



**PENGARUH DEBIT TERHADAP PEROLEHAN DAN
KARAKTERISTIK BIO-OIL DARI MINYAK JELANTAH
DENGAN METODE *FAST* PIROLISIS BERBASIS
GELOMBANG MIKRO**

SKRIPSI

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

Oleh

Doni Setyo Aji

NIM.5212416042

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Doni Setyo Aji

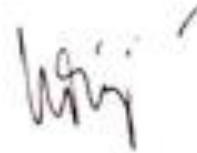
NIM : 5212416042

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Pengaruh Debit terhadap Perolehan dan Karakteristik Bio-Oil dari Minyak Jelantah dengan Metode *Fast* Pirolisis Berbasis Gelombang Mikro.

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

Semarang, Mei 2020
Pembimbing



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

HALAMAN PENGESAHAN

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Pengaruh Debit Terhadap Perolehan dan Karakteristik Bio-oil dari Minyak Jelantah dengan Metode *Fast* pirolisis Berbasis Gelombang Mikro" telah dipertahankan di depan sidang panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal

Oleh
Nama : Doni Setyo Aji
NIM : 5212416042
Program Studi : Teknik Mesin

Panitia:

Ketua



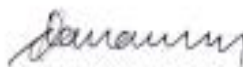
Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP.197403211999031002

Sekretaris



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

Penguji 1



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

Penguji 2



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

Penguji 3



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

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik UNNES



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

PERNYATAAN KEASLIAN

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 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 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, 03 Agustus 2020
Yang membuat pernyataan



Doni Seyo Aji
NIM. 5212416042

MOTTO

“KARENA ITU, INGATLAH KAMU KEPADA-KU NISCAYA AKU INGAT (PULA) KEPADAMU, DAN BERSYUKURLAH KEPADA-KU, DAN JANGANLAH KAMU MENINGKARI (NIKMAT)-KU”
(QS. Al Baqarah: 152)

“WAHAI ORANG-ORANG YANG BERIMAN! MOHONLAH PERTOLONGAN DENGAN SABAR DAN SHOLAT. SESUNGGUHNYA, ALLAH ADALAH BESERTA ORANG-ORANG YANG BERSABAR”
(QS. Al Baqarah: 153)

“DAN KAMI PASTI AKAN MENGUJI KAMU DENGAN SEDIKIT KETAKUTAN, KELAPARAN, KEKURANGAN HARTA, JIWA, DAN BUAH-BUAHAN. DAN SAMPAIKAN KABAR GEMBIRA KEPADA ORANG-ORANG YANG SABAR”
(QS. Al Baqarah: 155)

“(YAITU) ORANG-ORANG YANG APABILA DITIMPA MUSIBAH, MEREKA BERKATA”*INNA ILLAHI WA INNA ILAIHI RAJI’UN*” (SESUNGGUHNYA KAMI MILIK ALLAH DAN KEPADA-NYALAH KAMI KEMBALI)”
(QS. Al Baqarah: 156)

“DAN APABILA HAMBA-HAMBA-KU BERTANYA KEPADAMU TENTANG AKU, MAKA(JAWABLAH), BAHWASANYA AKU DEKAT”
(QS. Al Baqarah: 186)

“DAN JANGANLAH KAMU (MERASA) LEMAH, DAN JANGAN (PULA) BERSEDIH HATI SEBAB KAMU PALING TINGGI (DERAJATNYA) JIKA KAMU ORANG BERIMAN”
(QS. Ali Imran: 139)

“DAN BERSABARLAH KAMU, SESUNGGUHNYA JANJI ALLAH ADALAH BENAR”
(QS. Ar Rum: 60)

SARI

Doni, S, Aji. 2020. “Pengaruh Debit Terhadap Perolehan dan Karakteristik Bio-oil dari Minyak Jelantah dengan Metode *Fast* Pirolisis Berbasis Gelombang Mikro”. Skripsi. doniaji022@gmail.com. Teknik Mesin S1, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Samsudin Anis S.T., M.T., P.hD.

Kata Kunci: Pirolisis, gelombang mikro, komposisi kimia, densitas, pH, minyak jelantah.

Permintaan masyarakat akan minyak bumi untuk kebutuhan sehari-hari semakin meningkat. Hal ini menyebabkan ketersediaannya semakin berkurang tiap harinya, sedangkan minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Sumber daya alternatif dibutuhkan salah satunya dengan memproduksi bahan bakar dari sumber terbarukan. Salah satu pengembangan energi terbarukan yaitu dengan mengolah minyak goreng bekas (jelantah) menjadi bio-oil melalui teknologi pirolisis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh debit terhadap perolehan dan karakteristik bio-oil dari bahan baku minyak jelantah berbasis iradiasi gelombang mikro.

Teknologi pembuatan bio-oil menggunakan sistem *fast pyrolysis* secara kontinyu. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak goreng bekas (jelantah). Sebelum dilakukan proses pirolisis bahan baku dilakukan *pre-treatment* terlebih dahulu dengan cara disaring dan dipanaskan pada tempertaur 100 °C untuk menghilangkan kadar air didalam minyak goreng bekas (jelantah). Laju bahan baku diatur menggunakan pompa peristaltik dan katup dengan debit sebesar 4 mL/mt, 5 mL/mt, 7 mL/mt, 8 mL/mt dengan waktu proses selama 60 menit. Metode pemanasan yang digunakan menggunakan iradiasi gelombang mikro dengan daya keluaran sebesar 900 W. Empat ratus lima puluh gram karbon aktif digunakan sebagai *microwave absorbent* untuk mempercepat laju pemanasan.

Proses pirolisis menghasilkan produk berupa *liquid* (bio-oil). Bio-oil dari proses pirolisis dihitung berdasarkan persentase jumlahnya. Disamping itu, bio-oil dianalisis secara fisik dan kimia melalui pengujian densitas, pH, dan komposisi kimia. Persentase perolehan bio-oil meningkat seiring dengan meningkatnya laju umpan. Hasil terbaik yaitu laju umpan 7 ml/mt, dengan *yield* sebesar 33 %. Hal tersebut berbanding terbalik terhadap temperaturnya yang semakin mengalami penurunan seiring meningkatnya laju umpan. Hasil uji densitas dan pH menunjukkan masing-masing variasi memiliki nilai yang hampir sama yang mengindikasin bahwa penggunaan debit pada proses pirolisis tidak terlalu berpengaruh terhadap sifat fisik bio-oil. Uji komposisi kimia pada bio-oil menunjukkan bahwa bio-oil terdiri dari fraksi biodiesel, diesel, dan *gasoline*. Agar dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti maka bio-oil pirolisis harus dilakukan proses lebih lanjut.

PRAKATA

Alhamdulillah, segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat dan salam, penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Debit terhadap Perolehan dan Karakteristik *Bio-Oil* dari Minyak Jelantah dengan Metode *Fast* Pirolisis Berbasis Gelombang Mikro” sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Universitas Negeri Semarang. Selain itu, tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk memberikan pengetahuan kepada pembaca mengenai pengaruh temperatur terhadap karakteristik *bio-oil* pada proses pirolisis dari minyak jelantah (WCO) menggunakan gelombang mikro. Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua penulis. Untuk Ibu dan Ayah yang telah memberikan segala yang terbaik untuk masa depan penulis, yang selalu memberikan motivasi, semangat, nasehat, perhatian, dan kasih sayang serta doa yang tiada henti tercurahkan untuk penulis.
2. Prof. Dr. Fathur Rakhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
5. Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D., pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan saran kepada penulis.

6. Danang Dwi Saputro, S.T., M.T., dan Ahmad Mustamil Khoiron, S.Pd., M.Pd. penguji yang telah memberikan masukan sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan guna menambah kualitas karya tulis ini.
7. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan pengetahuan yang berharga.
8. Civitas akademika Fakultas Teknik dan Jurusan Teknik Mesin angkatan 2016 Universitas Negeri Semarang yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.
9. Keluarga yang selalu mendo'akan serta memberikan dukungan dan motivasi.
10. Diyan Pujo Utomo, Eko Purwanto, dan Arya Yudistira selaku tim b100.
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, 26 Oktober 2020



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTO	v
SARI.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	4
1.3 Pembatasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah.....	5
1.5 Tujuan Masalah	5
1.6 Manfaat Penelitian	6
1.6.1 Secara Teoritis.....	6

1.6.2 Secara Praktis	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
2.1 Kajian Pustaka	7
2.2 Landasan Teori	11
2.2.1 Minyak Jelantah	11
2.2.2 <i>Bio-oil</i>	14
2.2.3 Karakterisasi <i>Bio-oil</i>	15
2.2.3.1 Massa Jenis (<i>Density</i>)	15
2.2.3.2 pH	15
2.2.3.3 Komposisi Kimia	16
2.2.4. Pirolisis	17
2.2.5. Pemanasan Gelombang Mikro	20
2.2.5.1 Interaksi Bahan Baku dengan Gelombang Mikro	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.2 Desain Penelitian	25
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	28
3.3.1 Alat	28
3.3.2 Bahan	40
3.4 Parameter Penelitian	42

3.5 Teknik Pengumpulan Data	42
3.6 Kalibrasi Instrumen	49
3.7 Teknik Analisis Data	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Deskripsi Data	53
4.1.1 Data Pengaruh Debit Terhadap Perolehan <i>Yield</i>	54
4.1.2 Data Karakterisasi Bio-oil	56
4.1.2.1 Massa Jenis (Densitas)	56
4.1.2.2 Nilai Derajat Keasaman/pH	57
4.1.2.3 Komposisi Kimia	58
4.2 Analisis dan Pembahasan	64
4.2.1 Pengaruh Variasi Debit Terhadap Perolehan Bio-oil	64
4.2.2 Analisis Karakteristik Bio-oil	67
4.2.2.1 Massa Jenis (Densitas)	67
4.2.2.2 Nilai Derajat Keasaman/pH	68
4.2.2.3 Komposisi Kimia	70
BAB V PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Review Penelitian Terkait.....	10
Tabel 2.2 Komposisi asam lemak minyak jelantah.....	13
Tabe 2.3 Karakteristik <i>bio-oil</i>	14
Tabel 3.1 Instrumen perolehan pirolisis menggunakan gelombang mikro	46
Tabel 3.2 Analisis Karakteristik.....	46
Tabel 3.3 Hasil pengujian karakteristik bio-oil.....	48
Tabel 3.4 Persentase produk bio-oil pirolisis	52
Tabel 4.1 Perolehan <i>Yield bio-oil</i> minyak jelantah	55
Tabel 4.2 Konversi Perolehan <i>Yield bio-oil</i>	55
Tabel 4.3 Hasil pengukuran massa jenis bio-oil	56
Tabel 4.4 Hasil pengukuran pH bio-oil.....	57
Tabel 4.5 Analisis kromatogram bio-oil minyak jelantah debit 4 mL/m	58
Tabel 4.6 Analisis kromatogram bio-oil minyak jelantah debit 5 mL/m.....	60
Tabel 4.7 Analisis kromatogram bio-oil minyak jelantah debit 7 mL/m.....	61
Tabel 4.8 Analisis kromatogram bio-oil minyak jelantah debit 8 mL/m.....	63
Tabel 4.9 Fraksinasi bio-oil	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram alir sederhana untuk unit pirolisis	18
Gambar 2.2 Proses konversi biomassa untuk produk bernilai tambah	20
Gambar 2.3 Spektrum gelombang elektromagnetik.....	22
Gambar 2.4 Karakteristik Mataerial Gelombang Mikro.....	24
Gambar 3.1 <i>Time series design</i>	25
Gambar 3.2 Diagram Penelitian.....	27
Gambar 3.3 Skema alat untuk produksi <i>bio-oil</i> minyak jelantah.....	28
Gambar 3.4 <i>Microwave oven</i>	29
Gambar 3.5 Neraca Digital	30
Gambar 3.6 <i>Oil pot</i>	31
Gambar 3.7 Kondensor <i>liebig</i>	31
Gambar 3.8 <i>Thermometer</i>	32
Gambar 3.9 <i>Thermometer controller</i>	33
Gambar 3.10 Reaktor proses pirolisis	34
Gambar 3.11 Kipas angin.....	34
Gambar 3.12 Regulator gas nitrogen	36
Gambar 3.13 <i>Flowmeter</i> gas	35
Gambar 3.14 Gelas ukur 1) Gelas ukur <i>bio-oil</i> 2) Gelas ukur minyak	36
Gambar 3.15 Pompa pendingin.....	37

Gambar 3.16 Pompa Peristaltik.....	38
Gambar 3.17 Alat pendukung: 1) Selang pendingin kondenser, 2) selang gas nitrogen, 3) selang <i>oil pot</i> , 4) <i>water box</i> , 5) botol <i>bio-oil</i> , 6) corong,7) sikat, 8) solatip, 9) sarung tangan, 10) <i>valve</i>	40
Gambar 3.18 Isopropanol.....	41
Gambar 3.19 Alat uji kalibrasi <i>flowmeter</i>	49
Gambar 3.20 Alat uji kalibrasi <i>thermocouple</i>	50
Gambar 4.1 Sampel bahan baku minyak jelantah.....	54
Gambar 4.2 Pengaruh debit terhadap persentase perolehan bio-oil pirolisis dari bahan baku minyak jelantah	65
Gambar 4.3 bio-oil dari bahan baku minyak jelantah.....	67
Gambar 4.4 Grafik perhitungan densitas	68
Gambar 4.5 Hasil Perhitungan pH	69
Gambar 4.6 Kromatogram bio-oil dari minyak jelantah pada debit 4mL/m.....	70
Gambar 4.7 Kromatogram bio-oil dari minyak jelantah pada debit 5mL/m.....	71
Gambar 4.8 Kromatogram bio-oil dari minyak jelantah pada debit 7mL/m.....	71
Gambar 4.9 Kromatogram bio-oil dari minyak jelantah pada debit 8mL/m.....	71

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

Simbol	Arti
BBM	: Bahan Bakar Minyak
°C	: Derajat Celcius
ESDM	: Energi dan Sumber Daya Mineral
FAME	: <i>Fatty Acid Methyl Ester</i>
FCO	: <i>Fresh Cooking Oil</i>
FFA	: <i>Free Fatty Acid</i>
FTIR	: <i>Fourir Transform Infra Red</i>
g	: gram
GC-MS	: <i>Gas Sromatography Mass Spectrometry</i>
GHz	: Gigahertz
H ₂	: Hidrogen
Hz	: Hertz
Kg	: Kilo gram
KOH	:Katalis Kalium Hidroksida
L	: Liter
M	: Massa
m	: Meter
MHz	: Megahertz
mL	: mili Liter
mm	: mili meter

mt	: menit
N ₂	: Nitrogen
Na ₂ O	: Natrium Oksida
NO _x	: Mono-nitrogen Oksida
O ₂	: Oksigen
ρ	: rho
pH	: Potensial Hidrogen
Q	: Debit
S	: Sekon
V	: Volume
V	: Volt
W	: Watt
WCO	: <i>Waste Cooking Oil</i>
Wt-%	: <i>Weight percent</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan masyarakat akan minyak bumi untuk kebutuhan sehari-hari semakin meningkat. Hal ini menyebabkan ketersediannya semakin berkurang tiap harinya, sedangkan minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Pada tahun 2016 Dirjen Migas Kementerian ESDM, IGN 9 Wiratmaja Puja menjelaskan bahwa cadangan minyak Indonesia hanya tersisa sebanyak 3,7 milyar barel. Pada akhir tahun 2014 cadangan minyak Indonesia hanya 0,2% dari total cadangan minyak dunia atau berkisar 3,7 miliar barel. Tingkat konsumsi minyak dunia sebesar 1,8% per hari atau 1,6 juta barel. Sedangkan produksi minyak bumi Indonesia hanya sebesar 852 ribu barel perhari atau 1% dari total produksi dunia (Rozikin, 2015).

Sumber daya alternatif dibutuhkan salah satunya dengan memproduksi bahan bakar dari sumber terbarukan. Salah satu pengembangan energi terbarukan yaitu dengan mengolah minyak goreng bekas (jelantah). Minyak goreng bekas memiliki kandungan atom karbon dan hidrogen yang tinggi, sehingga potensinya sangat tinggi untuk dijadikan bahan bakar (Rohmah dan Hayatunus., 2015). Salah satunya melalui teknologi pirolisis dalam pembuatan *bio-oil* atau dikenal juga sebagai *pyrolysis oil* atau *biocrude* menggunakan minyak goreng bekas sebagai bahan bakunya.

Minyak jelantah di Indonesia masih belum dimanfaatkan secara maksimal. Minyak jelantah dari perusahaan besar biasanya dijual kepada pedagang kaki lima yang digunakan untuk menggoreng makanan dan sebagian lagi hilang kesaluran pembuangan. Minyak goreng yang digunakan secara berkelanjutan tentu akan merusak kesehatan manusia, selain itu penggunaan minyak jelantah yang berkelanjutan dapat mengurangi kecerdasan generasi selanjutnya. Dilihat dari komposisi kimia minyak jelantah mengandung senyawa yang bersifat karisogenik akibat dari proses penggorengan (Setiawan et al., 2017).

Pirolisis produksi lambat memiliki kelemahan yaitu energi yang dihasilkan rendah dan menyebabkan polusi udara yang berlebih (Satria., 2017). Berdasarkan lama pemanasannya pirolisis lambat biasanya membutuhkan waktu pemanasan yang lebih panjang daripada waktu reaksi pirolisis sendiri yang berada di kisaran menit. Pirolisis produksi cepat dapat dilakukan untuk mengatasi hal ini karena pirolisis produksi cepat biasanya membutuhkan waktu pemanasan yang lebih pendek daripada waktu reaksi pirolisis yang berada di kisaran detik, selain itu penggunaan pirolisis cepat dapat menghasilkan produksi *bio-oil* yang tinggi (Ridhuan, et al., 2019).

Berdasarkan metode pemanasannya pirolisis dibagi dua macam, yaitu metode pirolisis konvensional dan metode pirolisis gelombang mikro. Pirolisis konvensional paling umum digunakan dengan sumber panas menggunakan aliran listrik secara langsung. Sedangkan pirolisis *microwave* menggunakan gelombang mikro sebagai pemanasnya. Pirolisis *microwave* memiliki kelebihan karena gelombang mikro memiliki frekuensi yang sangat tinggi, pada umumnya sebesar 2450 MHz dengan

panjang gelombang 12,24 cm. Gelombang mikro yang diserap suatu benda akan menghasilkan efek pemanasan pada benda tersebut tanpa disertai O_2 (Juliastuti et al., 2015).

Berdasarkan sistemnya pirolisis dibagi dua, yaitu pirolisis secara *batch* dan pirolisis secara kontinyu. Pirolisis secara batch dilakukan pada temperatur tertentu dan seterusnya, dimana temperaturnya tetap dijaga konstan selama waktu yang diinginkan dan arang hasil pirolisis dikeluarkan setelah dingin. Proses pirolisis kontinyu memiliki kelebihan dimana semua tahapanya berjalan serentak dan berkesinambungan karena tidak mengenal tahap pengikisan, pemanasan, pendinginan dan pengambilan tersendiri (Marliani., 2017).

Pirolisis sistem kontinyu menggunakan *microwave* yang dilakukan Prayanto et al., (2016). Penelitian ini menggunakan minyak kelapa dengan kandungan asam lemak bebas (*FFA*) kurang dari 5 % dan 3 jenis laju umpan yaitu 0,73; 1,25; 1,72 ml/s. Hasil penelitian menunjukkan semakin besar laju umpan yang digunakan, maka *yield* yang dihasilkan akan semakin kecil hal ini dikarenakan laju umpan yang besar menyebabkan waktu tinggal didalam reaktor semakin sedikit, sehingga menyebabkan trigliserida didalam minyak kelapa semakin sedikit bereaksi dengan metanol dan menghasilkan biodiesel. *Yield* terbaik dari penelitian ini yaitu sebesar 89,55 % dengan laju umpan sebesar 0,73 mL/s pada daya 800 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil laju umpan pada proses transesterifikasi maka akan menghasilkan *yield* yang lebih besar.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui produk pirolisis yang dihasilkan dari bahan baku minyak jelantah melalui proses pirolisis. Disamping itu, penulis ingin mengetahui karakteristik produk pirolisis *bio-oil* sebagai bahan baku alternatif. Perbedaan penelitian ini dengan sebelumnya terletak pada penggunaan debit dan bahan baku pada proses pirolisisnya.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang muncul dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Permintaan akan minyak bumi selalu meningkat menyebabkan ketersediaanya semakin berkurang.
- b. Minyak jelantah di Indonesia masih belum dimanfaatkan secara maksimal.
- c. Pirolisis lambat menghasilkan energi yang rendah, polusi udara serta membutuhkan waktu pemanasan yang lebih lama.
- d. Pirolisis secara kontinyu menggunakan minyak kelapa semakin besar laju umpan yang digunakan, maka *yield* yang dihasilkan akan semakin kecil.

