

TUGAS AKHIR

PRODUKSI *BIO OIL* DARI LIMBAH KULIT BIJI METE DENGAN METODE *MICROWAVE* PIROLISIS

Oleh :

MUHAMMAD RAFI NASWAN NATSIR

D211 16 321



DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020



TUGAS AKHIR

**PRODUKSI BIO OIL DARI LIMBAH KULIT BIJI METE DENGAN
METODE MICROWAVE PIROLISIS**

OLEH :

MUHAMMAD RAFI NASWAN NATSIR

D211 16 321

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020



LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar sarjana Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

**PRODUKSI BIO OIL DARI LIMBAH KULIT BIJI METE DENGAN
METODE MICROWAVE PIROLISIS**

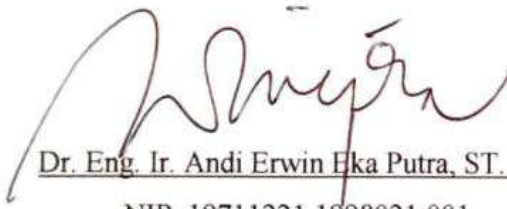
MUHAMMAD RAFI NASWAN NATSIR

D211 16 321

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST, MT

NIP. 19711221 1998021 001



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT

NIP. 19791112 2008122 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin

Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Ir. Jalaluddin, ST., MT.

NIP. 19720825 200003 1 001



LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : MUHAMMAD RAFI NASWAN NATSIR
NIM : D21116321
JUDUL SKRIPSI : PRODUKSI BIO OIL DARI LIMBAH KULIT BIJI METE
MENGUNAKAN MICROWAVE PIROLISIS

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin

Demikian pernyataan ini saya buat.

Makassar, 02 / 09 / 2020

Yang membuat pernyataan,



MUHAMMAD RAFI NASWAN NATSIR



ABSTRAK

Limbah kulit biji mete sebagai sumber energi terbarukan dapat diproses menjadi *biooil* yang nantinya dapat dijadikan bahan bakar alternatif pada kendaraan bermotor. Kulit biji mete sebagai sampel dicacah hingga diameter 2 mm, selanjutnya sampel diproses menggunakan metode *microwave pyrolysis*, dan yang terakhir dilakukan karakterisasi pada produk cair. Penelitian ini menggunakan variasi berat sampel 100 gram, 150 gram dan 200 gram. Faktor utama yang mempengaruhi jumlah *biooil* adalah Temperatur pemanasan pada microwave. Jumlah hasil produksi biooil dari masing-masing adalah : 100 gram 25,7%; 150 gram 35,3%; dan 200 gram 30%. Hasil *biooil* dengan jumlah terbesar 35,3% pada 150 gram. Pencampuran biooil dengan solar murni menghasilkan nilai kalor yang cukup tinggi dan dapat bersaing dengan Dex pertamina ,nilai kalor yang dihasilkan sebesar 40429 Kj/Kg ,tujuan dari pencampuran berguna untuk pengoptimalan bio oil sebagai bahan bakar.

Kata kunci: Pirolisis kulit biji mete, produksi bio oil , optimalisasi bio oil



ABSTRACT

Cashew nut shells as a renewable energy source can be processed into bio-oil which later can be used as an alternative fuel for motorized vehicles. Cashew nut shells as samples were chopped to a diameter of 2 mm, then the sample was processed using the microwave pyrolysis method, and finally the liquid product was characterized. This study used a sample weight variation of 100 grams, 150 grams and 200 grams. The main factor affecting the amount of biooil is the heating temperature in the microwave. The amount of biooil production from each of them is: 100 grams 25.7%; 150 grams 35.3%; and 200 grams 30%. Biooil yield with the largest amount of 35.3% at 150 grams. Blending bioil with pure diesel generates a high enough heating value and can compete with Pertamina's Dex, the resulting calorific value is 40429 Kj / Kg, the purpose of mixing is to optimize bio oil as fuel.

Keywords: Cashew nut pyrolysis, production bio oil , optmization bio oil



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur semoga selalu tercurahkan kehadiran Tuhan YME atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Salam dan salawat kepada Nabi Muhammad SAW sebagai teladan bagi umatnya hingga akhir zaman.

Penulisan tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan dan meraih gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Judul yang penulis ajukan adalah **“Produksi BioOil Dari Limbah Kulit Biji Mete Dengan Metode Microwave Pirolisis”**. Perjalanan dalam mengerjakan tugas akhir ini bukanlah hal mudah untuk dilalui. Berbagai macam dinamika yang terjadi menimbulkan berbagai masalah. Namun bagaimanapun apa yang telah penulis lakukan dan kerjakan dalam perancangan ini akan selalu menjadi bagian sejarah dalam hidup penulis.

