

TUGAS AKHIR

**PRODUKSI *BIOCHAR* DARI LIMBAH KULIT BIJI METE DENGAN
METODE *MICROWAVE* PIROLISIS**

Oleh :

RADHWA YUMNA GINTING

D211 16 514



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020



TUGAS AKHIR

**PRODUKSI *BIOCHAR* DARI LIMBAH KULIT BIJI METE
DENGAN METODE *MICROWAVE* PIROLISIS**

OLEH :

RADHWA YUMNA GINTING

D21116514

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

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 *BIOCHAR* DARI LIMBAH KULIT BIJI METE DENGAN
METODE *MICROWAVE* PIROLISIS**

RADHWA YUMNA GINTING
D211 16 514

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT
NIP. 19791112 200812 2 002

Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST, MT
NIP. 1971121 199802 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T.
NIP. 19720825 200003 1 001



ABSTRAK

Kulit biji mete mencapai 50% dari berat biji mete utuh dan dianggap sebagai residu pengolahan kacang mete yang dapat menimbulkan masalah lingkungan jika tidak dimanfaatkan. Pengolahan kulit biji mete menggunakan metode pemanasan *Microwave* Pirolisis (MP). MP menggunakan efek pemanasan gelombang mikro tanpa atau sedikit 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. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan *biochar* dari limbah kulit biji mete dan menganalisa karakteristik *biochar* yang dihasilkan dengan metode *microwave* pirolisis. Penelitian ini dilakukan dengan pengamatan secara langsung terhadap sampel yang dipirolisis dengan variasi massa 100, 150 dan 200 gram dengan daya 400 Watt selama 60 menit. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan pemanasan *microwave* pirolisis menghasilkan tiga buah produk yaitu arang, minyak, dan gas dari tiap-tiap variasi massa sampel uji. Temperatur pirolisis berbanding terbalik dengan produksi *biochar* yang dihasilkan. Sampel hasil *microwave* pirolisis diblender hingga berbentuk serbuk, kemudian dianalisis karakteristiknya dengan pengujian proksimasi dan ultimasi. Sampel 100 gram limbah kulit biji mete diperoleh temperatur maksimal 317 °C menghasilkan *biochar* yang terbanyak, yaitu 54,3 gram. Produk *biochar* dari *microwave* pirolisis kulit biji mete dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar. Salah satu karakteristik bahan bakar yang dapat diukur, yaitu nilai kalor. Semakin tinggi kualitas arang yang diperoleh, maka semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan. Hasil *microwave* pirolisis sampel 150 gram limbah kulit biji mete dengan daya 400 Watt selama 60 menit dengan temperatur maksimal 417 °C menghasilkan kadar karbon terbesar, yaitu 68,7% dan nilai kalor yang tertinggi, yaitu 7308 kcal/kg.

Kata kunci : kulit biji mete, *microwave* pirolisis, variasi massa sampel, *biochar*



ABSTRACT

Cashew nut shells account for 50% of the weight of the whole cashew nuts and are considered as waste of cashew nuts processing, which can cause environmental problems if not utilized. The processing of cashew nut shells used the Microwave Pyrolysis (MP) heating method. MP used the microwave heating effect with little or no oxygen. Therefore, in microwave heating, the object's heating temperature was higher than the surrounding area and there was a significant savings in both energy consumption and time during the pyrolysis process. The purpose of this study were to produce biochar from cashew nut shell waste and to analyse the characteristics of the biochar produced by microwave pyrolysis method. This research was conducted by direct observation of the samples that were pyrolysed with a mass variation of 100, 150 and 200 grams with a power of 400 Watt for 60 minutes. The result of this study indicated that the microwave pyrolysis heating produced three products, they were charcoal, oil and gas from each mass variation of the test sample. Pyrolysis temperature was inversely proportional to the resulting biochar product. Samples from microwave pyrolysis were blended into powder, then their characteristics were analysed by approximation and ultimate testing. A sample of 100 grams of cashew nut shell waste obtained a maximum temperature of 317 °C to produce the most biochar, i.e 54,3 grams. Biochar products from cashew nut shell microwave pyrolysis could be used as fuel. One of the characteristics that can be measured was the calorific value. The higher the quality of the charcoal obtained, the higher the calorific value produced. The result of microwave pyrolysis sample of 150 grams of cashew nut shell waste with a power of 400 Watt for 60 minutes with a maximum temperature of 417 °C produced the largest carbon content, i.e 68,7% and the highest heating value, i.e 7308 kcal/kg.

keywords: microwave pyrolysis, sample mass variation, biochar



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “ Produksi *Biochar* Dari Limbah Kulit Biji Mete Dengan Metode *Microwave* Pirolisis”. Tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada Ibu Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST, MT selaku pembimbing II, yang telah memberikan arahan, bimbingan, dukungan dan bantuan kepada penulis selama proses bimbingan berlangsung.