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang diuraikan, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

- a. Produksi *bio-oil* dari bahan baku minyak jelantah.
- b. Proses pirolisis menggunakan iradiasi gelombang mikro dengan suhu 450 °C.
- c. Menggunakan *microwave* daya 900 watt sebagai metode pemanasnya.

- d. Alat pirolisis yang digunakan dalam penelitian ini merupakan rancangan peneliti menggunakan modifikasi *microwave* sebagai metode pemanasnya.
- e. Menggunakan variasi debit minyak jelantah yang digunakan sebesar 4 mL/menit, 5 mL/menit, 7 mL/menit, dan 8 mL/menit.
- f. *Absorber* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan karbon aktif sebesar 450 g.
- g. Pengujian *bio-oil* difokuskan pada densitas, pH dan uji komposisi kimia.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang rumus masalah yang dapat disusun sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah pengaruh variasi debit menggunakan minyak jelantah terhadap produk pirolisis yang diperoleh?
- b. Bagaimana karakteristik *bio-oil* dari bahan baku minyak jelantah?

1.5 Tujuan Masalah

- a. Mengetahui pengaruh variasi debit menggunakan minyak jelantah terhadap produk pirolisis yang diperoleh.
- b. Mengetahui karakteristik *bio-oil* dari bahan baku minyak jelantah.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1.6.1 Secara Teoritis

- a. Memberi kontribusi untuk perkembangan ilmu pengetahuan dan wawasan pada khususnya atau masyarakat luas tentang proses pirolisis untuk pembuatan *bio-oil*.
- b. Sebagai acuan dan bahan pertimbangan pada penelitian pirolisis menggunakan gelombang mikro selanjutnya.
- c. Dapat menambah wawasan dan referensi penelitian tentang pembuatan *bio-oil* dari bahan baku minyak jelantah.

1.6.2 Secara Praktis

- a. Memberikan alternatif pengolahan limbah minyak jelantah pada perusahaan dan pedagang kaki lima agar limbah dari minyak jelantah tidak dibuang percuma sehingga dapat diolah dan dapat dijual lagi.
- b. Bahan Pertimbangkan bahan baku *bio-oil* sebagai bahan bakar alternatif.
- c. Mengurangi pencemaran lingkungan karena limbah minyak goreng dapat diolah kembali dan tidak dibuang sembarangan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian Astriana dan Afrilia., (2015) yang berjudul “Metanolisis Minyak Kopra (*Copra Oil*) Pada Pembuatan Biodiesel Secara Kontinyu Menggunakan *Trickle Bed Reactor*”. Pertama dilakukan kalibrasi laju alir umpan dengan cara mengalirkan minyak kopra dan metanol kedalam reaktor, kemudia metanol di uapkan menggunakan *electric heater* pada suhu berkisar 72 °C. Uap dari metanol selanjutnya dialirkan ke dalam reaktor selama 30 menit. Sedangkan minyak kopra dipanaskan mencapai suhu 90 °C kemudian dialirkan kedalam reaktor selama 15 menit. Setelah 45 menit, sampel diambil dan dilakukan pengulangan 2x untuk setiap *run*. Sampel hasil produk biodiesel didiamkan selama \pm 24 jam. Labu pemisah digunakan untuk memisahkan lapisan metil ester, gliserol, dan metanol yang merupakan reaktan tidak habis bereaksi secara sempurna. *Yield* terbaik sebesar 1,078 dengan rasio mol metanol – minyak kopra sebesar 12:1, dan *FFA* 10%. Kadar *FAME* tertinggi yaitu 99,08% dihasilkan oleh reaksi gas metanol dan minyak kopra dengan kandungan Trigliserida dalam minyak kopra sebesar 100% pada reaktor berdiameter 1,25 inch atau 3,18 cm.

Penelitian Anis et al., (2020) yang berjudul “*Bio-oil composition from low temperature microwavesassisted pyrolysis of cooking oils*”. Bahan baku dari limbah minyak goreng (*WCO*) dan minyak goreng segar (*FCO*). Bahan baku dipanaskan pada 100 ± 3 °C selama 30 menit untuk menghilangkan kadar air setelah

pendinginan, partikel padat kemudian dipisahkan menggunakan kertas saring. Pirolisis *WCO* dan *FCO* dilakukan pada suhu tetap 400 °C. Disetiap percobaan, reaktor diisi dengan 300 g arang sebagai penyerap gelombang mikro, yang kemudian dipanaskan proses suhu pirolisis. Setelah suhu pirolisis yang ditentukan tercapai, sampel *WCO* atau *FCO* disuntikkan ke dalam reaktor pada laju aliran tetap 2 ml/menit selama 60 menit aliran gas nitrogen sebesar 100 ml/menit. Hasil menunjukkan bahwa senyawa *bio-oil* dari kedua bahan baku terutama terdiri dari alifatik hidrokarbon. Berdasarkan jumlah karbon, *bio-oil* dari *WCO* mengandung hampir 70% berat fraksi diesel ($C_{12} - C_{20}$), sedikit lebih rendah dari *FCO* yang berpotensi sebagai kandidat bahan bakar untuk mesin diesel.

Penelitian Umami et al., (2015) yang berjudul “Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Gelombang Mikro”. Penelitian sintesis ini melalui satu tahap yaitu reaksi transesterifikasi trigliserida pada minyak jelantah dengan metanol secara *batch* menggunakan gelombang mikro dan katalis Kalium hidroksida (KOH). Minyak goreng yang akan digunakan berwarna coklat tua atau kehitaman. Proses pemurnian harus dilakukan untuk mengatasi hal ini. Pemurnian dilakukan dengan cara pemucatan (*bleaching*). Adapun variasi temperatur yang digunakan adalah (50 °C, 60 °C, 70 °C) dengan rasio mol methanol-minyak (1:6), waktu reaksi selama 10 menit dan daya pada *microwave* 400 Watt. Dari penelitian tersebut dihasilkan *yield* tertinggi pada suhu 70°C sebesar 98,89%.

Penelitian menggunakan minyak juga dilakukan oleh Dewanto et al., (2017) yang berjudul “*Catalytic and Thermal Cracking Processes of Waste Cooking Oil for Bio-gasoline Synthesis*”. Pirolisis menggunakan tipe semi *batch* katalisator ZSM-5. Laju aliran massa bahan baku sebesar 2 ml/menit dengan pemanasan konvensional variasi temperatur 450-550 °C dan dilakukan proses *pre-heating* sebelum bahan baku dimasukkan. Produk *bio-oil* tertinggi yang dihasilkan didapatkan pada temperatur 450 °C sebesar 8,25 mL dari 40 mL bahan baku total yang digunakan menggunakan proses *thermal cracking*. Produk *bio-oil* tertinggi didapatkan pada proses *catalytic cracking* terjadi pada temperatur 450 °C sebesar 6,9 mL.

Penelitian Rohmah dan Hayatunnufus., (2015) yang berjudul “*Design Oven Skala Laboratorium untuk Rekayasa Minyak Goreng Bekas menjadi Bio oil*”. Penelitian mengembangkan *design* reaktor oven pirolisis skala laboratorium yang dilakukan dalam tiga tahap, tahap pertama perhitungan *design* berdasarkan teori, tahap kedua test alat, dan tahap ketiga pirolisis minyak goreng bekas, kemudian analisa menggunakan *gas kromatografi-spektrometri massa (GCMS)*. *Bio oil* terbesar yang dihasilkan dari proses pirolisis minyak jelantah sebesar 89,98 % dari pengujian 280 °C dengan pemanasan selama 15 menit. *Index* kemurnian belum mencapai 100 sehingga masih perlu dilakukan proses pemurnian.

Penelitian Wako et al., (2018) yang berjudul “*Catalytic cracking of waste cooking oil for biofuel production using zirconium oxide catalyst*”. Perengkahan katalitik minyak jelantah untuk produksi bahan bakar cair dilakukan di reaktor semi

batch di bawah atmosfer N_2 . Perengkahan katalitik dilakukan pada kisaran suhu 400-500 °C menggunakan Zirkonium Oksida (ZrO_2) sebagai katalis. Pengaruh suhu, laju pemanasan, waktu tinggal dan pemuatan katalis pada hasil produk dipelajari. Sifat fisikokimia seperti nilai kalor, kerapatan, titik nyala, dan viskositas kinematis produk cairan organik (OLP) dianalisis untuk kesesuaiannya untuk aplikasi bahan bakar. Komposisi kimia dan gugus fungsi diidentifikasi *GC-MS* dan *FTIR*. Dari studi keseluruhan, reaksi perengkahan 83% berat OLP diperoleh pada reaksi optimal parameter suhu 475 °C, waktu tinggal 120 menit, katalis memuat 4% berat dan laju pemanasan 10 °C / mnt. Dari reaksi keseluruhan kondisi, diamati bahwa *WCO* stabil yang memulai cairan produk pada suhu yang lebih tinggi.

Tabel 2.1 *Review* penelitian terkait

No	Peneliti	Bahan Baku	Metode Pemanasan	Tipe Pirolisis	Sistem Pirolisis
1	Astria dan Afrilia, 2015	Minyak kopra	Konvensional	<i>Slow</i>	Kontinyu
2	Anis, et al, 2020	Minyak jelantah dan minyak goreng baru	<i>Microwave</i>	<i>Fast</i>	Kontinyu
3	Umami, et al, 2015	Minyak jelantah	<i>Microwave</i>	<i>Slow</i>	<i>Batch</i>
4	Dewanto, et al, 2017	Minyak jelatah	Konvensional	<i>Fast</i>	<i>Semi batch</i>
5	Rohmah dan Hayatunus, 2015	Minyak jelantah	Oven	<i>Slow</i>	<i>Batch</i>
6	Wako, et al, 2018	Minyak jelantah	Konvensional	<i>Fast</i>	<i>Semi batch</i>

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, peneliti bermaksud melakukan penelitian tentang proses pirolisis berbasis gelombang mikro. Hal yang berbeda dari

penelitian yang telah dilakukan terletak pada sistem pirolisis dan tipe pirolisis. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan sistem pirolisis kontinu dengan tipe *fast pyrolysis* menggunakan bahan baku minyak jelantah.

Penelitian menggunakan bahan baku minyak jelantah yang sebelumnya dilakukan oleh Anis, et al, 2020, Umami, et al, 2015, Dewanto, et al, 2017, Rohmah dan Hayatunus, 2015, dan Wako, et al, 2018. Umami, et al, 2018 melakukan penelitian dengan menggunakan sistem *batch*, sedangkan Wako, et al, 2018 menggunakan sistem *semi batch*. Dengan adanya sistem *batch* dan *semi batch* yang telah dilakukan, peneliti akan memvariasikan sistem dengan menggunakan sistem kontinu. Sistem kontinu yang akan digunakan hampir sama dengan yang dilakukan Anis, et al, 2020, Astriana dan Afrilia, 2015, dan Dewanto, et al, 2017. Perbedaannya terletak pada laju aliran massa bahan baku ke dalam reaktor.

2.2. Landasan Teori

2.2.1 Minyak Jelantah

Minyak goreng adalah salah satu kebutuhan yang tidak dapat terlepas bagi kebanyakan orang. Karena pada proses menggoreng minyak digunakan untuk menghantarkan panas sehingga lebih efisien jika dibandingkan dengan proses pemanggangan atau perebusan. Minyak goreng juga digunakan untuk menambah rasa gurih makanan serta memperbaiki cita rasa makanan. Proses pemanasan yang tinggi

pada minyak dapat menghasilkan asam lemak bebas, senyawa karbonil, dan peroksida yang dapat menyebabkan manusia keracunan kronis (Yulianti et al., 2016).

Minyak goreng yang berfungsi sebagai pengolah bahan makanan sangat vital dan kian meningkat kebutuhannya. Minyak goreng yang dipakai berulang-ulang akan memberi efek buruk bagi kesehatan karena minyak goreng mengalami kerusakan akibat proses oksidasi, hidrolisis, reaksi pencoklatan, dan polimerisasi saat proses menggoreng. Oksidasi dan polimerisasi dapat merusak sebagian vitamin dan asam lemak esensial minyak goreng yang dapat mengakibatkan keracunan pada tubuh dan menyebabkan berbagai macam penyakit seperti diare, pengendapan lemak pembuluh darah, dan kanker.

Minyak nabati memiliki potensi cukup besar untuk dijadikan bahan bakar alternatif mesin diesel. Indonesia yang merupakan negara kaya akan minyak nabati memiliki peluang besar mengembangkan penggunaan bahan bakar alternatif ini secara luas. Minyak nabati memiliki viskositas yang tinggi yaitu 11-17 kali lebih besar dari *petroleum diesel*, sehingga mengalami kendala bila digunakan sebagai secara langsung. Asam lemak bebas dan volatilitas yang rendah pada minyak nabati dapat menyebabkan pembakaran mesin kurang sempurna dan membentuk deposit di ruang bakar. Minyak nabati harus diubah terlebih dahulu ke bentuk lain untuk menurunkan viskositas, meningkatkan volatilitas dan menghilangkan asam lemak bebas. Mengubahnya menjadi alkil ester merupakan salah satu cara yang dapat ditempuh (Hidayati et al., 2017).

Meningkatnya konsumsi minyak goreng pada masyarakat menyebabkan potensi minyak jelantah sebagai salah satu bahan baku untuk pembuatan biodiesel juga akan meningkat. Minyak jelantah yang digunakan untuk pengolahan makanan dapat membahayakan kesehatan karena trigliserida sudah mengalami kerusakan dan bersifat karsinogenik (penyebab kanker). Mengolah minyak jelantah menjadi biodiesel merupakan salah satu alternatif yang perlu dikaji dalam pemanfaatan minyak jelantah (Prabawa, et al., 2015).

Tabel 2.2 Komposisi asam lemak minyak jelantah

Asam Lemak	Satuan	Nilai
Decanoic	wt%	6,73
Tetradecanoic	wt%	26,14
9- Hexadecanoic	wt%	2,01
Dodecanic	wt%	34,79
Hexadecanoic	wt%	12,77
9-Octadecanoic	wt%	7,65
Octanoic	wt%	5,89
Octadecanoic	wt%	4,02

(Sumber: Rhofita, 2016)

Pembuatan biodiesel menggunakan minyak jelantah telah dilakukan sejak tahun 80an. Penelitian yang dilakukan Rhofita, (2016) mampu menghasilkan kadar FAME sebesar 94,3% dengan mengkonversi minyak jelantah selama 2 jam pada temperatur 60°C. Sedangkan Wahyuni et al., (2015) mampu menghasilkan rendemen biodiesel sebesar 76% pada temperatur 50 °C.

2.2.2 Bio-oil

Permasalahan pada pemakaian bahan bakar minyak (BBM) yang sifatnya tidak dapat diperbarui (*non renewable*) perlu adanya disubstitusi oleh bahan bakar lain yang dapat diperbarui salah satunya *bio oil* yang berasal dari tanaman kehutanan atau pertanian. *Bio oil* merupakan bahan bakar cair dengan warna gelap dan memiliki aroma seperti asap yang dihasilkan melalui teknologi pirolisis menggunakan bahan baku biomassa yang mengandung berligno selulosa. Pirolisis adalah proses degradasi *thermal* pembuatan arang tanpa udara yang berlangsung pada suhu 400-500 °C pada proses pembuatannya (Wibowo, 2016).

Tabel 2.3 Karakteristik *bio-oil*

Peneliti	Bahan baku	Metode Pemanasan	Uji sifat fisika		
			Densitas (g/mL)	Viskositas (cSt)	pH
Wibowo dan Hendra, 2015	Rumput gelagah	Konvensional	1,1166	-	2,69
Fardhyanti et al, 2019	Biomasa	Konvensional	1,008	1,1851	-
Wibowo et al., 2017	Tandan kosong sawit	Oven	1,068	44	2,94
Abdullah et al, 2019	Minyak Jelantah Dengan Katalis Zeloit	Konvensional	0,8519	9,8106	-

2.2.3 Karakteristik *Bio-oil*

2.2.3.1 Massa Jenis

Massa jenis adalah perbandingan antara massa zat dengan volumenya. Zat yang sama meskipun wujudnya berbeda maka massa jenisnya akan tetap sama, sebaliknya bila zatnya berbeda maka massa jenisnya juga berbeda. Semakin tinggi massa jenis benda, semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata merupakan total massa dibagi total volumenya. Benda dengan massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah (Yuliyanto et al., 2016). Massa jenis sering disebut dengan kerapatan dilambangkan dengan ρ (rho). Rumus untuk menentukan massa jenis adalah

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan :

ρ = massa jenis (g/mL)

v = volume (m^3)

m= massa (kg)

2.2.3.2 pH

Potensial Hidrogen atau sering disingkat pH adalah derajat keasaman untuk mengukur tingkat kebasahan dan keasaman suatu larutan. Apabila angka skala pH kurang dari 7 maka benda tersebut dikatakan bersifat asam, jika angka skala pH lebih

dari 7 benda tersebut dikatakan bersifat basa. Angka skala pH 0 berarti derajat keasaman yang dimiliki benda tersebut tinggi, dan jika angka skala pH 14 berarti derajat kebasaannya tertinggi. kertas lakmus merupakan indikator sederhana untuk mengukur pH. Kertas lakmus yang berubah warna menjadi merah menunjukkan bahwa keasaman benda tersebut tinggi dan berubah berwarna biru bila keasamannya rendah. Selain kertas lakmus, pH meter juga merupakan indikator asam basa yang berkerja dengan prinsip elektrolit / konduktivitas suatu larutan (Ardiansyah,. 2015).

2.2.3.3 Komposisi Kimia

Untuk mengetahui komposisi kimia dari *bio-oil* perlu dilakukan pengujian menggunakan alat *GC-MS*. *GC-MS* merupakan perpaduan dari kromatografi gas dan spektroskopi massa. Kromatografi gas akan memisahkan suatu senyawa, yang kemudian dianalisis atau dideteksi menggunakan spektroskopi massa. Cara kerja *GC-MS* yaitu memisahkan senyawa organik melalui dua metode analisis senyawa Kromatografi Gas (GC) yaitu menganalisis jumlah suatu senyawa secara kualitatif sedangkan Spektrometri Massa (MS) digunakan untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit (Satria,. 2016).

Kromatografi gas adalah salah satu teknik dari spektroskopi dengan prinsip pemisahan campuran berdasarkan perbedaan kecepatan migrasi komponen penyusunnya yang biasanya digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan

konsentrasi suatu senyawa dalam fase gas dan senyawa yang terdapat pada campuran gas.

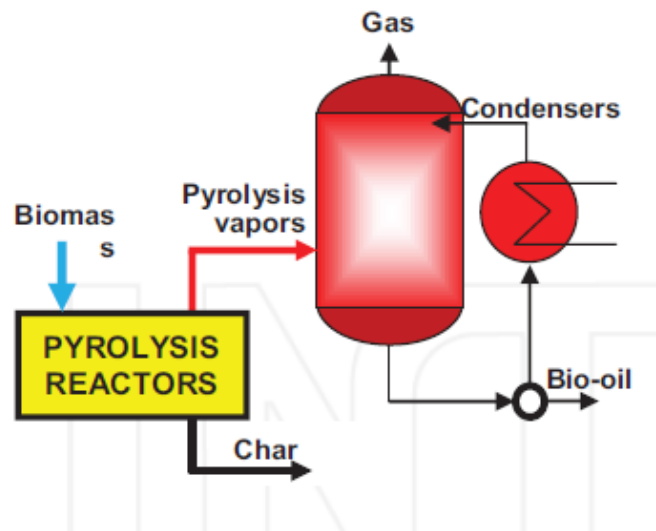
Spektroskopi massa merupakan metode untuk mendapatkan berat molekul dengan membandingkan massa terhadap muatan dari ion dimana muatannya telah diketahui dengan cara mengukur jari-jari orbit melingkarnya dalam medan magnetik yang seragam. Kromatografi gas dapat dipadukan dengan spektroskopi massa. Paduan dari keduanya akan menghasilkan data yang lebih akurat dalam pengidentifikasian senyawa yang dilengkapi dengan struktur molekulnya (Sari, et al, 2018). Analisis *GC-MS* dilakukan untuk mengkarakterisasi produk *bio-oil* dari minyak jelantah.

