.12 Botol Sampel

i. Sikat pembersih

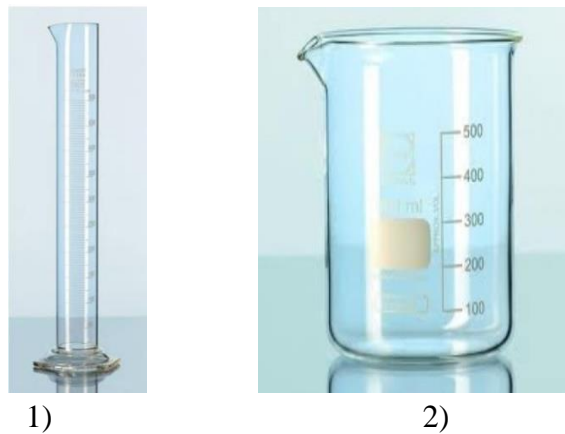
Sikat pembersih digunakan untuk membersihkan *wax* yang terdapat di dalam kondensor.



Gambar 3.13 Sikat Pembersih

j. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan mengukur volume bahan baku yang akan digunakan saat proses produksi dan untuk mengukur hasil produksi baik proses pirolisis maupun destilasi.



Gambar 3.14 Alat penelitian 1) Gelas ukur minyak hasil destilasi 2) gelas ukur *bio-oil* minyak jelantah

k. Timbangan

Timbangan digunakan untuk menghitung berat sampel dan *absorve* yang digunakan pada proses pirolisis dan destilasi. Pada penelitian ini menggunakan timbangan digital.



Gambar 3.15 Neraca digital

l. Kipas Angin

Kipas angin digunakan untuk membantu mendinginkan *microwave* supaya tidak terjadi *over heath*.



Gambar 3.16 Kipas angin

m. Tangki Minyak

Tangki minyak digunakan sebagai penampung bahan baku (minyak jelantah) yang dialirkan ke reaktor melalui pipa pemanas.



Gambar 3.17 Tangki Minyak

n. Pompa Peristaltik

Digunakan untuk mengalirkan bahan baku dari wadah ke dalam reaktor melalui pipa pemanas.



Gambar 3.18 Pompa Peristaltik

o. *Box Ice*

Digunakan sebagai wadah air pendingin, yang dialirkan menggunakan pompa ke kondensor.



Gambar 3.19 *Box ice*

p. Reaktor Keramik

Digunakan sebagai tempat penampung bahan baku dalam proses pirolisis. Reaktor yang digunakan jenis keramik yang terbuat dari tanah liat.



Gambar 3.20 Reaktor Keramik

q. Peralatan Pendukung



1)



2)



3)



4)

Gambar 3.21 Peralatan Pendukung 1)Selang teflon, 2) Masker gas respirator, 3) Sarung tangan oven, 4) Corong.
(Sumber Gambar: Tokopedia.com)

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

a. *Bio-oil* minyak jelantah

Bio-oil merupakan bahan baku yang didapatkan dari hasil proses produksi pirolisis limbah minyak jelantah dengan menggunakan bantuan gelombang mikro dengan temperatur sebesar 450°C dan debit 4ml/menit secara kontinyu. *Bio-oil* minyak jelantah merupakan bahan baku awal yang digunakan dalam proses destilasi untuk mendapatkan fraksi minyak *green diesel*.



Gambar 3.22 *Bio-oil* Minyak Jelantah

b. Air

Air digunakan sebagai media pendingin pada kondensor. Air berfungsi untuk menghilangkan panas dari reaktor yang merambat melalui pipa uap.

c. Isopropil alkohol

Isopropil alkohol digunakan untuk membersihkan labu destilasi, kondensor, *oil pot* dan gelas ukur dari kotoran saat proses pirolisis maupun destilasi. Isopropil alkohol didapatkan dari toko kimia Indrasari Semarang.



Gambar 3.23 Gambar Isopropil alkohol

d. Karbon aktif

Karbon aktif digunakan untuk mempercepat pemanasan pada reaktor saat proses pirolisis dan destilasi. Karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif *granular* yang dibeli dari toko kimia Indrasari Semarang.



Gambar 3.24 Karbon Aktif

e. *Gasket packing TBA*

Gasket packing TBA digunakan untuk mencegah kebocoran, diletakkan pada bagian bawah reaktor dan ditutup reaktor.

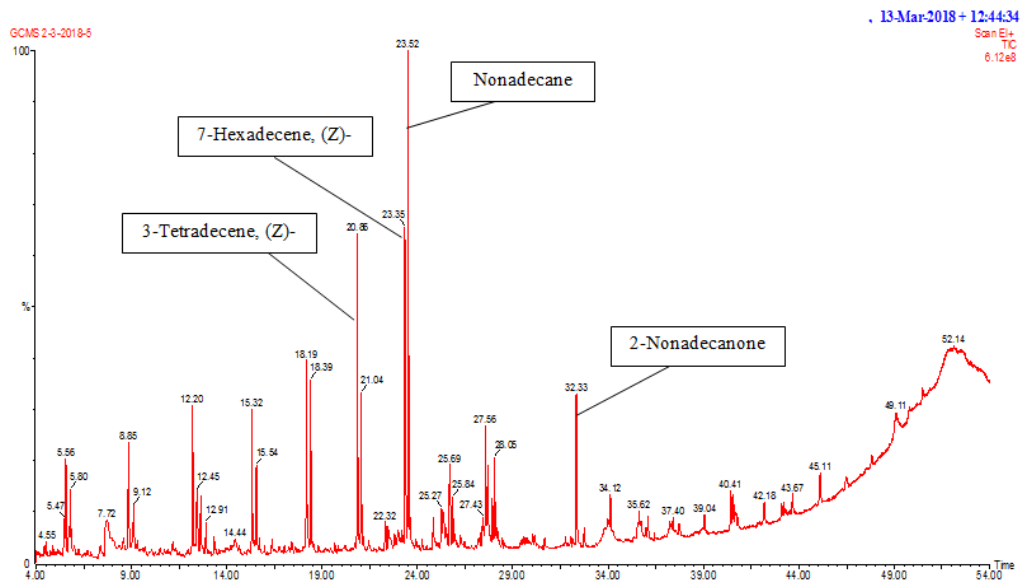


Gambar 3.25 *Gasket Packing TBA*

3.4 Parameter Penelitian

Berdasarkan desain penelitian, parameter yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

1. Uji Gas Chromatography-Mass Spectrometr (GC-MS)



Gambar 3.26 Kromatogram *bio-oil* dari bahan baku minyak jelantah pada temperatur 450°C
(Sumber: Alhakim, 2018)

Tabel 3.1 Analisis kromatogram *bio oil* dari bahan baku minyak jelantah pada temperatur 450°C

No	Komposisi	Rumus Molekul	% Area
1	Phosphoric acid, trimethyl ester	$C_3H_9O_4P$	6.94%
2	1-Nonene	C_9H_{18}	2.25%
3	Nonane	C_9H_{20}	1.39%
4	1-Decene	$C_{10}H_{20}$	5.29%
5	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	$C_{11}H_{22}$	5.32%
6	Undecane	$C_{11}H_{22}$	1.99%
7	3-Undecene, (Z)-	$C_{12}H_{24}$	1.90%

No	Komposisi	Rumus Molekul	% Area
8	1-Tridecene	$C_{13}H_{26}$	5.95%
9	1-Dodecene	$C_{14}H_{30}$	4.45%
10	Tetradecane	$C_{14}H_{28}$	12.35%
11	3-Tetradecene, (Z)-	$C_{14}H_{28}$	9.57%
12	7-Tetradecene	$C_{14}H_{28}$	2.37%
13	Z-10-Pentadecen-1-ol	$C_{15}H_{30}O$	3.55%
14	7-Hexadecene, (Z)-	$C_{16}H_{32}$	13.05%
15	Nonadecane	$C_{19}H_{40}$	17.68%
16	2-Nonadecanone	$C_{19}H_{38}O$	5.98%

(Sumber: Alhakim, 2018)

Hasil kromatogram *bio-oil* yang dihasilkan mengandung beberapa senyawa kimia yang dapat dilihat pada Tabel 3.2, hasil tersebut kemudian dijadikan sebagai dasar untuk melakukan proses destilasi. Penelitian yang dilakukan adalah untuk mencari fraksi *kerosene* dan fraksi diesel, dimana fraksi diesel mempunyai jumlah atom karbon $C_{10} - C_{15}$ (Lam, et al dalam Alhakim, 2018). Pada tabel tersebut menunjukkan pada senyawa 1- Decene yang mempunyai rumus molekul $C_{10}-C_{20}$. Decene termasuk dalam senyawa alkena, yaitu senyawa hidrokarbon alifatik tak jenuh yang memiliki ikatan rangkap 2 rangkap pada rantai karbonnya. Decene memiliki titik didih $172^{\circ}C$ dimana fraksi yang dihasilkan adalah *gasoline*.

