



**PRODUKSI DAN UJI KARAKTERISTIK *BIO-OIL*  
DARI BAHAN BAKU *CRUDE PALM OIL (CPO)*  
MENGUNAKAN PROSES *FAST PYROLISIS*  
BERBASIS *MICROWAVE TECHNOLOGY***

**Skripsi**

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

**Oleh**

**Arya Yudistira**

**NIM. 5212416032**

**TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2020**

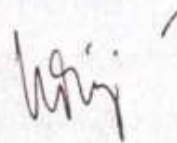
### PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Arya Yudistira  
NIM : 5212416032  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Produksi *Bio-Oil* dari Bahan Baku *Crude Palm Oil (CPO)*  
Menggunakan Proses *Fast Pyrolysis* Berbasis *Microwave Technology*

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

Semarang, 11 Mei 2020

Pembimbing



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

NIP. 197601012003121002

## PENGESAHAN

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

Oleh

Nama : Arya Yudistira  
NIM : 5212416032  
Program Studi : Teknik Mesin

Panitia:

Ketua



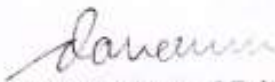
Rusiyanto, S. Pd., M.T.  
NIP.197403211999031002

Sekretaris



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

Penguji 1



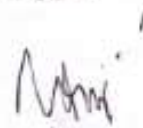
Danang Dwi Saputro, S.T., M.T.  
NIP.197811052005011001

Penguji 2



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

Penguji 3



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

Mengetahui

Dean Fakultas Teknik UNNES



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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis dengan jelas dincantumkan 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, 18 Juli 2020  
Yang membuat pernyataan



Arya Yudistira  
NIM. 5212416032

## **MOTTO**

“Sebaik-baik kebahagiaan adalah bersyukur”

## **PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Almamater UNNES yang selalu saya banggakan.
2. Sahabat serta teman jurusan Teknik Mesin S1.
3. Bapak dan Ibu yang selalu memberikan dukungan moral maupun moril.

## SARI

**Yudhistira, Arya. 2020.** “The Effect of Temperature on Bio-oil Result in the Crude Palm Oil Pyrolysis Process Using a Microwave Reactor”. Final Project. Yudhistiraa8@gmail.com.  
Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Semarang State University.  
Samsudin Anis S.T., M.T., P.hD.

Keywords: Crude Palm Oil (CPO), Microwave, Pyrolysis, Bio-oil

This research aims to produce bio-oil using the pyrolysis process with Crude Palm Oil (CPO) raw material based on microwave technology. The primary raw material used is palm oil. Before it used, do pre-treatment processes and testing bio-oil characteristics, which consist of testing the density, pH, and chemical composition. Then put the raw material into the peristaltic pump at a voltage of 2,2 volts for 20 minutes with bio-oil making technology using fast pyrolysis. Pyrolysis process of this research using microwave irradiation with power 900 W and microwave radiation system which is controlled by temperature control with variations 400°C, 450°C, 500°C, 550°C. Data analysis technique using descriptive statistics by illustrating or describing data collected. The pyrolysis process produces solid, liquid (bio-oil) and gas products. Temperature significantly affects the amount of oil produced on the palm oil pyrolysis process. Bio-oil products at four variations in temperature have experience differences. If the pyrolysis process temperature gets high, bio-oil produced from the pyrolysis process will be higher, while the number of solid products will decrease. The results of this research indicate that most of bio-oil from palm oil obtained at temperatures 500°C and 550°C is 12,5 ml/minutes. The characteristic properties with the highest bio-diesel content found at temperature 500°C are 35,41%.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Produksi *Bio-Oil* dari Bahan Baku *Crude Palm Oil* (CPO) Menggunakan Proses *Fast Pyrolysis* Berbasis *Microwave Technology*” 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 *pyrolysis crude palm oil* (CPO) 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. Prof. Dr. Fathur Rakhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D., pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan saran kepada penulis.
5. Ahmad Mustamil Khoiron, S.Pd., M.Pd. dan Danang Dwi Saputro, S.T., M.T., penguji yang telah memberikan masukan sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan guna menambah kualitas karya tulis ini.

6. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan pengetahuan yang berharga.
7. Civitas akademika Fakultas Teknik dan Jurusan Teknik Mesin angkatan 2016 Universitas Negeri Semarang yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.
8. Keluarga yang selalu mendo'akan serta memberikan dukungan dan motivasi.
9. Himpunan Mahasiswa Profesi Teknik Mesin (HIMPRO TM), Fake House Creative, Immersi UNNES, dan Keluarga KKN Kelurahan Sumurrejo.
10. Diyan Pujo Utomo, Eko Purwanto, dan Doni Setyoaji 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, April 2020

Penulis



## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                            | i    |
| <b>PERSETUJUAN PEMBIMBING</b> .....                   | ii   |
| <b>PENGESAHAN</b> .....                               | iii  |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....                      | iv   |
| <b>MOTTO</b> .....                                    | v    |
| <b>SARI</b> .....                                     | vi   |
| <b>PRAKATA</b> .....                                  | vii  |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                               | ix   |
| <b>DAFTAR SINGKATAN TEKNIK DAN LAMBANG</b> .....      | xi   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                             | xiii |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                            | xiv  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                        | 1    |
| 1.1 Latar Belakang Masalah .....                      | 1    |
| 1.2 Identifikasi Masalah .....                        | 6    |
| 1.3 Pembatasan Masalah .....                          | 7    |
| 1.4 Rumusan Masalah .....                             | 8    |
| 1.5 Tujuan Penelitian .....                           | 8    |
| 1.6 Manfaat Penelitian .....                          | 9    |
| 1.6.1 Secara Teoritis .....                           | 9    |
| 1.6.2 Secara Praktik .....                            | 9    |
| <b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> ..... | 10   |
| 2.1 Kajian Pustaka .....                              | 10   |
| 2.2 Landasan Teori .....                              | 17   |
| 2.2.1 Minyak Kelapa Sawit .....                       | 17   |
| 2.2.2 <i>Bio-oil</i> .....                            | 20   |
| 2.2.3 Karakteristik <i>Bio-oil</i> .....              | 21   |
| 2.2.4 Pyrolisis .....                                 | 23   |
| 2.2.5 Metode Pemanasan .....                          | 24   |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....                | 28   |

|                             |  |           |
|-----------------------------|--|-----------|
| 3.1                         | Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....                              | 28        |
| 3.1.1                       | Waktu .....  | 28        |
| 3.1.2                       | Tempat Pelaksanaan.....  | 28        |
| 3.2                         | Desain Penelitian .....  | 28        |
| 3.3                         | Alat dan Bahan Penelitian .....                                | 32        |
| 3.3.1                       | Alat Penelitian.....   | 32        |
| 3.3.2                       | Bahan Penelitian.....  | 42        |
| 3.4                         | Parameter Penelitian .....                                     | 45        |
| 3.5                         | Teknik Pengumpulan Data .....                                  | 45        |
| 3.6                         | Kalibrasi Instrumen .....                                      | 52        |
| 3.7                         | Teknik Analisis Data .....                                     | 54        |
| <b>BAB IV</b>               | <b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>                              | <b>56</b> |
| 4.1                         | Deskripsi Data .....   | 56        |
| 4.2                         | Analisa Data .....   | 57        |
| 4.2.1                       | Data Pengaruh Temperatur Terhadap Perolehan <i>Yield</i> ..... | 57        |
| 4.2.2                       | Karakterisasi <i>Bio-Oil</i> .....                             | 57        |
| 4.3                         | Pembahasan .....   | 64        |
| 4.3.1                       | Pengaruh Temperatur Terhadap Perolehan <i>Yield</i> .....      | 64        |
| 4.3.2                       | Karakterisasi <i>Bio-Oil</i> .....                             | 65        |
| <b>BAB V</b>                | <b>PENUTUP .....</b>   | <b>73</b> |
| 5.1                         | Kesimpulan.....  | 73        |
| 5.2                         | Saran .....  | 73        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b> |  | <b>75</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>        |  | <b>80</b> |

## DAFTAR SINGKATAN TEKNIK DAN LAMBANG

| <b>Simbol</b>   | <b>Arti</b>  |
|-----------------|--|
| APBN            | : Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara                                     |
| BBM             | : Bahan Bakar Minyak   |
| cm              | : centi meter  |
| CPO             | : Crude Palm Oil   |
| DEN             | : Dewan Energi Nasional  |
| ESDM            | : Energi Sumber Daya Mineral   |
| EBT             | : Energi Baru Terbarukan   |
| FMAP            | : fast microwave assisted pyrolysis  |
| g               | : Gram   |
| HDPE            | : high density polyethylene  |
| HHV             | : higher heating value   |
| K               | : Kelvin   |
| kg              | : kilo gram  |
| kW              | : kilowatt   |
| L               | : Liter  |
| LDPE            | : Low Density Poly Ethilene  |
| ml              | : mili liter   |
| mm              | : mili meter   |
| N <sub>2</sub>  | : Nitrogen   |
| NO <sub>x</sub> | : Nitrogen Oksida  |
| POME            | : Palm Oil Mill Effluent   |
| pH              | : Potensial Hidrogen   |
| RADAR           | : Radio Detection and Ranging  |
| SEM             | : Sustainable Energy Management  |
| SKK MIGAS       | : Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak Bumi dan Gas Bumi |