2.2.4 Pirolisis

Pirolisis merupakan *dekomposisi* suatu bahan pada suhu tinggi tanpa atau dengan udara yang terbatas. Proses *dekomposisi* ini biasa disebut juga dengan *devolatilisasi*. Pirolisis atau *thermolisis* merupakan proses dekomposisi kimia menggunakan pemanasan tanpa adanya oksigen. Hasil dari proses ini berupa tiga jenis produk yaitu padatan (arang), gas dan cairan atau yang biasa disebut *bio-oil*. Proses pirolisis umumnya dilakukan pada suhu di atas 300 °C dalam waktu 4-7 jam (Ridhuan, et al, 2019).

Pirolisis dibagi menjadi dua berdasarkan tingkat kecepatan laju reaksinya yaitu Pirolisis lambat (*slow*) dan Pirolisis cepat (*fast*). Pirolisis primer lambat terjadi

pada kisaran suhu 150-300 °C yang digunakan untuk pembuatan arang. Reaksi utama yang terjadi pada proses ini adalah dehidrasi. Untuk hasil reaksi keseluruhan proses adalah karbon, uap air, karbon monoksida, dan karbon dioksida sehingga semakin lambat prosesnya semakin banyak dan semakin baik pula mutu karbon yang dihasilkan. Pirolisis primer cepat terjadi pada suhu diatas 300 °C dengan hasil reaksi keseluruhan berupa uap air, arang, gas, dan 50% - 70%. Uap minyak pirolisis menyusun ratusan senyawa monomer, oligomer, monomer penyusun selulosa dan lignin (Rafi, et al., 2019).



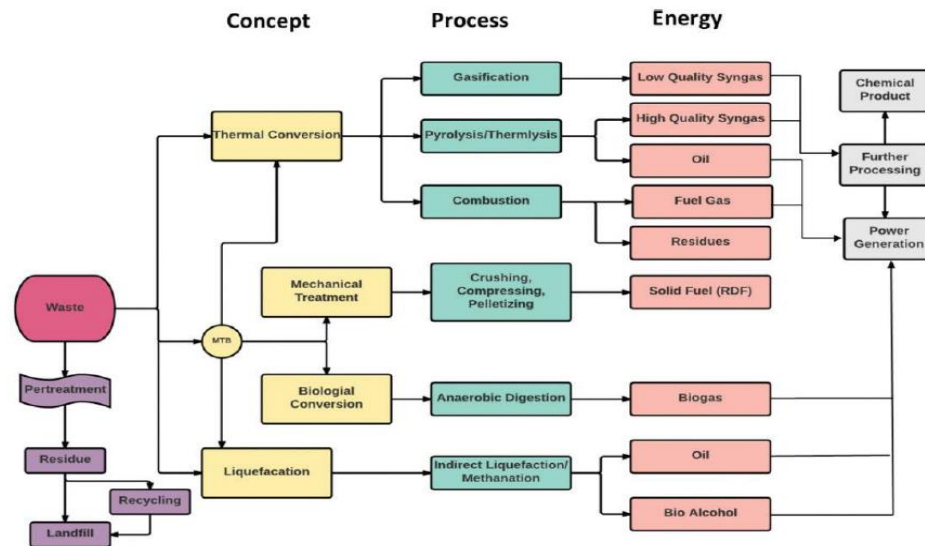
Gambar 2.1 Diagram alir sederhana untuk unit pirolisis
(Sumber: Chowdhury, et al, 2017)

Pirolisis cepat adalah pirolisis yang lama pemanasannya dilakukan selama 2 - 5 detik dengan menggunakan suhu pada 400 – 600 °C dengan pemadaman yang cepat pada akhir proses. Pemadaman yang cepat sangat penting dilakukan agar memperoleh

produk dengan berat molekul tinggi yang nantinya akan terkonversi menjadi senyawa gas dengan berat molekul rendah. Cara ini dapat menghasilkan produk minyak pirolisis 75 % lebih tinggi bila dibandingkan dengan pirolisis konvensional (Ridhuan et al, 2019).

Pirolisis dapat dikatakan sebagai proses penguraian material secara *thermal* menggunakan temperatur yang tinggi tanpa hadirnya oksigen. Proses pirolisis menghasilkan produk berupa minyak, gas dan padatan yang strukturnya mirip seperti grafit. Padatan tersusun digolongkan atas karbon murni dan temperatur yang tinggi yang dapat ditemukan pada membrane *fuel cell*, dengan gas yang dihasilkan berupa CO_x, NO_x, H₂ dan alkana (Mokhtar., 2019).

Pirolisis didefinisikan sebagai dekomposisi *thermal* dari turunan lignoselulosa dalam kondisi lembam dalam lingkungan yang kekurangan oksigen. Praktik proses pirolisis telah berkembang dan banyak dilakukan untuk pembuatan arang dan kokas. Pembakaran arang bisa menghasilkan suhu tinggi secara intensif untuk melelehkan timah dengan tembaga untuk mendapatkan perunggu. Karena itu, pirolisis telah mendapatkan pertimbangan lebih lanjut sebagai teknik yang efektif untuk transformasi biomassa menjadi *bio-oil* di seluruh era modern.



Gambar 2.2 Proses konversi biomassa untuk produk bernilai tambah

(Sumber: Chowdhury et al., 2017)

Tujuan akhir dari pirolisis adalah untuk menghasilkan produk energi bernilai tinggi untuk bersaing dan secara bertahap menggantikan yang tidak terbarukan bahan bakar fosil. Biasanya unit sistem pirolisis berisi peralatan untuk pra-pemrosesan residu lignoselulosa, reaktor pirolisis, dan unit selanjutnya untuk pemrosesan hilir. Terutama itu dapat diklasifikasikan sebagai unit yang menghasilkan hanya panas dan *bio-char* (menggunakan pirolisis lambat) atau unit yang menghasilkan *bio-char* dan *bio-oil* menggunakan pirolisis cepat (Chowdhury et al., 2017).

2.2.5 Pemanasan Gelombang Mikro

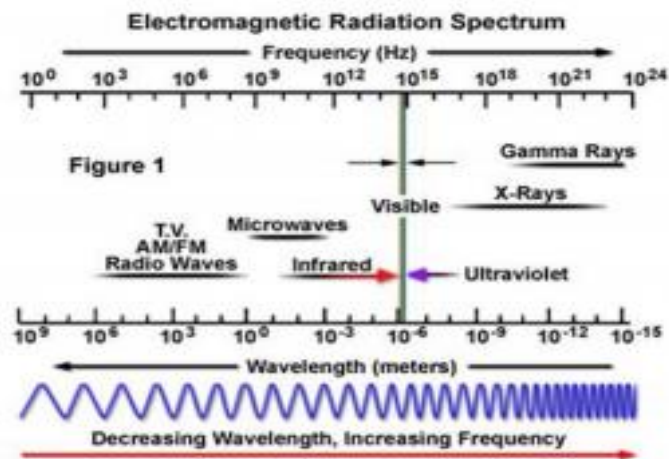
Gelombang mikro adalah salah satu dari radiasi elektromagnetik. Gelombang Elektromagnetik merupakan gelombang yang dapat merambat tanpa menggunakan medium. Iradiasi gelombang microwave merupakan iradiasi elektromagnetik yang

terletak dalam rentang frekuensi 0,3-300 GHz. Mereka berada pada spektrum elektromagnetik antara gelombang inframerah dan gelombang radio dengan panjang antara 0,01 dan 1 m. Microwave komersial telah disetujui untuk aplikasi domestik dan beroperasi pada frekuensi 2,45 GHz agar terhindar dari gangguan frekuensi telekomunikasi dan telepon seluler, sedangkan pada aplikasi industri beroperasi pada 915 dan 2450 MHz (Yuni dan Rahkadima, 2017). Secara teori *microwave* dapat diubah menjadi panas melalui interaksi dengan bahan dielektrik. Pemanasan dielektrik mengacu pada pemanasan oleh radiasi elektromagnetik frekuensi tinggi, yaitu gelombang frekuensi radio dan *microwave*.

Interaksi partikel bermuatan dalam beberapa bahan dengan komponen medan listrik radiasi elektromagnetik menyebabkan bahan-bahan memanaskan. Dalam molekul polar, komponen medan listrik dari gelombang mikro menyebabkan dipol permanen dan induksi berputar ketika mereka mencoba untuk menyesuaikan diri dengan medan bolak balik. Gerakan molekuler ini menghasilkan gesekan antara molekul-molekul yang berputar dan kemudian energi diubah sebagai panas. Dalam hal bahan padat dielektrik dengan partikel bermuatan yang bebas bergerak seperti elektron π , arus bergerak dalam fase dengan medan elektromagnetik yang diinduksi Elektron tidak dapat berpasangan dengan perubahan fase medan listrik, energi dihamburkan dalam bentuk panas karena efek Maxwell-Wagner (Udyani et al., 2019).

Spektrum elektromagnetik merupakan rentang tertentu pada panjang gelombang dan frekuensi yang dimiliki gelombang elektromagnetik yang terdiri dari gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak, sinar ultraviolet,

sinar X dan sinar gamma dengan besar frekuensi dan panjang gelombang yang berbeda-beda. Semua masa di alam semesta memancarkan energi elektromagnetik dengan level yang berbeda-beda. Semakin tinggi level energinya maka panjang gelombang yang dihasilkan rendah sedangkan frekuensinya semakin tinggi. Perbedaan karakteristik energi gelombang digunakan untuk mengelompokkan energi elektromagnetik (Timor,., 2016)..

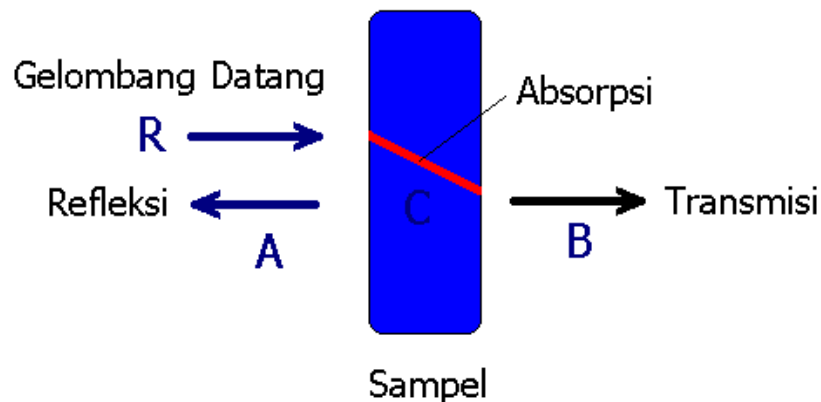


Gambar 2.3 Spektrum gelombang elektromagnetik
(Sumber Timor, et al : 2016)

Metode pemanasan menggunakan gelombang mikro memiliki beberapa kelebihan diantaranya pemanasannya merata karena panas dibangkitkan dari dalam bahan tidak mentransfer panas dari luar saja. Pemanasan bersifat selektif tergantung dielektrik properties bahan, menghemat energi pemanasan dan laju pemanasannya lebih cepat sehingga mengurangi waktu reaksi, produk yang dihasilkan lebih banyak, ramah lingkungan, dan reproduibilitas lebih baik (Hibatullah,., 2017).

2.2.5.1 Interaksi Bahan Baku dengan Gelombang Mikro

Pemanasan menggunakan gelombang mikro memiliki kelebihan karena pemanasannya bersifat selektif tergantung dielektrik *properties* bahan yang memberikan ukuran bagaimana bahan berinteraksi dengan energi elektromagnetik serta pemanasannya lebih merata. Interaksi material dengan gelombang mikro ada 3 yaitu sifat *adsorber*, *transmisi*, dan *refleksi*. Sifat *adsorber* yaitu penyerapan *microwave* terhadap bahan baku yang akan di proses. Sifat *transmisi* yang mempermudah proses perpindahan panas ke media. Sifat *refleksi* yang membantu panas dipantulkan ke seluruh media agar panas merata (Zahra, 2018).



Gambar 2.4 Proses penyerapan gelombang oleh *microwave*
(Sumber: Wardiyati, et al, 2018)

Pemanasan menggunakan gelombang mikro secara *batch* pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Katalis $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fly Ash}$ Menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro yang dilakukan Hidayati dan Harinda (2019). Penelitian menunjukkan produk akan cenderung meningkat bila daya yang digunakan besar. *Yield* terbaik didapatkan sebesar 87,56 % pada daya 552 Watt, tetapi pada daya 691 Watt

hasil biodiesel mengalami penurunan yang cukup besar. Pada daya 691 Watt suhu yang diukur mencapai lebih dari 90 °C yang menyebabkan sebagian metanol berada pada fase uap sehingga terjadi penurunan efektivitas reaksi karena suhu tersebut lebih tinggi dibandingkan suhu penguapan metanol. Kenaikan suhu yang tinggi hasil yang didapatkan juga akan berubah. Penggunaan gelombang mikro dalam pemuatan biodiesel membutuhkan waktu yang lebih singkat bila dibandingkan dengan pembuatan secara konvensional.

Pemanasan menggunakan gelombang mikro pada sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave* secara kontinyu yang dilakukan Zahra,. (2018). Menawarkan keuntungan signifikan, karena proses sterilisasi berjalan sangat cepat dibandingkan proses *steam batch*. *Decimal reduction time (D-value)* kurang dari 17 menit dan membutuhkan energi yang rendah untuk meningkatkan temperatur dari buah yang disterilisasi dengan menggunakan energi *microwave*, penggunaan *boiler* tak lagi dibutuhkan untuk proses pelepasan buah. Dan akan membantu dalam meningkatkan ekonomi produksi minyak kelapa sawit. Energi dari gelombang mikro mampu meningkatkan temperatur pada buah sawit dengan cepat dan secara simultan memudahkan pelepasan buah dari tandanya yang dibuktikan dengan beberapa penelitian sebelumnya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan mulai 4 Oktober sampai 4 November 2019. Adapun tempat penelitian dilakukan di Sekar Tekno yang beralamatkan di gang Kedawung No. 5 Kelurahan Sekaran, Kecamatan Gunung Pati, Kota Semarang Jawa Tengah.

3.2 Desain Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian eksperimen ini adalah *quasi experimental design*. Sugiyono (2009 : 144) mengatakan bahwa “*quasi experimental design* merupakan pengembangan dari *true experimental design* yang sulit dilaksanakan”. Metode ini memiliki ciri utama yaitu tidak melakukan penugasan *random*, melainkan menggunakan kelompok yang sudah ada dikarenakan metode ini kesulitan dalam menentukan kelompok kontrol dalam penelitian. Desain penelitian yang akan digunakan adalah *times series design*. Desain pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

O_1	X_1	O_4
O_2	X_2	O_5
O_3	X_3	O_6

Gambar 3.1 *Time Series Design*.

Keterangan :

$O_1 O_2 O_3 = \textit{Pretest}$.

$X_1 X_2 X_3 = \textit{Perlakuan}$.

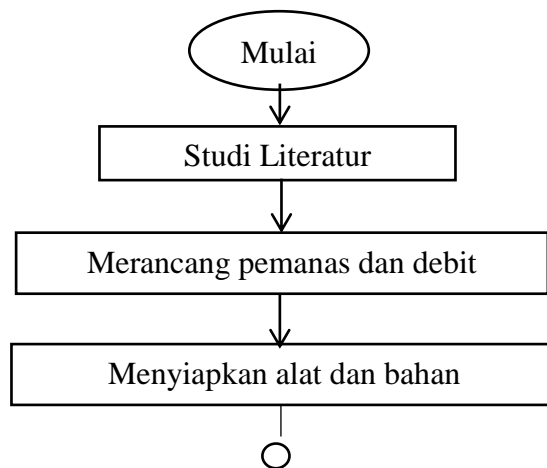
$O_4 O_5 O_6 = \textit{Posttest}$.

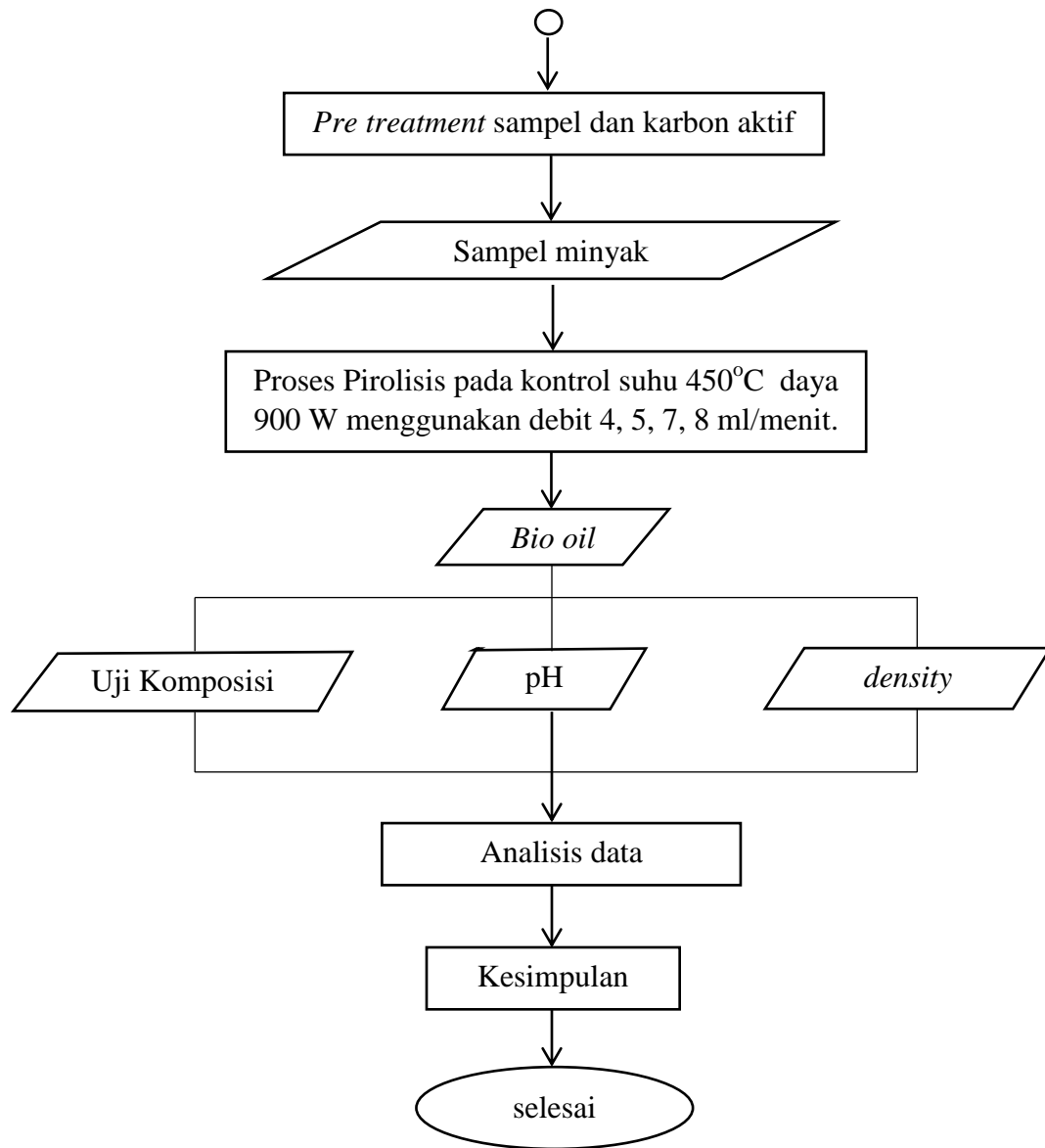
Penelitian ini memiliki dua variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. variabel penyebab, variabel bebas atau *independent* ($O_1 O_2 O_3$), sedangkan untuk variabel akibat terdapat variabel terikat, variabel tergantung atau *dependent* ($O_4 O_5 O_6$).

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Variabel Bebas : Variasi debit, yaitu 4 mL/menit, 5 mL/menit, 7 mL/menit, 8 mL/menit.
- b. Variabel Terikat : Perolehan dan uji karakteristik *bio oil*.