Terwujudnya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah mendorong dan membimbing penulis, baik tenaga, pikiran, maupun materi. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Naswan Natsir dan Ibu Hikmah yang selalu mendampingi, memberi semangat dan mendoakan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Dr. Ir. Eng. Jalaluddin, ST., MT., Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Dr. Ir Ilyas Renreng, MT., Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin priode (2016-2020) .
5. Bapak Dr. Eng. Erwin Eka Putra, ST.MT, selaku Pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan dengan sabar sampai selesai mengerjakan tugas akhir.
6. Ibu Dr. Eng Novriany Amaliah, ST.MT, selaku Pembimbing II yang telah membimbing dan mengarahkan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Bapak Ir. Machmud Syam, DEA, selaku Penguji yang telah mendampingi dan mengarahkan selama pengambilan data di Laboratorium Motor Bakar.

Bapak Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc , selaku Penguji sekaligus



penasehat akademik yang telah mendampingi dan mengarahkan selama pengambilan data di Laboratorium Motor Bakar

9. Bapak Ir. Baharuddin Mire, MT, Kepala Laboratorium Motor Bakar Departemen Mesin FT-UH yang telah memerikan akses untuk melakukan penelitian di Laboratorium Motor bakar.
10. Bapak Muis Tola, selaku Laboran di Laboratorium Motor Bakar yang telah membantu penulis dalam proses pengambilan data.
11. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membimbing dan memberikan ilmunya selama Penulis mengenyam pendidikan di Kampus.
12. Bapak/Ibu Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu segala urusan administrasi.
13. Pihak keluarga dan saudara penulis yang telah memberikan semangat untuk menyelesaikan pendidikan.
14. Teman-teman seperjuangan, Teknik Mesin 2016/COMPRESSOR16 ,yang telah berproses bersama di Fakultas Teknik Unhas semoga kesuksesan selalu menyertai kita semua.
15. Teman-teman di Laboratorium Motor Bakar, Teknik Mesin FT-UH, yang telah bersama-sama mengerjakan tugas akhir semoga senantiasa dilancarkan segala urusannya.
16. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

Tentunya dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Maka dari itu penulis memohon maaf atas segala kesalahan, kritik dan saran sangat dibutuhkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Makassar, 09 Agustus 2020

Penulis,



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	2
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah	3
I.4 Tujuan Penelitian	3
I.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Kulit Biji Mete	4
II.2 Proses Pirolisis	5
II.2.1 Produk Pirolisis	6
II.2.1.1 <i>Torrefied</i> kayu ('bio-batubara')	7
II.2.1.2 Arang ('bio-arang')	7
II.2.1.3 Cair (' <i>bio-oil</i> ').....	7
II.2.1.4 Gas	8
II.3 <i>Microwave</i> Oven	9
II.4 Proses <i>Microwave</i> Pirolisis	10
II.5 Uji Karakterisasi.....	12



II.5.1. Nilai Kalor.....	11
II.5.2 Viskositas	14
II.5.3 Massa Jenis (Densitas)	14
II.5.3 Titik Nyala	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
III.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
III.2. Alat dan Bahan	16
III.2.1. Alat	16
III.2.2. Bahan.....	25
III.3. Rancang Bangun Alat.....	26
III.4. Prosedur Kerja.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
IV.1 Hasil Analisis Produksi Microwave Pirolisis	29
IV.1.1 Pengaruh Jumlah Sampel Terhadap Temperatur Microwave Pirolisis.....	30
IV.1.2 Pengaruh Jumlah Sample Terhadap Temperatur Produksi Bio oil	32
IV.1.3 Keseimbangan Massa pada Proses Pirolisis	34
IV.1.4 Pemisahan kandungan air dari Biooil Hasil Pirolisis.....	38
IV.2 Hasil Pengukuran Kandungan Produksi Bio Oil Kulit Mete	42
IV.2.1 Massa Jenis (<i>Density</i>)	43
IV.2.2 Nilai Kalor	46
IV.2.3 Titik Nyala (<i>Flash Point</i>).....	51
IV.2.4 Kekentalan (<i>Viscosity</i>)	51
IV.3 Pengoptimalan Bio Oil Sebagai Bahan Bakar	54
BAB V PENUTUP	58
V.1 Kesimpulan	58
V.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	61



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kulit Biji Mete	4
Gambar 2.2. <i>Microwave</i> pemanasan dielektrik	10
Gambar 2.3. Fase selama <i>microwave</i> pirolisis dari partikel campuran material .	11
Gambar 3.1. <i>Microwave</i> oven tipe EMM2007X 800 Watt	16
Gambar 3.2. <i>Waveguide</i>	17
Gambar 3.3 Reaktor	18
Gambar 3.4. Penutup Reaktor.....	18
Gambar 3.5 Elbow tembaga	19
Gambar 3.7 Selang Plastik Ukuran $\frac{1}{4}$	20
Gambar 3.8. Selang Plastik Ukuran $\frac{1}{2}$	20
Gambar 3.9 Termokopel	20
Gambar 3.10 Kondensor	21
Gambar 3.11 Pendingin	21
Gambar 3.12. Blender	21
Gambar 3.13 Timbangan digital 1gr	22
Gambar 3.14 Timbangan digital 0.001gr	22
Gambar 3.15 Heat Gun	23
Gambar 3.16 Mesin bor	23
Gambar 3.17 Thermometer	23
Gambar 3.18 Fire Torch Gun	24
Gambar 3.19 Mesin Vakum Udara	24
Gambar 3.20 Lem Silikon	24
Gambar 3.21 Kulit Biji Mete	25
Gambar 3.22 Skema Alat Pengujian <i>Microwave</i> Pirolisis	26
Gambar 4.1 Ukuran sample dilihat dari kamera micro	29
Gambar 4.2 Kondisi sample yang masih utuh	30
4.3 Kondisi Sebelum dan Sesudah Perlakuan <i>Microwave</i> Pirolisis	30
4.4 Temperatur pirolisis terhadap waktu pada variasi sampel	31
4.5 Perbandingan temperatur produksi terhadap berat sampel.	32