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| Sic             | : Silicon Carbida       |
| SO <sub>x</sub> | : sulfur oksida         |
| TSS             | : total suspended solid |
| UCO             | : Used Cooking Oil      |
| V               | : volt                  |
| W               | : Watt                  |
| wt%             | : wight percent         |
| °C              | : Celcius               |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 <i>Review</i> penelitian terkait .....                             | 15 |
| Tabel 2.2 Komposisi asam lemak minyak kelapa sawit .....                     | 18 |
| Tabel 2.3 Syarat mutu biodiesel.....   | 19 |
| Tabel 2.4 Karakteristik <i>bio-oil</i> penelitian terdahulu .....            | 20 |
| Tabel 2.5 Parameter SNI karakteristik <i>bio-oil</i> .....                   | 21 |
| Tabel 3.1 Instrumen produk <i>pyrolysis</i> menggunakan gelombang mikro..... | 48 |
| Tabel 3.2 Karakteristik <i>bio-oil</i> .....                                 | 49 |
| Tabel 3.3 Hasil pengujian karakteristik <i>bio-oil</i> .....                 | 51 |
| Tabel 3.4 Persentase produk <i>pyrolysis</i> .....                           | 54 |
| Tabel 3.5 Hasil GC-MS .....  | 54 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1.1 Perkembangan ketergantungan impor minyak bumi.....       | 3  |
| Gambar 2.1 Lahan produksi minyak kelapa sawit .....                 | 18 |
| Gambar 2.2 GC-MS ( <i>Gas Cromatografy Mass Spectrometry</i> )..... | 22 |
| Gambar 2.3 Skema proses <i>pyrolysis</i> konvensional.....          | 26 |
| Gambar 2.4 Spektrum gelombang elektromagnetik.....                  | 26 |
| Gambar 2.5 Skema proses <i>pyrolysis</i> konvensional.....          | 27 |
| Gambar 3.1 Desain Penelitian Times Series Design.....               | 28 |
| Gambar 3.2 Skema Alat .....   | 29 |
| Gambar 3.3 Diagram Alir .....                                       | 30 |
| Gambar 3.4 Kondensor <i>Liebig</i> .....                            | 31 |
| Gambar 3.5 Pompa.....   | 32 |
| Gambar 3.6 Timbangan.....   | 32 |
| Gambar 3.7 <i>Microwave Oven</i> .....                              | 33 |
| Gambar 3.8 Pipa dan Sambungan .....                                 | 33 |
| Gambar 3.9 Botol Kolektor.....                                      | 34 |
| Gambar 3.10 <i>Thermocouple</i> .....                               | 35 |
| Gambar 3.11 <i>Thermocontrol Autonic</i> .....                      | 36 |
| Gambar 3.12 <i>Thermocontrol Omron</i> .....                        | 36 |
| Gambar 3.13 Reaktor tanah liat .....                                | 36 |
| Gambar 3.14 Kipas Angin.....  | 37 |
| Gambar 3.15 Regulator .....   | 37 |
| Gambar 3.16 <i>Flowmeter</i> .....                                  | 38 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 3.17 Jerigen air .....   | 38 |
| Gambar 3.18 Selang Teflon .....   | 39 |
| Gambar 3.19 Pompa Peristaltik.....  | 39 |
| Gambar 3.20 Gelas Ukur.....   | 40 |
| Gambar 3.21 <i>Box Ice</i> .....  | 40 |
| Gambar 3.22 Tangki Minyak .....   | 41 |
| Gambar 3.23 Minyak Sawit .....  | 41 |
| Gambar 3.24 Karbon Aktif .....  | 42 |
| Gambar 3.25 Isopropanol.....  | 43 |
| Gambar 3.26 Lem <i>Sealer</i> .....   | 43 |
| Gambar 3.27 <i>Gasket Packing</i> TBA.....  | 44 |
| Gambar 3.28 Alat uji kalibrasi <i>flowmeter</i> .....   | 52 |
| Gambar 3.29 <i>Thermocouple</i> .....   | 53 |
| Gambar 4.1 <i>Bio-oil hasil prolisis</i> minyak sawit.....  | 56 |
| Gambar 4.2 Pengaruh temperatur terhadap <i>yield</i> .....  | 64 |
| Gambar 4.3 Grafik perhitungan densitas .....  | 65 |
| Gambar 4.4 Grafik perhitungan nilai Ph.....   | 66 |
| Gambar 4.5 Kromatogram <i>bio-oil</i> dari bahan baku minyak kelapa sawit<br>padatemperatur 400°C ..... | 67 |
| Gambar 4.6 Kromatogram <i>bio-oil</i> dari bahan baku minyak kelapa sawit<br>padatemperatur 450°C ..... | 68 |
| Gambar 4.7 Kromatogram <i>bio-oil</i> dari bahan baku minyak kelapa sawit<br>padatemperatur 500°C ..... | 68 |

Gambar 4.8 Kromatogram *bio-oil* dari bahan baku minyak kelapa sawit  
pada temperatur 550°C ..... 69



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Energi memiliki peranan penting dalam memenuhi keberlangsungan hidup manusia. Pemanfaatan energi yang tersedia dapat memberikan efek pengganda (*multiplier effect*) bagi aktivitas manusia khususnya perekonomian. Sumber energi utama di dunia berasal dari bahan bakar fosil yang penggunaannya cepat dan banyak tetapi cadangannya tidak dapat diperbarui (Bahadir, et al., 2017). Menurut *International Energy Agency Framework* (2013), bahan bakar fosil yang masih mendominasi kebutuhan energi adalah gas alam, minyak bumi, dan batu bara. Permasalahan muncul ketika terjadi ketidakseimbangan antara *demand* dan *supply* energi yang didorong oleh pertumbuhan penduduk dan pesatnya industrialisasi dunia yang mengakibatkan terjadinya degradasi energi secara besar-besaran dan kelangkaan (*scarcity*).

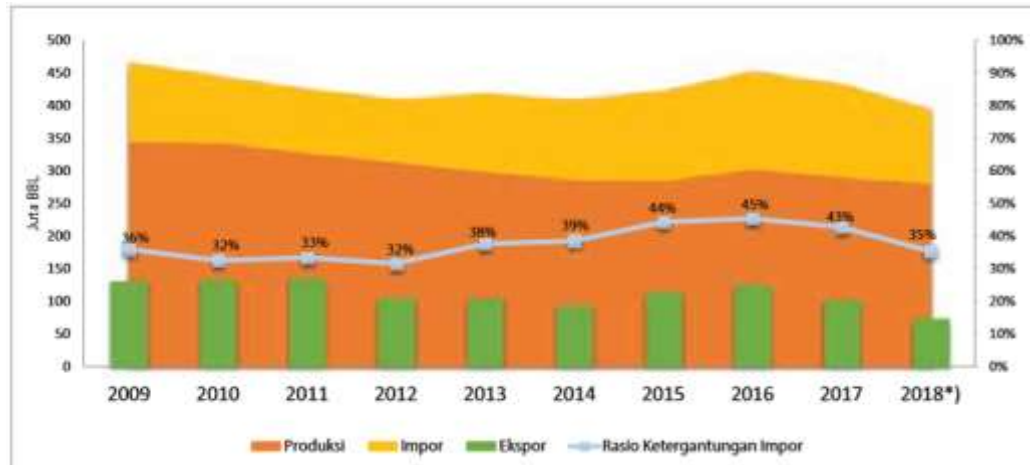
Laporan *Global Tracking Framework Report 2013* menyatakan bahwa Indonesia menduduki peringkat ketiga belas negara pengguna energi terbesar di dunia. Pada tahun 2019, Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan bahwa total konsumsi energi terbesar di Indonesia berasal dari sektor transportasi disusul oleh industri, rumah tangga, komersial, dan sektor lainnya (pertanian, konstruksi, dan pertanian). Berdasarkan data dari Kementerian ESDM yang dimuat dalam *outlook* energi Indonesia Dewan Energi Nasional (DEN) 2018, selama sepuluh tahun terakhir produksi minyak bumi semakin menurun.

Pada tahun 2009 Indonesia mampu memproduksi 346 juta barel (949 ribu bph) sedangkan tahun 2018 sekitar 283 juta barel (778 ribu bph). Apabila kondisi tersebut tidak dibarengi dengan upaya mencari Energi Baru Terbarukan (EBT), maka dampak besar yang akan dialami adalah terjadinya krisis energi.

Menurut Kholiq (2015) terjadinya krisis energi di Indonesia disebabkan karena kurang optimalnya upaya pemerintah dalam mengembangkan *renewable energy* dan buruknya manajemen dan tata kelola sumber daya energi. Kondisi tersebut dapat dilihat dari tidak terpenuhinya kebutuhan energi setiap harinya. Hingga akhir 2018, konsumsi minyak bumi di Indonesia sekitar 1,6 juta barrel, sedangkan produksinya hanya mampu memenuhi sekitar 800.000 barrel per hari. Berdasarkan data Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi (SKK Migas) tahun 2018, rata-rata produksi minyak pada tahun 2018 kurang lebih sebesar 800.000 barrel per hari sedangkan target produksi yang tercantum di APBN sebesar 1,6 juta barrel per hari. Artinya 50% kebutuhan minyak di Indonesia masih mengalami defisit dan pemerintah belum bisa memenuhi target APBN.

Upaya pemerintah untuk menutupi defisit energi yaitu dengan melakukan impor dari Timur Tengah. Tercatat bahwa Indonesia telah menjadi negara *net importer* minyak bumi sejak tahun 2003. *Net importer* adalah pihak yang memiliki ketergantungan pada impor untuk memenuhi kebutuhannya. Untuk menciptakan *Sustainable Energy Management* (SEM), pemerintah harus mendorong upaya untuk mencari energi alternatif sebagai pengganti energi fosil. Salah satu alternatif bahan bakar yang dapat mengatasi ketersediaan minyak bumi

yang semakin menipis adalah *bio-oil*. Gambar 1.1 menunjukkan ketergantungan impor minyak bumi dari tahun 2009 hingga tahun 2015.