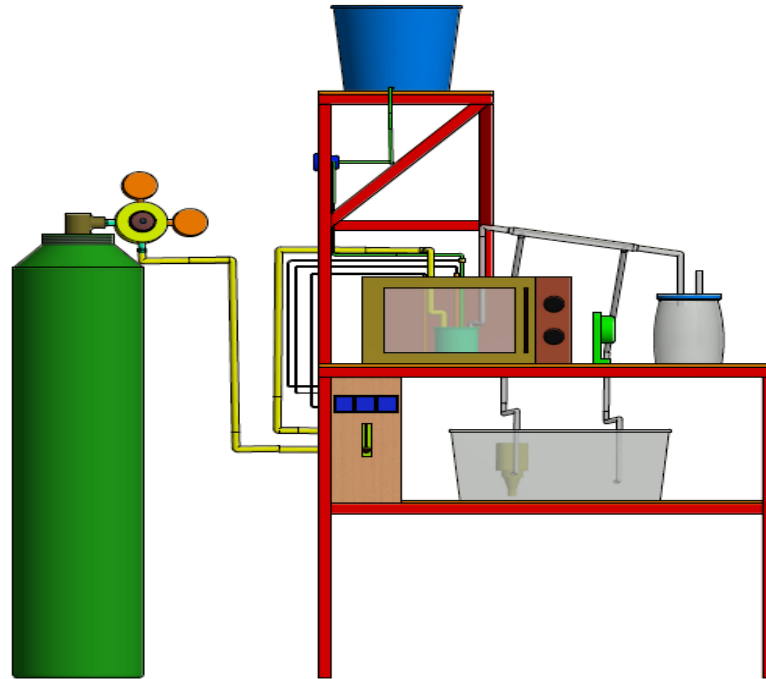
Desain penelitian pada penelitian ini digambarkan dengan sebuah diagram alir untuk mempermudah dan memperjelas peneliti dalam melaksanakan tahapan penelitian. Berikut diagram alir pelaksanaan penelitian:





Gambar 3.2 Diagram penelitian

Skema alat yang digunakan dalam penelitian:



Gambar 3.3 Skema alat untuk produksi *bio-oil* minyak jelantah
(Sumber: Alhakim., 2018)

Keterangan gambar:

- 1) *Microwave Oven*
- 2) Reaktor
- 3) *Thermocouple*
- 4) *Thermocouple controller*
- 5) *Oil Pot*
- 6) Unit Nitrogen
- 7) Pipa gas keluar
- 8) Kondensor
- 9) Pipa gas Nitrogen
- 10) *Waterbox*
- 11) Pompa air
- 12) Tanki
- 13) Kipas Angin
- 14) Pompa peristaltik
- 15) Pemanas pipa

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Alat yang akan digunakan adalah

- a. *Microwave oven*

Microwave oven digunakan sebagai alat yang menggunakan gelombang mikro untuk memanaskan bahan baku. Spesifikasi *microwave oven* yang akan digunakan 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 3.4 *Microwave oven*

b. Neraca atau timbangan

Timbangan digunakan untuk menimbang *absorber* yang akan digunakan. Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital ketelitian 0,1 gram dengan beban maksimum 3 kg.



Gambar 3.5 Neraca digital

c. Pipa dan sambungan

Pipa yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pipa kuningan. Pipa kuningan digunakan karena bersifat konduktor, artinya dapat menghantar panas dari *heater*. Pipa kuningan yang dipakai mempunyai diameter luar sebesar diameter dalam saluran keluar reaktor sebesar 8 mm dengan diameter dalam 7 mm.

d. *Oil pot* (penampung minyak pirolisis)

Oil pot digunakan untuk menampung produk pirolisis berupa cairan yang telah terkondensasi menggunakan kondenser. Volume *oil pot* yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 500 ml.



Gambar 3.6 *Oil pot*

e. Kondenser

Kondenser digunakan untuk mendinginkan gas hasil pirolisis untuk selanjutnya gas tersebut berubah fasa menjadi fasa cair. Jenis kondenser yang dipakai dalam penelitian ini adalah kondenser *liebig* dengan panjang 300 mm.



Gambar 3.7 Kondenser *liebig*

f. *Thermometer*

Thermometer digunakan untuk mengukur temperatur yang terjadi selama proses pirolisis menggunakan gelombang mikro. *Thermometer* dalam penelitian ini

menggunakan dua buah *thermometer* tipe-K yang diletakkan di dalam ruangan *microwave oven* dan reaktor.



Gambar 3.8 *Thermometer*

g. *Thermometer controller*

Thermometer controller adalah alat pengukur dan pengatur temperatur *thermometer*. Spesifikasi *controller* yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Model Autonics

- a) *Type controller* : 22T3616
- b) Akurasi : $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- c) Tegangan maksimal : 250 Volt
- d) Tipe termokopel : J, K

2. Model Omron

- a) *Type controller* : E5CSL/E5CWL
- b) Akurasi : $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- c) Tegangan maksimal : 100-240 Volt
- d) *Thermometer type* : J, K, T, R atau S



Gambar 3.9 *Thermometer controller*

Thermometer controller model autonic digunakan sebagai pembaca suhu di ruangan *microwave/cavity*. Pembacaan ini dilakukan untuk mengontrol suhu di dalam *cavity* agar tidak lebih dari 200°C. Hal itu dilakukan supaya *microwave* yang digunakan tidak rusak. Di sisi lain, penggunaan *thermometer controller* model omron digunakan untuk mengatur suhu di dalam reaktor sesuai dengan variabel penelitian.

h. Reaktor

Reaktor adalah tempat untuk meletakkan sampel dalam proses pirolisis. Reaktor dalam penelitian ini menggunakan reaktor dari tanah liat yang diproduksi dari Jogja dengan diameter 12,3 cm dan tinggi 13,3 cm.



Gambar 3.10 Reaktor proses pirolisis

i. Kipas angin

Kipas angin adalah alat yang sering digunakan untuk mendinginkan ruangan, *exhaust fan*, penyegar udara, dan lain-lain. Kipas angin digunakan untuk membantu mendinginkan *microwave* supaya tidak terjadi *over heat*.



Gambar 3.11 Kipas angin

j. Regulator

Regulator adalah alat untuk menyalurkan fluida dengan mengatur tekanan fluida yang mengalir. Regulator dalam penelitian ini menggunakan regulator merk morris yang dilengkapi dengan *pressure gauge*. *Pressure gauge* digunakan untuk mengatur tekanan gas yang keluar dan mengetahui tekanan yang ada dalam tabung gas



Gambar 3.12 Regulator gas nitrogen

k. *Flowmeter*

Aliran gas yang masuk ke dalam reaktor diatur melalui regulator dan *flowmeter*. *Flowmeter* dalam penelitian ini digunakan sebagai pengatur aliran gas nitrogen berdasarkan tingkat aliran volumetrik. pengaturan aliran menggunakan *flowmeter* ini 0,2 NL/menit.



Gambar 3.13 *Flowmeter* gas

l. Tanki

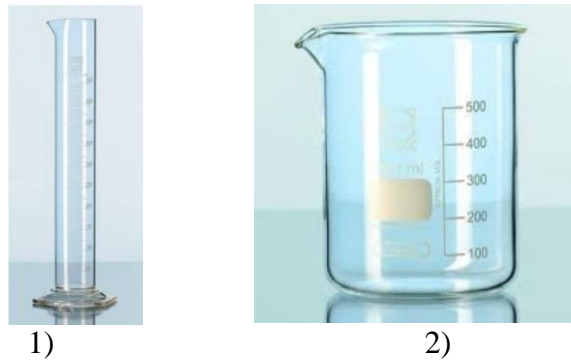
Tanki digunakan sebagai penampung bahan baku yang akan dimasukkan ke dalam reaktor.

m. Selang *silicon*

Selang *silicon* digunakan sebagai selang penyalur dari tempat penampungan minyak ke dalam reaktor. Selang *silicon* juga dilengkapi satu *valve*/katup yang masing-masing digunakan sebagai pengatur aliran yang masuk ke dalam reaktor dan penutup dan pembuka aliran.

n. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume cairan. Volume cairan diukur dengan penanda garis pada gelas ukur. Penelitian ini menggunakan gelas ukur dengan penanda volume 500 ml dengan ketelitian rendah dan 150 ml dengan ketelitian tinggi.



Gambar 3.14 1) Gelas ukur bio-oil, 2) gelas ukur minyak

o. Pompa

Pompa pada penelitian ini digunakan untuk memompa air pendingin dari *icebox* menuju kondenser. *Head* maksimal pompa yang digunakan adalah 1,5 m dengan laju air maksimal sebesar 900 L/Jam dengan *voltage* 220-240 V dan *power* sebesar 20 W.



Gambar 3.15 Pompa pendingin

p. Pompa peristaltik

Pompa Peristaltik pada penelitian ini digunakan untuk memompa minyak dari tanki menuju reaktor melewati pipa kuningan. Pompa yang digunakan merupakan pompa peristatik merk grothen dengan *voltage* 12 V dan *power* 7,5.



Gambar 3.16 Pompa peristaltik

q. Alat pendukung



1)



2)



3)



4)



5)



6)



7)



8)



9)



10)

Gambar 3.17 Alat pendukung: 1) Selang pendingin kondenser, 2) selang gas nitrogen, 3) selang *oil pot*, 4) *water box*, 5) botol bio-oil, 6) corong, 7) sikat, 8) solatip, 9) sarung tangan, 10) *valve*

3.3.2 Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan yang diantaranya sebagai berikut:

a. Minyak Jelantah

Jenis minyak jelantah yang akan digunakan adalah minyak goreng curah kelapa sawit yang telah digunakan. Minyak jelantah didapatkan dari warung bebek goreng di Kecamatan Argomulyo, Kota Salatiga.

b. Gas Nitrogen

Penggunaan gas nitrogen digunakan untuk mendorong oksigen keluar dari dalam reaktor dan memastikan proses pirolisis yang terjadi. Gas nitrogen didapatkan dari PT. Surya Gas Semarang dengan kadar kemurnian atau *purity grade* 99,99%.

c. Air

Air digunakan sebagai media pendingin uap hasil pirolisis melalui kondensor.

d. Isopropanol

Isopropanol atau yang dikenal dengan isopropil alkohol merupakan senyawa kimia yang memiliki rumus molekul C_3H_8O atau C_3H_7OH . Isopropanol merupakan senyawa yang tidak berwarna, mudah terbakar dengan bau yang menyengat. 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 3.18 Isopropanol

e. Karbon Aktif

Karbon aktif dalam penelitian ini berbentuk arang yang telah dilakukan aktivasi. Karbon aktif digunakan untuk mempercepat pemanasan pada reaktor saat proses

pirolisis. Karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif granular yang dibeli dari toko kimia Indrasari Semarang.

3.4 Parameter penelitian

Berdasarkan desain penelitian, parameter yang akan digunakan yaitu :

- a. Menggunakan bahan baku minyak jelantah
- b. Proses pirolisis menggunakan *microwave* dengan daya 900 Watt.
- c. Sistem penyinaran gelombang mikro dikendalikan menggunakan kontrol suhu 450°C.
- d. Tekanan gas nitrogen sebesar 120 bar.
- e. Aliran gas nitrogen ke reaktor pada *flowmeter* sebesar 0,2 mL/menit.
- f. *Absorber* menggunakan karbon aktif sebesar 450 gr.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

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

- a. Proses Pirolisis

Sampel yang akan digunakan dalam proses pirolisis berupa minyak jelantah tanpa melakukan *pre-treatment* sebelum digunakan. proses *pre-treatment* yang dilakukan pada bahan baku karbon aktif yang akan digunakan. Fungsi perlakuan awal pada karbon aktif tersebut untuk menghilangkan kandungan air yang terkandung didalamnya. Proses *pre-treatment* dilakukan pada suhu 450°C, adapun proses *pre-treatment* dilakukan:

- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan;
- 2) Memasukkan 450 g karbon aktif ke dalam reaktor;
- 3) Menutup reaktor dengan penutup kemudian memasukkannya ke dalam *microwave oven*;
- 4) Menghubungkan tutup reaktor dengan saluran pipa gas;
- 5) Mengatur *thermometer controller* pada suhu 450°C;
- 6) Menghidupkan *microwave oven* dan mengaturnya pada daya 900 W;
- 7) Proses pemanasan mencapai 450°C dibutuhkan waktu kurang lebih 15 menit, kemudian karbon aktif dibiarkan selama 30 menit;
- 8) Melakukan *pre-treatment* karbon aktif sesuai dengan langkah 1-7.

Setelah tahap perlakuan awal pada sampel dan karbon aktif selesai, dilanjutkan dengan pengujian dengan variasi yang telah dijelaskan pada desain penelitian.

Prosedur proses pengujian sampel :

- 1) Menyiapkan alat dan bahan;
- 2) Menimbang 450 g karbon aktif dan memasukkannya ke dalam reaktor;
- 3) Memasukkan reaktor ke dalam *microwave oven* dan memasang sambungan keluar;
- 4) Melapisi *thermometer* dengan solatip dan meletakkan masing-masing *thermometer* pada reaktor dan *microwave oven*;
- 5) Memasang saluran pipa gas nitrogen dan kondenser pada pipa besi;
- 6) Memasang selang pendingin kondenser dan menghubungkan selang antara kondenser dan *oil pot*;

- 7) Memasukkan air pada *water box* dan memasang selang bening pada pompa pendingin;
- 8) Mengatur *thermometer controller* pada suhu 450°C, dan menghidupkan *microwave oven* pada daya 900 W;
- 9) Menghidupkan pompa pendingin dan kipas angin, mengatur *thermometer controller* di pipa kuningan pada suhu 170°C
- 10) Setelah suhu mencapai 450°C, minyak jelantah dimasukkan ke dalam reaktor dengan variasi debit 4, 5, 7, 8 mL/menit dan mengalirkan gas nitrogen ke dalam reaktor dengan debit 0,2 NL/menit selama 1 jam;
- 11) Menghentikan aliran debit bila suhu didalam reaktor turun kurang dari 430°C;
- 12) Menghentikan aliran nitrogen serta mematikan *microwave oven*;
- 13) Mematikan pompa pendingin dan mengeluarkan reaktor menggunakan sarung tangan ketika suhu di dalam reaktor 50°C;
- 14) Mematikan kipas angin, dan *thermometer controller*;
- 15) Melepas *oil pot* dan mengukur volume *bio-oil* yang didapat menggunakan gelas ukur;
- 16) Membersihkan peralatan yang digunakan pada proses pirolisis menggunakan sikat dan isopropanol;
- 17) Mengulangi langkah 1-19 dengan mengubah pengaturan debit di *valve* selang *silicon* pada suhu 450°C;

18) Melakukan pirolisis menggunakan minyak jelantah dengan mengikuti langkah 1-18;

19) Mengulangi langkah pada variasi debit sebanyak empat kali.

Setelah mendapatkan massa produk hasil pirolisis, data yang dihasilkan dimasukkan ke dalam tabel instrumen seperti terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Instrumen perolehan pirolisis menggunakan gelombang mikro

Q (mL/mt)	Yield rata-rata (mL)	
	Minyak Jelantah (mL)	Bio-oil (mL)

b. Karakterisasi *bio-oil*

Bio-oil produk pirolisis kemudian dilakukan karakterisasi. Selain menguji *bio-oil* yang didapatkan, sampel yang digunakan dilakukan pengujian untuk mengetahui komposisi kimia penyusunnya. Metode karakterisasi *bio-oil* dan bahan baku ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Analisis Karakteristik

Metode	Sifat-sifat	Sampel	
		Bahan baku	Bio-oil
Piknometer	Mengetahui densitas	-	√

Metode	Sifat-sifat	Sampel	
		Bahan baku	Bio-oil
pH meter	Mengetahui tingkat keasaman (pH)	-	√
<i>Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry</i> (GC-MS)	Menentukan komposisi kimia	-	√

Prosedur pengujian analisis karakteristik sebagai berikut,

1) Pengujian densitas

- a) Menyiapkan alat dan bahan meliputi timbangan digital, gelas ukur, pipet, isopropanol serta *bio-oil*;
- b) Hidupkan timbangan digital kemudian timbang gelas ukur;
- c) Menghitung berat gelas ukur menggunakan timbangan digital;
- d) Menuangkan *bio-oil* ke dalam gelas ukur menggunakan pipet hingga 1 mL;
- e) Mencatat hasilnya kemudian hitung massa jenisnya menggunakan persamaan 2.2;
- f) Mencatat perolehan perhitungan, kemudian lakukan langkah di atas sebanyak tiga kali. Dalam penggantian produk cairan, gelas ukur perlu dibersihkan menggunakan isopropanol agar hasilnya sesuai.
- g) Membersihkan semua alat yang digunakan.

2) Pengujian tingkat keasaman (pH)

- a) Kalibrasi pH meter menggunakan larutan aquades dan larutan bufer dengan pH 4,7, dan 9 dengan cara mencelupkan elektroda berkali-kali;
- b) Siapkan alat dan bahan meliputi pH meter, larutan aquades serta bio-oil;
- c) Nyalakan pH meter, kemudian celupkan ujung sensor pH ke bio-oil. Setelah layar pH meter menunjukkan hasil pengukurannya kemudian mencatat hasil tersebut;
- d) Setiap pergantian sampel perlu dibersihkan menggunakan larutan aquades dan menggunakan tisu agar hasilnya valid.
- e) Bersihkan alat yang digunakan menggunakan aquades.

3) Pengujian komposisi kimia

- a) *Setting* alat GC-MS dengan kondisi:

Suhu oven diatur antara 60-300°C.

Kenaikan suhu 5°C/menit ke 280°C, tahan tiap 5 menit.

Laju alir gas helium 0,80 mL/menit.

Suhu *detector* 250°C.

Suhu *interface* 300°C.

Suhu *injector* 310°C.

Start time 4 menit.

End time 54 menit.

- b) Masukkan sampel ke dalam vial kurang lebih sebanyak satu mikroliter.
- c) Tentukan nomer vial yang telah berisi sampel.

- d) Atur volume injeksi pada program GC-MS.
- e) Atur file penyimpanan.
- f) Mulai pengujian dengan menekan menu start (*download*) pada program GC-MS.
- g) Indikator akan menampilkan hasil analisis yang kemudian disimpan dan dicetak.

Data yang didapatkan dari pengujian bio-oil dimasukkan ke dalam tabel instrumen yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil pengujian karakteristik *bio-oil*

Bahan baku Bio-oil	
Karakteristik	Metode Standar
Minyak Jelantah	
Densitas (kg/m ³)	ASTM D3505
pH	pH Meter

c. Metode Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan untuk mencatat atau merekam peristiwa atau kejadian selama proses penelitian untuk mengetahui data yang diperlukan pada proses analisis data. Dokumentasi yang dilakukan dapat berupa tulisan, gambar, video, ataupun sesuatu yang bersifat nyata. Sedangkan metode yang digunakan dapat berupa tulisan, gambar, dan video.

3.6 Kalibrasi Instrumen

Kalibrasi adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukan alat dan bahan ukur dengan cara membandingkannya terhadap standart ukurannya yang mampu telusur ke standart nasional atau Internasional, (definisi : ISO/IEC Guide 17025:2005). Kalibrasi pada alat penelitian bermaksud untuk mengetahui apakah terdapat penyimpangan alat ukur dan tingkat akurasi alat ukur yang akan digunakan. Selain itu, kalibrasi dilakukan sebagai syarat sistem mutu atau standar tertentu. Beberapa alat yang dilakukan kalibrasi diantaranya,

a. *Flowmeter*

Flowmeter yang digunakan adalah rotameter dengan pengaturan aliran yang dapat dirubah berkisar dari 0,1 sampai 0,8 L/menit. *Flowmeter* dilakukan kalibrasi di laboratorium Pusat Antar Universitas (PAU) Teknik Mesin Universitas Gajah Mada.



Gambar 3.19 Alat uji kalibrasi *flowmeter*

b. *Thermocouple*

Thermocouple dikalibrasi dengan cara membandingkan dengan termometer yang sudah dikalibrasi. Mula-mula *thermocouple* dan termometer dimasukkan ke dalam air untuk mengukur suhu, kemudian suhu yang terekam pada *thermocouple* dibandingkan dengan suhu yang terekam pada termometer. Perbandingan suhu yang digunakan untuk mengkalibrasi *Thermometer* berkisar antara suhu 0°C sampai 100°C.