Temperatur pada proses destilasi dilakukan dengan cara menentukan *boiling point* (titik didih) dari masing-masing fraksi. Fraksi *kerosine* memiliki titik didih antara kisaran $180^{\circ}C - 230^{\circ}C$, sedangkan fraksi diesel memiliki titik didih $230^{\circ}C - 400^{\circ}C$ (Dwitama, 2019). Pada penelitian ini menggunakan temperatur $230^{\circ}C$ dan $340^{\circ}C$ untuk mendapatkan fraksi *kerosene* dan *green diesel*. *Green diesel* yang didapatkan kemudian digunakan sebagai bahan bakar alternatif mesin diesel.

2. Temperatur 450⁰C (produksi *bio-oil*), temperatur 230⁰C dan 340⁰C (produksi *green diesel*).
3. Tekanan gas nitrogen sebesar 120 bar.
4. Aliran gas nitrogen ke reaktor pada *flowmeter* sebesar 0,2 NI/menit.
5. Pompa peristaltik dengan tegangan 2,2 volt dan aliran debit bahan baku ke reaktor 4 ml/menit.
6. Menggunakan reaktor keramik (produksi *boi-oil*) dan reaktor kaca (labu dua leher) jenis *pirex* untuk produksi *green diesel*.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Berdasarkan parameter yang diteliti, teknik pengumpulan data yang digunakan meliputi:

- a. Proses Persiapan Awal Bahan Baku

Proses persiapan awal bahan baku pada penelitian ini yaitu dengan melakukan proses produksi *bio-oil* minyak jelantah dengan menggunakan bantuan gelombang mikro. Proses pirolisis dilakukan pada temperatur 450⁰C dengan menggunakan debit yang mengalir ke dalam reaktor sebesar 4ml/menit, proses pirolisis dilakukan secara kontinyu atau terus menerus. Setelah diperoleh bahan baku *bio-oil* minyak jelantah yang cukup, maka proses destilasi siap dilakukan.

b. Proses Destilasi

Bio-oil yang didapatkan dari proses pirolisis, kemudian dilakukan proses destilasi untuk mendapatkan fraksi minyak *green diesel*. Adapun proses destilasi sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan
- 2) Memasukkan *absorve* serta bahan baku *bio-oil* ke dalam labu destilasi
- 3) Meletakkan labu destilasi diatas *heater*
- 4) Memasang *thermocouple* ke dalam labu destilasi serta memasang kondensor dengan labu destilasi kemudian taruh *oil pot* diujung kondensor sebagai penampung hasil destilasi
- 5) Memasang selang dari pompa pendingin ke kondensor, selang masuk air dipasang pada bagian bawah dan selang keluar air pada bagian atas kondensor.
- 6) Menyalakan *heater* dan mengatur *thermo controller* pada suhu 230°C untuk menghilangkan fraksi *kerosene* pada *bio-oil* sampai tidak ada yang menetes pada *oil pot*. Mengamati yang terjadi tiap kenaikan temperatur dan memastikan tidak ada uap yang keluar (bocor) selama proses pemanasan berlangsung.
- 7) Langkah terakhir pada proses destilasi, mengatur *thermo controller* pada suhu 340°C untuk mendapatkan fraksi minyak *green diesel*.

- 8) Proses destilasi selesai, matikan *heater* dan *thermo controller* kemudian bersihkan labu destilasi dan kondensor menggunakan IPA serta menyikat bagian dalam agar bersih dari sisa kotoran.
- 9) Mengukur minyak hasil destilasi, kemudian catat hasil pada lembar instrument penelitian.

Data proses destilasi *bio-oil* seperti pada Tabel 3.3, pengujian 1 hingga 2 merupakan replikasi data. Persentase masing-masing fraksi (X) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$X_y = \frac{V_y}{V_B} \times 100 \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana V adalah volume (ml) dan *subscript y* dapat diganti dengan K untuk *kerosene*, D untuk Diesel.

Tabel 3.2 Data hasil proses destilasi *bio- oil* minyak jelantah

Pengujian	Volume Bio-oil, V_B (ml)	Kerosene		Diesel	
		V_K (ml)	X_K (%.vol)	V_D (ml)	X_D (%.vol)
1					
2					
Rata-rata					

c. Tahapan Karakterisasi Minyak *Green Diesel*

Hasil produk destilasi *bio-oil* minyak jelantah yang akan dilakukan karakterisasi pada penelitian ini adalah minyak *green diesel*. Karakterisasi minyak *green diesel* meliputi: *density*, *kinematic viscosity*, pH, *flash point*, *pour point*

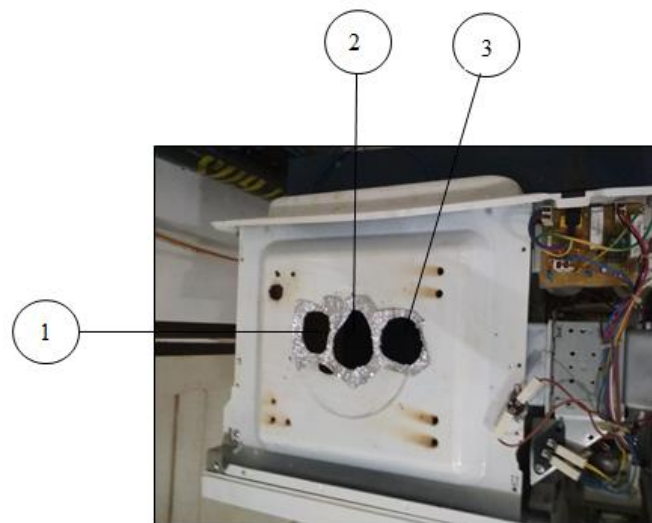
nilai kalor dan *cetane index*. Karakterisasi dilakukan di Sucofindo yang beralamatkan di Jl. Arteri Tol Cibitung N0.1 Cibitung Bekasi 17520, Indonesia.

3.6 Kalibrasi Instrumen

Kalibrasi instrumen adalah pengaturan akurasi dari alat ukur dengan cara memebandingkan standar ukur. Kalibrasi digunakan untuk membandingkan standar ukur alat uji terhadap standar satuan ukuran pada bahan-bahan acuan yang tersertifikasi. Adapun alat ukur yang akan dikalibrasi antara lain:

a. *Microwave Oven*

Modifikasi *microwave oven* yang dilakukan mengikuti yang digunakan Alhakim, (2018) yaitu dengan membuat lubang keluaran pada *microwave oven* sebanyak tiga buah untuk memasukkan nitogen dan bahan baku, *thermocouple* dan gas keluar (kondensor).



Gambar 3.27 Modifikasi lubang keluaran pada *microwave oven*
(Sumber: Alhakim, 2018)

b. Reaktor

Desain reaktor mengikuti desain reaktor pirolisis yang dibuat Alhakim, (2018). Reaktor pirolisis berhubungan langsung dengan kondensor, pada saat proses dekomposisi uap keluar melewati kondensor kemudian menjadi cair kembali. Temperatur reaktor diukur dengan *thermocouple* yang dimasukkan kedalam reaktor (Riyadi dan Syahrullah, 2016).

c. Pompa Peristaltik

Buat penyangga sebagai tempat tangki minyak dan pompa peristaltik. Pasang pompa peristaltik pada bagian bawah tangki minyak. Pasang selang teflon dan pipa kuningan sebagai untuk mengalirkan bahan baku dari tangki ke reaktor. Panaskan pipa kuningan dengan heater. Kalibrasi pompa peristaltik dengan trafo step down. Hubungkan kabel dari trafo ke pompa peristaltik, atur tegangan pada trafo dengan *switch* kemudian tegangan yang dihasilkan diukur menggunakan multi tester (*volt meter*). Setelah pipa kuningan panas hidupkan pompa peristaltik dengan cara menghubungkan kabel pada trafo atau memutar *switch* pada trafo untuk mengalirkan minyak jelantah ke gelas ukur untuk mengetahui berapa laju aliran bahan baku tiap menitnya. Hasil kalibrasi menunjukkan pada tegangan 2,2 volt laju aliran bahan baku sebesar 4ml/menit.