Gambar 1.1 Perkembangan Ketergantungan Impor Minyak Bumi  
(Sumber: Dewan Energi Nasional, 2019:2)

Menurut Indra, et al. (2017:1), *bio-oil* merupakan produk liquid yang dihasilkan dari kondensasi proses *pyrolysis* dan dapat digunakan sebagai bahan bakar. Hal senada juga diungkapkan oleh Novarianto (2016:93), *bio-oil* dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan dan jauh lebih baik dari diesel. Bahan baku pembuatan *bio-oil* adalah biomassa yang banyak ditemui di lingkungan sekitar seperti limbah pertanian, limbah perhutanan, dan lain lain. Penggunaan bahan baku sangat mempengaruhi perolehan *bio-oil* yang didapatkan, salah satu bahan baku yang dapat dijadikan *bio-oil* adalah minyak kelapa sawit.

Pengembangan pemanfaatan minyak kelapa sawit sebagai alternatif mengatasi persediaan minyak bumi yang semakin menipis, menjadi salah satu prioritas pemerintah. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya (2018), Andriah Feby Misna, yang dimuat dalam *website* Pertamina juga mendukung

pengembangan minyak sawit sebagai alternatif untuk mengurangi ketergantungan akan impor bahan bakar berbasis fosil. Produksi minyak kelapa sawit dari tahun ke-tahun mengalami peningkatan. Data Kementerian Pertanian Republik Indonesia menyebutkan di tahun 2015 Indonesia mampu memproduksi minyak kelapa sawit sebanyak 31 juta ton, sedangkan 2019 Indonesia mampu memproduksi 42 juta ton kelapa sawit. Pemanfaatan minyak kelapa sawit untuk bahan bakar diesel dinilai lebih *eco-friendly* dibandingkan dengan bahan bakar solar biasa (Warni, 2014). Parameter bilangan *cetane* minyak sawit dengan solar masing-masing adalah 58,5 dan 40

Pembuatan *bio-oil* dilakukan dengan proses *pyrolysis*. Proses *pyrolysis* adalah suatu proses dekomposisi material oleh suhu (Ristianingsih, 2015). *Pyrolysis* dapat mengkonversi bahan organik menjadi energi dalam bentuk cair (*bio-oil*), padat (arang) dan gas (*syngas*) dalam satu proses (Harold, 2016). Proses *pyrolysis* biasanya dilakukan dengan metode konvensional maupun gelombang mikro. Penggunaan gelombang mikro sebagai sumber energi *pyrolysis* berjalan lebih cepat dan merata dari pada pemanasan konvensional. *Pyrolysis* cepat adalah dekomposisi termal tanpa adanya oksigen yang menghasilkan tiga produk yaitu fraksi cair (*bio-oil*), fraksi padat (*char*), dan fraksi gas dengan produksi utamanya *bio-oil* (Gomez, et al. 2018). Menurut Udyani et al. (2018) ada empat faktor penting yang mempengaruhi proses *pyrolysis* yaitu kadar air, ukuran partikel, laju pemanasan, temperatur, bahan, komposisi bahan uji, laju nitrogen dan waktu tinggal padatan.

Perbedaan signifikan dari penggunaan metode pemanasan konvensional dengan metode iradiasi gelombang mikro terletak pada waktu pemanasannya. Dengan menggunakan metode iradiasi gelombang mikro, waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan lebih cepat (Kholiq, 2015). Teknik gelombang mikro melibatkan penggunaan bahan karbon sebagai penyerap gelombang mikro yang dipanaskan dengan radiasi gelombang mikro untuk mencapai suhu yang ditargetkan. Perpindahan panas melalui gelombang mikro lebih baik daripada konvensional karena energi gelombang mikro dapat menembus bahan yang sedang dipanaskan dan mampu menghasilkan panas di seluruh volume material sehingga memberikan proses pemanasan yang cepat, hemat energi dan memfasilitasi peningkatan produksi (Lam, et al. 2016). Selain itu penggunaan metode iradiasi gelombang mikro tidak menimbulkan polusi dan mampu menghasilkan *yield* yang lebih banyak. Proses pemanasan menggunakan gelombang mikro bergantung pada *dielectric properties* bahan (Fernandez, 2011: 728).

Minyak kelapa sawit merupakan bahan dielektrik cair dimana banyak digunakan sebagai material isolasi dan mampu menahan medan listrik eksternal (Umiati, 2009:9). Dampak dari kondisi tersebut terdapat pada lambatnya laju pemanasan proses *pyrolysis* menggunakan iradiasi gelombang mikro. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan adanya absorber yang berfungsi sebagai konversi *microwave* menjadi panas. Nilai *loss tangent* akan mempengaruhi proses penyerapan gelombang tersebut melalui absorber. Dalam penelitian ini, jenis absorber yang digunakan adalah arang yang memiliki harga murah dan mudah didapatkan.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui produk *pyrolysis* yang dihasilkan dari bahan baku minyak kelapa sawit melalui *pyrolysis* dan karakteristik produk *pyrolysis bio-oil* minyak kelapa sawit sehingga judul dalam penelitian ini adalah “Produksi Bio-Oil dari Bahan Baku *Crude Palm Oil* (CPO) Menggunakan Proses *Fast Pyrolysis* Berbasis *Microwave Technology*”. Perbedaan penelitian ini dengan sebelumnya terletak pada variasi sampelnya yaitu menggunakan bahan baku minyak kelapa sawit. Proses *pyrolysis* penelitian ini menggunakan iradiasi gelombang mikro dengan daya 900 W dan sistem penyinaran gelombang mikro yang dikendalikan oleh kontrol temperatur dengan variasi pada temperatur 400°C, 450°C, 500°C, 550°C.

## 1.2 Identifikasi Masalah

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

1. Ketergantungan terhadap bahan bakar yang berasal dari energi tak terbarukan sehingga menyebabkan terjadinya krisis energi.
2. Meningkatnya konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) selama sepuluh tahun terakhir.
3. Indonesia menjadi negara *net importer* minyak bumi sejak tahun 2003.
4. Energi Baru Terbarukan (EBT) dinilai masih mahal dan memiliki biaya operasional di atas energi fosil.
5. Proses perkembangan *Sustainable Energy Management* (SEM) masih belum optimal.

6. Proses *pyrolysis* melalui metode konvensional memiliki kelemahan yaitu laju pemanasannya lambat.
7. Selama ini penelitian *pyrolysis* menggunakan temperatur berkisar antara 350°-500° C, namun untuk temperatur yang menghasilkan produk yang paling baik pada proses pemanasan tidak terlalu diperhatikan.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan, ada beberapa faktor yang mempengaruhi minyak yang dihasilkan, maka dalam penelitian ini dibatasi tentang variasi temperatur. Batasan masalah pada penelitian Produksi Bio-Oil dari Bahan Baku *Crude Palm Oil* (CPO) Menggunakan Proses *Fast Pyrolysis* Berbasis *Microwave Technology* antara lain:

1. Variasi temperatur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 400°C, 450°C, 500°C, 550°C.
2. Reaktor *pyrolysis* yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk tangki dengan proses kontinu menggunakan bahan tanah liat dengan tebal 10 mm, diameter 123 mm dan tinggi 143 mm.
3. Dalam penelitian ini menggunakan air pada kondensor untuk proses kondensasi.
4. Pemanas yang digunakan dalam proses ini adalah *microwave*.
5. Sifat fisik minyak yang diuji pada penelitian ini adalah densitas, pH, dan komposisi kimia.

#### **1.4 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang, rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- 1.1 Bagaimana karakteristik *bio-oil* minyak kelapa sawit yang mencakup nilai densitas, pH, dan komposisi kimia ?
- 1.2 Bagaimana perbandingan *yield* produk *bio-oil* dari tiap variasi temperatur *pyrolysis* minyak kelapa sawit ?
- 1.3 Pada temperatur berapakah proses *pyrolysis* minyak kelapa sawit menghasilkan *bio-oil* sebagai bahan bakar alternatif ?

#### **1.5 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan uraian masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui karakteristik produk *bio-oil* hasil *pyrolysis* minyak kelapa sawit.
2. Untuk mengetahui perbandingan *yield* produk *bio-oil* yang dihasilkan dari berbagai temperatur proses *pyrolysis*.
3. Untuk menentukan temperatur yang tepat dalam *pyrolysis* minyak kelapa sawit untuk penggunaan produk *bio-oil* sebagai bahan bakar alternatif.



## **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

### **1.6.1 Secara Teoritis**

1. Memberikan kontribusi dalam perkembangan ilmu pengetahuan energi terbarukan tentang pembuatan *bio-oil* menggunakan bahan minyak kelapa sawit yang diproses melalui *pyrolysis*.
2. Memberikan tambahan sumber data terkait karakteristik dari produk *bio-oil pyrolysis* minyak kelapa sawit dengan variasi temperatur tertentu.
3. Sebagai pedoman dan pertimbangan dalam penelitian selanjutnya.

### **1.6.2 Secara Praktik**

1. Dapat dijadikan pertimbangan bagi pemerintah untuk pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam upaya *Sustainable Energy Management*.
2. Dapat dijadikan pengetahuan bagi masyarakat dalam pemilihan bahan baku *bio-oil* sebagai bahan bakar alternatif.
3. Memberikan gambaran mengenai cara membuat *bio-oil* yang berasal dari bahan minyak kelapa sawit melalui proses *pyrolysis*.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang pengaruh temperatur terhadap jumlah hasil pirolisis telah banyak dibuat dalam penelitian terdahulu. Adapun penelitian tersebut antara lain:

Nugroho, et al. (2019:119) menyatakan bahwa temperatur mempengaruhi perolehan tar hasil pirolisis serbuk mahoni pada *rotary klin* yang menyebabkan peningkatan seiring dengan tingginya temperatur yang divariasikan. Penelitian tersebut menggunakan variasi temperatur 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, dan 600°C dengan tekanan nitrogen 3 ml/min dan waktu pirolisisnya 180 menit. Pada penelitian ini teknologi yang digunakan adalah pirolisis *rotary kiln*. Dimana *rotary kiln* adalah dapur horisontal dengan biomassa yang digerakan pada putaran tertentu sepanjang dapur. Dalam proses pembakaran didalam tungku ditambahkan elemen pemanas *heater* dengan daya 3500 W untuk mempercepat proses pemanasan didalam *pyrolizer*. Dibutuhkan komponen tambahan berupa tabung kondensasi, dengan material kaca untuk mempermudah proses pengamatan. Dari variasi tersebut ditemukan temperatur terbaik pada variasi temperatur 500°C dengan heating rate 1073 K/jm.