Gambar 4.6 Persentase produk hasil pirolisis terhadap berat sampel.	35
Gambar 4.7 Grafik temperatur pemurnian bio oil	38
Gambar 4.8 Persentasi hasil pemanasan atau permurnian bio oil	41
Gambar 4.9 hasil bio oil baru selesai di pirolisis	42
Gambar 4.10 Pengukuran massa jenis menggunakan picnometer	43
Gambar 4.11 Grafik massa jenis bio oil	45
Gambar 4.12 Perbandingan nilai kalor hasil produksi	49
Gambar 4.13 Proses BombCalorimeter tidak berjalan sempurna	50
Gambar 4.14 Perbandingan viskositas hasil pencampuran bio oil	53
Gambar 4.15 Perbandingan viskositas pencampuran bio oil	55



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis pirolisis, istilah yang digunakan.....	5
Tabel 2.2 Produk hasil dari proses pirolisis	8
Tabel 4.1 Tabel Hasil Produksi dari MP	35
Tabel 4.2 Tabel Hasil Pemanasan bio oil	40
Tabel 4.3 Massa jenis minyak hasil pirolisis.....	45
Tabel 4.4 hasil pembacaan waktu dan temperature bomb kalorimeter	47
Tabel 4.5 Nilai kalor hasil pirolisis kulit mete	48
Tabel 4.6 Viskositas hasil pencampuran	52
Tabel 4.7 tabel karakteristik hasil pencampuran	55



DAFTAR SIMBOL

P	Tekanan	Atm
V	Volume	M
T	Temperatur	K
R	Konstanta gas	kJ/kg-K
C_{pair}	Kalor jenis air	J/g-K
Ar	Atom relatif	g/mol
H	Entalpi	kJ/mol
Q	Kalor yang diserap/dilepaskan	
M	Massa	Kg
ρ	Massa jenis	Kg/ltr
m_{sampel}	Massa minyak	Gr
m_{sampel}	Massa aquades	gr
$V_{\text{piknometer}}$	Volume piknometer	ml
C	<i>kalor jenis air</i>	<i>kJ/KgK</i>
ΔT	<i>kenaikan temperatur air</i>	<i>K</i>



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Jambu mete (*Anacardium occidentale L.*) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang berperan cukup penting di Indonesia. Indonesia termasuk salah satu produsen mete dunia setelah India, Vietnam, Afrika Barat, Afrika Timur dan Brasil. Produksi gelondong mete Indonesia saat ini berkisar 156.000 ton per tahun. Sekitar 42% dari produksi tersebut diekspor dalam bentuk gelondong mete, 10% diekspor setelah dikacip menjadi kacang mete, dan 48% untuk konsumsi dalam negeri (Dewi Listyati & Bedy Sudjarmoko, 2011). Tanaman jambu mete tersebar di 21 provinsi, terutama di provinsi Sulawesi Tenggara (138.830 ha), Nusa Tenggara Timur (126.828 ha), Sulawesi Selatan (70.467 ha), Jawa Timur (57.794 ha), Nusa Tenggara Barat (46.196 ha), dan Jawa Tengah (30.815 ha) (Dewi Listyati & Bedy Sudjarmoko, 2011).

Bagian yang dipanen dari tanaman jambu mete adalah buahnya, yang terdiri dari buah sejati (biji atau gelondong) dan buah semu. Dari buah sejati, pengupasan biji mete (secara manual atau semi mekanis), akan diperoleh kacang mete, kulit ari, dan kulit biji mete (limbah). Biji mete terdiri atas kulit biji dan kernel sementara kernel bernilai gizi, kulit biji dianggap sebagai residu pengolahan kacang mete yang dapat menimbulkan masalah lingkungan jika tidak ditangani dengan benar. Hanya sebagian kecil saja dari kulit biji mete ini yang dimanfaatkan. Limbah atau biomassa bersumber dari aktivitas pertanian dan perkebunan. Salah satu limbah hasil aktivitas perkebunan yang belum pernah dikaji adalah kulit biji mete. Data Statistik Indonesia tahun 2005 menunjukkan bahwa produksi jambu mete perkebunan rakyat mencapai 129.8 ribu ton. Jika 70 % dari produksi jambu mete tersebut merupakan kulit maka sekitar 91 ribu ton limbah kulit jambu mete.