Gambar 3.28 Kalibrasi Pompa Peristaltik

d. *Setting* Alat Produksi

- (1) Masukkan reaktor ke dalam *microwave oven*
- (2) Pasang penyangga dan tangki minyak yang sudah dilengkapi pompa peristaltik, heater dan pipa kuningan sebagai aliran bahan baku. Masukkan pipa kuningan ke lubang pada tutup reaktor.
- (3) Pasang selang nitrogen ke tutup reaktor, *setting* tekanan nitrogen sebesar 120 bar dan pada *flowmeter* sebesar 0,2 NI/menit sebagai pendorong.
- (4) Pasang kondensor dan *oil pot* sebagai penampung *bio-oil* dan pasang pompa air sebagai pendingin kondensor karena uap panas yang ditimbulkan dari pipa reaktor.
- (5) *Setting thermo controller* pada temperatur 450⁰C kemudian masukkan thermocouple kedalam *microwave oven* untuk membaca suhu dan mengirimkan ke *thermo controller* sebagai informasi bagi peneliti.

3.7 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan pada penelitian ini analisis data deskriptif dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian. Data yang diperoleh berupa jumlah fraksi minyak green diesel yang dihasilkan, *density*, *kinematic viscosity*, pH, *flash point*, *pour point* nilai kalor dan *cetane index*. Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, kemudian dideskripsikan menjadi kalimat yang sederhana dan mudah dipahami serta ditarik simpulannya. Simpulan tersebut hasil yang efektif dari proses produksi dan karakterisasi bahan bakar *green diesel* dari pirolisis limbah minyak jelantah. Persamaan yang digunakan untuk mencari *fraksi green diesel* sebagai berikut:

$$X_y = \frac{V_y}{V_B} \times 100 \dots\dots\dots (3.2)$$

Data persentase berat yang didapat kemudian dijadikan dalam bentuk tabel yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tahap terakhir pembahasan, dimana dilakukan pengungkapan masalah dari berbagai penyelesaian dari masalah yang ditetapkan sebelumnya. Pembahasan berisi mengenai pemberian jawaban terhadap masalah yang mengarahkannya kepada kesimpulan.

Tabel 3.3 Data hasil proses destilasi *bio- oil* minyak jelantah

Pengujian	Volume <i>Bio-oil</i> , V_B (ml)	Kerosene		Diesel	
		V_K (ml)	X_K (%.vol)	V_D (ml)	X_D (%.vol)
1					
2					
Rata-rata					

Tabel 3.4 Data Hasil Pengujian karakteristik minyak *green diesel*

Parameter	Satuan	Nilai Pengujian	Metode
<i>Density</i>			
<i>Kinematic viscosity</i>			
pH			
<i>Flash Point</i>			
<i>Pour Point</i>			
Nilai Kalor			
<i>Cetane Number</i>			

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data-data yang diperoleh pada penelitian, kemudian dijadikan dasar sebagai pembahasan dan untuk menarik kesimpulan. Dalam bab ini dipaparkan tentang proses produksi dan karakterisasi minyak *green diesel* dari pirolisis minyak jelantah. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh fraksi minyak *green diesel* dari pirolisis minyak jelantah. Proses pirolisis dilakukan secara kontinu dengan bantuan gelombang mikro, selanjutnya dilakukan proses destilasi menggunakan destilasi sederhana.

4.1 Deskripsi Data

Langkah awal pada penelitian ini adalah menyiapkan bahan baku yang digunakan dalam hal ini minyak jelantah. Masukkan karbon aktif sebagai absorber sebesar 450 gram ke dalam reaktor. Masukkan minyak jelantah pada tangki minyak kemudian dipanaskan sampai suhu 100⁰C untuk menghilangkan kandungan air. Hidupkan pompa peristaltik untuk mengalirkan bahan baku kedalam reaktor dengan aliran 4ml/menit. Gas nitrogen dengan aliran 0,2 NI/menit pada *flowmeter* sebagai pendorong kemudian dialirkan ke dalam reaktor untuk mengeluarkan udara luar yang mengandung oksigen dari dalam reaktor. Panaskan dengan temperatur 450⁰C untuk

proses pirolisis. Bahan baku dapat terkonversi menjadi produk pirolisis berupa padatan, cairan dan gas. Pada awalnya gas keluar melewati pipa yang dibantu oleh gas nitrogen sebagai pendorong menuju kondenser yang didalamnya didinginkan mendadak sehingga gas hasil reaksi tersebut mengembun menjadi fasa cair, kemudian masuk ke botol penampung (*oil pot*). Produk pirolisis yang berbentuk cair tersebut biasa disebut dengan *bio-oil*.

Langkah kedua yaitu dilakukan proses destilasi sederhana untuk mendapatkan fraksi minyak *green diesel*. Proses destilasi sederhana dilakukan dengan mengatur suhu pada *thermo controller* sebesar 230°C untuk menghilangkan fraksi *kerosene*, kemudian menaikkan suhu menjadi 340°C untuk mendapatkan fraksi minyak *green diesel*. Setelah didapatkan fraksi minyak diesel yang cukup, maka siap untuk dilakukan langkah terakhir.

Langkah terakhir yaitu menghitung berapa banyak fraksi volume minyak *green diesel* yang didapatkan menggunakan persamaan (3.1) dan melakukan karakterisasi minyak *green diesel* menggunakan metode pengukuran *density*, pH, *kinematic viscosity*, *pour point*, *flash point*, nilai kalor dan *cetane index*.

4.1.1 Data Proses Destilasi *Bio-Oil* Minyak Jelantah

Sebelum dilakukan proses destilasi terlebih dahulu dilakukan proses pirolisis minyak jelantah untuk mendapatkan *bio-oil* minyak jelantah yang nantinya akan

digunakan sebagai bahan baku dalam proses destilasi. Data perolehan *bio-oil* minyak jealantah selama proses pirolisis dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data proses *bio-oil* minyak jealantah.

Pirolisis	Konsumsi Bahan Baku (ml)	Volume <i>bio-oil</i> (ml)	Waktu (s)
1	200	100	3600
2	200	100	3600
Rata-rata	200	100	3600



Gambar 4.1 *Bio-oil* minyak jealantah

Gambar 4.1 merupakan produk *bio-oil* dari hasil pirolisis minyak jealantah. Data proses destilasi *bio-oil* minyak jealantah digunakan menunjukkan berapa banyak persentase fraksi volume minyak *green diesel* yang diperoleh selama proses destilasi.

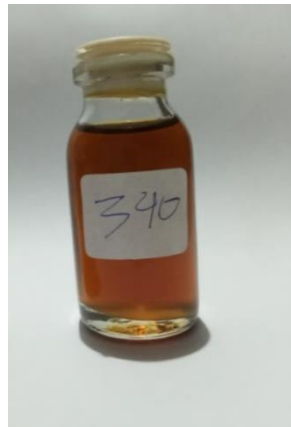
Tabel 4.2 merupakan data proses destilasi *bio-oil* minyak jealantah.

Tabel 4.2 data proses destilasi *bio-oil* minyak jealantah.

Pengujian	Volume <i>Bio-oil</i>, V_T (ml)	Kerosene		Diesel	
		V_K (ml)	X_K (%.vol)	V_D (ml)	X_D (%.vol)
1	250	150	60%	40	16%

2	250	150	60%	40	16%
Rata-rata	250	150	60%	40	16%

Berdasarkan Tabel 4.2 di atas menunjukkan bahwa perolehan minyak green diesel sebesar 16% dari volume total pirolisis bio-oil minyak jelantah.



Gambar 4.2 Minyak *Green Diesel* hasil destilasi *bio-oil* minyak jelantah

Gambar 4.2 merupakan minyak *green diesel* hasil destilasi *bio-oil* minyak jelantah, minyak *green diesel* dilakukan karakterisasi sifat fisik untuk mengetahui kualitas minyak *green diesel* tersebut.