Gambar 3.20 Alat uji kalibrasi *thermocouple*

c. *Microwave*

Pertama atur suhu *microwave* pada suhu 100 °C selama 10 menit, kemudian diukur menggunakan *thermocouple* atau inframerah catat suhu dari pengukuran tersebut. Ulangi dengan mengatur suhu *microwave* pada 200 °C, kemudian ukur kembali menggunakan *thermocouple* atau inframerah. Kalibrasi dilakukan secara berulang hingga mencapai suhu 80% dari kemampuan *microwave* lalu matikan.

d. Pompa Peristaltik

Pertama memasukan sampel minyak jelantah pada wadah yang telah dihubungkan dengan pompa peristaltik, kemudian pompa peristaltik dihubungkan dengan trafo *step down* sebagai sumber tegangan, tegangan di cek menggunakan multimeter (Voltmeter) untuk mengetahui berapa nilai voltnya. Minyak yang keluar dari wadah kemudian diukur menggunakan gelas ukur dengan ketelitian tinggi selama satu menit. Dari hasil kalibrasi didapatkan pada tegangan 2.2 Volt laju aliran bahan sebesar 4 mL/mt. Pada tegangan 2.8 Volt didapatkan laju sebesar 8,8 untuk mengatasi hal ini maka digunakan valve sebagai pengatur laju aliran agar mencapai debit 5 mL/mt, 7mL/mt, dan 8mL/mt.

3.7 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan adalah teknik analisis data statistik deskriptif yang merupakan bagian dari statistik yang mempelajari cara pengumpulan dan penyajian data sehingga mudah dipahami. Teknik analisis statistik deskriptif hanya berhubungan dengan menguraikan atau memberikan keterangan mengenai suatu data atau suatu keadaan. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini adalah produk pirolisis berupa *bio-oil*. Massa produk pirolisis yang didapatkan dihitung persentase berat produk. Persamaan yang digunakan untuk mencari persentase berat sebagai berikut:

$$\% \text{ Bio-oil} = \frac{\text{biooil}}{\text{total bahan}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Data persentase berat yang didapat kemudian dijadikan dalam bentuk tabel yang ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tahap terakhir adalah tahap pembahasan. Pembahasan merupakan pengungkapan berbagai penyelesaian dari masalah yang telah ditetapkan sebelumnya. Pembahasan berisi pemberian jawaban terhadap masalah dan mengarahkannya ke kesimpulan terhadap hipotesa yang diberikan.

Tabel 3.4 Persentase produk *bio-oil* pirolisis

<i>Yield rata-rata (mL)</i>		
Q (mL/mt)	Minyak Jelantah (mL)	Bio-oil (mL)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan tentang proses pirolisis dari bahan baku minyak jelantah, *pre-treatment*, perolehan *yield*, dan karakterisasi bio-oil. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis produk pirolisis yang dihasilkan menggunakan variasi debit minyak jelantah. Proses pirolisis dilakukan menggunakan variasi debit sebesar 4 mL/mt, 5 mL/mt, 7 mL/mt, dan 8 mL/mt. Metode pemanasan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan iradiasi gelombang mikro.

4.1 Deskripsi Data

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah proses *pre-treatment* pada bahan baku sebelum dilakukan proses pirolisis. Proses *pre-treatment* dilakukan dalam dua tahap, yaitu proses penyaringan dan pemanasan. Tahap pertama adalah proses penyaringan bahan baku menggunakan saringan teh untuk menghilangkan kotoran. Tahap kedua yaitu proses pemanasan dimana bahan baku dipanaskan mencapai suhu 100 °C untuk menghilangkan kandungan air yang ada didalamnya.

Setelah proses *pre-treatment* bahan baku selesai, tahapan selanjutnya, yaitu pemasangan *thermal reactor* untuk proses pirolisis. Setelah pemasangan *thermal reactor* selesai bahan baku akan dilakukan proses pirolisis untuk mendapatkan bio-oil. Metode pemanasan yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan iradiasi gelombang mikro. Produk bio-oil yang dihasilkan selanjutnya dilakukan proses karakterisasi. Sampel bahan baku minyak jelantah ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Sampel bahan baku minyak jelantah

4.1.1 Data Pengaruh Debit Terhadap Perolehan *Yield*

Variasi debit merupakan faktor yang mempengaruhi produk pirolisis yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan satu variasi dalam variabel bebasnya, yaitu variasi debit. Besarnya produk pirolisis (*yield*) dalam penelitian ini menunjukkan jumlah produk cairan (bio-oil). Berdasarkan produk proses pirolisis minyak jelantah menggunakan gelombang mikro, diperoleh data *yield* yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Perolehan *yield* pada yang ditampilkan pada Tabel 4.1, kemudian dikonversi berdasarkan persentase beratnya menggunakan persamaan 3.1. Besarnya persentase berat produk pirolisis ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Perolehan *Yield bio-oil* minyak jelantah.

<i>Yield rata-rata (mL)</i>		
Q (mL/mt)	Minyak Jelantah (mL)	Bio-oil (mL)
4	450	90
5	580	130
7	760	240
8	590	190

Tabel 4.2 Konversi Perolehan *Yield bio-oil*

<i>Yield rata-rata (wt-%)</i>		
Q (mL/mt)	Minyak Jelantah (mL)	Bio-oil (mL)
4	450	20%
5	580	22%
7	760	33%
8	590	32%

Dari Tabel 4.1 dapat disimpulkan, bahwa Perolehan bio-oil produk pirolisis berbahan baku minyak jelantah meningkat seiring dengan naiknya debit yang digunakan. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh bio-oil tertinggi pada debit 7 mL/m dengan persentase bio-oil yang didapatkan sebesar 32 %. Disisi lain, meningkatnya debit yang digunakan pada proses pirolisis menyebabkan temperatur

pada proses pirolisis menurun secara drastis. Semakin besar debit yang digunakan semakin cepat pula temperatur proses mengalami penurunan.

4.1.2 Data Karakterisasi Bio-oil

Produk utama yang dihasilkan dari penelitian ini berupa bio-oil. Bio-oil hasil pirolisis akan dilakukan pengujian untuk mengetahui kualitas bio-oil yang didapatkan sebelum dijadikan sebagai bahan bakar. Berikut ini merupakan proses karakteristik baik secara fisik atau kimia terhadap bio-oil dari bahan baku minyak jelantah.

4.1.2.1 Massa Jenis (Densitas)

Karakterisasi yang pertama dilakukan yaitu mengukur massa jenis (densitas). Massa jenis atau kerapatan suatu zat adalah perbandingan antara massa zat dengan volumenya. Hasil pengukuran densitas pada bio-oil dari bahan baku minyak jelantah dengan menggunakan variasi debit ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran massa jenis bio-oil

Q (mL/mt)	Massa Jenis Bio-oil (kg/m³)
4	810
5	806
7	820
8	801

Tabel di atas menunjukkan hasil pengukuran massa jenis bio-oil minyak jelantah dengan variasi debit. Massa jenis bio-oil menunjukkan nilai yang hampir sama dengan rata-rata sebesar 800 kg/m³. Hal ini dikarenakan bio-oil diperoleh dari bahan baku

yang sama, dimana zat yang sama meskipun wujudnya berbeda maka massa jenisnya akan tetap sama, sebaliknya bila zatnya berbeda maka massa jenisnya juga berbeda. Nilai tertinggi didapatkan pada debit 7mL/m dengan hasil sebesar 820 kg/m³. Sedangkan hasil terendah terjadi pada debit 8 mL/m dengan hasil sebesar 801 kg/m³.

4.1.2.2 Nilai Derajat Keasaman/pH

Karakterisasi yang kedua yaitu mengukur nilai pH atau derajat keasaman. Dalam penelitian ini proses pengukuran nilai pH menggunakan alat pH meter. Pengukuran nilai pH merupakan metode yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Nilai pH bio-oil dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengukuran pH bio-oil

Q (mL/mt)	Nilai pH Bio-oil
4	3,8
5	3,4
7	3,7
8	3,6

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa nilai pH bio-oil dari bahan baku minyak jelantah memiliki nilai yang hampir sama semua, meskipun menggunakan variasi debit yang berbeda. Bio-oil dari bahan baku minyak jelantah memiliki sifat asam karena nilai pH dari bio oil minyak jelantah memiliki rata-rata nilai sebesar 3. Nilai pH terendah pada bio-oil dari bahan baku minyak jelantah terdapat pada variasi debit

5mL/m dengan nilai sebesar 3,4. Sedangkan nilai pH tertinggi terdapat pada variasi 4 mL/m yaitu sebesar 3,8.

4.1.2.3 Komposisi Kimia

Proses karakterisasi yang ketiga yaitu komposisi kimia bio-oil. Analisis dilakukan pada bio-oil yang diperoleh dari proses pirolisis untuk mengetahui komponen senyawa kimia penyusunnya. Hasil analisis GC-MS bio-oil minyak jelantah ditunjukkan pada Tabel 4.5-4.8.

Tabel 4.5 Analisis kromatogram bio-oil minyak jelantah debit 4 mL/mt

No	Komposisi	Rumus Molekul	% Area
1	1-Hexene	C ₆ H ₁₂	3.59
2	1-Heptene	C ₇ H ₁₄	6.23
3	Benzene, methyl-, 1,3,5-Cycloheptatriene	C ₇ H ₈	1.08
4	1-Octene	C ₈ H ₁₆	2.44
5	Octane	C ₈ H ₁₈	2.69
6	Benzene, ethyl-, Methyllaurate	C ₈ H ₁₀	0.48
7	1-Nonene	C ₉ H ₁₈	2.20
8	Nonane	C ₉ H ₂₀	2.16
9	Benzene, 1,2-dimethyl-, 1,3-Cyclopentadiene, 5-(1-methylethylidene)-, Benzene, 1,4-dimethyl-	C ₈ H ₁₀	0.44
10	1-Decene	C ₁₀ H ₂₀	2.15
11	Decane, Dodecane	C ₁₀ H ₂₂	1.14
12	Heptanoic acid	C ₇ H ₁₄ O ₂	0.92
13	1-Undecene, 1-heptyl-2-methylcyclopropane, octylcyclopropane	C ₁₁ H ₂₂	2.45
14	Tridecane	C ₁₃ H ₂₈	1.26
15	4-Undecene, Cyclopropane 1-pentyl-2-propylcyclopropane, 2-Undecene	C ₁₁ H ₂₂	1.82
16	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-, 2-Undecene, Cyclopropane, octyl, 2-Undecene, (E)-	C ₁₁ H ₂₂	1.00
17	1,4-Undecadiene, 5,6-Undecadiene	C ₁₁ H ₂₀	0.59
18	Cyclopropane, nonyl, 1-Dodecene	C ₁₂ H ₂₄	1.25

19	Dodecane	C ₁₂ H ₂₆	0.75
20	5-Tetradecyne, Z3-DODECENYLACETATE	C ₁₄ H ₂₆	0.46
21	3-Tetradecene, (Z)	C ₁₄ H ₂₈	2.18
22	Tridecane	C ₁₃ H ₂₈	2.71
23	Decanoic acid	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	0.78
24	1-Tridecene	C ₁₃ H ₂₆	3.61
25	Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	1.82
26	Methylenecyclooctane, Pentalene, octahydro-2-methyl	C ₉ H ₁₆	0.81
27	7-Tetradecene, (E)-, 6-TETRADECENE	C ₁₄ H ₂₈	0.70
28	1-Hexadecene	C ₁₆ H ₃₂	3.42
29	Heptadecane	C ₁₇ H ₃₆	10.61
30	Cyclohexane, decyl, Cyclohexane, (4-methylpentyl), Cyclohexane, hexyl	C ₁₆ H ₃₂	0.57
31	9-Octadecyne 5-Octadecyne	C ₁₈ H ₃₄	1.40
32	1-Hexadecene, Hexadecene	C ₁₆ H ₃₂	1.12
33	Heptadecane	C ₁₇ H ₃₆	0.43
34	9-octadecene, (E)-, 3-octadecene, (E)-	C ₁₈ H ₃₆	2.30
35	9-octadecene, 3-octadecene, (E)-	C ₁₈ H ₃₆	1.37
36	Octadecane	C ₁₈ H ₃₈	1.13
37	2-Heptadecanone	C ₁₇ H ₃₄ O	2.70
38	Octadecanoic acid, 2-propenyl ester	C ₂₁ H ₄₀ O ₂	1.39
39	1-Docosanol	C ₂₂ H ₄₆ O	1.65
40	cis-9, 10-Epoxyoctadecan-1-01	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	0.50
41	2-Nonadecanone	C ₁₉ H ₃₈ O	0.65
42	1-TRICOSENE	C ₂₃ H ₄₆	0.64
43	1-Tricosanol	C ₂₃ H ₄₈ O	0.91
44	9-Tricosene, (Z)-	C ₂₃ H ₄₆	3.47
45	1-Octadecanol	C ₁₈ H ₃₈ O	3.25
46	9-octadecen-1-01	C ₁₈ H ₃₆ O	1.75
47	9-octadecen-1-01	C ₁₈ H ₃₆ O	2.97
48	1-TRICOSENE	C ₂₃ H ₄₆	1.40
49	12-Tricosanone	C ₂₃ H ₄₆ O	0.74

Tabel 4.6 Analisis kromatogram bio-oil minyak jelantah debit 5 mL/mt

No	Komposisi	Rumus Molekul	% Area
1	1-Hexene	C ₆ H ₁₂	0.71
2	1-Heptene	C ₇ H ₁₄	3.16
3	1,3,5-Cycloheptatriene, Benzene, methyl-,	C ₇ H ₈	1.69

	Bicyclo[2.2.1]hepta-2,5-diene		
4	1-Octene	C ₈ H ₁₆	3.38
5	Octane	C ₈ H ₁₈	1.80
6	Benzene, ethyl-, Benzene, 1,2-dimethyl-, Benzene, 1,3-dimethyl-	C ₈ H ₁₀	0.61
7	Benzene, 1,2-dimethyl, Benzene, 1,4-dimethyl, 1,3-Cyclopentadiene, 5-(1-methylethylidene)-	C ₈ H ₁₀	0.69
8	1-Nonene	C ₉ H ₁₈	3.62
9	Nonane	C ₉ H ₂₀	1.56
10	Benzene, 1,2-dimethyl, Benzene, 1,4-dimethyl, 1,3-Cyclopentadiene, 5-(1-methylethylidene)-	C ₈ H ₁₀	0.66
11	Cyclooctene, bicyclo(4,2,0 ¹ ,6)octane, Bicyclo[5.1.0]octane	C ₈ H ₁₄	0.71
12	1-Decene	C ₁₀ H ₂₀	3.91
13	Decane	C ₁₀ H ₂₂	0.76
14	Heptanoic acid	C ₇ H ₁₄ O ₂	0.89
15	10-Undecen-1-ol	C ₁₁ H ₂₂ O	0.50
16	1-Dodecene, Cyclopropane, nonyl-	C ₁₂ H ₂₄	4.88
17	Dodecane	C ₁₂ H ₂₆	1.45
18	4-Undecene, (E)-, Cyclopropane, 1-pentyl-2- propyl-, Cyclopropane, octyl-	C ₁₁ H ₂₂	1.32
19	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-, 2-Undecene, (Z)-, Cyclopropane, octyl-, 2-Undecene, (E)-	C ₁₁ H ₂₂	0.70
20	1-Dodecene, Cyclopropane, nonyl-, 2-Dodecene	C ₁₂ H ₂₄	3.81
21	Dodecane	C ₁₂ H ₂₆	1.09
22	1-Tridecene	C ₁₃ H ₂₆	3.67
23	Tridecane	C ₁₃ H ₂₈	2.40
24	1-Tetradecene, 3-Tetradecene, (Z)-	C ₁₄ H ₂₈	6.07
25	Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	1.77
26	7-Hexadecyne, 5-Hexadecyne	C ₁₆ H ₃₀	0.65
27	7-Heptadecene, 1-chloro-	C ₁₇ H ₃₃ Cl	0.75
28	3-Hexadecene, 1-Hexadecene	C ₁₆ H ₃₂	4.68
29	Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	8.66
30	Cyclohexane, undecyl-	C ₁₇ H ₃₄	0.65
31	5-Octadecyne, 9-Octadecyne	C ₁₈ H ₃₄	1.69
32	3-Octadecene, (E)-	C ₁₈ H ₃₆	2.13
33	Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	0.50
34	Cyclododecene, (Z)-, Cyclododecene, (E)-, 1,11-Dodecadiene	C ₁₂ H ₂₂	0.49
35	Heptadec-8-ene	C ₁₇ H ₃₄	2.55
36	9-Octadecene, (E), 3-Octadecene, (E)-	C ₁₈ H ₃₆	1.76

37	9-Octadecene, (E), 3-Octadecene, (E)-	C ₁₈ H ₃₆	1.21
38	Octadecane	C ₁₈ H ₃₈	1.80
39	2-Heptadecanone, 2-HEXADECANONE	C ₁₇ H ₃₄ O	4.18
40	3-Octadecanone, ETHYLPENTADECYLKETONE, OCTADECAN-4-ONE	C ₁₈ H ₃₆ O	0.59
41	Octadecanoic acid, 2-propenyl ester	C ₂₁ H ₄₀ O ₂	1.09
42	2L,4D-DIHYDROXYEICOSANE, 1-Eicosanol, 2L,4L-DIHYDROXYEICOSANE	C ₂₀ H ₄₂ O ₂	1.10
43	2-Heptadecanone	C ₁₇ H ₃₄ O	0.53
44	2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl-	C ₁₈ H ₃₆ O	0.58
45	1-Eicosanol	C ₂₀ H ₄₂ O	1.58
46	9-Tricosene, (Z)-, 1-TRICOSENE	C ₂₃ H ₄₆	1.62
47	9-Octadecen-1-ol, (Z)-	C ₁₈ H ₃₆ O	0.63
48	9-Octadecen-1-ol, (Z)-, Oxirane, hexadecyl-	C ₁₈ H ₃₆ O	1.04
49	2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl-	C ₁₈ H ₃₆ O	0.76

Tabel 4.7 Analisis kromatogram bio-oil minyak jelantah debit 7 mL/mt

No	Komposisi	Rumus Molekul	% Area
1	Benzene, methyl-, 1,3,5-Cycloheptatriene	C ₇ H ₈	0.52
2	1-Octene	C ₈ H ₁₆	1.02
3	Octane	C ₈ H ₁₈	0.60
4	Benzene, 1,2-dimethyl-, Benzene, 1,4-dimethyl-, Benzene, 1,3-dimethyl-	C ₈ H ₁₀	0.54
5	1-Nonene	C ₉ H ₁₈	2.32
6	Nonane	C ₉ H ₂₀	1.03
7	Benzene, 1,2-dimethyl-, Benzene, 1,4-dimethyl-, Benzene, 1,3-dimethyl-	C ₈ H ₁₀	0.71
8	1-Decene	C ₁₀ H ₂₀	3.55
9	Decane	C ₁₀ H ₂₂	0.74
10	Benzene, 1,3,5-trimethyl-, 1-HEPTEN-5-YNE, 2-METHYL-3-METHYLENE-	C ₉ H ₁₂	0.53
11	1-PROPIN, 3-PHENYL-, 1H-Indene	C ₉ H ₈	0.73
12	Ethyl cis-4-octenoate	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.74
13	Cyclopropane, nonyl-, 1-Dodecene, (Z)-, 2-Dodecene, (Z)-	C ₁₂ H ₂₄	4.49
14	Undecane	C ₁₁ H ₂₄	1.45
15	Cyclopropane, 1-butyl-2-pentyl-, trans-, Cyclopropane, 1-hexyl-2-propyl-, cis-, 4-	C ₁₂ H ₂₄	1.15