Pengolahan kulit mete dapat menggunakan metode pemanasan atau ekstraksi. Selain menggunakan pemanasan api sebagai sumber panas untuk menghasilkan arang dari kulit biji mete, ada juga metode lain yang bisa digunakan yaitu *Microwave* Pirolisis (MP). MP menggunakan bantuan gelombang mikro sebagai media pemanasnya. Radiasi gelombang mikro yang diserap suatu benda akan menghasilkan efek pemanasan pada benda tersebut dan menyebabkannya menjadi panas tanpa disertai oksigen. Oleh sebab itu, dalam pemanasan *microwave*, suhu pemanasan benda lebih tinggi daripada daerah sekitarnya serta terjadi penghematan yang signifikan baik dalam konsumsi energi maupun waktu selama proses pirolisis (Fernandez, 2011).

Kulit biji mete dapat diolah dan dihasilkan ekstrak CNSL (*Cashew Nut Shell Liquid*) atau minyak laka (Yuliana, Tran-Thi, & Ju, 2012). Selain itu, kulit biji mete juga dapat diolah menjadi arang (*biochar*) (Kumar, Ramaling am, & Sathishkumar, 2011; Ragupathy, Raghu, & Prabu, 2015). Berat kulit biji mete mencapai 50% dari berat biji mete utuh (Patel, Bandyopadhyay, & Ganesh, 2006). Dalam kulit biji (tempurung) memiliki kandungan CNSL pada kulit mete bervariasi sekitar 16-24% dari berat kulit mete yang terdiri atas 90% asam anakardat dan sisanya 10% kardol (Dos Santos & De Magalhaes, 1999).

Maka latar belakang inilah yang mendasari dilakukannya penelitian **“Produksi bio-oil dari kulit mete menggunakan microwave”**.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah jumlah hasil produksi bio-oil melalui variasi jumlah kulit mete
2. Bagaimana karakteristik bio-oil yang diproduksi dari kulit mete
3. Bagaimana potensi bio-oil untuk dijadikan sebagai bahan bakar.



I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah :

1. Bahan baku yang digunakan untuk membuat bio-oil hanya kulit luar dari buah mete
2. Berat sampel yang digunakan sebanyak 100, 150, dan 200 gr
3. Suhu pendinginan yang dilakukan berkisar 10°C
4. Pemanasan sampel menggunakan microwave modifikasi
5. Ukuran butir hasil pengilingan kulit mete sebesar 2 mm
6. Wadah yang digunakan dalam microwave adalah elemeyer 250 ml.

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis bio-oil yang dihasilkan dengan variasi jumlah kulit mete
2. Mengukur kandungan hasil produksi bio-oil dari kulit mete
3. Mengoptimalkan bio-oil hasil produksi sebagai bahan bakar

I.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai tugas akhir, yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
2. Memberikan solusi energi alternatif dengan menggunakan limbah kulit mete sebagai sumber energi (bio-oil) yang dihasilkan.
3. Sebagai bahan referensi untuk melakukan pengembangan dalam hal energi alternatif dari limbah kulit mete



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kulit Biji Mete

Kulit biji mete merupakan kulit terluar dari kacang mete dimana kacang ini merupakan biji dari jambu mete atau biasa dikenal dengan sebutan jambu monyet (*Anacardium occidentale* L.). Kacang mete ada di bagian bawah buah berbentuk lonjong runcing. Jambu mete berukuran 3 cm, berbentuk ginjal dan bijinya berkeping dua terbungkus kulit yang mengandung getah. Kulitnya berwarna dari kuning terang hingga oranye kemerahan. Jambu mete merupakan salah satu komoditas perkebunan yang berperan cukup penting di Indonesia. Kulit biji jambu mete mengandung 50% minyak yang terdiri dari senyawa fenolat berupa 90% asam anakardat dan 10% berupa kardol dan kardanol (Astuti, Suyati, Nuryanto. 2012).

Biji jambu mete terdiri atas 70% kulit biji dan 30% daging biji (Simpem, 2008). Kulit biji mete sampai saat ini belum dimanfaatkan secara maksimal, sebagian besar masih merupakan limbah. Data rata-rata produksi gelondong mete 2008-2012 memperlihatkan rata-rata jumlah limbah kulit biji mete yang dapat diperoleh per tahun sekitar 58.372,43 ton. Jumlah limbah tersebut sangat potensial bila dikomposkan menjadi pupuk organik. Berdasarkan hasil analisis pendahuluan, diketahui kulit biji mete mengandung hara: 0.84% N, 0.21% P, 0.70% K, 0.13% Ca, dan 0.24% Mg (Nur Sakinah, Mochamad Hasjim Bintoro Djoefrie 2014).