Lam, et al. (2018) dalam penelitiannya yang berjudul “*Pyrolysis Production of Fruit Peel Biochar for Potential Use in Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME)*” menyatakan bahwa limbah pabrik kelapa sawit adalah limbah berbahaya

yang harus diproses sebelum dilepaskan ke lingkungan. Dalam pirolisis ini, bahan yang digunakan adalah kulit pisang dan jeruk dengan menggunakan kisaran suhu 400°C sampai 500°C. dalam penelitian ini, pirolisis kulit pisang dan kulit jeruk dilakukan pada suhu yang berbeda untuk menghasilkan biochar yang kemudian diperoleh adsorben dalam limbah pabrik kelapa sawit. Penggunaan biochar sebagai adsorben POME menunjukkan penghematan hingga 57% dalam pengurangan permintaan oksigen biokimia (BOD), kebutuhan oksigen kimia COD, total suspended solid TSS, minyak dan lemak dari POME ke suatu tingkat debit yang dapat diterima di bawah standar. Proses pirolisis tersebut menghasilkan 30,7 – 47,7 wt% *yield* biochar gelap yang tidak mengandung belerang, tekstur keras, kandungan volatil yang rendah ( $\leq 34$  wt%) dan memiliki jumlah karbon tetap yang tinggi ( $\geq 72$  wt%). Pemulihan biochar dari limbah buah juga menunjukkan keunggulan dibandingkan TPA tradisional.

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Udyani, et al. (2018:393) dengan judul “Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap *Yield* dan Nilai Kalor Bahan Bakar Cair dari Bahan Limbah Kantong Plastik”. Bahan baku yang digunakan adalah limbah plastik LDPE. Proses pirolisis dijalankan di dalam reaktor dengan umpan 50 gr pada variasi temperatur 500, 550, 600 dan 650° C. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin kecil *yield liquid* dan nilai kalor yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur maka semakin banyak plastik yang terurai menjadi gas yang tidak terkondensasi sehingga liquid yang dihasilkan semakin sedikit dan pada temperatur yang semakin tinggi maka produk gas *non condensable* semakin banyak sehingga

nilai kalor produk liquid mengalami penurunan. Yield tertinggi pada plastik LDPE didapatkan pada temperatur 500° C sebesar 39,58%.

Oyebanji (2017) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh suhu reaktor terhadap pirolisis kayu lunak dan kayu keras. Eksperimen dilakukan pada enam tingkat suhu mulai dari 300°C hingga 800°C di bawah atmosfer N<sub>2</sub>. Bobot hasil arang, tar, dan gas yang dihasilkan diukur dan dicatat dalam persentase berat awal sampel pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kayu keras menghasilkan hasil char, tar dan gas maksimum masing–masing 41,02% pada 300°C, 44,10% pada 300°C, dan 56,86% pada 800°C, sedangkan kayu lunak menghasilkan hasil maksimum masing–masing 30,10% pada 300°C, 28,25% pada 300°C dan 68,73% pada 800°C. Pada semua suhu yang dipertimbangkan dalam penelitian ini, hasil gas lebih tinggi dari hasil tar dan arang untuk kayu lunak, sedangkan untuk kayu keras, hasil tar menurun dengan meningkatnya suhu dengan peningkatan hasil gas yang menyertainya.

Penelitian menggunakan pemanas *microwave* juga dilakukan oleh Lam, et al. (2016:1) dengan judul “*Recovery of Diesel-Like Fuel from Waste Palm Oil by Pyrolysis Using a Microwave Heated Bed of Activated Carbon*”. Bahan baku yang digunakan adalah limbah minyak kelapa sawit. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *fast* pirolisis dengan variasi suhu 350°C, 450°C, 500°C, 550°C dan waktu 25 menit. Variasi suhu dan waktu tersebut dipilih karena mampu menciptakan degradasi lingkungan reaksi yang dapat mencegah pembentukan senyawa yang tidak diinginkan dalam biofuel. Proses temperatur memiliki pengaruh pada komposisi kimia dari biofuel yang dihasilkan. Peningkatan suhu dari

450°C menjadi 550°C menyebabkan peningkatan konten alkana dalam biofuel. Biofuel yang diperoleh pada suhu 550°C menunjukkan konsentrasi yang tinggi dari hidrokarbon ringan (72%) dibandingkan dengan biofuel yang diperoleh pada suhu 500°C (60%), 450°C (45%) dan 400°C (4%). Selain itu, tidak ada asam karboksilat yang tertarik di bahan bakar selama proses pirolisis pada suhu 450°C, 500°C dan 550°C. Berdasarkan hasil percobaan didapat biofuel yang rendah oksigen, bebas sulfur, asam karboksilat dan trigliserida, hidrokarbon ringan C<sub>10</sub> – C<sub>15</sub>, dan nilai kalori yang tinggi hampir sebanding dengan bahan bakar diesel, sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar. Peralatan pirolisis yang dioperasikan dengan input daya listrik 1,12 kW mampu menghasilkan biofuel dengan kandungan energi setara dengan sekitar 3 kW, menunjukkan rasio energi positif sebesar 2,7 dan *recovery* 73% dari *input* energi ke sistem.

Budianto, et al. (2016:1) melakukan penelitian tentang karakteristik *thermal reaktor* gelombang mikro dengan judul *Thermal Characteristics Analysis of Microwaves Reactor for Pyrolysis of Used Cooking Oil*. Penelitian ini menggunakan variasi daya penyinaran *microwave* sebesar 347 W, 399 W, 572 W dan 642 W. Reaktor gelombang mikro terdiri dari unit *microwave* dengan daya maksimum 642 W, reaktor keramik, dan kondensor yang dilengkapi sistem pengukuran suhu. Pirolisis UCO mengalami kesulitan di bawah energi gelombang mikro tanpa kehadiran bahan absorber karena memiliki kapasitas rendah dalam menyerap energi gelombang mikro. Hasil yang optimal diperoleh pada daya gelombang mikro 642 W dengan karbon aktif sebanyak 100 g, dalam kondisi

tersebut mencapai suhu 480°C, laju pemanas 18,2°C/menit dan efisiensi termal 53% yang tepat untuk pirolisis menggunakan bahan baku minyak goreng bekas.

Xue, et al. (2015) melakukan penelitian pirolisis dengan menggunakan bahan baku kayu ek merah dan polietilen densitas tinggi (*high density polyethylene*). Kehadiran HDPE meningkatkan pembentukan ans dan asam, kurangi jumlah vanillin, dan sebagai gantinya meningkatkan jumlah metal atau propenil fenol. Penelitian tersebut dilakukan dalam skala laboratorium dengan reaktor unggun terfluidisasi dalam kisaran suhu 525°C sampai 675°C. Ditemukan bahwa peningkatan suhu pirolisis yang optimal berada pada suhu 625°C. Minyak yang dihasilkan dari produksi pirolisis tersebut mencapai 57,6 wt%. Pirolisis dengan HDPE meningkatkan produksi furan, asam, dan air dari ek merah. Kehadiran HDPE juga menghambat formasi char dari ek merah dan meningkatkan *higher heating value* (HHV) dari arang yang dihasilkan.

Borges, et al. (2014) dengan penelitian berjudul “*Fast Microwave Assisted of Biomass Using Microwave Absorbent*”, menggunakan kayu dan tongkol jagung sebagai bahan baku penelitian dengan absorber berupa *Silicon Carbida (Sic)* sebanyak 500 g. Kontrol suhu yang digunakan dalam proses pirolisis berada pada kisaran 450°-550°C. Penyerap gelombang mikro dapat digunakan dalam MAP untuk meningkatkan kenyamanan massa dan cepat mencapai kondisi *fast pyrolysis*. Konsep FMAP yang diimplementasikan dapat memungkinkan sistem kontinyu dan semi kontinyu dilakukan penambahan biomassa yang hampir instan. Sistem pirolisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah pirolisis secara kontinyu. Hasil pada penelitian ini didapatkan *bio-oil* paling optimal sebesar 65 wt-% untuk kayu

dan 64 wt-% untuk tongkol jagung pada suhu 450°C. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan penyerap gelombang mikro untuk *fast microwave assisted pyrolysis* (FMAP) layak digunakan.