4.1.2 Data Karakterisasi Hasil Minyak *Green Diesel*

Minyak *green diesel* merupakan hasil utama dari proses destilasi *bio-oil* minyak jelantah. Produk minyak *green diesel* yang diperoleh kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui, apakah hasil minyak *green diesel* dapat menghasilkan minyak *green diesel* yang memiliki kualitas setara dengan minyak jenis solar 48. Berikut merupakan karakteristik fisik minyak *green diesel* hasil destilasi *bio-oil* dari

limbah minyak jelantah (*waste cooking oil*), adapun hasil pengujiannya dapat diuraikan sebagai berikut.

4.1.2.1 Density (Massa Jenis)

Density merupakan kemampuan suatu zat yang diukur dari perbandingan massa dan volume zat tersebut. Pengukuran densitas dilakukan menggunakan metode ASTM D4052-18. Hasil pengukuran densitas minyak *green diesel* sebesar 832,5 kg/m³.

4.1.2.2 Kinematic Viscosity

Viskositas sering juga disebut dengan kekentalan dari suatu bahan bakar. Viskositas adalah kemampuan fluida cair untuk menahan gaya gesek. Viskositas kinematik diukur menggunakan metode ASTM D445-18, hasil pengukuran viskositas kinematik at 40⁰C sebesar 2.620 mm²/s.

4.1.2.3 pH (Derajat Keasaman)

pH adalah tingkat keasaman dan kebasaan yang dimiliki suatu larutan. Pengujian pH dilakukan menggunakan ASTM E70-07. Nilai pH terendah adalah pH 0 menunjukkan derajat kesamaan tinggi dan nilai pH tertinggi adalah pH 14 yang menunjukkan tingkat kebasaan tinggi. Hasil pengukuran pH didapatkan sebesar 4.05.

4.1.2.4 Flash Point (Titik Nyala)

Flash point adalah temperatur terendah dimana bahan bakar ketika dipanaskan uap akan timbul api sesaat. *Flash point* menjadi faktor penting untuk keamanan terhadap kebakaran. Standar ASTM yang digunakan untuk menentukan *flash point* adalah ASTM D 93-18. Alat yang digunakan adalah *Pensky-Martens Closed Cup Apparatus* (PMCC). Hasil pengukuran *flash point* menunjukkan 54.5⁰C.

4.1.2.5 Pour Point (Titik Tuang)

Pour point adalah indikasi temperatur terendah dimana bahan bakar cair dapat disimpan dan masih dapat mengalir dengan gaya yang sangat kecil pada *apparatus* terstandar. Produk bahan bakar cair, penentuan *pour point* menggunakan standard ASTM D 97. Hasil pengukuran menunjukkan *pour point* minyak *green diesel* yang dihasilkan sebesar -9⁰C.

4.1.2.6 Nilai Kalor

Nilai kalor adalah angka yang menyatakan jumlah panas yang dihasilkan pada proses pembakaran sejumlah bahan bakar tertentu dengan udara atau oksigen. Pengukuran nilai kalor dilakukan menggunakan metode D240-17. Hasil pengukuran menunjukkan untuk nilai kalor bruto (*calorific value gross*) dan nilai kalor bersih (*calorific value net*) masing-masing sebesar 41,1 MJ/kg dan 39,6 MJ/kg.

4.1.2.7 Cetane Index

Cetane index adalah angka yang menunjukkan kualitas bahan bakar diesel, berdasarkan kepadatan dan volatilitasnya. *Cetane index* yang tinggi menunjukkan bahan bakar akan lebih cepat terbakar, namun tidak menjamin efisiensi yang lebih baik. Pengujian *cetane index* menggunakan metode ASTM D4737-18. Hasil pengukuran menunjukkan nilai *cetane index* sebesar 50.3

4.2 Analisis dan Pembahasan

4.2.1 Analisis Karakterisasi Minyak *Green Diesel*

Pengujian sifat-sifat fisik produk minyak *green diesel* dilakukan untuk mengetahui dan memprediksi kinerja minyak *green diesel* apabila digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Pengujian sifat fisik yang telah dilakukan adalah *density*, *kinematic viscosity*, derajat keasaman (pH), *flash point*, *pour point*, nilai kalor dan *cetane index*. Hasil pengujian sifat fisik minyak *green diesel* disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian sifat fisik minyak *green diesel*

No	Parameter	Satuan	Hasil Pengujian	Metode
1	<i>Density at 15 °C</i>	kg/m ³	832,5	ASTM D4052-18
2	<i>Kinematic viscosity at 40 °C</i>	mm ² /s	2,620	ASTM D445-18
3	pH	-	4,05	ASTM E70-07
4	<i>Flash point PMCC</i>	°C	54,5	ASTM D93-18
5	<i>Pour point</i>	°C	-9	ASTM D97-17b
6	<i>-Calorvic value, gross</i>	MJ/kg	41,1	ASTM D240-17
	<i>-Calorvic value, net</i>	MJ/kg	39,6	ASTM D240-17
7	<i>Cetane Index</i>	-	50,3	ASTMD4737-10 (2018)

4.2.1.1 Density (Massa Jenis)

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui densitas minyak *green diesel*, oleh karena itu diharapkan nilai densitas yang dihasilkan mendekati densitas minyak diesel. Hasil pengukuran densitas *minyak green diesel* kemudian dibandingkan dengan standard minyak diesel (minyak jenis solar-48) hasil keputusan dirjen migas tahun 2016 dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Karakterisasi densitas minyak diesel

Jenis Pengujian	Standard	Rezeika (2017)	Hasil Karakterisasi
Massa Jenis (kg/m ³)	815-870	854,4	832,5

Sumber: Keputusan Dirjen Migas 28. K/10/DJM. T/2016

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai densitas yang didapat dari penelitian ini lebih rendah daripada penelitian yang dilakukan Rezeika, (2017) yaitu sebesar 854,4 kg/m³, hal ini dipengaruhi oleh bertambahnya waktu reaksi sehingga menyebabkan densitas semakin turun dan kandungan metil ester semakin meningkat. Disamping itu besaran nilai densitas juga dipengaruhi oleh komposisi asam lemak bebas dari bahan baku, nilai asam lemak yang rendah akan meminimalisir reaksi penyabunan. Reaksi penyabunan membentuk gliserol yang akan meningkatkan nilai densitas dari bahan bakar. Namun hasil karakterisasi densitas minyak *green diesel* telah masuk *range* yang ditetapkan oleh keputusan dirjen migas tahun 2016. Densitas bukanlah spesifikasi produk utama, namun tetap harus dipenuhi karena densitas biasanya dimasukkan dalam spesifikasi bahan bakar. Nilai densitas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan reaksi pembakaran yang tidak sempurna sehingga dapat meningkatkan emisi dan keausan mesin (Mujiharti, 2019).

4.2.1.2 Kinematic Viscosity

Viskositas suatu bahan bakar adalah ukuran resistansi bahan bakar tersebut untuk mengalir. Tujuan dilakukan pengukuran viskositas adalah untuk mengetahui kekentalan pada minyak pada suhu tertentu, sehingga minyak dapat dialirkan pada suhu tersebut. Hasil pengukuran viskositas minyak *green diesel* kemudian dibandingkan dengan standard minyak diesel (minyak jenis solar-48) hasil keputusan dirjen migas tahun 2016 dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Karakterisasi viskositas minyak diesel

Jenis Pengujian	Standard	Trisnaliani dan Ahmad (2018)	Hasil Karakterisasi
<i>Kinematic Viscosity at 40 °C</i>	2,0-4,5	2,560	2,620

Sumber: Keputusan Dirjen Migas 28. K/10/DJM. T/2016

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa hasil pengujian viskositas kinematik yang dilakukan selaras dengan penelitian yang dilakukan Trisnaliani dan Ahmad (2018) yang menyatakan nilai viskositas yang dihasilkan sebesar 2,560, hal ini dipengaruhi oleh pergerakan molekul zat lebih cepat karena kenaikan suhu. Viskositas kinematik juga dapat dipengaruhi oleh komposisi asam lemak bahan baku, selain itu faktor oksidasi juga meningkatkan nilai viskositas *green diesel*. Minyak jelantah teroksidasi lebih banyak karena telah dipakai berulang kali sehingga menaikkan nilai viskositas kinematiknya jika dibandingkan dengan minyak kelapa sawit (Miskah et al, 2016).