Gambar 2.1 Kulit Biji Mete



II.2 Proses Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termal suatu zat yang terjadi tanpa adanya udara atau oksigen, dan merupakan langkah pertama dari semua pembakaran dan proses gasifikasi. Pirolisis adalah kasus khusus termolisis. Pirolisis ekstrim, yang hanya meninggalkan karbon sebagai residu, disebut karbonisasi.. Proses ini merupakan peruraian dengan bantuan panas tanpa adanya oksigen atau dengan jumlah oksigen yang terbatas. Pirolisis dapat mengkonversi biomassa kayu menjadi arang, minyak cair dan gas. Hal ini berpotensi merupakan cara yang efektif untuk mengurangi besar biomassa menjadi bahan bakar energi padat, seragam dan mudah diangkut. Uap organik yang dihasilkan mengandung karbon monoksida, metana, karbon dioksida, tar yang mudah menguap dan air. Uap organik kemudian dikondensasikan menjadi cairan. Cairan hasil pirolisis dikenal sebagai bio-oil. Dengan proses pirolisis tersebut bahan baku berupa limbah organik akan terdekomposisi menjadi arang, bio-oil, dan syngas. Bio-oil dan syngas potensial untuk pembangkit listrik dan panas yang sangat dibutuhkan oleh proses industri. Ada tiga jenis luas pirolisis: lambat, ringan dan cepat. Ini dibandingkan pada Tabel 2.1 Setiap proses terjadi di bawah kondisi yang berbeda dan bentuk produk akhir yang berbeda.

Tabel 2.1 Jenis pirolisis, istilah yang digunakan, produk dan status pengembangan

Jenis Pirolisis	Syarat Digunakan	Temperatur	Waktu Tinggal	Produk Primer	Status
Ringan	Torefaksi, Torifaksi, Pengeringan Tanpa Udara, Distilasi Destruktif	400-600°F (200-315 °C)	Pendek (5-30 menit)	Torrified kayu (‘Bio-batubara’)	Proyek Demonstrasi



Lambat	Pembuatan Arang, Karbonisasi	550-750 °F (300-400 °C)	Lama (berjam-jam)	Arang ('bio-arang')	Komersil
Cepat	Pirolisis Cepat, Flash Pyrolysis	750-1100 °F (400-600 °C)	Pendek (<1 detik)	Cairan ('bio-oil'), arang ('bio-arang'), gas ('H ₂ , CH ₄ , CO & CO ₂ '), Asap cair	Proyek demonstrasi untuk produk energi. Komersil pada industri makanan.

II.2.1 Produk Pirolisis

Tiga kategori produk utama dari proses pirolisis merupakan padatan (arang, kayu dan torrefied arang), tar (kadang-kadang disebut bio-oil) dan campuran gas. Produk yang dihasilkan akan berbeda, tergantung pada jenis reaksi dan waktu, temperatur, komposisi bahan baku dan ukuran.

II.2.1.1 *Torrefied* kayu ('bio-batubara')

Bio-batubara adalah produk dari proses pirolisis ringan. Bahan baku biomassa dimodifikasi dengan proses termo-kimia dalam proses mengubah sifat-sifatnya. Bio-batubara memiliki massa lebih ringan dari bahan baku biomassa yang berarti, produk akan lebih mudah dan murah untuk transportasi.

Karakteristik lain berarti bahwa bio-batubara dapat digunakan sebagai pengganti langsung untuk batubara di pembangkit listrik. Ini termasuk kepadatan energi yang lebih tinggi (10.500 BTU / lb vs 8.500 BTU / lb untuk kayu), hidrofobik yang memungkinkan penyimpanan di luar ruangan, dan kemampuan untuk curukan materi memungkinkan penggilingan dalam peralatan pengolahan



II.2.1.2 Arang ('bio-arang')

Arang telah dibuat dari kayu selama ribuan tahun menggunakan proses pirolisis lambat. bio-arang hitam berpori, bahan karbon terdiri dari 85 sampai 98% karbon. Bio-arang dapat diproduksi dalam bentuk gumpalan-gumpalan (terbentuk dari potongan kayu solid) atau bentuk briket (terbentuk dari partikel arang kecil dan aditif lainnya untuk meningkatkan ikatan dan pembakaran). Semua proses pirolisis membentuk beberapa jenis produk arang. Arang terdiri dari bahan anorganik dan organik padatan yang belum berubah. Bio-arang memiliki kandungan abu dan kandungan alkali yang lebih tinggi yang bila dibakar dapat menyebabkan masalah kerak dan korosi pada boiler.

II.2.1.3 Cair ('bio-oil')

Bio-oil adalah campuran dari komponen organik dengan kandungan air yang tinggi (15-35%) dan kandungan oksigen (35 - 40%). Karena kandungan air dan oksigen yang tinggi *bio-oil* memiliki nilai kalor relatif rendah - 50% dari bahan bakar konvensional [25]. *Bio-arang* adalah asam (pH 2-3, terutama asetat dan asam formiat) dan oleh karena itu sangat korosif yang juga membatasi aplikasi yang potensial. Hal ini tidak stabil dalam penyimpanan sebagai bahan bakar fosil. Viskositas dan berat molekul meningkat dengan seiring waktu dan pemisahan fase mungkin terjadi. *Bio-oil* tidak mungkin untuk langsung dicampur dengan bahan bakar berbasis hidrokarbon lainnya [26].