Penghargaan, rasa hormat dan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Ir. Machmud Syam, DEA dan Bapak Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST, M.Sc selaku anggota tim penguji, yang memberikan pengarahan, koreksi dan saran dalam penyempurnaan Skripsi ini.

Selain itu penulis juga ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan dan doanya kepada:

1. Orang tua serta saudara (i) penulis yang tidak pernah berhenti memberi doa dan dukungannya.
2. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, S.T., M.T., dan Dr. Eng. Novriany Amaliyah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing dalam menyelesaikan tugas sarjana ini. Terima kasih atas bimbingan, pelajaran, dan semangat yang telah diberikan baik dalam pengerjaan tugas sarjana maupun dalam kehidupan.
3. Bapak Leo M. Silaban selaku tentor yang selalu memberikan saran, nasihat, dan bantuan kepada penulis selama pengerjaan tugas sarjana.
4. Fauzan, ST., MT., sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan ilmu dan nasehat sejak menjadi mahasiwa baru.
5. Teman-teman seperjuangan laboratorium motor bakar selaku teman penulis yang menjadi tempat berbagi suka duka dalam menjalani perkuliahan dan

dupan.

an-teman COMPREZZOR'16 memberikan dorongan, kekuatan, dan semangat hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.



7. Pak Syahrul pegawai laboratorium Minerba PT. Sucofindo memberikan bantuan dalam pengujian proksimasi dan ultimasi *biochar*.
8. Kak Suri, Pak Iwan, Pak Mansur dan Pak Muis selaku staff Jurusan dan Laboratorium Motor Bakar yang membantu penulis dalam mengurus administrasi dan memberikan bantuan dalam penggunaan alat di lab dan eksperimen selama proses pengerjaan tugas sarjana.
9. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa apa yang dibahas dalam skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Dalam penulisan skripsi ini tidak luput dari berbagai kesulitan dan hambatan mulai dari persiapan hingga selesainya dalam bentuk laporan penelitian. Kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan selanjutnya.

Gowa, 10 Agustus 2020

Radhwa Yumna Ginting



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1 Latar belakang	1
I.2 Rumusan masalah	2
I.3 Tujuan penelitian	3
I.4 Batasan masalah	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.3 Microwave Oven	9
II.4 Proses <i>Microwave</i> Pirolisis	10
II.5 Arang	12
II.6 Uji Karakterisasi	13
II.6.1 Nilai Kalor	13
II.6.2 Uji Proksimasi	14
II.6.3 Uji Ultimasi	15
BAB III. METODE PENELITIAN	16
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
III.2 Alat dan Bahan	16
III.2.1 Alat	16
III.2.2 Bahan	26
III.3 Rancang Bangun Alat	26



III.4 Prosedur Kerja	27
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
IV.1 Hasil Analisis Produksi <i>Microwave</i> Pirolisis	30
IV.1.1 Pengaruh Jumlah Sampel Terhadap Temperatur <i>Microwave</i> Pirolisis	32
IV.1.2 Pengaruh Jumlah Sampel Terhadap Temperatur Produksi ..	35
IV.1.3 Keseimbangan Massa pada Proses Pirolisis	37
IV.2 Analisis Karakteristik Biochar yang Dihasilkan dari Proses MP	40
IV.3. Contoh Perhitungan	45
BAB V. KESIMPULAN	54
V.1 Kesimpulan	54
V.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	58