DODECENE, CIS/TRANS			
16	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-, Cyclopropane, octyl-, 2-Undecene, (Z)-	C ₁₁ H ₂₂	0.61
17	5,7-DIMETHYLENE-BICYCLO[2.2.2]OCT-2- ENE, Cyclohexene, 3-methylene-4-(1,2- propadienyl)-, 5,8-DIMETHYLENE- BICYCLO[2.2.2]OCT-2-ENE	C ₁₀ H ₁₂	0.85
18	1-Dodecene, Cyclopropane, nonyl-	C ₁₂ H ₂₄	4.63
19	Dodecane	C ₁₂ H ₂₆	1.45
20	3-Tetradecene, (Z)-	C ₁₄ H ₂₈	3.85
21	Tetradecane	C ₁₄ H ₃₀	2.80
22	3-Hexadecene, (Z)-, 1-Hexadecene	C ₁₆ H ₃₂	7.41
23	Pentadecane	C ₁₅ H ₃₂	2.32
24	7-Hexadecyne, 5-Hexadecyne	C ₁₆ H ₃₀	0.74
25	Heptadec-8-ene	C ₁₇ H ₃₄	0.88
26	3-Hexadecene, (Z)-, 1-Hexadecene	C ₁₆ H ₃₂	6.15
27	Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	10.39
28	Cyclohexane, undecyl-	C ₁₇ H ₃₄	0.70
29	5-Octadecyne, 9-Octadecyne	C ₁₈ H ₃₄	1.90
30	7-Tetradecene, (E)-, 6-TETRADECENE, CIS	C ₁₄ H ₂₈	0.50
31	3-Octadecene, (E)-, 9-Octadecene, (E)-	C ₁₈ H ₃₆	2.63
32	Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	0.91
33	Cyclododecene, (Z)-	C ₁₂ H ₂₂	0.64
34	Heptadec-8-ene	C ₁₇ H ₃₄	3.15
35	9-Octadecene, (E)-, 3-Octadecene, (E)-	C ₁₈ H ₃₆	2.24
36	9-Eicosene, (E)- 3-Eicosene, (E)-	C ₂₀ H ₄₀	1.69
37	Eicosane	C ₂₀ H ₄₂	3.15
38	2-Heptadecanone	C ₁₇ H ₃₄ O	5.76
39	3-Octadecanone, OCTADECAN-4-ONE, ETHYLPENTADECYLKETONE	C ₁₈ H ₃₆ O	0.78
40	Octadecanoic acid, 2-propenyl ester	C ₂₁ H ₄₀ O ₂	1.20
41	2L,4D-DIHYDROXYEICOSANE, 1-Eicosanol	C ₂₀ H ₄₂ O	1.72
42	9-Octadecen-1-ol, (Z)-	C ₁₈ H ₃₆ O	0.87
43	2-Heptadecanone	C ₁₇ H ₃₄ O	1.33
44	1-Octadecene	C ₁₈ H ₃₆	1.15
45	Cyclotetracosane, CYCLODOCOSANE, ETHYL-	C ₂₄ H ₂₈	1.49
46	9-Octadecen-1-ol, (Z)-	C ₁₈ H ₃₆ O	0.49
47	1,19-EICOSADIENE	C ₂₀ H ₃₈	0.85
48	Octadecanoic acid, ethenyl ester	C ₂₀ H ₃₈ O	0.68
49	12-Tricosanone	C ₂₃ H ₄₆ O	0.67

Tabel 4.8 Analisis kromatogram bio-oil minyak jelantah debit 8 mL/mt

No	Komposisi	Rumus Molekul	% Area
1	3-(Methylthio)propionaldehyde-dimer -(B)	C ₈ H ₁₆ O ₂ S ₂	2.18
2	Sulfurous acid, bis(2-methylpropyl) ester	C ₈ H ₁₈ O ₃ S	4.03
3	2,6-DITHIAHEPTANE, 1-BUTANETHIOL, 4-(METHYLTHIO)-	C ₅ H ₁₂ S ₂	37.71
4	3-Pentanol, 3-ethyl-	C ₇ H ₁₆ O	0.66
5	Heptane, 2-(methylthio)-	C ₈ H ₁₈ S	0.39
6	1,4-Anhydro-d-mannitol, BETA.-D-LYXOFURANOSIDE, METHYL-	C ₆ H ₁₂ O ₅	6.42
7	Sulfide, sec-butyl isopropyl	C ₇ H ₁₆ S	2.55
8	Propane, 2-methyl-1-(propylthio)-	C ₇ H ₁₆ S	0.75
9	2,6-DITHIAHEPTANE	C ₅ H ₁₂ S ₂	1.00
10	Phenylmethoxyacetic acid, trimethylsilyl ester, Benzeneacetic acid, .alpha.-methoxy-, trimethylsilyl ester	C ₁₂ H ₁₈ O ₃ SI	0.82
11	ETHYL 2-(ETHYLTHIO)PROPANOATE	C ₇ H ₁₄ O ₂ S	1.30
12	Propanoic acid, 2-mercapto-, ethyl ester	C ₅ H ₁₀ O ₂ S	0.45
13	Phenylmethoxyacetic acid, trimethylsilyl ester, Benzeneacetic acid, .alpha.-methoxy-, trimethylsilyl ester	C ₁₂ H ₁₈ O ₃ SI	0.79
14	Benzeneacetic acid, .alpha.-methoxy-, trimethylsilyl ester, Phenylmethoxyacetic acid, trimethylsilyl ester	C ₁₂ H ₁₈ O ₃ SI	0.50
15	Ether, bis[2-(ethylthio)ethyl]	C ₈ H ₁₈ O S ₂	0.84
16	Phenylmethoxyacetic acid, trimethylsilyl ester, Benzeneacetic acid, .alpha.-methoxy-, trimethylsilyl ester	C ₁₂ H ₁₈ O ₃ SI	11.20
17	Propane, 1,2-bis(ethylthio)-	C ₇ H ₁₆ S ₂	2.45
18	3-ethylthiobutanoic acid, 3-(METHYLTHIO)PENTANOIC ACID	C ₆ H ₁₂ O ₂ S	0.41
19	Acetic acid, (butylthio)-, methyl ester, ETHYL 2-(ETHYLTHIO)PROPANOATE, Propionic acid, 3-(sec-butylthio)-, Acetic acid, (isobutylthio)-, methyl ester	C ₇ H ₁₄ O ₂ S	0.69
20	Propane, 1,2-bis(ethylthio)-	C ₇ H ₁₆ S ₂	2.08
21	Octadecanoic acid, ethenyl ester	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	1.22

Hasil kromatogram bio-oil minyak jelantah dari Tabel 4.5.-4.8. menunjukkan masing-masing variasi terdapat perbedaan komposisi kimia dan presentase area. Bio-oil minyak jelantah mempunyai senyawa masing-masing sebesar 49, 49, 49, dan 21 pada variasi debit 4 mL/mt, 5 mL/mt, 7 mL/mt, dan 8 mL/mt. Pada debit 4 mL/mt kandungan presentase area tertinggi adalah senyawa *Heptadecane* dengan presentase area sebesar 10,61 %. Debit 5 dan 7 mL/mt memiliki senyawa tertinggi *Hexadecane* dengan presentase area masing-masing sebesar 8,66 % dan 10,39%. Sedangkan, untuk debit 8 mL/mt presentase area tertinggi terdapat pada senyawa *2,6-DITHIAHEPTANE, 1-BUTANETHIOL*, dan *4-(METHYLTHIO)-* sebesar 37,71%.

4.2 Analisis dan Pembahasan

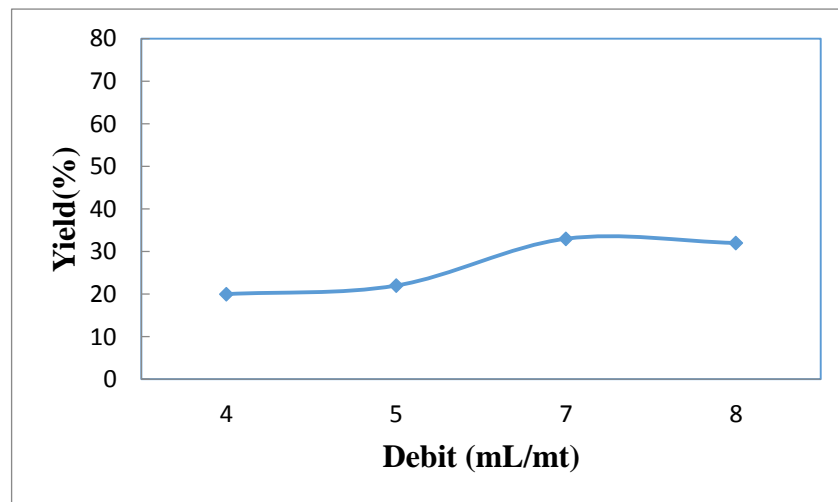
Variabel bebas dalam penelitian ini terdiri dari satu variabel, yaitu variasi debit. Variasi debit yang digunakan adalah 4 mL/mt, 5 mL/mt, 7mL/mt dan 8 mL/mt. Hasil penelitian dan analisis hasil dijelaskan dalam uraian sebagai berikut.

4.2.1 Pengaruh Variasi Debit Terhadap Perolehan Bio-oil

Data perolehan bio-oil produk pirolisis disajikan ke dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Grafik tersebut menunjukkan perolehan bio-oil dari proses pirolisis menggunakan bahan baku minyak jelantah menggunakan variasi debit. Debit merupakan parameter penting yang mempengaruhi perolehan bio-oil dari proses pirolisis yang didapatkan. Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh debit

terhadap perolehan bio-oil, dilakukan analisis pengaruh debit terhadap perolehan bio-oil dari proses pirolisis yang dilakukan.

Perolehan bio-oil produk pirolisis menggunakan bahan baku minyak jelantah meningkat seiring kenaikan debit. Perolehan tertinggi didapatkan pada debit 7 mL/mt dengan hasil sebesar 240 mL bio-oil. Berbanding terbalik dengan temperatur pada proses pirolisis, semakin tinggi debit yang digunakan menyebabkan suhu pada proses pirolisis semakin cepat turun secara drastis. Hal ini disebabkan karena laju umpan yang semakin besar menyebabkan waktu tinggal didalam reaktor semakin sedikit (Prayanto et al., 2016).



Gambar 4.2 Pengaruh debit terhadap persentase perolehan bio-oil pirolisis dari bahan baku minyak jelantah

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat disimpulkan bahwa:

- Persentase perolehan bio-oil meningkat seiring dengan kenaikan debit yang digunakan.

- b. Persentase perolehan tertinggi yang didapatkan terjadi pada debit 7 mL/mt.
- c. Perolehan bio-oil terbanyak dihasilkan pada debit 7 mL/mt sebesar 32 %.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menyatakan bahwa, Debit merupakan parameter penting dalam produksi bio-oil. Seiring dengan perubahan debit pada proses pirolisis, perolehan bio-oil yang dihasilkan pun berubah. Peningkatan debit pada proses pirolisis berbanding lurus terhadap perolehan bio-oil. Hal berbeda terjadi pada temperatur proses pirolisis yang semakin menurun dengan naiknya debit proses pirolisis.

Perubahan temperatur pada proses pirolisis terjadi seiring terjadinya kenaikan waktu tinggal selama proses pirolisis. Waktu reaksi yang semakin lama menyebabkan peningkatan suhu sehingga efek *thermal* yang diberikan semakin besar hal ini ditandai dengan adanya peningkatan suhu yang cepat. Sehingga mengalami reaksi lanjutan yang dikarenakan adanya peningkatan pada suhu dan reaktan yang telah terkonversi menjadi gliserol dan biodiesel. Jika reaksi terus dilakukan dalam waktu yang lebih lama, maka perolehan hasil konversi biodiesel akan semakin menurun seiring adanya penambahan waktu radiasi yang disebabkan proses transesterifikasi adalah reaksi dapat balik. Apabila reaksi tersebut telah mencapai titik optimumnya, maka reaksi tersebut akan bergerak kembali ke arah reaktan.

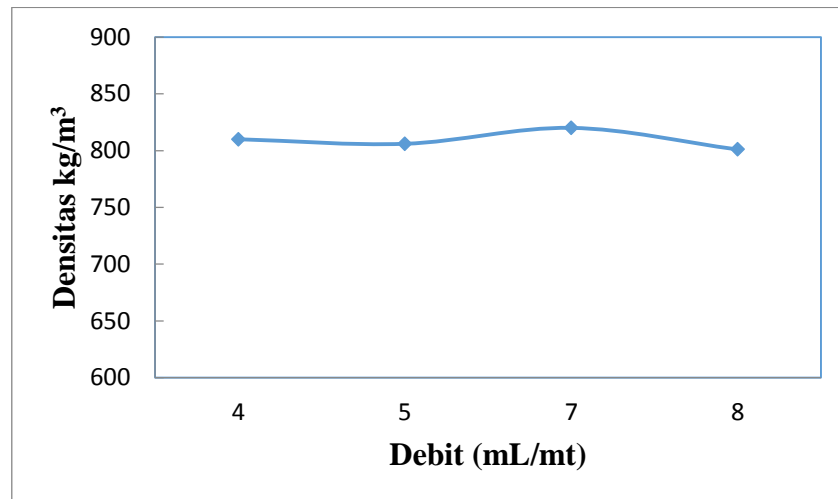


Gambar 4.3 bio-oil dari bahan baku minyak jelantah

4.2.2 Analisis Karakterisasi Bio-oil

4.2.2.1 Massa Jenis (Densitas)

Salah satu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat fisik bio-oil yaitu dengan melakukan uji densitas. Pengujian pada bio-oil dilakukan untuk mengetahui peningkatan dan penurunan senyawa pada bio-oil. Nilai densitas harus dipenuhi meskipun tidak termasuk kedalam spesifikasi produk bahan bakar. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai dan kedekatan karakteristik produk terhadap produk komersial. Hasil pengukuran densitas produk ditunjukkan pada Tabel 4.3. kemudian dikonversi menjadi sebuah Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik perhitungan densitas

Bedasarkan grafik pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa:

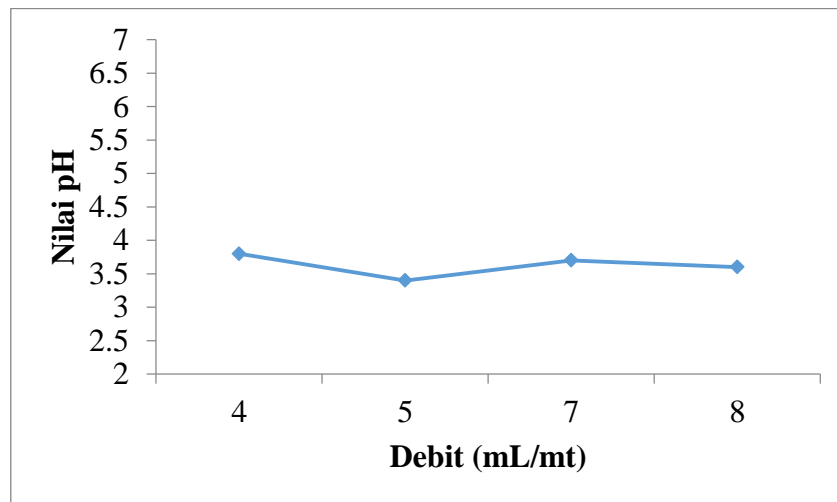
1. Hasil pengukuran densitas bio-oil dari minyak jelantah menunjukkan nilai densitas dari masing-masing variasi memiliki nilai yang hampir sama.
2. Nilai tertinggi densitas bio-oil minyak jelantah terjadi pada debit 7mL/mt, sedangkan nilai terendah terjadi pada debit 8mL/mt.

4.2.2.2 Nilai Derajat Keasaman/pH

Istilah pH atau derajat keasaman berasal “p” yang merupakan negatif logaritma dari lambag matematika, sedangkan H merupakan unsur Hidrogen dari lambang kimia. Proses pengukuran pH pada umumnya menggunakan kertas lakmus yang akan berubah warna tergantung nilai dari suatu larutan tersebut. Selain kertas lakmus mengukur pH juga bisa menggunakan pH meter dengan prinsip kerja berdasarkan elektrolit/konduktivitas suatu larutan. pH normal memiliki nilai 7. Suatu larutan

dikatakan basa apabila nilai pH larutan tersebut lebih dari 7, sedangkan bila suatu larutan memiliki nilai pH kurang dari 7 maka larutan tersebut memiliki keasaman.

Komposisi kimia pada suatu larutan akan mempengaruhi nilai pH atau derajat keasamannya. Suatu larutan yang komposisi kimianya didominasi senyawa asam maka larutan tersebut diidentifikasi sebagai larutan dengan sifat asam begitu pula sebaliknya. Nilai pH pada bio-oil dari minyak jelantah memiliki keasaman yang tinggi sehingga tidak disarankan untuk digunakan pada mesin karena dapat mengakibatkan karat pada mesin yang disebabkan kandungan asam yang sangat tinggi. Tingginya kadar keasaman pada bio-oil membuat bio-oil hanya dapat dipakai pada bahan bakar langsung seperti boiler (Wibowo dan Hendra, 2015). Oleh karena itu, bio-oil perlu adanya perlakuan lebih lanjut sehingga bisa digunakan untuk bahan bakar mesin. Nilai pH bio-oil dari variasi debit ditunjukkan pada Gambar 4.5.

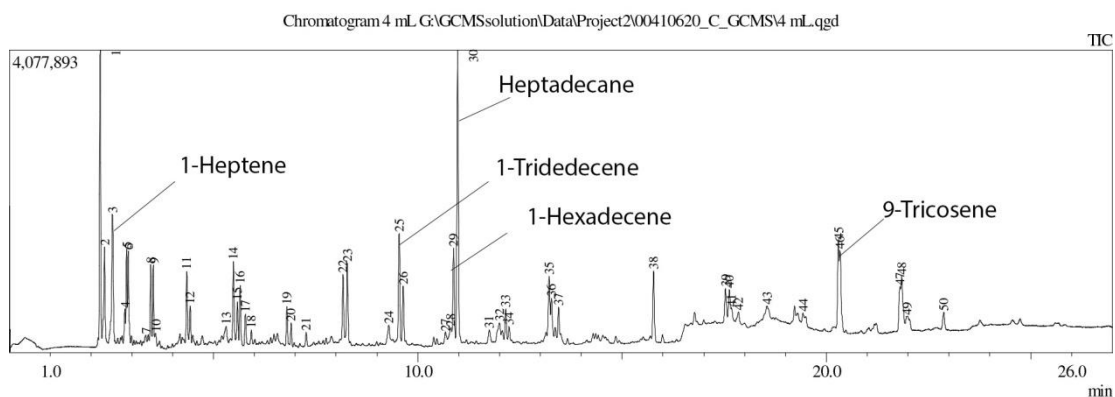


Gambar 4.5 Hasil Perhitungan pH

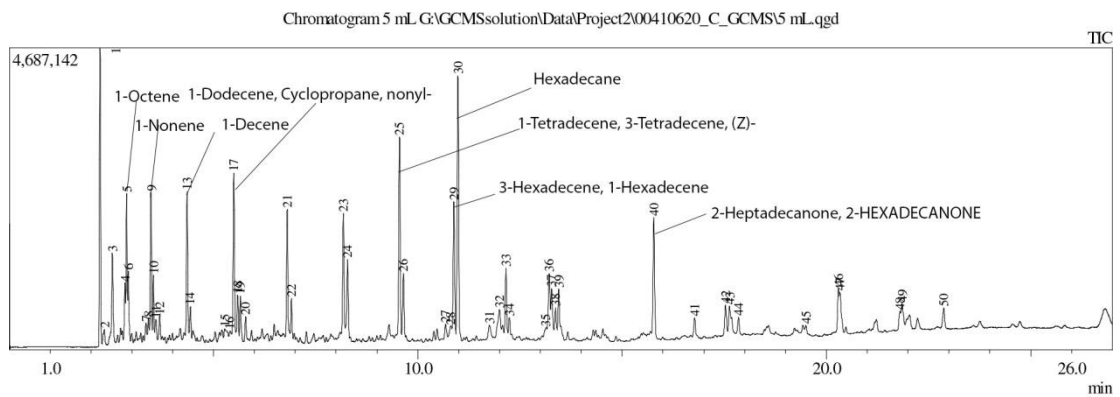
Dari Gambar 4.5 menunjukkan bahwa, hasil pengujian pH bio-oil dari bahan baku minyak jelantah memiliki nilai yang hampir sama. Seperti pada densitas hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan variasi debit pada proses pirolisis tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai pH. Nilai pH bio-oil tertinggi diperoleh pada debit 4mL/mt sebesar 3,8. Kondisi tersebut tak lepas dari proses pemecahan molekul asam lemak bahan baku menjadi senyawa lain. Kandungan asam pada pH bio-oil karena adanya senyawa *acetic acid* atau asam asetat pada hasil GC-MS.

4.2.2.3 Komposisi Kimia

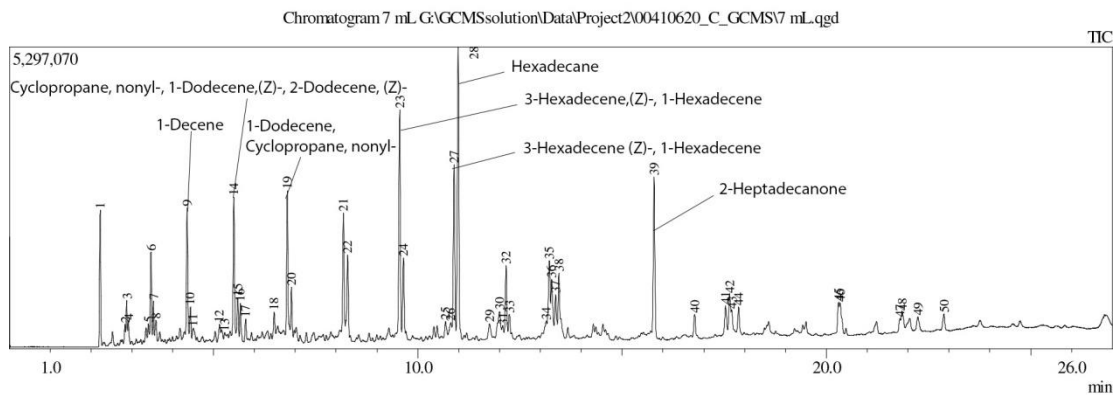
Karakterisasi yang ketiga, yaitu uji komposisi kimia pada bio-oil minyak jelantah menggunakan alat GC-MS. Alat GC-MS digunakan karena dapat memisahkan dan mengidentifikasi senyawa pada bio-oil minyak jelantah. Grafik kromatogram hasil pengujian komposisi kimia *bio-oil* minyak kelapa sawit ditunjukkan pada Gambar 4.-4.9.