Angka viskositas dipakai sebagai dasar untuk menentukan angka indeks viskositas, menggambarkan perubahan viskositas akibat perubahan suhu. Jika indeks

viskositas tinggi maka viskositasnya relatif tidak berubah terhadap perubahan suhu, namun jika angka indeks nya rendah berarti viskositas sangat dipengaruhi suhu (Afriana et al, 2016). Nilai viskositas yang dihasilkan sedikit melebihi nilai viskositas yang ditetapkan oleh keputusan dirjen migas tahun 2016 yaitu dengan batas minimal berkisar 2,0 batas maksimal berkisar 4,5. Namun nilai tersebut telah masuk *range* yang ditetapkan sebagai standard mutu bahan bakar minyak diesel. Nilai viskositas yang terlalu rendah akan menyulitkan penyebaran yang mengakibatkan sulit terbakar dan mengalami kebocoran saat injeksi (Marwan et al, 2019). Sedangkan nilai viskositas yang lebih tinggi akan mengakibatkan berkurangnya kebocoran bahan bakar (Giakoumis, 2018).

4.2.1.3 Derajat Keasaman (pH)

pH adalah menunjukkan tingkat keasaman dan kebasaan yang dimiliki suatu larutan atau bahan bakar. Hasil pengujian nilai pH minyak *green diesel* kemudian dibandingkan dengan nilai bahan bakar lain dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Karakterisasi pH minyak *green diesel*

Jenis Pengujian	<i>Bio-oil</i>	Pratiwi (2016)	Hasil Karakterisasi
pH	2,0-4,5	6,5	4,05

Sumber : Douvartzides et al 2019

Dari Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa hasil karakterisasi minyak *green diesel* dari pirolisis *bio-oil* minyak jelantah memiliki nilai lebih tinggi dari *bio-oil*. Namun hasil pengukuran pH yang didapatkan lebih rendah dari penelitian yang dilakukan Pratiwi (2016) yang menyatakan nilai yang dihasilkan sebesar 6,5. Nilai pH larutan

dipengaruhi oleh komposisi kimia sebuah larutan. Bahan baku yang digunakan (*bio-oil*) mengandung asam fosfat sebesar 6,94%, dimana semakin kecil presentase asam fosfat menunjukkan semakin lemah kandungan asam *bio-oil* (Alhakim,2018). Minyak *green diesel* yang didapatkan dari bahan baku minyak jelantah mempunyai pH 4,05. Hal ini mengindikasikan bahwa minyak *green diesel* yang dihasilkan bersifat asam. Jika nilai pH <6,5 bahan bakar bersifat asam dan apabila nilai pH >7,5 bahan bakar bersifat basa. pH normal berkisar 6,5 s/d 7,5 (Azmi et al, 2016). Sifat keasaman suatu bahan bakar dapat menyebabkan korosi, standard pH pada mesin diesel berkisar pada pH 5. Hal ini untuk menghindari tingkat korosifitas pada mesin. Sementara itu emisi gas buang bahan bakar tingkat keasaman tinggi berbahaya bagi lingkungan (Alhakim, 2018).

4.2.1.4 *Flash Point* (Titik Nyala)

Flash point akan mempengaruhi perawatan pada penyimpanan produk *green diesel*. Pengujian *flash point* dilakukan untuk mengetahui terendah dimana bahan bakar dapat menyala ketika bereaksi dengan udara. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan standard minyak diesel (minyak jenis solar-48) hasil keputusan dirjen migas tahun 2016 dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Karakterisasi *flash point* minyak *green diesel*

Jenis Pengujian	Standard	Trisnaliani dan Ahmad (2018)	Hasil Karakterisasi
<i>Flash Point</i> °C	Min 52	55	54,5

Sumber: Keputusan Dirjen Migas 28. K/10/DJM. T/2016

Dari Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa nilai *flash point* yang didapatkan selaras dengan penelitian yang dilakukan Trisnaliani dan Ahmad (2018) yang menyatakan nilai *flash point* yang dihasilkan sebesar 55⁰C, hal ini dipengaruhi oleh tingginya suhu reaksi, semakin tinggi suhu reaksi yang digunakan nilai *flash point* yang dihasilkan akan semakin rendah. Hasil karakterisasi *flash point* telah masuk *range* yang ditetapkan oleh keputusan dirjen migas tahun 2016 untuk bahan bakar jenis minyak jenis solar-48 yaitu dengan batas minimal 52⁰C. Nilai *flash point* yang rendah akan mempersulit saat proses penyimpanan, karena sifatnya yang mudah terbakar. Namun jika *flash point* memiliki nilai yang terlalu tinggi akan menyulitkan saat proses pengapian (Trisnaliani dan Ahmad, 2016).

4.2.1.5 Pour Point (Titik Tuang)

Bahan bakar diesel dapat mengalir pada suhu terendah, dimana bahan bakar ini digunakan. Pengukuran *pour point* dilakukan untuk mengetahui bahan bakar dapat mengalir sendiri terutama pada wilayah tropis. Hasil pengukuran *pour point* kemudian dibandingkan dengan standard minyak diesel (minyak jenis solar-48) hasil keputusan dirjen migas tahun 2016 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4.8 Karakterisasi *pour point* minyak diesel

Jenis Pengujian	Standard	Trisnaliani & Ahmad (2018)	Hasil Karakterisasi
<i>Flash Point</i> °C	Maks. 18	3	-9

Sumber: Keputusan Dirjen Migas 28. K/10/DJM. T/2016

Dari tabel 4.8 dapat dilihat bahwa hasil pengujian *pour point* lebih rendah dari peneliiian yang dilakukan Trisnaliani dan Ahmad (2018) yang menyatakan hasil *pour point* sebesar 3⁰C. *Pour point* pada daerah 2-3⁰C akan meningkatkan viskositas, sehingga biaya untuk memompa menjadi besar. Hasil karakterisasi *pour point* minyak *green diesel* memiliki suhu yang cukup rendah. *Pour point* dan suhu berbanding terbalik, maka minyak *green diesel* tersebut memiliki nilai *pour point* tinggi. Hal ini menunjukkan minyak *green diesel* memiliki fraksi ringan yang lebih banyak dan kandungan lilinya rendah (Afriana et al, 2016).

4.2.1.6 *Calorvic Value* (Nilai Kalor)

Nilai kalor menunjukkan energi kalor yang terkandung dalam bahan bakar tiap satuan massa. Hasil pengujian menunjukkan untuk nilai kalor bruto (*calorfic value, gross*) dan nilai kalor bersih (*calorfic value, net*) atau lebih dikenal dengan *high heating value* (HHV) dan *low heating value* (LHV) masing-masing sebesar 41,1 MJ/kg dan 39,6 MJ/kg. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan bahan bakar lain dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Karakterisasi nilai kalor minyak *green diesel*

Jenis Pengujian	Biodiesel		Solar		Minyak <i>Green Diesel</i>	
	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV
Nilai Kalor (MJ/kg)	40,2	37,5	45,6	42,6	41,1	39,6

Sumber: https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html (diakses 12 juli 2020)

Dapat dilihat pada tabel 4.9 bahwa hasil pengujian menunjukkan nilai kalor minyak *green diesel* yang dihasilkan lebih rendah dari solar namun lebih tinggi dari biodiesel. Nilai kalor minyak *green diesel* lebih rendah dari minyak solar, hal ini dipengaruhi oleh kandungan oksigen yang tinggi pada bahan bakar *green diesel*, gugus karbon dan hidrogen yang terkandung dalam minyak *green diesel* lebih rendah dibandingkan minyak solar sehingga nilai kalor minyak *green diesel* rendah (Dwipayana, 2016). Disamping itu, semakin tinggi tempertur yang digunakan maka produk gas kondensabel semakin banyak sehingga nilai kalor produk *liquid* mengalami penurunan (Udyani et al, 2018).

Jumlah energi yang dilepaskan saat proses pembakaran sebagai entalpi pembakaran, yang merupakan beda entalpi antara produk dan reaktan dari proses pembakaran sempurna. Entalpi pembakaran dinyatakan sebagai HHV atau LHV. Perbedaan LHV dan HHV adalah panasnya penguapan air, dikatakan HHV apabila seluruh hasil pembakaran berwujud cair sedangkan LVH adalah ketika seluruh hasil pembakaran dalam bentuk uap (Pratama, 2018).