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kulit Biji Mete	5
Gambar 2.2 Microwave Pemanasan Dielektrik	10
Gambar 2.3 Fase Selama Microwave Pirolisis	11
Gambar 2.4 Arang	12
Gambar 3.1 Microwave Oven Tipe EMM2007X 800 Watt	17
Gambar 3.2 <i>Waveguide</i>	18
Gambar 3.3 Reaktor	19
Gambar 3.4 Penutup Reaktor	19
Gambar 3.5 Elbow Tembaga Ukuran 1/4	20
Gambar 3.6 Pipa Tembaga	20
Gambar 3.7 Selang Plastik Ukuran 1/4	21
Gambar 3.8 Selang Plastik Ukuran 1/2	21
Gambar 3.9 Termokopel	21
Gambar 3.10 Kondensor	22
Gambar 3.11 Mesin Pendingin	22
Gambar 3.12 Blender	22
Gambar 3.13 Timbangan Digital 1 gr	23
Gambar 3.14 Timbangan Digital 0,001 gr	23
Gambar 3.15 Heat Gun	24
Gambar 3.16 Mesin Bor	24



Gambar 3.17 Termometer	24
Gambar 3.18 <i>Fire Torch Gun</i>	25
Gambar 3.19 Mesin Vakum Udara	25
Gambar 3.20 Lem Silikon	25
Gambar 3.21 Kulit Biji Mete	26
Gambar 3.22 Skema Alat Pengujian <i>Microwave</i> Pirolisis	26
Gambar 4.1 Ukuran sampel dilihat dari kamera mikro	30
Gambar 4.2 Kondisi Sampel yang Masih Utuh	31
Gambar 4.3 Kondisi Sampel Sebelum dan Sesudah Perlakuan <i>Microwave</i> Pirolisis	31
Gambar 4.4 Kondisi Sampel Setelah Dihaluskan	32
Gambar 4.5 Perbandingan temperatur pirolisis terhadap waktu pada variasi sampel	32
Gambar 4.6 Perbandingan temperatur pirolisis terhadap massa sampel	36
Gambar 4.7 Perbandingan persentase produk hasil pirolisis terhadap massa sampel	38
Gambar 4.8 Nilai Kalor <i>Biochar</i> Hasil <i>Microwave</i> Pirolisis	43
Gambar 4.9 Hasil Ultimasi	44



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Pirolisis	6
Tabel 2.2 Produk Hasil Dari Pirolisis	9
Tabel 4.1 Tabel Standar Deviasi	34
Tabel 4.2 Tabel Hasil Produksi dari MP	37
Tabel 4.3 Tabel Produksi Biochar yang Dihasilkan	39
Tabel 4.4 Tabel Hasil Uji Proksimasi dan Ultimasi	40
Tabel 4.5 Tabel Rumus Empiris	46
Tabel 4.6 Tabel Stoikiometri Udara	51



DAFTAR SIMBOL

E	Energi	[kJ]
T	Temperatur	[°C]
P	Daya	[W]
m	Massa	[kg]
t	Waktu	[s]
n	Mol	[mol]
K	koefisien	-
h_o	Beda tekanan pada manometer	[mmH ₂ O]
V	Volume	[L]
η	Efisiensi thermis	[%]
Q_{tot}	Kalor total	[kW]
HHV	Nilai kalor	[kJ/kg]



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 % produksi jambu mete tersebut merupakan kulit maka ada 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, Ramalingam, & 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).

Oleh karena itu, pada skripsi ini, penulis melakukan penelitian tentang “PRODUKSI *BIOCHAR* DARI LIMBAH KULIT BIJI METE DENGAN METODE *MICROWAVE* PIROLISIS”.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

a. Bagaimana proses menghasilkan *biochar* dari limbah kulit biji mete dengan metode *microwave* pirolisis ?

bagaimana karakteristik *biochar* yang dihasilkan dari proses *microwave* pirolisis ?



I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menghasilkan *biochar* dari limbah kulit biji mete.
- b. Menganalisis karakteristik *biochar* yang dihasilkan dari proses *microwave* pirolisis.

I.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Bagi peneliti, menambah pengetahuan tentang pemanasan menggunakan metode *microwave* pirolisis.
- b. Bagi pembaca, menambah bahan bacaan dan menambah ilmu pengetahuan tentang metode *microwave* pirolisis.
- c. Bagi industri, menjadi bahan referensi pengolahan dan pemanfaatan *biochar* kulit biji mete.