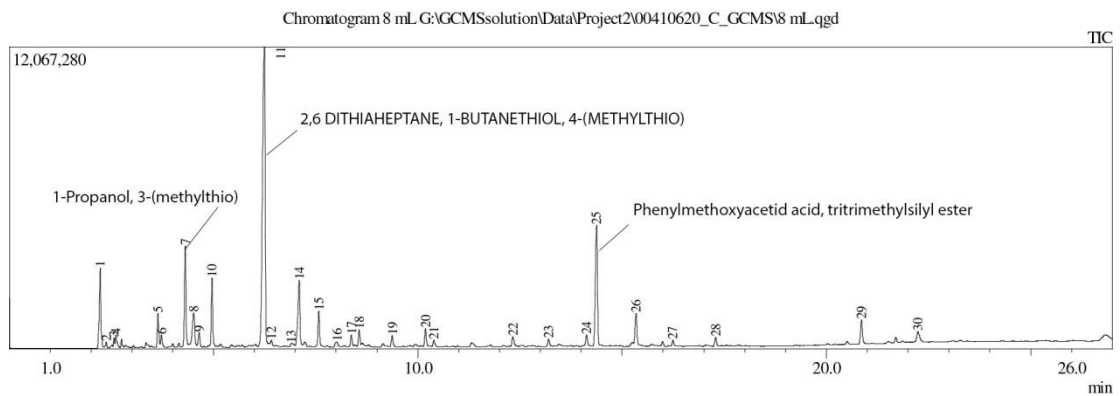
Gambar 4.6. Kromatogram bio-oil dari minyak jelantah pada debit 4mL/mt



Gambar 4.7. Kromatogram bio-oil dari minyak jelantah pada debit 5mL/mt



Gambar 4.8. Kromatogram bio-oil dari minyak jelantah pada debit 7 mL/mt



Gambar 4.9. Kromatogram bio-oil dari minyak jelantah pada debit 8 mL/mt

Hasil kromatogram sampel bio-oil minyak jelantah dari Gambar 4.6-4.9. menunjukkan bahwa berdasarkan senyawa yang terdeteksi pada bio-oil minyak jelantah, selain senyawa hidrokarbon yang umumnya terdapat dalam bahan bakar nabati, ditemukan juga senyawa lain berupa senyawa sulfur yang terdapat pada debit 8 mL/mt. Senyawa sulfur yang terdapat pada debit 8 mL/mt diduga karena adanya kontaminasi dengan bahan lain pada saat proses pirolisis. Kontaminasi diduga terjadi karena penggunaan reaktor yang berulang-ulang sehingga sisa dari proses pirolisis sebelumnya menghasilkan senyawa lain yang memengaruhi karakteristik pada debit 8 mL/mt.

Debit 4, 5, dan 7 mL/mt menunjukkan kandungan senyawa dominan yaitu ikatan C₁₅-C₁₇ dengan senyawa masing-masing debit berupa *1-Hexadecene*, *Hexadecane*. Berdasarkan jumlah atom karbonnya bio-oil ini memiliki fraksi bahan bakar Biodiesel yang berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Presentase area tertinggi untuk fraksi Biodiesel terdapat pada debit 4 mL/mt sebesar 10,61%. Sedangkan pada debit 8 mL/mt senyawa dominan yang dimiliki bio-oil ini yaitu ikatan C₅ - C₆ dengan senyawa berupa *2,6-DITHIAHEPTANE*, *1-BUTANETHIOL*, *4-(METHYLTHIO)-*. Berdasarkan jumlah atom karbon yang dimiliki bio-oil hasil debit 8 mL/mt merupakan fraksi dari *gasoline* atau bensin yang digunakan sebagai bahan bakar motor bensin. presentase area tertinggi untuk fraksi *gasoline* terjadi pada *Retention time* 6,427 sebesar 37,71%.

Senyawa pada bio-oil memiliki jumlah atom yang berbeda-beda yang dapat diklasifikasikan berdasarkan fraksinasi bahan bakar. Gasoline atau bensin merupakan

campuran hidrokarbon sebagai salah satu bahan bakar yang digunakan pada mesin motor bensin dengan kandungan penyusun berupa parafin, olefin, dan aromatik dengan titik didih dibawah 180 °C (Wiyantoko,. 2016). Fraksi *gasoline* memiliki jumlah atom karbon diantara C₆ sampai C₉. Selain *gasoline* bio-oil juga memiliki fraksi diesel dan biodiesel dengan masing-masing jumlah atom karbon berkisar C₁₀- C₁₅ dan C₁₄-C₂₄ (Lam, et al.,. 2016). Bio-oil juga memiliki kandungan fraksi *Heavy fuels* dengan atom karbon berkisar C₁₈-C₂₅. Tabel fraksinasi bio-oil ditunjukkan oleh Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Fraksinasi bio-oil

No	Jumlah Atom Karbon	Persentase Fraksi <i>Bio-oil</i> pada Debit (%)				Fraksi
		4 mL/mt	5 mL/mt	7 mL/mt	8 mL/mt	
1	C ₆ -C ₉	23,04	19,48	8,00	63,91	<i>Gasoline</i>
2	C ₁₀ -C ₁₅	22,85	30,56	29,3	13,31	Diesel
3	C ₁₄ -C ₂₄	49,53	48,57	68,4	1,22	Biodiesel
4	C ₁₈ -C ₂₅	25,52	17,58	21,51	1,22	<i>Heavy fuels</i>

Hasil fraksinasi bio-oil dari minyak jelantah yang ditunjukkan pada Tabel 4.9. menunjukkan hasil yang bervariasi pada setiap variasi debit. Pada variasi debit 4, 5, dan 7 mL/mt menunjukkan presentase area untuk fraksi diesel dan biodiesel sangat dominan. Hal tersebut menunjukkan bahwa bio-oil pada variasi debit ini dapat berpotensi sebagai bahan bakar mesin diesel. Sedangkan pada debit 8 mL/mt menunjukkan presentase area fraksi *gasoline* sangat dominan hal ini menunjukkan bahwa pada bio-oil debit 8 mL/mt berpotensi sebagai bahan bakar untuk motor bensin.

Presentase area yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 menunjukkan untuk fraksi biodiesel tertinggi didapatkan pada debit 7 mL/mt dengan presentase area sebesar 68,4 %. Pada fraksi diesel presentase area tertinggi didapatkan pada debit 5 mL/mt dengan presentase area sebesar 30,56%. Fraksi *gasoline* tertinggi didapatkan pada debit 8mL/m sebesar 63,91 %. Selain fraksi biodiesel, diesel dan *gasoline* terdapat pula fraksi *Heavy fuels* yang biasa digunakan untuk bahan bakar kapal. Presentase area tertinggi untuk fraksi *Heavy fuels* didapatkan pada debit 4 mL/mt dengan presentase area sebesar 25,52 %.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini diantaranya:

- a. Penggunaan debit pada proses pirolisis menggunakan minyak jelantah menunjukkan semakin besar debit yang digunakan maka perolehan bio-oil semakin banyak. Hasil terbaik didapatkan pada debit 7 mL/mt dengan perolehan sebesar 240 mL.
- b. Hasil pengujian pH dan densitas pada bio-oil minyak jelantah memiliki nilai yang hampir sama, sehingga penggunaan variasi debit pada proses pirolisis tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai pH dan densitas bio-oil. pH memiliki nilai yang hampir sama dengan nilai rata-rata 3, sedangkan densitas memiliki nilai rata-rata 800 kg/m³. Kandungan tertinggi fraksi diesel (C₁₀-C₁₅) pada bio-oil dari bahan baku minyak jelantah terdapat pada debit 5 mL/mt dengan presentase area sebesar 30,56 %.

5.2 Saran

- a. Semakin besar debit yang digunakan maka semakin cepat pula temperatur menurun sehingga diperlukan pemanas yang lebih besar saat proses pirolisis sehingga temperatur proses dapat selalu terjaga.

- b. Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini sering mengalami kebocoran yang disebabkan oleh panas yang terlalu lama, sehingga diperlukan reaktor pirolisis yang lebih kuat untuk menahan panas dari gelombang mikro.
- c. Agar dapat digunakan sebagai bahan bakar bermotor maka diperlukan proses lebih lanjut, yaitu dengan melakukan proses destilasi pada bio-oil minyak jelantah sebagai bahan bakar terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Y. A. P. Putra, dan A. Irwan. 2019. Pyrolysis Of Waste Cooking Oil With Activated Zeolite Catalyst Using Naoh Solutions. *Konversi*. 8(1): 29-38.
- Astriana, Y. 2015. Metanolisis Minyak Kopra (Copra Oil) Pada Pembuatan Biodiesel Secara Kontinyu Menggunakan Trickle Bed Reactor. *Jurnal Rekayasa Produk dan Proses Kimia*. 1 (01): 6-10.
- Ardiansyah, N. 2015. Rancang Bangun Ph Meter Air Di Utilities Refinery Unit Iv Cilacap Pt Pertamina (Persero) Berbasis Arduino Uno R3. *Skripsi*. Program Sarjana Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- Anis, S., A. Rais. A. M. Khoiron, dan A. Kusumastuti. 2020. Bio-Oil Composition From Low Temperature Microwaves-Assisted Pyrolysis Of Cooking Oils. *Journal Of Physics: Conference Series*. 1444(1) : 012045.
- Chowdhury, Z. Z., P. Kaushik., A. Y. Wageeh., S. Sagadevan., T. S. Syed., A. A. Ganiyu., M. Emy., F. R. Rahman., dan B. J. Rafie. 2017. *Pyrolysis: A Sustainable Way to Generate Energy from Waste*. In *Pyrolysis* (1): Bod-Books On Demand.
- Dewanto, M. A. R., A. A. Januartika., H. Dewajani., dan A. Budiman. 2017. Catalytic And Thermal Cracking Processes Of Waste Cooking Oil For Bio-Gasoline Synthesis. *Chemical Process And Engineering* 1823. (1): 1-8.
- Fardhyanti, D. S., A. Damayanti., dan A. Larasati. 2017. Karakterisasi Bio-Oil Dari Hasil Pirolisis Terhadap Biomasa. In *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*. (5).
- Harinda, Z. T., dan N. Hidayati. 2019. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Katalis Na₂O/Fly Ash Menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro. In *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*. (1).
- 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. *agriTECH*. 35(2): 234-240.
- Hibatullah, S. T. N. 2017. Analisa Persen Yield Biodiesel Berbahan Baku Minyak Jelantah Dengan Metode Radiasi Gelombang Mikro Dan Elektrolisa Tegangan Tinggi Ditinjau Dari Pengaruh Katalis Naoh. *Tugas Akhir*. Program Diploma III Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Hidayati, N. 2017. Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas Menjadi Biodiesel Dengan Katalis Kalsium Oksida. *Jurnal Teknologi Bahan Alam* 1. (1): 1-5.

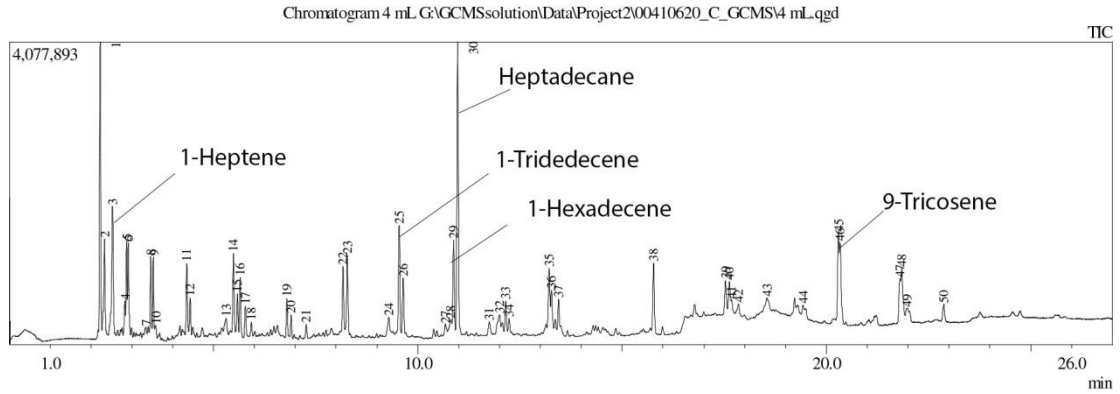
- Juliastuti, S. R. 2015. Pengolahan limbah plastik kemasan multilayer LDPE (Low Density Poly Ethilene) dengan menggunakan metode Pirolisis Microwave. In *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*: 11-1.
- Marliani, E. 2017. Produksi Asap Cair Dengan Proses Pirolisis Menggunakan Limbah Ikan Gabus. *Tugas Akhir*. Program Diploma III Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Mokhtar, A. 2019. Rancang Bangun Tungku Pirolisis Untuk Membuat Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik. In *Prosiding Sentra Seminar Teknologi Dan Rekayasa*. (5): 21-26.
- Prayanto, D. S., dan M. Salahudin. 2016. Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Dengan Katalis Naoh Menggunakan Gelombang Mikro (Microwave) Secara Kontinyu. *Skripsi*. Program Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rafi, A. 2019. Analisis energi terbrukan pada proses pirolisis dengan memanfaatkan sampah plastik. *Jurnal Teknik Mesin*. 12(1): 1-7.
- Rhofita, E. I. 2017 Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel: Kajian Temperatur Dan Waktu Reaksi Transesterifikasi. *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik – Sistem*. 12(3): 141-150.
- Ridhuan, K., dan J. Suranto. 2017. Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. 5(1): 50-56.
- _____, D.Irawan., Y. Zanaria., dan F. Firmansyah. 2019. Pengaruh Jenis Biomassa Pada Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik Dan Efisiensi bioarang-Asap Cair Yang Dihasilkan. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*. 20(1): 18-27.
- _____, D. Irawan., dan R. Inthifawzi. 2019. Proses Pembakaran Pirolisis Dengan Jenis Biomassa Dan Karakteristik Asap Cair Yang Dihasilkan. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. 8(1): 69-78.
- Rohmah, E. N, dan T. Hayatunnufus. 2015. Design Oven Skala Laboratorium Untuk Rekayasa Minyak Goreng Bekas Menjadi Biooil. *Jurnal Integrasi Proses* 5. (3): 132-137.
- Rozikin. 2015. Pengelolaan Sektor Minyak Bumi di Indonesia Pasca Reformasi: Analisis Konsep Negara. *Jurnal Tata Kelola dan Akuntabilitas Keuangan Negara*. (1): 128- 140.

- Sari, L., D. Lesmana., dan T. Taharuddin. 2018. Estraksi Minyak Atsiri Dari Daging Buah Pala (Tinjauan Pengaruh Metode Destilasi Dan Kadar Air Bahan). *Prosiding Semnastek*.
- Satria, Y. A. 2017. Studi Pirolisis Minyak Biji Jarak Kaliki Menggunakan Prekursor Zeolit Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis. *Skripsi*. Program Sarjana Universitas Lampung.
- Setiawan, A., J. Winarno., dan M. Syamsiro. 2017. Studi Eksperimental Unjuk Kerja Campuran Solar-Biodiesel Minyak Jelantah Pada Mesin Diesel. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*. 2(1): 15-20.
- Timor, A. R., H. Andre., dan A. Hazmi. 2016. Analisis Gelombang Elektromagnetik dan Seismik yang Ditimbulkan oleh Gejala Gempa. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*. 5(3): 315-324.
- Udyani, K., D. Y. Purwaningsih., R. Setiawan., dan K. Yahya. 2019. Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Bakau Menggunakan Gabungan Aktivasi Kimia Dan Fisika Dengan Microwave. *Jurnal Iptek*. 23(1): 39-46.
- Umami, V. A. 2015. Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Gelombang Mikro. *Skripsi*. Program Sarjana Universitas Negeri Semarang.
- Wahyuni, Silviria., Ramli., dan Mahrizal. 2015. Pengaruh Suhu Proses Dan Lamapengendapan Terhadap Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Pillar Of Physics*. (6): 33-40.
- Wako, F. M., A. S. Reshad., M. S. Bhalerao., dan V. V. Goud. 2018. Catalytic Cracking Of Waste Cooking Oil For Biofuel Production Using Zirconium Oxide Catalyst. *Industrial Crops And Products*. 118: 282-289.
- Wardiyati, S., W. A. Adi., dan D. S. Winatapura. 2018. Sintesis dan Karakterisasi Microwave Absorbing Material Berbasis Ni-SiO₂ dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Fisika*. 8(2): 51-59.
- Wibowo, S., dan D. Hendra. 2015. Karakteristik Bio-Oil Dari Rumput Gelagah (*Saccharum Spontaneum* Linn) Menggunakan Proses Pirolisis Cepat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33. (4): 347-363.
- _____, 2016. Characteristics Of Bio-Oil Of Forest Products Made Waste By Fast Pyrolysis Process. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 34(1): 61-76.
- _____, L. Efiyanti., dan G. Pari. 2017. Karakterisasi Bio-Oil Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Penambahan Katalis Ni/Nza Menggunakan Metode Free Fall Pyrolysis. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 35(2): 83-100.