II.2.1.4 Gas

Gas terkondensasi (uap organik yang terdiri dari fragmentasi lignin, selulosa dan hemiselulosa) yang didinginkan dengan cepat membentuk minyak *bio-oil* pada pirolisis cepat. Gas non-terkondensasi dari pirolisis termasuk hidrogen, metana, karbon monoksida dan karbon dioksida. Proses ini memungkinkan untuk menghasilkan hidrogen dalam volume besar dalam preferensi untuk minyak dengan

malkan kondisi untuk suhu tinggi, laju pemanasan tinggi dan waktu se uap yang panjang.



Katalis dapat meningkatkan hasil hidrogen. Katalis yang umum digunakan ialah nikel, potasium, kalsium dan berbasis magnesium. *Steam* terbentuk dari uap dan airgas reaksi pergeseran lanjut dapat meningkatkan produksi hidrogen. Hal ini juga memungkinkan untuk menghasilkan hidrogen dari bio-oil atau hanya larut dalam fraksi air. Produk proses pirolisis merupakan padatan (arang), gas dan uap kondensat organik.

Campuran produk tergantung pada jenis dan parameter proses pirolisis. Tabel 2.2 merangkum hasil produk untuk proses pirolisis perkiraan. Hasil pirolisis lambat terutama berbentuk char (arang) sedangkan obyek pirolisis cepat adalah untuk memaksimalkan penguapan partikel kayu untuk memberikan hasil yang tinggi dari cairan (bio-oil). Proses ini bias menaikkan sampai 80% dari massa bahan awal, namun paling sering adalah antara 65-75% (basis berat kering).

Dalam pirolisis cepat arang biasanya dipisahkan dari gas panas / aliran uap sementara melewati siklon, gas kemudian masuk ruang pendingin di mana gas lalu terkondensasi cepat untuk membentuk fase tunggal bio-minyak gelap atau dikumpulkan sebagai gas non-terkondensasi (hidrogen, metana, karbon monoksida dan karbon dioksida). Banyak jenis reaktor telah dirancang dan dikembangkan dari laboratorium untuk skala komersial. Persyaratan operasi seperti ukuran partikel dan mekanisme perpindahan panas berbeda dan secara signifikan mempengaruhi produk yang dihasilkan.

Berikut hasil produk pirolisis berdasarkan tipe pirolisi yang dilakukan terlihat pada tabel 2.2 :

Tabel 2.2 Produk hasil dari proses pirolisis

Tipe Pirolisis	Hasil Produk		
	Cairan	Padat	Gas
Ringan	~11%	70-90%	~2%
Lambat	30%	35%	35%
Cepat	75%	12%	13%



II.3 Microwave Oven

Microwave adalah sebuah peralatan dapur yang menggunakan radiasi gelombang mikro untuk memasak atau memanaskan makanan. *Microwave* bekerja dengan melewatkan radiasi gelombang mikro pada molekul air, lemak, maupun gula yang sering terdapat pada bahan makanan. Molekul-molekul ini akan menyerap energi elektromagnetik tersebut. Proses penyerapan energi ini disebut sebagai pemanasan dielektrik (*dielectric heating*). Molekul - molekul pada makanan bersifat elektrik dipol (*electric dipoles*), artinya molekul tersebut memiliki muatan negatif pada satu sisi dan muatan positif pada sisi yang lain. Akibatnya, dengan kehadiran medan elektrik yang berubah-ubah yang diinduksikan melalui gelombang mikro pada masing-masing sisi akan berputar untuk saling menyejajarkan diri satu sama lain. Pergerakan molekul ini akan menciptakan panas seiring dengan timbulnya gesekan antara molekul yang satu dengan molekul lainnya (Surya, 2010).

Microwave mempunyai tiga karakteristik. Pertama, gelombang ini mudah dipantulkan oleh logam. Kedua, gelombang ini dapat menembus bahan non logam tanpa harus memanaskan apalagi menghancurkannya. Ketiga, gelombang ini dapat diserap oleh air (*Food and Environmental Hygiene Department, 2005*).

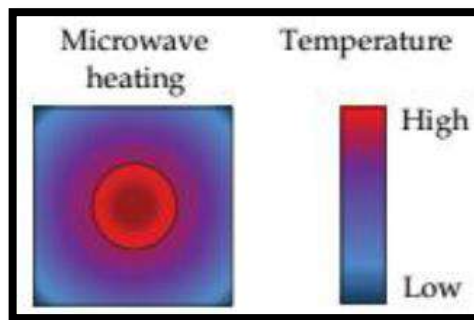
Perubahan energi gelombang mikro menjadi panas dapat diketahui dari dua mekanisme, yaitu rotasi dua kutub (dipolar) dan konduksi ionik, sehingga hanya dua kutub dan molekul ionik yang dapat berinteraksi dengan gelombang mikro dan menghasilkan panas. Rotasi dua kutub terjadi apabila molekul yang mempunyai struktur dua kutub ditempatkan dalam medan osilasi listrik. Molekul tersebut akan mendapat energi rotasional sesuai dengan arah medan. Ketika medan tersebut dipasang, seluruh molekul akan berputar sesuai dengan arah medan awal. Ketika medan dibalikkan maka molekul akan berputar terbalik dan menimbulkan tumbukan lebih lanjut



dengan molekul yang ada di sekitarnya. Energi tumbukan ini akan menimbulkan peningkatan temperatur molekul (Guillen, 2011).