I.5 Batasan Masalah

1. Bahan baku penelitian adalah kulit biji mete yang diambil dari Pohon Jambu Mete di Kendari.
2. Penelitian ini berfokus kepada *biochar* (arang) yang dihasilkan dari kulit biji mete.
3. Massa kulit biji mete yang diuji adalah 100 gram, 150 gram, dan 200 gram.
4. Pemanasan sampel menggunakan *microwave* modifikasi
5. Daya *microwave* yang digunakan saat pengambilan data adalah 400 Watt
6. Ukuran butir hasil penggilingan kulit biji mete sebesar 2 mm
7. Reaktor yang digunakan dalam *microwave* adalah erlenmeyer 250 ml



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 kulit biji mete 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 *biochar*, bio-oil, dan syngas. Bio-oil dan syngas potensial untuk pembangkit listrik dan panas yang sangat dibutuhkan oleh proses industri. Ada tiga jenis 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.

2.1 Jenis pirolisis, istilah yang digunakan, produk dan status angan



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 Pyrolisis	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.



efied 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 menghancurkan materi memungkinkan penggilingan dalam peralatan pengolahan batubara.

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.

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. *Bio-arang* adalah asam (pH 2-3, terutama asetat dan asam formiat) dan oleh karena itu sangat korosif yang juga membatasi aplikasi yang

Hal ini tidak stabil dalam penyimpanan sebagai bahan bakar fosil. Berat molekul meningkat dengan seiring waktu dan pemisahan fase



mungkin terjadi. Bio-oil tidak mungkin untuk langsung dicampur dengan bahan bakar berbasis hidrokarbon lainnya.

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 mengoptimalkan kondisi untuk suhu tinggi, laju pemanasan tinggi dan waktu tinggal fase 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

ne perpindahan panas berbeda dan secara signifikan mempengaruhi ang dihasilkan.



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

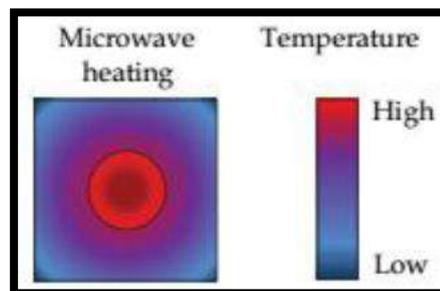
ditahu dari dua mekanisme, yaitu rotasi dua kutub (dipolar) dan konduksi elektron, sehingga hanya dua kutub dan molekul ionik yang dapat berinteraksi dengan gelombang mikro dan menghasilkan panas.



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 berada 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)

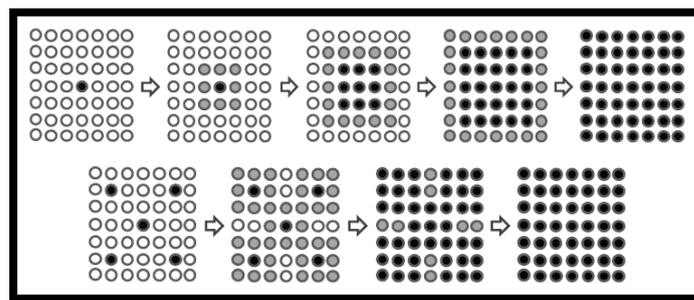
Efisiensi proses *microwave* pirolisis sangat bergantung pada sifat material yang sedang diproses. Oleh karena itu, tidak semua bahan/sampel menyajikan laku dielektrik yang sama. Gelombang mikro diserap oleh bahan/sampel yang memiliki *dielectric-loss* tinggi saat melewati bahan/sampel yang



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 2.3, sketsa sederhana menunjukkan berbagai 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. Arang

Arang merupakan bahan padat yang berpori dan merupakan hasil pengarangan bahan yang mengandung karbon. Sebagian besar pori-pori arang masih tertutup oleh hidrokarbon, tar, dan senyawa organik lain yang komponennya terdiri dari karbon terikat (*Fixed Carbon*), abu, air, nitrogen dan sulfur. Sedangkan, bioarang merupakan arang (salah satu jenis bahan bakar) yang dibuat dari aneka macam bahan hayati atau biomassa, misalnya kayu, ranting, dedaunan, rumput, jerami, ataupun limbah pertanian lainnya. Bioarang ini dapat digunakan dengan melalui proses pengolahan, salah satunya adalah menjadi briket bioarang (Pari dan Hartoyo, 1983).