- Yulianto, E., J. Rofingah., A. Finda., dan F. N. Hakim. 2016. Menentukan Tegangan Permukaan Zat Cair. *Spektra: Jurnal Kajian Pendidikan Sains*. 2(2): 176-186.
- Zahra, A. 2018. Sterilisasi Buah Kelapa Sawit Menggunakan Microwave Dengan Proses Kontinyu: Efek Waktu Tinggal Pada Kualitas Minyak. *Skripsi*. Program Sarjana Universitas Sumatera Utara.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji Komposisi Kimia Bio-oil Bahan Baku Minyak Jelantah



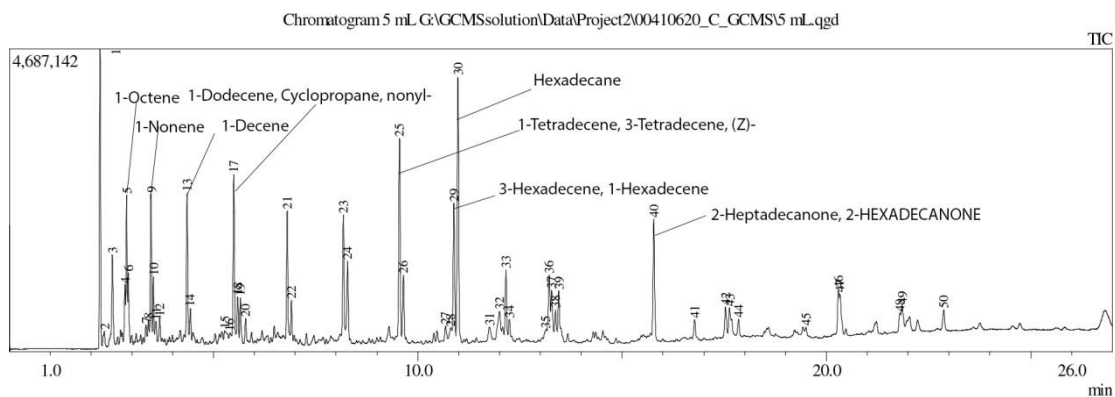
Gambar kromatogram bio-oil pada debit 4 mL/mt

Tabel analisis kromatogram bio-oil debit 4 mL/mt

Peak #	R.Time	I. Time	F. Time	Area	% Area	Height
1	2.223	2.190	2.270	7199507	7.93	3980074
2	2.329	2.270	2.400	3265304	3.59	1330986
3	2.522	2.400	2.590	5661506	6.23	1768223
4	2.828	2.785	2.845	982529	1.08	490880
5	2.871	2.845	2.890	2218553	2.44	1295078
6	2.909	2.890	2.965	2443504	2.69	1270979
7	3.341	3.300	3.370	431555	0.48	142511
8	3.464	3.425	3.495	2000409	2.20	1092408
9	3.524	3.495	3.555	1964140	2.16	1085395
10	3.580	3.555	3.620	402094	0.44	167965
11	4.345	4.310	4.390	1953999	2.15	979100
12	4.427	4.390	4.460	1033580	1.14	522169
13	5.308	5.245	5.365	832139	0.92	216973
14	5.487	5.445	5.535	2222396	2.45	1069699

15	5.585	5.535	5.615	1142318	1.26	559084
16	5.651	5.615	5.715	1649933	1.82	792227
17	5.779	5.735	5.830	905860	1.00	423208
18	5.925	5.830	5.970	532010	0.59	207556
19	6.794	6.750	6.835	1134164	1.25	529570
20	6.900	6.835	6.940	682768	0.75	316088
21	7.265	7.225	7.315	418024	0.46	189599
22	8.170	8.120	8.210	1980646	2.18	889014
23	8.275	8.210	8.325	2462223	2.71	1062888
24	9.287	9.215	9.335	706953	0.78	210723
25	9.543	9.485	9.595	3277972	3.61	1437669
26	9.642	9.595	9.690	1657624	1.82	746349
27	10.670	10.630	10.775	735176	0.81	139475
28	10.800	10.775	10.835	635302	0.70	197156
29	10.875	10.835	10.920	3105517	3.42	1275441
30	10.975	10.920	11.075	9634453	10.61	3936408
31	11.750	11.700	11.820	521414	0.57	165316
32	11.996	11.900	12.040	1267631	1.40	250863
33	12.150	12.105	12.200	1014253	1.12	427300
34	12.235	12.200	12.275	394422	0.43	188061
35	13.213	13.160	13.245	2087444	2.30	799673
36	13.271	13.245	13.330	1247023	1.37	509476
37	13.444	13.400	13.480	1021856	1.13	430416
38	15.771	15.720	15.840	2450441	2.70	930754
39	17.531	17.475	17.575	1262639	1.39	453054
40	17.625	17.575	17.670	1498817	1.65	439945
41	17.680	17.670	17.750	452400	0.50	193903

42	17.849	17.750	17.905	586111	0.65	156390
43	18.541	18.500	18.640	583417	0.64	123163
44	19.426	19.380	19.555	827620	0.91	144620
45	20.294	20.235	20.315	3151152	3.47	1192958
46	20.334	20.315	20.435	2950059	3.25	1076674
47	21.795	21.735	21.815	1590308	1.75	595643
48	21.841	21.815	21.925	2701995	2.97	734854
49	21.970	21.925	22.095	1273040	1.40	191929
50	22.870	22.815	22.935	676586	0.74	225309



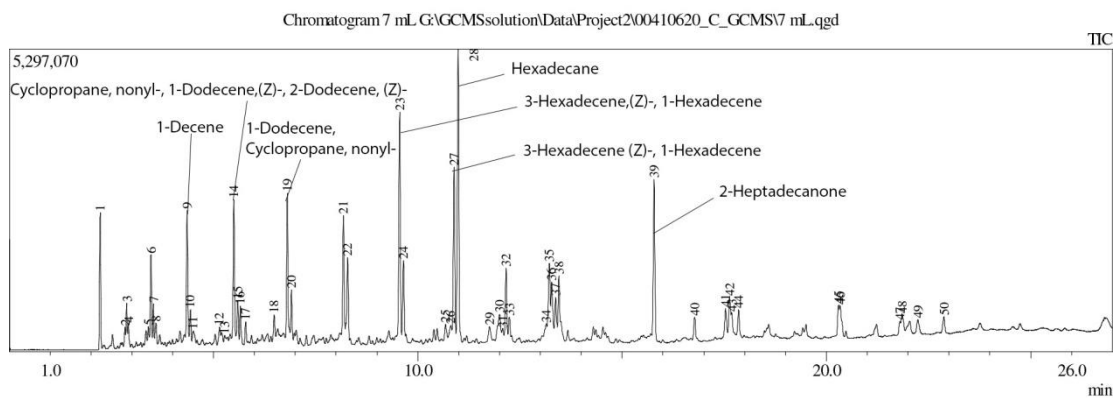
Gambar kromatogram bio-oil pada debit 5 mL/mt

Tabel analisis kromatogram bio-oil debit 5 mL/mt

Peak #	R. Time	I. Time	F. Time	Area	% Area	Height
1	2.221	2.175	2.270	8248497	6.98	4634607
2	2.325	2.270	2.365	836797	0.71	264832
3	2.521	2.465	2.590	3731936	3.16	1437727
4	2.831	2.790	2.850	1997498	1.69	954489
5	2.872	2.850	2.895	4000016	3.38	2333488
6	2.911	2.895	2.965	2129797	1.80	1125141

7	3.347	3.300	3.375	725126	0.61	289678
8	3.403	3.375	3.430	811356	0.69	355657
9	3.467	3.430	3.500	4277752	3.62	2309156
10	3.527	3.500	3.555	1840110	1.56	1018627
11	3.588	3.555	3.630	782317	0.66	324561
12	3.679	3.630	3.725	834238	0.71	371718
13	4.351	4.310	4.400	4623164	3.91	2280183
14	4.433	4.400	4.465	896636	0.76	489138
15	5.276	5.240	5.370	1054972	0.89	184627
16	5.400	5.370	5.450	591804	0.50	150597
17	5.495	5.450	5.540	5765759	4.88	2606214
18	5.591	5.540	5.625	1712164	1.45	713975
19	5.657	5.625	5.720	1557565	1.32	702790
20	5.786	5.740	5.825	828847	0.70	387380
21	6.803	6.750	6.870	4510458	3.81	1992810
22	6.906	6.870	6.945	1293211	1.09	624899
23	8.178	8.120	8.220	4339809	3.67	1885470
24	8.281	8.220	8.325	2843583	2.40	1205975
25	9.552	9.490	9.605	7178049	6.07	3062895
26	9.648	9.605	9.695	2095820	1.77	965551
27	10.679	10.630	10.735	764640	0.65	240260
28	10.800	10.735	10.835	886875	0.75	213049
29	10.882	10.835	10.930	5530493	4.68	2148263
30	10.982	10.930	11.080	10241347	8.66	4111483
31	11.752	11.695	11.835	763185	0.65	198695
32	12.000	11.835	12.045	1994850	1.69	417268
33	12.155	12.110	12.205	2520651	2.13	1043719

34	12.239	12.205	12.285	593088	0.50	272995
35	13.130	13.070	13.165	577910	0.49	137985
36	13.216	13.165	13.250	3013836	2.55	993862
37	13.275	13.250	13.325	2078239	1.76	763337
38	13.370	13.325	13.410	1429434	1.21	476919
39	13.448	13.410	13.490	2129168	1.80	780168
40	15.778	15.715	15.850	4944479	4.18	1839969
41	16.775	16.725	16.820	695369	0.59	279270
42	17.532	17.475	17.580	1293870	1.09	448327
43	17.630	17.580	17.665	1303636	1.10	414551
44	17.848	17.800	17.900	628021	0.53	251060
45	19.498	19.385	19.545	688601	0.58	128487
46	20.295	20.235	20.315	1874120	1.58	686375
47	20.335	20.315	20.430	1912475	1.62	623888
48	21.795	21.745	21.820	746189	0.63	260340
49	21.850	21.820	21.920	1230266	1.04	354570
50	22.871	22.815	22.935	895764	0.76	297797

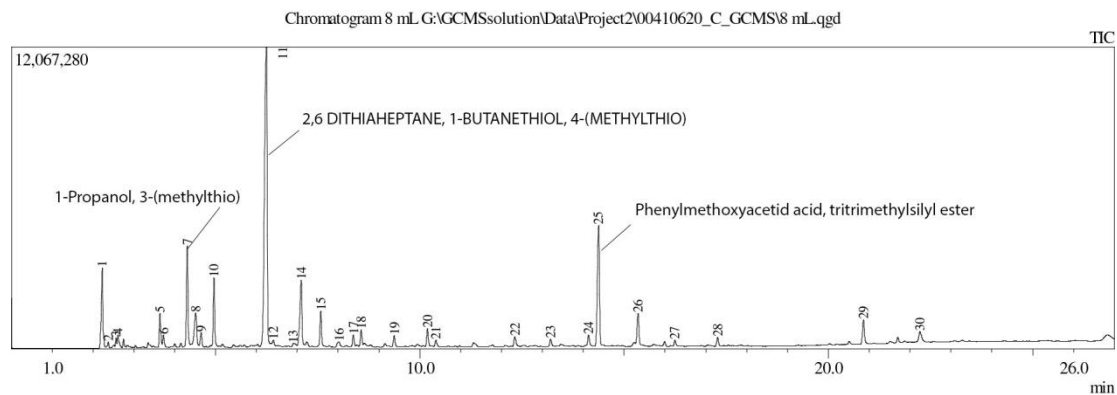


Gambar kromatogram bio-oil pada debit 7 mL/mt

Tabel analisis kromatogram bio-oil debit 7 mL/mt

Peak #	R.Time	I. Time	F. Time	Area	% Area	Height
1	2.224	2.180	2.275	4145821	3.28	2386379
2	2.832	2.795	2.850	652341	0.52	333918
3	2.873	2.850	2.895	1293033	1.02	754745
4	2.913	2.895	2.965	760319	0.60	397954
5	3.404	3.375	3.430	681010	0.54	317222
6	3.468	3.430	3.500	2927753	2.32	1577658
7	3.528	3.500	3.555	1301172	1.03	711899
8	3.589	3.555	3.630	896496	0.71	377745
9	4.352	4.310	4.400	4483547	3.55	2236415
10	4.433	4.400	4.465	938026	0.74	538610
11	4.505	4.465	4.575	668663	0.53	184559
12	5.146	5.090	5.175	916541	0.73	310126
13	5.270	5.240	5.380	940385	0.74	154360
14	5.496	5.450	5.545	5663058	4.49	2538271
15	5.592	5.545	5.625	1831422	1.45	763075
16	5.658	5.625	5.715	1452457	1.15	672478
17	5.787	5.750	5.825	765837	0.61	379478
18	6.482	6.435	6.525	1075324	0.85	444078
19	6.805	6.755	6.870	5846080	4.63	2538388
20	6.907	6.870	6.950	1826840	1.45	871711
21	8.180	8.125	8.220	4861971	3.85	2114588
22	8.283	8.220	8.330	3533374	2.80	1423620
23	9.555	9.490	9.605	9359821	7.41	3910687
24	9.649	9.605	9.690	2930297	2.32	1320217
25	10.678	10.625	10.735	932008	0.74	286739
26	10.806	10.735	10.835	1111684	0.88	275847

27	10.887	10.835	10.930	7767750	6.15	3055222
28	10.987	10.930	11.085	13113694	10.39	5120479
29	11.756	11.695	11.825	882604	0.70	244286
30	12.003	11.895	12.050	2395642	1.90	469899
31	12.085	12.050	12.110	627293	0.50	204177
32	12.158	12.110	12.205	3323747	2.63	1280806
33	12.240	12.205	12.280	1152095	0.91	430060
34	13.135	13.070	13.165	810840	0.64	225949
35	13.217	13.165	13.250	3978626	3.15	1299000
36	13.276	13.250	13.330	2826785	2.24	983642
37	13.373	13.330	13.410	2138310	1.69	734488
38	13.453	13.410	13.595	3972186	3.15	1123141
39	15.784	15.725	15.865	7271805	5.76	2778249
40	16.776	16.725	16.825	986511	0.78	379884
41	17.534	17.470	17.585	1510490	1.20	496449
42	17.632	17.585	17.665	2167706	1.72	693516
43	17.685	17.665	17.735	1099304	0.87	420330
44	17.850	17.735	17.940	1674084	1.33	488838
45	20.298	20.240	20.315	1455142	1.15	543005
46	20.340	20.315	20.435	1887299	1.49	527152
47	21.795	21.750	21.825	624561	0.49	207806
48	21.851	21.825	21.925	1071725	0.85	302611
49	22.243	22.180	22.320	859538	0.68	227610
50	22.874	22.820	22.940	851551	0.67	276890



Gambar kromatogram bio-oil pada debit 8 mL/mt

Tabel analisis kromatogram bio-oil debit 8 mL/mt

Peak #	R. Time	I. Time	F. Time	Area	% Area	Height
1	2.224	2.145	2.310	8274869	5.60	3198561
2	2.373	2.310	2.420	591912	0.40	242417
3	2.564	2.535	2.585	570236	0.39	344235
4	2.609	2.585	2.675	1114450	0.75	472376
5	3.639	3.595	3.690	3225431	2.18	1342201
6	3.724	3.690	3.795	1262440	0.85	479489
7	4.308	4.200	4.380	10956157	7.42	4054985
8	4.514	4.380	4.595	5959886	4.03	1355580
9	4.646	4.595	4.710	1580748	1.07	576475
10	4.962	4.900	5.045	6723877	4.55	2722315
11	6.247	6.105	6.330	55715796	37.71	11928192
12	6.412	6.330	6.470	969237	0.66	240096
13	6.900	6.865	7.010	571281	0.39	114584
14	7.097	7.010	7.180	9480329	6.42	2600920
15	7.577	7.515	7.650	3765580	2.55	1393702
16	8.017	7.945	8.075	797618	0.54	187184

17	8.373	8.325	8.425	1108333	0.75	436732
18	8.564	8.515	8.610	1470983	1.00	620002
19	9.369	9.320	9.445	1209387	0.82	437906
20	10.187	10.130	10.255	1916611	1.30	701519
21	10.394	10.350	10.460	663604	0.45	239234
22	12.326	12.275	12.400	1168502	0.79	373311
23	13.201	13.155	13.255	735292	0.50	272508
24	14.130	14.075	14.195	1234539	0.84	417256
25	14.375	14.285	14.450	16541102	11.20	4804939
26	15.337	15.280	15.410	3624267	2.45	1219452
27	16.242	16.200	16.300	603480	0.41	219189
28	17.288	17.240	17.355	1025587	0.69	349766
29	20.857	20.795	20.940	3079061	2.08	954516
30	22.236	22.175	22.360	1795369	1.22	393593

Lampiran 2. Pengaruh Debit Terhadap Temperatur

Waktu (detik)	Debit			
	8 mL/mt	7 mL/mt	5 mL/mt	4 mL/mt
0	450	450	450	450
30	447	446	448	447
60	450	448	450	447
90	445	446	448	449
120	450	440	449	447
150	450	429	450	446
180	444	422	447	448
210	452	419	447	448
240	445	418	446	446
270	450	417	445	446
300	444	417	442	449

330	450	416	438	445
360	441	417	433	446
390	437	416	428	449
420	428	416	423	449
450	422	416	419	450
480	416	416	415	447
510	410	417	412	447
540	406	417	410	449
570	402	417	410	446
600	401	417	410	448
630	401	416	410	448
660	400	416	410	446
690	398	417	412	446
720	399	417	413	446
750	399	417	415	449
780	400	417	416	445
820	400	417	418	446
850	401	417	420	449
880	404	416	421	449
910	406	416	423	443
940	406	417	425	444
970	407	417	426	446
1000	409	418	428	450
1030	410	419	430	
1060	412	420	432	
1090	413	420	434	
1120	414	420	437	
1150	415	420	440	
1180	415	421	443	
1210	415	423	447	
1240	416	424	450	
1270	416	426		
1300	417	427		
1330	418	428		
1360	419	429		
1390	419	431		
1420	419	433		

1450	420	435
1480	420	438
1510	420	441
1540	420	444
1570	420	448
1600	419	450
1630	419	
1660	419	
1690	419	
1720	420	
1750	420	
1780	420	
1810	419	
1840	420	
1870	420	
1900	420	
1930	420	
1960	421	
1990	422	
2020	425	
2050	428	
2080	428	
2110	432	
2140	435	
2170	438	
2200	441	
2230	445	
2260	448	
2290	450	

Lampiran 3. Hasil Pengujian Densitas

Tabel Hasil Pengukuran Massa Jenis Bio-oil

Q (mL/mt)	Massa Jenis Bio-oil (kg/m³)
4	810
5	806
7	820
8	801

Lampiran 4. Hasil Pengujian pH

Tabel Hasil Pengujian pH

Q (mL/mt)	Nilai pH Bio-oil
4	3,8
5	3,4
7	3,7
8	3,6

Lampiran 5. Hasil Perolehan *Yield*

Tabel Hasil Perolehan *Yield* Bio-oil

Q (mL/mt)	<i>Yield</i> rata-rata (mL)	
	Minyak Jelantah (mL)	Bio-oil (mL)
4	450	90
5	580	130
7	760	240
8	590	190

Tabel Konversi Perolehan *Yield* Bio-oil

Q (mL/mt)	<i>Yield</i> rata-rata (wt-%)	
	Minyak Jelantah (mL)	Bio-oil (mL)
4	450	20%
5	580	22%
7	760	33%
8	590	32%

Lampiran 6. SK Pembimbing



**KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Nomor: B / 14988 / UN37.1.5 / KM / 2019**

**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 Desember 2019

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 : DONI SETYO AJI

NIM : 5212416042

Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/Teknik Mesin

Topik : Pengaruh debit WCO terhadap perolehan dan karakteristik

Bio-oil pada proses pirolisis menggunakan gelombang mikro

KEDUA :

Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

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

DITETAPKAN DI : SEMARANG
PADA TANGGAL : 4 Desember 2019
DEKAN



5212416042

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

Lampiran 7. Berita Acara Seminar

BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSITA

Proposal skripsi Mahasiswa

Nama : Doni Setyo Aji
 Nim : 5212416042
 Prodi : Teknik Mesin
 Judul Skripsi : Pengaruh Debit Terhadap Perolehan dan Karakteristik Bio-oil dari Miyak Jelantah dengan Metode *Fast* Pirolisis Berbasis Gelombang Mikro

Telah diseminarkan pada

Hari/ Tanggal : Jumat, 15 Mei 2020
 Pukul : 09.00 s/d selesai
 Tempat : Online
 Jumlah Dosen hadir : 2 orang
 Jumlah mhs hadir : 7 Orang

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

Semarang, 12 Mei 2020

Calon Dosen Penguji 2



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

Calon Dosen Penguji I



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









Dosen Pembimbing

Samsudin Anis, S.T., MT., Ph.D.
 MP. 197601012003121002

Lampiran 8. Presensi Peserta Seminar Proposal

**DAFTAR HADIR
SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI/TA**

NAMA/NIM : Dani Setyo Aji / 5212416042
PRODI : Teknik Mesin

NO	Hari/Tanggal	Proposal yang Diseminarkan		Tanda Tangan Dosen Pedamping
		Peneliti	Judul	
1	Selasa 17/12/2019	Fatih Maulana	Pem belajaran dengan media audio visual	
2	Selasa 17/12/2019	RIFKI EKI AFRYANIO	Performa mesin dan Emisi pada Yamaha Jupiter 2 dengan menggunakan variasi bahan bakar	
3	Rabu 15/01/2020	Salyani Azhar	Performa Diferensial dengan Bahan Bakar Bivalensidit Campur Metrolitrik External Gearin serik.	
4	Kamis 16/01/2020	Risqy Ijal	Perancangan dan Simulasi Sistem Pemanasik Pengapil Pompa	
5	Paku 12/02/2020	Syahwal Fajar	Perancangan proses produksi dan penujian Riser panah Reduksi Berat	
6	Jumat 14/02/2020	Ammad Fauzi	Pengaruh kecepatan putar Spindel, kecepatan asutan dan kedalaman pemakan terhadap keberhasilan pem	
7	Selasa 25/02/2020	Haydar Alisson Afif Ghuzali	kekakuan mekanis komposit serat karbon pisanan termatriks polyes	
8	Kamis 27/02/2020	Ihsan Wandi Ramungkas	Perancangan mesin pembuat bubuk berbas kapasitas 500kg menggunakan metode Quality Function Deployment	

Semarang,
Koordinator Program Studi,

NIP.

Lampiran 9. Halaman Pengesahan Skripsi

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Pengaruh Debit Terhadap Perolehan dan Karakteristik Bio-oil dari Minyak Jelantah dengan Metode *Fast* pirolisis Berbasis Gelombang Mikro" telah dipertahankan di depan sidang panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal

Oleh
 Nama : Doni Setyo Aji
 NIM : 5212416042
 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 Muslamil 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

Lampiran 10. Dokumentasi Alat dan Bahan



Bahan Baku



Alat Pirolisis



Hasil Bio-oil Pirolisis