4.2.1.7 Cetane Index

Cetanae Index merupakan *index* penyalaan secara kasar dan berkorelasi dengan *cetane number* atau waktu yang diperlukan untuk menyala pada ruang pembakaran. Pengujian *cetane index* bertujuan untuk mengetahui kerapatan dan komposisi senyawa aromatik pada bahan bakar. Hasil pengukuran *cetane index*

kemudian dibandingkan dengan standard minyak diesel (minyak jenis solar-48) hasil keputusan dirjen migas tahun 2016 dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Karakterisasi *cetane index* minyak *green diesel*

Jenis Pengujian	Standard	Ningsih (2017)	Hasil Karakterisasi
<i>Cetane Index</i>	45	51	50,3

Sumber: Keputusan Dirjen Migas 28. K/10/DJM. T/2016

Dari Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa nilai *cetane index* yang didapatkan pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan Ningsih et al (2017) yang menyatakan nilai *cetane index* yang dihasilkan sebesar 51, dimana bahan baku yang digunakan adalah minyak kelapa sawit. Nilai angka setana dipengaruhi oleh komposisi asam lemak minyak, semakin tidak jenuh minyak maka semakin rendah bilangan setana. Minyak kelapa sawit memiliki asam lemak jenuh sebanyak 51% berupa asam palmiat dan asam lemak tidak jenuh sebanyak 49% berupa asam oleat, sedangkan minyak jelantah karena penggunaan yang berulang kali, asam lemak tidak jenuh pada minyak berubah menjadi asam lemak jenuh disebabkan karena terjadinya oksidasi antara oksigen dengan ikatan rangkapnya sehingga ikatan rangkapnya menjadi hilang (Miskah et al, 2016). Hasil karakterisasi minyak *green diesel* dari pirolisis *bio-oil* minyak jelantah telah masuk *range* yang ditetapkan oleh keputusan dirjen migas tahun 2016. Karakteristik ini berhubungan erat dengan densitas dan destilat, semakin besar densitas dan semakin tinggi destilat maka nilai *cetane index* yang didapatkan semakin besar. Disamping itu, semakin tinggi nilai *cetane index* maka mutu pembakaran mesin diesel semakin lebih baik (Naimah et al, 2016).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perolehan fraksi volume minyak *green diesel* dari pirolisis minyak jelantah rata-rata sebesar 60% fraksi *kerosene* dan 16% fraksi *green diesel*.
2. Hasil karakterisasi sifat fisik minyak *green diesel* dari pirolisis minyak jelantah menunjukkan bahwa hasil yang didapatkan secara umum telah memenuhi standard yang ditetapkan untuk bahan bakar jenis solar (*density*, *kinematic viscosity*, *flash point*, *pour point*, pH dan *cetane index*) masing-masing sebesar 832,5 kg/m³; 2,620 mm²/s; 54,5⁰C; -9⁰C; 4,05; 50,3. Namun untuk nilai kalor masih rendah dari solar, nilai yang dihasilkan untuk HHV dan LHV yaitu masing-masing sebesar 41,1 MJ/kg dan 39,6 MJ/kg.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan analisis parameter yang lain dari minyak *green diesel* seperti kandungan air, titik kabut, residu karbon dan kandungan sulfur untuk menghasilkan bahan bakar *green diesel* agar dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif diesel.

2. Reaktor yang digunakan pada proses pirolisis perlu dilakukan *treatment* sebelum digunakan, supaya tidak terjadi *shock thermal* dan tidak mudah pecah.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriana, D. dan I. Dhamayanthie. 2018. Analisa Fraksi Gasoil Berdasarkan Uji Sifat Fisika. *IPTEK Journal of Proceedings Series*. 2: 199-207.
- Alhakim, R. 2018. Produksi dan Karakterisasi Bio Oil dari Bahan Baku Minyak Goreng Menggunakan Proses Pirolisis Berbasis Iradiasi Gelombang Mikro. *Skripsi*. Program Sarjana Universitas Negeri Semarang.
- Alvarez, C. B. J., S Godbout. J. H. P. Rios., É. L. Roux., dan V. Raghavan. 2019. Physical, Chemical, Thermal and Biological Pre-Treatment Technologies in Fast Pyrolysis to Maximize Bio-Oil Quality: A Critical Review. *Biomass and Bioenergy* 128: 105333.
- Anonim. 2019. *Higher and lower calorific values (heating values) for some common fuels - coke, oil, wood, hydrogen and others*. https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html diakses 20 juli 2020 (19.00)
- _____. 2017. *SKK Migas: Masyarakat Indonesia Rakus Konsumsi BBM*. <https://www.wartaekonomi.co.id/read152820/skk-migas-masyarakat-indonesia-rakus-konsumsi-bbm>. diakses 12 Februari 2020 (20.30).
- American Society for Testing and Material D97-05. 2005. *Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products* 2:1-9. ASTM International.
- _____. D445-12. 2012. *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*. ASTM International.
- _____. 1996. *Standard test method for density and relative density of liquids by digital density meter*. ASTM International.
- _____. 2015. *Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester*. ASTM International.
- _____. Committee E-15 on Industrial and Specialty Chemicals, 2015. *Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions With the Glass Electrode*. ASTM International.

- Aqar, D.Y., 2018. Modelling and Optimization of Conventional and Unconventional Batch Reactive Distillation Processes. *Tesis*. Program Pasca Sarjana University of Bradford.
- Asikin M. N., H.V. Lee., G. A. Alsultan., A. Afandi dan Y. H. T. Yap. 2017. Production of Green Diesel Via Cleaner Catalytic Deoxygenation of Jatropha Curcas Oil. *Journal of Cleaner Production*. 167: 1048-1059.
- Azizah, I. N., N. P. Sari, dan Maryudi. 2015. Pengaruh Panjang Kolom Distilasi Bahan Isian Terhadap Hasil Produk Cair Sampah Plastik. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia* 2(1): 21.
- Banani, R., S. Youssef., M. Bezzarga., dan M. Abderrabba. 2015. Waste Frying Oil with High Levels of Free Fatty Acids as One of the Prominent Sources of Biodiesel Production. *Journal of Materials and Environmental Science* 6(4): 1178–85.
- Bavarva S. R. 2016. Design of Atmospheric Distillation Unit for Tray Colum. *International Journal of Innovative Reseach in Advenced Engineering*. 2(1): 290-305.
- Douvartzides, S.L., N.D. Charisiou., K.N. Papageridis. dan M.A. Goula. 2019. Green Diesel: Biomass Feedstocks, Production Technologies, Catalytic Research, Fuel Properties dan Performance in Compression Ignition Internal Combustion Engines. *Energies*. 12(5): 809.
- Dwipayana, H., 2017. Studi Analisa Pengaruh Sifat Fisik Biodiesel (Viskositas, Kadar Air Dan Angka Setana) Terhadap Proses Pembakaran Bahan Bakar Di Boiler Fire Tube. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*. 3(1).1-14.
- Dwitama, A. 2019. Metode Uji Angka Oktana (Octane Number) Menggunakan Mesin Cooperative Fuel Research (Cfr) F1 Astm D 2699. *Laporan Kerja Praktik*. Universitas Pertamina.
- Ernawati, I.R. 2018. Minyak Jelantah Sebagai Sumber Energi: Pengaruh Waktu Reaksi dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Volume Biodiesel. *Prosiding Kolokium Doktor dan Seminar Hasil Penelitian Hibah*. 1(1): 177-185.
- Gerpen, J. H. V. dan B.B.Hee. 2014. *Production of renewable diesel fuel from biologically based feedstocks*.
- Giakoumis, E.G. dan C.K. Sarakatsanis. 2018. Estimation of biodiesel cetane number, density, kinematic viscosity and heating values from its fatty acid weight composition. *Fuel*. 222: 574-585.