Studi yang dilakukan oleh Fukuda (2014) menyelidiki produksi *bio-oil* dari pirolisis biomassa di Thailand. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan bahan baku tankos kelapa sawit, jerami, sekam padi, kayu putih, kayu teng, dan kayu karet. Alasan bahan baku tersebut digunakan adalah sifatnya yang mudah terbakar dan memiliki kemudahan akses untuk diperoleh. Penelitian ini mempertimbangkan efek dari sifat biomassa. Biomassa dengan bahan volatil yang lebih tinggi akan memberikan hasil *bio-oil* yang memiliki kadar abu tinggi sehingga menghambat produksi *bio-oil*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi produk sangat bergantung pada suhu dan sifat biomassa. Hasil minyak maksimum 50-60 wt-% diperoleh pada suhu 450-550°C. Ketika suhu meningkat, hasil arang menurun sedangkan gas tently meningkat. Produk gas pirolisis didominasi oleh CO<sub>2</sub>, dan CO dengan jumlah yang lebih kecil dari CH<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>. Analisis komposisi *bio-oil* oleh GC-MS menyatakan bahwa sampel biomassa kayu cenderung menghasilkan senyawa keton dan fenolik tinggi, sedangkan non kayu kecuali tankos sawit menghasilkan furan yang tinggi

Tabel 2.1 *Review* penelitian terkait

| No | Peneliti                  | Bahan Baku    | Temperatur                           | Tipe Pirolisis | Sistem Pirolisis |
|----|---------------------------|---------------|--------------------------------------|----------------|------------------|
| 1. | Nugroho, et al.(2019:119) | Serbuk Mahoni | 250°C, 350°C, 450°C, 500°C dan 600°C | <i>Slow</i>    | <i>Batch</i>     |

| No | Peneliti                   | Bahan Baku  | Temperatur                  | Tipe Pirolisis | Sistem Pirolisis  |
|----|----------------------------|---|-----------------------------|----------------|-------------------|
| 2. | Lam, et al. (2018)         | Limbah kelapa sawit   | 400°C - 500°C               | <i>Fast</i>    | <i>Batch</i>      |
| 3. | Udyani, et al., (2018:393) | Limbah kantong plastik  | 500°C, 550°C, 600°C, 650°C. | <i>Slow</i>    | <i>Semi Batch</i> |
| 4. | Joseph Oyebanji (2017)     | Kayu lunak dan kayu keras   | 300°C sampai 800°C          | <i>Fast</i>    | <i>Batch</i>      |
| 5. | Budianto, et al., (2016:1) | Minyak jelantah   | 347 W, 399 W, 572 W, 642 W  | <i>Slow</i>    | <i>Batch</i>      |
| 6. | Lam, et al. (2016:1)       | Limbah minyak kelapa sawit  | 400°C, 450°C, 500°C, 550°C  | <i>Fast</i>    | <i>Batch</i>      |
| 7. | Yuan Xue, et al. (2015)    | Pohon ek merh dan HDPE  | 525°C sampai 675°C          | <i>Fast</i>    | Kontinyu          |
| 8. | Borges, et al. (2014)      | Kayu dan tongkol jagung   | 450°C-550°C                 | <i>Fast</i>    | Kontinyu          |
| 9. | Fukuda (2014)              | Tankos kelapa sawit, jerami, sekam padi, kayu putih, kayu teng, dan kayu karet. | 450°C-550°C                 | <i>Fast</i>    | <i>Batch</i>      |

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, terdapat variasi hasil yang didapatkan sehingga peneliti bermaksud melakukan penelitian tentang proses pirolisis menggunakan variasi temperatur dan metode pemanas iradiasi *microwave*. Perbedaan penelitian ini dengan sebelumnya terletak pada sistem pirolisis, tipe pirolisis, dan bahan baku yang digunakan. Sistem pirolisis dalam penelitian ini



adalah menggunakan sistem kontinyu dengan tipe *fast pyrolysis* dan bahan baku berupa minyak kelapa sawit (*crude palm oil*).

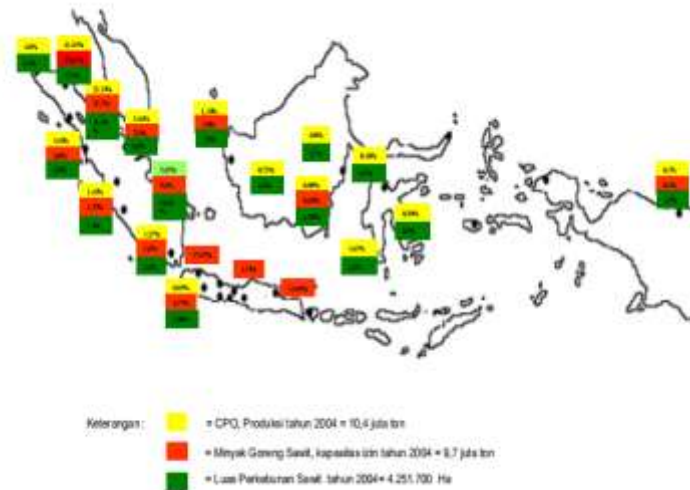
Penelitian sebelumnya tentang proses pirolisis menggunakan bahan baku minyak kelapa sawit telah dilakukan oleh Udyani, et al. (2019), Lam, et al. (2016), dan Fukuda (2014). Sistem pirolisis yang digunakan oleh Udyani, et al. (2019) dan Fukuda (2014) menggunakan sistem *batch* dengan tipe pirolisis *fast*, sedangkan Udyani, et al. (2019) menggunakan sistem *semi batch* dengan tipe pirolisis *slow*. Sistem pirolisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem kontinyu dengan tipe pirolisis *fast*. Dengan adanya sistem *batch* dan *semi batch* yang dilakukan peneliti sebelumnya, penulis kemudian memvariasikan sistem pirolisis menjadi sistem kontinyu. Penelitian ini mengacu pada studi Borges, et al. (2014) yang menggunakan sistem pirolisis kontinyu untuk menghasilkan *bio-oil* yang berasal dari kayu dan tongkol jagung. Perbedaan dengan penelitian ini terletak pada bahan baku dan temperatur yang digunakan. Variasi temperatur pada penelitian ini mengacu pada studi yang dilakukan oleh Lam, et al. (2016).

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Minyak Kelapa Sawit**

Pohon kelapa sawit merupakan tanaman yang digunakan untuk pertanian komersil dalam pengeluaran minyak kelapa sawit. Bagian daging buah menghasilkan minyak kelapa sawit mentah yang dapat diolah menjadi bahan baku minyak goreng. Kelapa sawit tergolong dari *family palmea* dan merupakan salah satu jenis komoditi yang paling banyak disukai oleh para pengusaha dibidang perkebunan. Hal ini ditunjukkan dengan adanya trend pembukaan atau perluasan

lahan yang dinotabene dijadikan sebagai perkebunan kelapa sawit. Berikut ini merupakan peta penyebaran kebun kelapa sawit di Indonesia dengan penyebaran terbanyak berada di Sumatera dan Kalimantan.



Gambar 2.1 Lahan produksi minyak kelapa sawit  
(Sumber : Pusat Data dan informasi Departemen Perindustrian)

Minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) merupakan minyak kelapa sawit mentah yang diperoleh dari hasil ekstraksi buah kelapa sawit dan belum mengalami pemurnian. Biasanya minyak sawit digunakan sebagai kebutuhan pangan, industri kosmetik, industri kimia, dan pakan ternak. Kebutuhan minyak sawit sebesar 90% digunakan sebagai bahan pangan, sedangkan 10% digunakan untuk industri oleokimia yang menghasilkan asam lemak. Rata-rata asam lemak minyak kelapa sawit ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Asam Lemak Minyak kelapa Sawit

| Asam Lemak    | Jumlah % |
|---------------|----------|
| Asam Kaprilat | -        |
| Asam akproat  | -        |
| Asam Miristat | 1,1-2,5  |
| Asam Palmitat | 40-46    |
| Asam Stearat  | 3,6-4,7  |

| Asam Lemak    | Jumlah % |
|---------------|----------|
| Asam Kaprilat | -        |
| Asam Laurat   | -        |
| Asam Linoleat | 7-11     |
| Asam Oleat    | 30-45    |

Sumber : Pasaribu (2004:2)

Minyak sawit memiliki warna kuning, kuning kecoklatan, kehijau-hijauan, dan kemerah-merahan. Warna tersebut disebabkan karena terdapat zat warna yang terdiri dari  $\alpha$ -ka-roten,  $\beta$ -karoten, xanthopil, kloropil dan antosianin. Karoten yang larut dalam minyak menyebabkan minyak sawit berwarna kuning (Pasaribu, 2004:4).

Tabel 2.3 Syarat mutu biodiesel

| No | Parameter                                | Satuan                    | nilai      |
|----|--|---------------------------|------------|
| 1  | Massa jenis pada 40 °C                   | Kg/m <sup>3</sup>         | 850 - 890  |
| 2  | Viskositas kinematik pd 40 °C            | mm <sup>2</sup> /s (cSt)  | 2,3 – 6,0  |
| 3  | Angka setana                             |                           | min. 51    |
| 4  | Titik nyala (mangkok tertutup)           | °C                        | man. 100   |
| 5  | Titik kabut                              | °C                        | maks. 18   |
| 6  | Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C) |                           | maks. no.3 |
|    | Residu karbon                            |                           |            |
| 7  | - Dalam contoh asli, atau                | %-massa                   | maks. 0,05 |
|    | - Dalam 10 % ampas distilasi             |                           | maks. 0,30 |
| 8  | Air dan sedimen                          | %-vol                     | maks. 0,05 |
| 9  | Temperatur distilasi 90 %                | °C                        | maks. 360  |
| 10 | Abu tersulfat                            | %-massa                   | maks. 0,02 |
| 11 | Belerang                                 |                           | maks. 100  |
| 12 | Fosfor                                   |                           | maks. 10   |
| 13 | Angka asam                               |                           | maks. 0,8  |
| 14 | Gliserol bebas                           | %-massa                   | maks. 0,02 |
| 15 | Gliserol total                           | %-massa                   | maks. 0,24 |
| 16 | Kadar ester alkil                        | %-massa                   | min. 96,5  |
| 17 | Angka iodium                             | (g-I <sub>2</sub> /100 g) | maks. 115  |

\* dapat diuji terpisah dengan ketentuan kandungan sedimen maksimum 0.01%-vol

(Sumber : BSN SNI 04-7182-2006)

### 2.2.2 *Bio-oil*

*Bio-oil* adalah bahan bakar cair yang memiliki warna kehitaman, *bio-oil* berasal biomassa nabati seperti kayu, kulit kayu, dan limbah industri biomassa lainnya melalui proses pirolisis (Mujiarto et al. 2014) Karakteristik *bio-oil* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

*Bio-oil* merupakan salah satu bahan bakar alternatif sebagai pengganti minyak bumi yang mengalami penurunan produksi setiap tahunnya. Salah satu keuntungan *bio-oil* adalah ramah lingkungan karena dapat mendaur ulang limbah, tidak menghasilkan emisi Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>) dan pada saat dibakar emisi Nitrogen Oksid (NO<sub>x</sub>) yang dihasilkan hanya sekitar 15% karena kandungan nitrogen dan sulfur yang sangat sedikit pada *bio-oil* (Akbar dan Sunarno, 2013).