Sedangkan menurut Johannes (1991), bioarang adalah arang yang diproses dengan membakar biomassa kering tanpa udara (pirolisis). Energi biomassa yang diubah menjadi energi kimia inilah yang disebut dengan bioarang.



Gambar 2.4 Arang

Sumber : <http://jokowarino.id/>



II.6. Uji Karakterisasi

II.6.1. 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 temperature 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 dibenamkan 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)

II.6.2. Uji Proksimasi

1) Kadar Air

Kadar air adalah banyaknya air yang terdapat pada bahan yang hilang jika dipanaskan pada kondisi uji tertentu. Kadar air dalam bahan memiliki variasi yang bermacam-macam tergantung dari perlakuan yang diterima bahan. Banyaknya kandungan kadar air pada bahan atau material bervariasi tergantung jenis materialnya. Berat bahan kering digunakan sebagai dasar acuan, karena berat ini merupakan petunjuk banyaknya zat pada bahan. Berdasarkan penelitian Huhtinen (2005), kadar air berpengaruh signifikan terhadap nilai kalor bersih.

2) Kadar Abu

Abu adalah zat organik sisa hasil pembakaran suatu bahan organik. Kadar abu ada hubungannya dengan mineral suatu bahan. Mineral yang terdapat dalam suatu bahan dapat berupa dua macam garam yaitu garam organik (garam asam malat, oksalat, asetat, dan pektat) dan garam anorganik (garam fosfat, karbonat, klorida, sulfat, dan nitrat) (Sudarmadji.2003).

Penentuan kadar abu adalah mengoksidasikan senyawa organik pada suhu yang tinggi dan melakukan penimbangan zat yang tinggal setelah proses pembakaran. Lama pengabuan tiap bahan berbeda-



beda yakni antara 2-8 jam. Pengabuan dilakukan pada tanur yaitu alat yang dapat diatur suhunya. Pengabuan dianggap selesai apabila diperoleh sisa pembakaran yang umumnya berwarna putih abu-abu dan beratnya konstan (Anonim,2010).

3) *Volatile Matter* (Zat Terbang)

Volatile Matter bertujuan untuk mengetahui suatu kandungan karbon dalam suatu bahan perlu diketahui zat terbangnya. Prinsip penetapan kadar zat terbang suatu bahan adalah menguapkan bahan yang tidak termasuk air dengan menggunakan energi panas (*American Society for Testing Material D 5832-98*).

4) Fixed Carbon (Karbon Terikat)

Fixed Carbon (FC) adalah nilai total kandungan dari unsur carbon dalam suatu sampel. Kadar karbon ini akan mempengaruhi nilai kalor dan *residence time* waktu pembakaran sampel. Nilai *FC* tidak didapat melalui analisis tetapi melalui perhitungan kandungan inilah yang berperan dalam menentukan besarnya nilai kalor dari sampel, semakin besar *Fixed Carbon*, semakin besar pula nilai kalornya.

II.6.3 Uji Ultimasi

Analisis ultimat dilakukan untuk konstituen batu bara, melainkan dalam bentuk unsur kimia dasar. *Ultimate analysis* menganalisis jumlah kadar karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen, (N), dan sulfur (S) dalam batubara. Variabel-variabel ini juga diukur dalam persen berat (% berat) dan dihitung dalam basis yang



dijelaskan di atas. Nilai karbon dan hidrogen dapat digunakan untuk menentukan jumlah oksigen (udara) yang diperlukan dalam proses pembakaran dan untuk perhitungan efisiensi proses pembakaran. Penentuan karbon dan hidrogen dapat digunakan dalam perhitungan material *balance*, reaktivitas dan hasil produk yang relevan dengan proses konversi batubara seperti gasifikasi dan pencairan. Nilai karbon dan nitrogen dapat digunakan dalam perhitungan material balance yang digunakan untuk tujuan perhitungan emisi (Novie, 2014). Seiring dengan perkembangan teknologi, analisis ultimat batubara sekarang sudah dapat dilakukan dengan cepat dan mudah. Analisa ultimat ini sepenuhnya dilakukan oleh alat yang sudah terhubung dengan komputer. Prosedur analisis ultimat ini cukup ringkas; cukup dengan memasukkan sampel batubara ke dalam alat dan hasil analisis akan muncul kemudian pada layar komputer. (Idham, Ds. 2008)