- Hall, P.H. 2017. Recovering Valuable Products From The Aqueous Streams Of Fast Pyrolysis. *Tesis*. Program Pasca Sarjana Iowa State Universty.
- Handyarto Muhammad. 2019. *Pertamina: 2030, Indonesia akan Kehabisan Cadangan Minyak Bumi*. <https://bisnis.tempo.co/read/1182428/pertamina-2030-indonesia-akan-kehabisan-cadangan-minyak-bumi/full&view=ok>. 12 februari 2020 (20.35).
- Haryanto, A., U. Silviana. S. Triyono, dan S. Prabawa. 2015. Produksi Biodiesel Dari Transesterifikasi Minyak Jelantah Dengan Bantuan Gelombang Mikro: Pengaruh Intensitas Daya Dan Waktu Reaksi Terhadap Rendemen Dan Karakteristik Biodiesel. *Jurnal Agritech* 35(2): 234.
- Keputusan Direktur Minyak dan Gas Bumi Nomor 28 Tahun 2016. *Tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Solar Yang Dipasarkan di dalam Negeri*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2016. Jakarta
- Landi, T. dan Arijanto. 2017. Perancangan Dan Uji Alat Pengolah Sampah Plastik Jenis Ldpe (Low Density Polyethylene) Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1).1-8.
- Mahardika, R.K.dan A.Z. Fawzi. 2017. Perancangan Proses Distilasi Atmosferik Dan Penghilangan Gas Oil Dalam Pengolahan Minyak Pelumas Bekas. *Skripsi*. Program Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Marwan, M., S. Khairunnisa dan R.B. Bangun. 2018. Katalis CaO Dari Tulang Sotong Dalam Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Goreng Menggunakan Teknologi Microwave. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan*. 1(1): 18-22.
- Miskah, S. A. Anugrah, dan Gunadi. 2016. Pemanfaatan Kulit Telur Sebagai Katalis Biodiesel Dari Campuran Minyak Jelantah Dan Minyak Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia* 22(2): 54–61.
- Mujiharti, N.I.M. 2019. Methanolisis Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel dengan Katalis Rfccu Base Chemical Al₂O₃. *Jurnal Destilasi*. 4(1): 27-32.
- Naimah, S., S.A. Aviandharie, dan N.N. Aidha. 2016. Karakteristik Pelarut dan Solar Hasil Proses Pirolisis Limbah Plastik. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 38(2): 109-114.
- Nam, H., J. Choi, dan S.C. Capareda. 2016. Comparative Study of Vacuum and Fractional Distillation Using Pyrolytic Microalgae pr(Nannochloropsis Oculata) Bio-Oil. *Algal Research* 17: 87–96.

- Ngafifuddin, M., S. Sunarno, dan S. Susilo. 2017. Penerapan Rancang Bangun pH Meter Berbasis Arduino pada Mesin Pencuci Film Radiografi Sinar-X. *Jurnal Sains Dasar*, 6(1): 66-70.
- Ningsih, E., S. Suparto., A. Sato., Y.R. Mustikasari, dan R.C. Dewi. 2017. Ratio Molar Minyak Sawit dengan Etanol Konsentrasi Rendah dalam Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(1): 1-3.
- Patel, M. dan A. Kumar. 2016. Production Of Renewable Diesel Through The Hydroprocessing Of Lignocellulosic Biomass-Derived Bio-Oil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 58:1293-1307.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional Tahun 2006-2025*. Lembaran Negara Republik Indonesia. Jakarta.
- _____. Nomor 79 Tahun 2014. *Kebijakan Energi Nasional*. Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 300 Tahun 2014. Jakarta.
- Pineda, D. I. 2014. Modeling Biomass Gasification Surface Reactions : The Effect of Hydrogen Inhibition. *Tesis*. Program Pasca Sarjana University of California, Berkeley
- Prasetyo, J. 2018. Studi Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 2(2): 45-54.
- Pratama, Y.A. A.C. Pramudia dan S.S. Putra. 2018. Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Dasar An Variasi Tekanan Terhadap Nilai Kalor dan Temperatur pada Briket Campuran Sekam Padi dan Batu Bara. *Dissertation*, Universitas 17 Agustus 1945. Surabaya
- Pratiwi, N., dan P. Indah. 2016. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 'Kejuangan' Perbandingan Proses Esterifikasi dan Esterifikasi-Trans-Esterifikasi dalam Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah. 1-7.
- Purwandono, A. 2016. Pembuatan Aditif Metil Ester Nitrat untuk Meningkatkan Cetane Number dan Cetane Indeks pada Bahan Bakar Solar. *skripsi*. Program Sarjana Universitas Muhammadiyah Palembang.
- Rezeika, S. H. 2017. Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Katalis Naoh Dengan Variasi Waktu Reaksi Transesterifikasi Dan Uji Performanya Dengan Mesin Diesel. *Skripsi*. Program Sarjan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Riyadhi, A., dan S. Syahrullah. 2018. Rancang Bangun Mini Reaktor dan Uji Reaktor pada Perengkahan Katalitik Lemak Sapi menjadi Bahan Bakar Cair Menggunakan Katalis Mgo dan Zeolit. *Integrated Lab Journal*. 4(2): 125-138.
- Rohmah, E.N., dan T. Hayatunnufus. 2015. Design oven skala laboratorium untuk rekayasa minyak goreng bekas menjadi biooil. *Jurnal Integrasi Proses*. 5(3).
- Sa'adah, A. F., A. Fauzi., dan B. Juanda. 2017. Peramalan Penyediaan Dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia Dengan Model Sistem Dinamik. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*. 17(2):118.
- Sanjaya, I. 2018. Karakteristik Bahan Bakar Padat Produk Torefaksi Sampah Biomassa Campuran Pada Reaktor Kontinu Tipe Tubular.
- Sugiyono. 2017. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan RnD*. Buku. Bandung: Alfabeta.
- Sulaiman, M. I. 2016. Trend Teknologi Mikrowave pada Industri Pertanian. *Jurnal Pangan*. 18(2): 101.
- Suryanto, A., Z. Sabara., H. Ismail., dan A. Artiningsih. 2018. Pembuatan Metyil Ester (Biodiesel) Dari Minyak Biji Kapuk Menggunakan Katalis Koh Konsentrasi Rendah Dengan Bantuan Mikrowave. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*. 13(2): 71-74.
- Syarif, N. 2016. Pemanfaatan Oven Gelombangmikro (Microwave) Rumah Untuk Sistem Pemanasan (Heating System) Temperatur Tinggi.
- Syarifah, A. R. 2018. Perbandingan Metode Ekstraksi Microwave Oven Dan Oven Terhadap Karakteristik Gelatin Babi, Sapi Dan Bebek. *Disertasi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Toth, A.J., E. Haaz., T. Nagy. R. Tari., A.J. Tarjani., D. Fozer., A. Szanyi., K.A. Koczka., L. Racz., G. Ugro., dan P. Mizsey. 2017. Evaluation of the accuracy of modelling the separation of highly non-ideal mixtures: extractive heterogeneous-azeotropic distillation. *In Computer Aided Chemical Engineering* 40: 241-246.
- Trisnaliani, L., dan A. Zaki. 2018. Separation of glycerol from biodiesel oil products using high voltage electrolysis method. IJFAC. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*. 3(1): 7-11.

- Udyani, K., Erlinda N. dan Mochammad A. 2018. Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Yield Dan Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Dari Bahan Limbah Kantong Plastik. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*. 389-394.
- Yang, R.J., C.C. Liu,, Y.N. Wang., H.H. Hou., dan L.M. Fu. 2017. A Comprehensive Review Of Micro-Distillation Methods. *Chemical Engineering Journal*. 3131: 509-1520.
- Wang, J., Z. Zhong., B. Zhang., K. Ding., Z. Xue., A. Deng., dan R. Ruan. 2017. Upgraded Bio-Oil Production via Catalytic Fast Co-Pyrolysis of Waste Cooking Oil and Tea Residual. *Waste Management* 60: 357–62.
- Wiyantoko, B. 2016. Modul Kimia Petroleum. Edisi Pertama. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Berita Acara

BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI/TA

Proposal skripsi Mahasiswa

Nama : Eko Puranto
Nim : 5212416026
Prodi : Teknik Mesin S1
Judul Skripsi/TA : Produksi dan Karakterisasi Bahan Bakar *Green Diesel* dari Pirolisis Minyak Jelantah Berbantuan Gelombang Mikro

Telah diseminarkan pada

Hari/ Tanggal : Senin, 11 Mei 2020
Pukul : 09.00 s/d selesai
Tempat : Online
Jumlah Dosen hadir : 3 orang
Jumlah mhs hadir : 6 Orang