Tabel 2.4 Karakteristik *bio-oil* penelitian terdahulu

| Peneliti                | Bahan Baku          | Metode Pemanasan                   | Uji sifat fisika |           |
|-------------------------|---------------------|------------------------------------|------------------|-----------|
|                         |                     |                                    | Densitas (g/mL)  | pH        |
| Wibowo 2016             | Serbuk Kayu         | Oven                               | -                | 2,98-3,37 |
| Rahmatullah et al, 2019 | Minyak Kelapa Sawit | Reaktor ( <i>Fixed-bed</i> )       | 1,031            | 6         |
| Limbong 2019            | Tandan Kosong Sawit | Reaktor ( <i>Flash Pirolisis</i> ) | 1,0017           | -         |
| Putri et al, 2019       | Kulit Durian        | <i>Slow pyrolysis</i>              | 1,031            | 6         |

Penelitian mengenai densitas dan pH untuk uji sifat fisika telah dilakukan oleh Wibowo (2016) dengan bahan baku serbuk kayu menggunakan metode pemanas oven, didapatkan pH sebesar 2,98-3,37. Rahmatullah, et al. (2019) menggunakan bahan baku minyak kelapa sawit dan metode pemanas *fixed-bed* didapatkan pH sebesar 6, densitas sebesar 1,031 g/mL. Penelitian serupa juga

dilakukan oleh Limbong (2019) dengan bahan tandan kosong sawit menggunakan metode *flash pirolisis* didapatkan densitas sebesar 1,0017 g/mL. Putri, et al. (2019) menggunakan limbah kuliati durian dengan metode *slow pyrolisis* mendapatkan densitas sebesar 1,031 g/mL dan pH sebesar 6. Parameter SNI karakteristik *bio-oil* ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Parameter SNI Karakteristik *Bio-oil*

| Karakteristik                   | Parameter SNI 7182-2012 |
|---------------------------------|-------------------------|
| Massa Jenis (g/mL)              | 0,850-0,90              |
| Bilangan Asam (mg KOH/g sampel) | Maks 0,6                |

Sumber : ASTM D 1298

### 2.2.3 Karakteristik *Bio-oil*

#### 2.2.3.1 Massa Jenis (*Density*)

Massa jenis (densitas) merupakan pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya (Andi, et al. 2017:4). Setiap bahan memiliki densitas yang berbeda tergantung pada faktor lingkungan seperti suhu dan tekanan. Satuan densitas adalah kg/m<sup>3</sup>. Densitas dapat diukur dengan piknometer dan timbangan digital (Wahyuni, et al. 2015:35). Densitas dapat dihitung dengan rumus:

$$\rho = \frac{G-G_0}{V} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

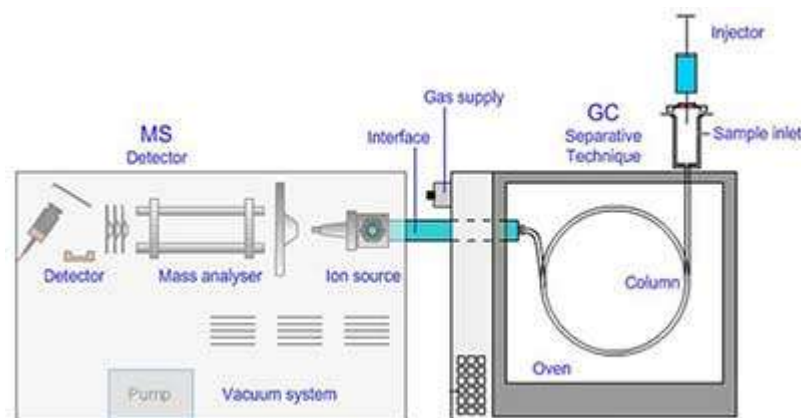
- $\rho$  = massa jenis (g/mL)
- $G$  = massa gelas ukur berisi minyak (g)
- $G_0$  = massa gelas ukur (g)
- $V$  = volume gelas ukur berisi minyak (mL)

#### 2.2.3.2 pH

Tingkat asam atau basa (pH) merupakan derajat keasamaan yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Kadar keasaman suatu larutan mulai dari pH 0 sampai pH 14. Dimana larutan yang normal memiliki kandungan pH bernilai 6,5 sampai 7,5. Bila nilai pH dibawah 6,5 menunjukkan larutan tersebut memiliki sifat asam sedangkan nilai pH lebih dari 7,5 menunjukkan larutan tersebut memiliki sifat basa. pH 0 menunjukkan derajat keasamaan tinggi, dan pH 14 menunjukkan derajat kebasaan yang tinggi (Azmi, et al. 2016:102).

### 2.2.3.3 Komposisi Kimia

Untuk mengetahui komposisi kimia *bio-oil* hasil pirolisis minyak kelapa sawit perlu dilakukan uji menggunakan alat GC-MS (*Gas Chromatography Mass Spectrometry*). GC-MS atau biasa dikenal *kromatografi gas* (GC) *spektrometri massa* (MS) untuk mengidentifikasi senyawa yang berbeda dalam analisis sampel.



Gambar 2.2 GC-MS (*Gas Chromatography Mass Spectrometry*)

Penggunaan *kromatografi gas* memungkinkan campuran pada suatu zat dapat dipisahkan secara molekular. Pemisahan campuran berdasarkan perbedaan kecepatan migrasi komponen-komponen penyusunnya.

## 2.2.4 Pyrolysis

*Pyrolysis* merupakan proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau udara terbatas dan produk yang dihasilkan dari pirolisis adalah arang (char), minyak, dan gas ( Ridhuan, et al. 2019:19). Proses pirolisis umumnya berlangsung pada temperatur diatas 300°C dalam waktu 4-7 jam tergantung pada bahan baku dan proses pembuatanya. Beberapa faktor yang mempengaruhi *pirolisis* antara lain kadar air, ukuran partikel, temperatur, waktu, bahan, dan tipe *pirolisis* (Ridhuan, et al. 2019:20).

### 2.2.4.1 Proses Pirolisis

Proses pirolisis dibagi menjadi tiga, berdasarkan *heat rate* dan waktu tinggal uap yaitu *fast pyrolysis*, *slow pyrolysis*, dan *flash pyrolysis*. *Fast Pyrolysis* menggunakan laju pemanas sebesar 50°-105°C/s, waktu pemanasan *relative* cepat yaitu 0,5-5 detik. *Slow pyrolysis* menggunakan laju pemanas yang lambat, temperature kecil dan waktu pemanasan yang lama. Laju pemanas *slow pyrolysis* adalah kurang dari 1C/s (Labib, 2017:8). *Flash Pyrolysis* karakteristik dari *flash pyrolysis* yaitu laju pemanas yang sangat cepat yaitu lebih besar dari 105°C/s (Labib, 2017:8).

### 2.2.4.2 Faktor

#### 1. Kadar air

Adanya kandungan air dalam bahan yang dipirolisis mempengaruhi proses pirolisis karena air dalam bahan baku pirolisis akan menggunakan energi untuk menghilangkan kadar air. Energi yang seharusnya digunakan untuk proses pirolisis digunakan sebagian untuk menghilangkan kadar air bahan. Akibatnya

bahan yang memiliki kadar air tinggi membutuhkan energi yang tinggi. Gas yang dihasilkan bahan baku dengan kadar air tinggi lebih sedikit dari pada bahan baku dengan kadar air rendah (Udyani, et al. 2018).

## 2. Ukuran Partikel

Ukuran partikel berpengaruh terhadap hasil *pyrolysis*, karena ukuran partikel yang kecil akan menghasilkan panas yang merata (Rachmawati, 2015:13)

## 3. Temperatur dan Waktu

Temperatur dan Waktu merupakan salah satu faktor yang penting dalam proses pirolisis, kenaikan temperatur dan waktu semakin banyak gas yang dihasilkan. Hasil minyak akan meningkat sampai batas tertentu kemudian menurun dan hasil padatan cenderung rendah. Semakin tinggi temperatur nilai kalor maka hasil gas juga akan meningkat. ( Maulina, 2017: 39)

## 4. Bahan

Bahan merupakan objek yang digunakan dalam penelitian. Penelitian tentang bahan telah dilakukan oleh Aydinli dan Caglar (2010) dalam Udyani, et al. (2018). Bahan yang diteliti adalah kulit kemiri dengan plastik yang menghasilkan peningkatan jumlah plastik mendapatkan hasil minyak yang lebih banyak, padatan lebih sedikit, dan hasil gas yang cenderung sama.