II.4 Proses *Microwave* Pirolisis

Pirolisis *microwave* adalah proses pirolisis yang menggunakan gelombang mikro sebagai media pemanasnya. Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang sangat tinggi, pada umumnya sebesar 2450 MHz dengan panjang gelombang 12,24 cm. Radiasi gelombang mikro yang diserap suatu benda akan menghasilkan efek pemanasan pada benda tersebut dan menyebabkannya menjadi panas tanpa disertai oksigen. Oleh sebab itu, dalam pemanasan *microwave*, suhu pemanasan benda lebih tinggi daripada daerah sekitarnya (Fernandez, 2011).



Gambar 2.2. *Microwave* pemanasan dielektrik (lingkaran mewakili benda) (Fernandez, 2011)

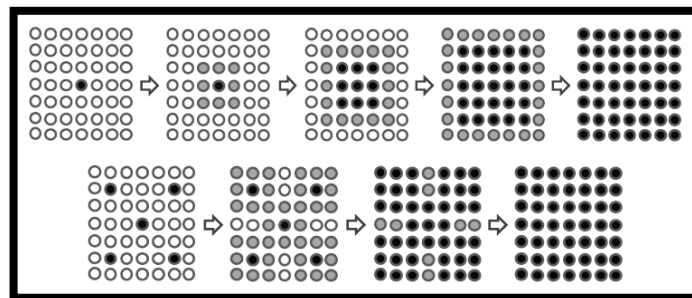
Efisiensi proses *microwave* pirolisis sangat bergantung pada sifat material yang sedang diproses. Oleh karena itu, tidak semua bahan/sampel menyajikan perilaku dielektrik yang sama. Gelombang mikro diserap oleh bahan/sampel yang memiliki *dielectric-loss* tinggi saat melewati bahan/sampel yang memiliki *dielectric-loss* rendah dengan sedikit penurunan energi (Fernandez, 2011).



Pada umumnya, bahan limbah memiliki sifat dielektrik yang buruk, sehingga tidak mampu menyerap energi *microwave* yang cukup untuk mencapai suhu yang diperlukan untuk pirolisis. Jumlah air yang tersedia

berkontribusi terhadap pemanasan pada suhu yang tidak mencukupi di mana hanya mungkin mengeringkan material. Oleh karena itu, penggunaan reseptor *microwave* diperlukan seperti materi anorganik, karbon aktif, arang, grafit, dan lain-lain (Fernandez, 2011).

Pada gambar 2.2, sketsa sederhana menunjukkan berbadai tahap selama *microwave* pirolisis dari suatu campuran material / reseptor *microwave*.



Gambar 2.3. Fase selama *microwave* pirolisis dari partikel campuran material (lingkaran putih) / reseptor *microwave* (lingkaran hitam), dimana menunjukkan peristiwa pertama, kedua, ketiga, dst. Generasi dari reseptor *microwave* (lingkaran abu-abu) (Fernandez, 2011)

Meskipun sebagian besar studi *microwave* pirolisis mempertimbangkan reseptor *microwave* untuk menjadi bagian penting dari proses, penyelidikan lebih baru telah membuktikan bahwa ada *microwave* pirolisis biomassa yang tidak memerlukan penambahan tersebut. Salah seorang peneliti telah mengkonfirmasi bahwa *microwave* pirolisis dapat dicapai tanpa menggunakan dopan yang kaya karbon (reseptor *microwave*) dan bahwa pemanasan air saja dapat digunakan untuk menginduksi pirolisis kayu (Fernandez, 2011).



II.5. Uji Karakterisasi

II.5.1. Nilai Kalor

Nilai kalor atau *heating value* adalah jumlah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran persatuan volume atau persatuan massanya. Nilai kalor bahan bakar menentukan jumlah konsumsi bahan bakar tiap satuan waktu. Makin tinggi nilai kalor bahan bakar menunjukkan bahwa pemakaian bahan bakar menjadi semakin sedikit. Nilai kalor bahan bakar ditentukan berdasarkan hasil pengukuran dengan calorimeter yang dilakukan dengan membakar bahan bakar dan udara pada temperatur normal, sementara itu dilakukan pengukuran jumlah kalor yang terjadi sampai temperatur dari gas hasil pembakaran turun kembali ke temperatur normal. (Hassan, Hussein, dan Osman, 2010)