Kesimpulan hasil seminar: proposal tidak direvisi / proposal direvisi *)

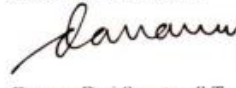
Semarang, 12 Mei 2020

Calon Dosen Penguji 2



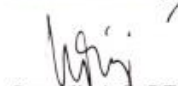
Ahmad Mustamil Khoiron, S.Pd., M.Pd
NIP. 1988080820140511154

Calon Dosen Penguji 1



Danang Dwi Saputra, S.T., M.T.
NIP. 197811052005011001

Dosen Pembimbing



Samsudin Anit, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197601012003121002

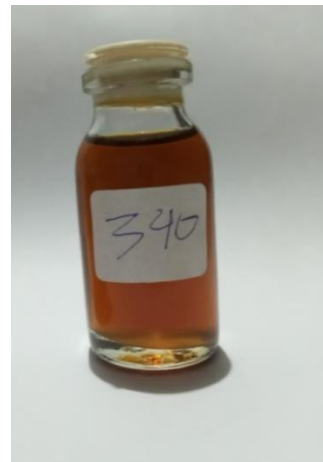
Lampiran 2 Dokuentasi Penelitian



Alat Produksi minyak green diesel




1) Bio-oil *Minyak Jelantah*



2) Minyak *Green Diesel*

Lampiran 3 Uji Karakteristik Sifat Fisik Minyak *Green Diesel*

Certificate No. 40219/DBBPAM
Date: November 5, 2019



Issuing Office:
J. Aeren Tol Cibitung No. 1, Cibitung Bekasi 17520, Indonesia
Phone/Fax: +62 21 83321176/86321166
Email: cs.cib@sucofindo.co.id

REPORT OF ANALYSIS

The following sample (s) was submitted and identified by the client as :

CLIENT : SAMSUDIN ANIS, ST, MT, Ph.D

TYPE OF SAMPLE : B100 From WCO (Waste Cooking Oil)

DATE RECEIVED : October 28, 2019

DATE OF ANALYSIS : October 28, 2019 to November 5, 2019

TESTED FOR : Density at 15 °C, Kinematic Viscosity @ 40 °C & 100 °C, pH, Cetane Index, Flash Point, Pour Point and Calorific Value

DESCRIPTION OF SAMPLE : Form : Liquid
Volume : ± 1 Liter
Packing : Unsealed Bottle
1 (One) Sample


SAMPLE IDENTIFICATION : -

YOUR REFERENCE : -

Parameters	Units	Results	Methods
- Density at 15 °C	kg/L	0.8325	ASTM D4052-18
- Kinematic Viscosity @ 40 °C	mm ² /s	2.620	ASTM D445-18
- Kinematic Viscosity @ 100 °C	mm ² /s	1.122	ASTM D445-18
- pH	-	4.05	ASTM E70-07
- Flash Point PMCC	°C	54.5	ASTM D93-18
- Pour Point	°C	-9	ASTM D97-17b
- Calorific Value, Gross	BTU/lb	17684	ASTM D240-17
- Calorific Value, Gross	kcal/kg	9824.5	ASTM D240-17
- Calorific Value, Net	BTU/lb	17034	ASTM D240-17
- Calorific Value, Net	kcal/kg	9463.2	ASTM D240-17
- Cetane Index	-	50.3	ASTM D4737-10 (2018)


This test result (s) related to the sample (s) submitted only and the report / certificate cannot be reproduced in any way, except in full context and with the prior approval in writing from Sucefido Laboratory.
This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at www.sucofindo.co.id

CBT101061019.1030




3345536

S.C.I. 2.0.0.7.A



INVOICE KUITANSI		
BPK. ARYA YUDISTRITA		Kode Pelanggan/ Account Number : 112877
TEGALINGGIH RT/RIW 005001 KEL. TEGALINGGIH KEC. PENJAJARAN KAB. PURBALINGGA JAWA TENGAH		No. Invoice/Invoice Number : 38011909722
---		Tgl. Invoice/Invoice Date : 08-Nov-2019
NPWP/Taxpayer ID Number : 00.000.000.0-000.000		PT. SUCOFINDO
TEGALINGGIH RT/RIW 005001 KEL. TEGALINGGIH KEC. PENJAJARAN KAB. PURBALINGGA JAWA TENGAH		NPWP/Taxpayer ID : 01.300.602.3-093.000
---		Alamat NPWP : GRAMA SUCOFINDO J. Raya Pasar Minggu-Ilir, 34 RT 24 RSW.01 - Pancoran Perumahan Jakarta Selatan Diri Jakarta Raya 12780
		Kantor Penerbit/Issued : J. Irjen Tol Cidung No. 1 Cidung Bekas 17520 Telp/Fax/Phone : 02-01-88231176
Keterangan / Description	Jumlah / Amount	
No./Tgl. Order : CBT/10/10010/1002019 / ANALISA MINYAK & GAS		
No.Ref : PO / WO / SPK / : 14622LAB-WPDD/2019		
No. Sertifikat / Report : 40219088PAM	Tgl. sertifikat	: 06/11/2019
Kegiatan / Intervention : ANALISA / PENGUJIAN : 1 CONTOH PETROLEUM		
Total Tagihan / Total Fee	RP	2.200.000
Uang Jaminan Pelaksanaan Pekerjaan	RP	2.200.000
Sisa Pembayaran / Remaining	RP	0
Biaya Analisa / Analysis Fee	RP	2.000.000
Dasar Pengenaan Pajak (DPP) / Net Amount	RP	2.000.000
PPN / VAT (10,00 % x DPP)	RP	200.000
Total setelah Pajak/Total after VAT	RP	2.200.000
TERBLANG / SAY : dua juta dua ratus ribu rupiah		
		 Bagas Adi Santoso Kepala Sub Bagian KEU. & AKT.
CATATAN / NOTES		
1. Pembayaran melalui transfer dengan mencantumkan nomor invoice pada slip transfer / Payment through bank transfer. Please ensure the invoice number stated clearly in your transfer slip. Diujukan ke / to PT. SUCOFINDO (Penerima), No. Mandiri Virtual Account 88101 112877 (Rupiah), 88202 112877 (USD).		
2. Bukti pemotongan PPh 23 agar dikirimkan ke alamat Kantor Penerbit / Kindly send withholding tax evidence to the related issuing office.		
3. Tagihan tidak dipotong atau dipungut PPh23 sesuai peraturan Direktorat Jenderal Pajak No. PER-1/PJ/2011, Surat Keterangan Bebas Pemotongan dan/atau Pemungutan No. KET00010/POTPUT/WPJ.19/KP.04/2019 / PPh23 is not collected, nor deducted in this payment based on regulation of Directorate General of Taxes No PER-1/PJ/2011, Certificate No KET-00010/POTPUT/WPJ.19/KP.04/2019		
TANDA TERMA / REMITTANCE		
Nama / Name	:	
Tanggal / Date	:	
Tanda Tangan / Signature	:	
Tanggal Pembayaran / Payment Date	:	
CBT - UP : ARYA YUDISTRITA - TELP : 88877796544 - HP :		

Lampiran 4 SK Pembimbing



**KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**
Nomor: B/2905/UN37.1.5/KM/2020

Tentang
**PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER
GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2019/2020**

Menimbang : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Teknik Mesin Fakultas Teknik membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Teknik Mesin Fakultas Teknik UNNES untuk menjadi pembimbing.

Mengingat : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;

Menimbang : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Teknik Mesin Tanggal 3 Maret 2020

MEMUTUSKAN

Menetapkan :

PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan kepada:

Nama : Samsudin Anis, S. T., M. T., Ph. D.
NIP : 197601012003121002
Pangkat/Golongan : Penata Tk. I - III/d
Jabatan Akademik : Lektor
Sebagai Pembimbing

Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :

Nama : EKO PURWANTO
NIM : 5212416026
Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/Teknik Mesin
Topik : Produksi green diesel dari bio-oil hasil pirolisis waste cooking oil (wco)

KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Tembusan

1. Wakil Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Petinggal

5212416026
....: FM-03-AKD-24/Rev. 00

DITETAPKAN DI : SEMARANG
PADA TANGGAL : 11 Maret 2020

DEKAN
UNNES
Dr. Nur Qudus, M.T., IPM
UNNES 96911301994031001