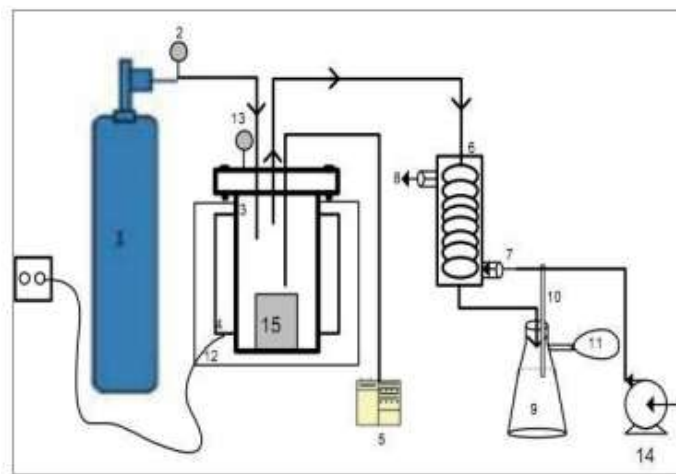
### **2.2.5 Metode Pemanasan**

Dalam penelitian pirolisis metode pemanasannya dibagi menjadi dua tipe yaitu pirolisis konvensional dan pirolisis *microwave* (Juliastuti, et al. 2015).



### 2.2.5.1 Konvensional

Salah satu metode yang digunakan pada proses *pyrolysis* adalah metode konvensional. Metode konvensional merupakan metode yang paling umum dengan menggunakan pemanas langsung dari aliran listrik yang menjadi sumber panasnya (Juliastuti, et al. 2015).



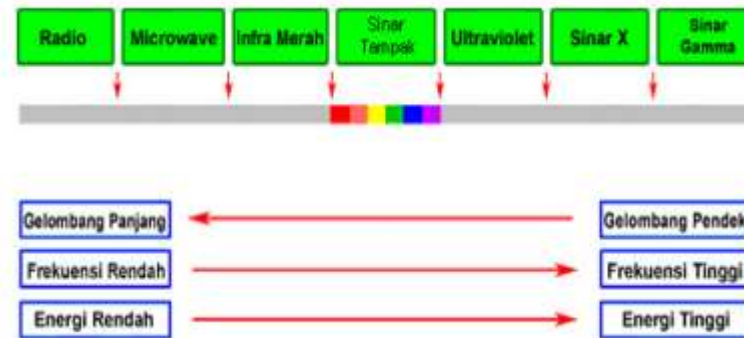
Gambar 2.3 Skema proses *pyrolysis* konvensional  
(Sumber : Febrianto :2015)

Keterangan : 1) Tabung nitrogen 2) Rotameter 3) Reaktor *pyrolysis* 4) *Elektric furnance* 5) *thermocouple* 6) Kondensor reflux 7) *Inlet* air pendingin 8) *Outlet* air pendingin 9) Penampung liquid 10) Termometer 11) Penampung gas 12) Isolator 13) *Pressure gauge* 14) Pompa 15) Tempat sampel

### 2.2.5.2 Microwave

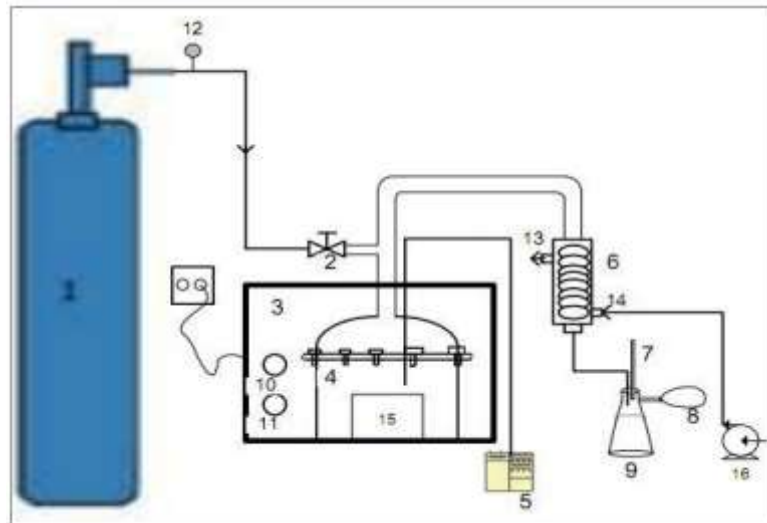
Gelombang mikro atau biasa dikenal dengan *microwave* adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi super tinggi (*Super High Frequency*). Frekuensi yang dimiliki gelombang mikro yaitu diatas 3GHz. Gelombang mikro seperti gelombang radio namun memiliki panjang gelombang sangat pendek atau *ultra-short* sehingga disebut mikro. Walaupun sangat kecil gelombang mikro memiliki ukuran yang lebih besar dari gelombang cahaya. Keduanya terdapat pada spektrum gelombang elektromagnetik (Gambar 2.4). Gelombang cahaya memiliki panjang

gelombang berkisar antara 400-700nm ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ), sedangkan gelombang mikro sekitar 1-30cm ( $1\text{ cm} = 10^{-2}\text{ m}$ ) (Handayani, 2010).



Gambar 2.4 Spektrum gelombang elektromagnetik  
(Sumber Handayani : 2010)

Tanpa disadari pemanfaatan gelombang mikro sangat luas dalam kehidupan sehari-hari. *Microwave oven* memberikan radiasi gelombang mikro yang berguna untuk memanaskan benda. Selain untuk memanaskan benda gelombang mikro juga dapat digunakan untuk menentukan posisi suatu objek dengan prinsip pemantulan gelombang mikro atau biasa disebut dengan RADAR (*Radio Detection and Ranging*). Pada dunia kesehatan gelombang mikro digunakan sebagai metode pengobatan penderita kanker atau tumor dengan cara kerja yang mirip dengan *microwave oven*, gelombang mikro dipancarkan tepat pada lokasi kanker atau tumor sehingga sel kanker atau tumor dapat hancur. *Bluetooth* dan *wifi* merupakan salah satu contoh gelombang mikro yang digunakan sebagai media komunikasi. Panjang gelombang mikro yang relatif pendek menyebabkan gelombang merambat relatif cepat dengan menggunakan antena yang kecil.



Gambar 2.5 Skema proses *pyrolysis* konvensional  
(Sumber : Febrianto :2015)

Keterangan: 1) Tabung nitrogen 2) Valve 3) *Microwave oven* 4) Reaktor 5) *Thermocouple* 6) Kondensor reflux 7) Termometer 8) Penampung gas 9) penampung liquid 10) Pengatur daya 11) Pengatur waktu 12) Rotameter 13) Outlet air pendingin 14) Inlet air pendingin 15) Tempat sampel 16) Pompa

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Nilai densitas *bio-oil* tertinggi pada bahan baku minyak kelapa sawit sebesar  $670 \text{ kg/m}^3$ . Sedangkan pH *bio-oil* tertinggi ada pada suhu  $400^\circ\text{C}$  dan  $450^\circ\text{C}$ , masing-masing sebesar 3. Komposisi kimia *bio-oil* dari bahan baku minyak kelapa sawit mengandung fraksi diesel ( $\text{C}_{10}\text{-C}_{15}$ ), presentase area fraksi diesel tertinggi ada pada suhu  $500^\circ\text{C}$  sebesar 5,65%.
2. Semakin tinggi temperatur maka semakin banyak *bio-oil* yang didapatkan. Perolehan *bio-oil* terbanyak ada pada suhu  $500^\circ\text{C}$  dan  $550^\circ\text{C}$  masing-masing sebesar 75 g/min. Sedangkan pada suhu  $400^\circ\text{C}$  dan  $450^\circ\text{C}$  mendapatkan *bio-oil* sebanyak 50 g/min.
3. Hasil fraksi *bio-oil* minyak kelapa sawit yang mengandung fraksi diesel terbanyak ada pada suhu  $500^\circ\text{C}$ , yaitu sebesar 5,65%.

#### 5.2 Saran

Sehubungan dengan penelitian tentang produksi *bio-oil* dari bahan baku minyak kelapa sawit menggunakan proses *fast pyrolysis*, maka saran yang diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan pemanas pada tanki bahan baku untuk mempercepat pemanasan pada reaktor dan proses *pre-treatment* pada bahan baku menjadi lebih maksimal, sehingga *bio-oil* yang dihasilkan lebih optimal.

2. Diperlukan proses destilasi *bio-oil* yang bertujuan untuk menghasilkan masing-masing fraksi bahan bakar, sehingga dapat dijadikan pertimbangan untuk mengembangkan Energi Baru Tebarukan (EBT).
3. Reaktor dalam penelitian ini menggunakan tanah liat yang mudah bocor saat dipanaskan dalam waktu yang lama, sehingga untuk penelitian selanjutnya diperlukan reaktor yang tahan panas dan tidak mengalami kebocoran ketika dipanaskan dalam waktu yang lama.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abdullah, A., Y.A.P, Pratama., dan A. Irwan. 2019. Pyrolysis of Waste Cooking Oil With Activated Zeolite Catalyst Using NaOH Solutions. *Konversi*, 8(1): 29–38.
- Abdullah, A., Santoso, U.T. and Junaidi, A.B., 2019, April. Pirolisis minyak sawit dalam rangka pembuatan cetane improper. *In Prosiding Seminar Nasional Llingkungan Lahan Basah*, 4: 311-316.
- Akbar, F. dan Sunarno. 2013. Sintesis Katalis Ni / ZSM-5 untuk Pirolisis Cangkang Sawit Menjadi Bio-Oil. *Jurnal Prodi Teknik Kima UPN Yogyakarta*. 11: 23–26.
- Abnisa, F., W.W. Daud., W.N.W. Husin. dan J.N. Sahu., 2011. Utilization Possibilities of Palm Shell as A Source of Biomass Energy in Malaysia by Producing Bio-Oil in Pyrolysis Process. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), pp.1863-1872.
- Amrullah, A., Y. Ristianingsih., A. Mursadin. dan C. Abdi, 2015. Studi Eksperimental Bio Oil Berbahan Baku Limbah Sisa Makanan Dengan Variasi Temperatur Pirolisis.
- Antika, L., E., Julianty, A.N. Miroah, dan F. Hapsari. 2012. Pengukuran (Kalibrasi) Volume dan Massa Jenis Aluminium. *Spektra. Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 13(1): 24-28.
- Azmi, Z., Saniman dan Ishak. 2016. Sistem Penghitung pH air pada Tambak Ikan Berbasis Mikrokontroller. *Jurnal Saintikom*. 15(2): 101-108.
- Bahadir, A., H. Keles, dan K. Kaygusuz 2017. Bio-oil production from fast pyrolysis of maple fruit (*acer platanoides samaras*): product yields. *World Journal of Engineering*. 14(1): 55-59.
- Borges, F. C., Z. Du, Q. Xie, J. O. Trierweiler, Y. Cheng, Y. Wan, R. Ruan. 2014. Fast Microwave Assisted Pyrolysis of Biomass Using Microwave Absorbent. *Bioresource Technology*. 156: 267–274.
- Budianto, M. A., S. Anis, dan W. Sumbodo. 2018. Study of Thermal Heating of Waste Engine Oil in a Microwave Pyrolysis Reactor. *Journal of Physical Science*. 29: 39–52.
- Dewi, L.T., I. J. Mulyono, dan A. L. Maukar. 2013. Penentuan Kombinasi Komposisi Paving Dengan Menggunakan Metode Full Faktorial Design. *Widya Teknik*. 10(1): 82-91.