Nilai kalor bahan bakar dapat diketahui dengan menggunakan calorimeter bom. Calorimeter bom untuk pembakaran yang cepat terdiri dari ruang pembakaran (bom) dan calorimeter vessel, biasanya sebuah bejana silinder yang mengelilingi bom dan mengandung air yang diketahui kuantitasnya. Pembakaran dilakukan menggunakan oksigen. Bahan bakar yang akan diuji nilai kalornya dibakar menggunakan kumparan kawat yang dialiri arus listrik dalam bilik yang disebut bom dan ditenamkan di dalam air. Bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan kalor, hal ini menyebabkan suhu calorimeter naik. Pengukuran akan dipusatkan pada peningkatan suhu air. Untuk menjaga agar panas yang dihasilkan dari reaksi bahan bakar dengan oksigen tidak menyebar ke lingkungan luar maka calorimeter dilapisi oleh bahan yang bersifat isolator. Ruang pembakaran, baik pada tekanan konstan atau dengan volume konstan. Hasil yang diperoleh dengan calorimeter pada volume konstan tidak persis sama seperti yang diperoleh pada tekanan konstan, tetapi untuk zat padat atau cair perbedaan terlalu kecil untuk dipertimbangkan. (Arief, 2019)



$$Q = m C \Delta T$$

dimana:

Q = kalor yang diserap oleh air (kJ)

m = massa air (Kg)

C = kalor jenis air (kJ/KgK)

ΔT = kenaikan temperatur air (K)

Massa air diketahui dari volume air dalam *vessel calorimeter*. Air sebagai media penyerap kalor dan parameter utama pengukuran nilai kalor. Untuk 3700 ml air diketahui massanya seberat 3,7 kg pada massa jenis 1 kg/ltr. Nilai kalor jenis dari air merupakan ketetapan dengan nilai 4,18 kJ/kgK.

Nilai ΔT diperoleh dari pengukuran kenaikan temperatur air menggunakan termometer backman. ΔT merupakan selisih dari nilai temperatur maksimum yang dicapai dengan nilai pembacaan termometer di menit terakhir sebelum proses pembakaran. Koreksi radiasi dihitung dari rata-rata perubahan temperatur air sebelum bahan bakar terbakar dan setelah mencapai temperatur maksimum

$$\text{koreksi radiasi} = n \cdot v^1 + \left(\frac{-v + v^1}{2} \right)$$

dimana:

n = jarak waktu dari pembakaran sampai temperature maksimum

v^1 = rata-rata penurunan temperatur pada akhir percobaan

v = rata-rata kenaikan temperatur pada awal percobaan

Hasil dari koreksi radiasi dijumlahkan dengan nilai ΔT untuk menghasilkan $\Delta T_{corrected}$



$$\Delta T_{corrected} = \Delta T + \text{koreksi radiasi}$$

Sehingga kalor yang diserap oleh air dapat dihitung dengan mengalikan massa air dengan kalor jenis air dan kenaikan temperatur *corrected*. Selanjutnya untuk menghitung nilai kalor tiap satu gram bahan bakar, maka nilai Q_{air} dibagi dengan massa bahan bakar yang digunakan.

$$\text{nilai kalor bahan bakar} = \frac{\text{kalor yang diserap}}{\text{massa sampel bahan bakar}}$$

II.5.2 Viskositas

Fluida yang mengalir melalui sebuah pipa dapat dipandang terdiri atas lapisan–lapisan tipis zatalir yang bergerak dengan laju berbeda–beda sebagai akibat adanya gaya kohesi maupun adhesi. Gesekan internal di dalam fluida dinyatakan dengan besaran viskositas atau kekentalan dengan satuan poise. Viskositas juga bisa diartikan kemampuan suatu zat untuk mengalir pada suatu media tertentu. Salah satu cara untuk mengukur besarnya nilai viskositas zat cair adalah dengan menggunakan viskosimeter *Brookfield*

II.5.3 Massa Jenis (Densitas)

Massa jenis atau massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata suatu benda adalah total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah dari pada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah. Satuan SI massa jenis adalah kg/m^3 . Massa jenis berfungsi untuk menentukan suatu zat karena



setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Suatu zat berapapun massanya dan berapapun volumenya akan memiliki massa jenis yang sama (Santoso, 2010)

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

$$\rho = \frac{m_{sampel} - m_{aquades}}{V_{piknometer}} + \rho_{aquades}$$

Dimana:

ρ = Massa jenis (gr/ml)

m_{sampel} = Massa minyak (gr)

$m_{aquades}$ = Massa minyak (gr)

$V_{piknometer}$ = Volume piknometer (ml)

$\rho_{aquades}$ = Massa jenis aquades pada temperature 40°C (gr/ml)

II.5.3 Titik Nyala

Flash point adalah temperatur pada keadaan di mana uap di atas permukaan bahan bakar akan terbakar dengan cepat (meledak). *Flash Point* menunjukkan kemudahan bahan bakar untuk terbakar. Makin tinggi flash point, maka bahan bakar semakin sulit terbakar. Menurut Standar Nasional Indonesia memiliki batas standard minimal sebesar 100°C (Juanda, 2017).