- Fachrizal, R. Mustafa., dan M. Pramudji. 2012. Rancang Bangun Perangkat Eksperimentasi Proses Pirolisis Biomassa Gelombang Mikro. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* 14(2): 153-160.
- Fatimah, W. 2014. Pemanfaatan Minyak Jelantah dan Ampas Segar Kelapa Sawit pada Pembuatan Biodisel Melalui Proses Transesterifikasi in Situ. *Tesis*. Program Pasca Sarjana Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Gómez, N., S.W. Banks, D.J. Nowakowski, J.G. Rosas, J. Cara, M.E. Sánchez, and A.V. Bridgwater , 2018. Effect of temperature on product performance of a high ash biomass during fast pyrolysis and its bio-oil storage evaluation. *Fuel Processing Technology*, 172: 97-105.
- Fukuda, S. 2015. Pyrolysis Investigation for Bio-Oil Production From Various Biomass Feedstocks in Thailand. *International Journal of Green Energy*, 12(3): 215–224.
- Handayani, S. P. 2010. Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Ikan Dengan Radiasi Gelombang mikro. *Skripsi*. Program Sarjana Universitas Sebelas Maret.
- Harold. 2016. Analisis Kandungan Bio-Oil Hasil Pirolisis Limbah Cangkang Kelapa Sawit Berdasarkan Variasi Temperatur. *Skripsi*. Program Sarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Juliastuti, S.R. 2015. Pengolahan limbah plastik kemasan multilayer LDPE (Low Density Poly Ethilene) dengan menggunakan metode Pirolisis Microwave. *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*. 11-1.
- Kementerian BUMN. 2019. *Minyak Kelapa Sawit Layak Gantikan Minyak Solar* di <http://www.bumn.go.id./ptpn1/berita/1-Minyak-Kelapa-Sawit-Layak-Gantikan-Minyak-Solar>. 17 Desember 2019 (05.32)
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2019. *Outlook Energi Indonesia 2019: Dewan Energi Nasional*. Jakarta: Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2015. *Data Lima Tahun Terakhir* di <https://www.pertanian.go.id/home/?show=page&act=view&id=61.17> Desember 2019 (06.23)
- Kholiq, I. 2015. Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK*. 19 (2).
- Lam, S. S., T. C. Chong., A. W. Mahari., K. C. Cheng., Omar. (Eds). 2016. Recovery of diesel-like fuel from waste palm oil by pyrolysis using a microwave heated bed of activated carbon. *Energy*. 115: 791-799.

- Lam, S. S., W.A.W. Mahari, C.K. Cheng, R. Omar, C.T. Chong, dan H.A. Chase. 2016. Recovery of Diesel-like Fuel From Waste Palm Oil by Pyrolysis Using a Microwave Heated Bed of Activated Carbon. *Energy*, 115: 791–799.
- Lam, S. S., R. K. Liew, C.K. Cheng, N. Rasit, C.K. Ooi, N.L. Ma, H.A. Chase. 2018. Pyrolysis Production of Fruit Peel Biochar for Potential Use in Treatment of Palm Oil Mill Effluent. *Journal of Environmental Management*, 213: 400–408.
- Lautenberger, C. dan A.C Fernandez-Pello. 2011. Optimization Algorithms for Material Pyrolysis Property Estimation. *Fire Safety Science*. 10: 751-764. 10.3801/IAFSS.FSS.10-751.
- Limpong, H.P. 2019. Performa Reaktor Pirolisis Dengan Bahan Tandan Kosong Sawit. *Jurnal Teknik dan Teknologi*. 14(28): 28-32.
- Maulina, S. dan F.S. Putri, 2017. Pengaruh Suhu, Waktu, dan Kadar Air Bahan Baku Terhadap Pirolisis Serbuk Pelepah Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 6(2): 35-40.
- M, Indra. M, A. Putra, A. Raines dan Reno. 2017. Produksi Bahan Bakar Minyak Bio (Bio Oil) dari Sampah Kota Bandar Lampung dengan Metode Pirolisis Sebagai Solusi Terbaik dalam Manajemen Pengelolaan Sampah dan Diversifikasi Energi. *Inovasi Pembangunan: Jurnal Kelitbangan*. 5(2): 137-145.
- Mujiarto, S., Y. Ristianingsih, A. Amrullah, dan A. Khalid, 2013. Studi Proses Pirolisis Tandan Kosong Sawit Menjadi Bio Oil Sebagai. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9): 1689–1699.
- Novarianto, H. 2018. *Minyak Kelapa sebagai Bahan Bakar Nabati untuk Kawasan Pesisir Coconut Oil as Biofuel for Coastal Areas*. Manado: Indonesian Coconut and Palmae Research Institute.
- Nugroho, A., W. Wijayanti, M.N. Sasongko, 2019. Pengaruh Temperatur Terhadap Laju Reaksi Tar Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni Pada Rotary Kiln, *Rekayasa Mesin*. 113–120.
- Oyebanji, J. 2017. Compositional and Experimental Investigation of The Effect of Reactor Temperature on Soft Wood and Hard Wood Pyrolysis. *World Journal of Engineering* 15(1): 21 – 26.
- Pasaribu, N. 2004. *Minyak Buah Kelapa Sawit*. Sumatera Utara: E-USU Repository. 1–8.



- Pertamina. 2018. *Pertamina Yakinkan Masyarakat Ketersediaan B20* di <https://pertamina.com/id/news-room/energia-news/pertamina-yakinkan-masyarakat-ketersediaan-b20>. 19 Desember 2019 (15.30)
- Priyono, M.M., 2008. *Metode penelitian kuantitatif*. Taman Sidoarjo: Zifatama.
- Qiram, I., D. Widhiyanuriyawan, dan W. Wijayanti. 2015. Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Massa dan Energi Yang Dihasilkan Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (*Switenia Macrophylla*) Pada Rotary Kiln. *Rotor*. 8: 1-7.
- Rahmatullah, W. P. Rizka, Nurisman, Enggal. 2019. Produksi *Bio-Oil* dari Limbah Kulit Durian dengan Proses Pirolisis Lambat. *Jurnal Teknik Kimia*. 2(55).
- Rachmawati, Q., 2015. Pengolahan Sampah Secara Pirolisis Dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik. *Skripsi*. Program Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ridhuan, K.,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.
- Saparudin, S., S. Syahrul, dan N. Nurchayati, 2015. Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis Terhadap Kadar Hasil dan Nilai Kalor Briket Campuran Sekam Padi-Kotoran Ayam. *Dinamika Teknik Mesin*, 5(1): 16–24.
- Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional. 2015. *Outlook Ketahanan Energi Indonesia 2015*. Jakarta Selatan: Dewan Energi Nasional.
- Setyanto, A. E. 2013. Memperkenalkan Kembali Metode Eksperimen dalam Kajian Komunikasi. *Jurnal ILMU KOMUNIKASI*, 3(1): 37–48.
- SKK Migas. 2018. *Laporan Tahunan 2018*. Jakarta Selatan: Kementerian ESDM.
- Taunaumang, H. and P.E. Golioth, 2018. Konduktivitas Fluida-Cairan Di Manifestasi Panas Bumi Bukit Kasih Kanonang Sulawesi Utara. *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*. 2(1): 29-38.
- Tirtasari, N. L. 2017. Uji Kalibrasi ( Ketidakpastian Pengukuran ) Neraca Analitik di Laboratorium Biologi FMIPA UNNES. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(2): 151–155.
- Udyani, K., E. Ningsih, dan M. Arif. 2018. Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Yield dan Kantong Plastik Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan VI*. Surabaya. 389–394.

- Umiati, N.A. 2009. Pengujian Kekuatan Dielektrik Minyak Sawit dan Minyak Castrol Menggunakan Elektrode Bola – Bola dengan Variasi Jarak Antar Elektrode dan Temperatur. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(1): 23-36.
- Wicaksono, M.A. dan A. Arijanto. 2017. Pengolahan Sampah Plastik Jenis Pet (polyethylene Perekthath) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *JURNAL TEKNIK MESIN*, 5(1): 9-15.
- Wahyuni, S., Ramli, dan Mahrizal. 2015. Pengaruh Suhu Proses dan Lama Pengendapan Terhadap Kualitas Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Pillar of Physics*. 6: 33–40.
- Wibowo, S. 2015. Characteristics of Bio-oil Made of Forest Products Waste by Fast Pyrolysis Process. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(1): 61–76.
- Xue, Y., S. Zhou, R.C. Brown, A Kelkar dan X. Bai, , 2015. Fast Pyrolysis of Biomass and Waste Plastic in a Fluidized Bed Reactor. *Fuel* 156: 40-46.