

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang *thermal treatment* dilakukan diberbagai negara dengan berbagai macam sampel dan metode dalam satu rangkaian meliputi *drying*, *torrefraction*, *combustion*, *pyrolysis*, dan *gasification*. (Çepelioğullar & Pütün, 2013) melakukan penelitian tentang *thermal treatment* dengan proses pirolisis dari bahan baku biomassa yaitu *cotton stalks* (CS), *hazelnut shells* (HS), *sunflower residues* (SFR) dan *Euphorbia rigida* (ER), dan plastik yaitu *polyethylene terephthalate* (PET) and *polyvinyl chloride* (PVC). Penelitian ini dilakukan menggunakan sampel dengan massa 5 - 15 mg dan rasio perbandingan campuran biomassa dan plastik adalah 1:1. Sampel dipanaskan hingga 800°C. Hasil menunjukkan dari grafik DTG penurunan berat sampel biomassa tanpa campuran plastik maksimum terjadi pada kisaran suhu 250-500 °C. Antara rentang suhu ini, CS, HS, SFR dan ER kehilangan 44,32%, 46,75%, 50,1% dan 48,48% dari berat awal masing-masing, karena pemecahan selulosa dan mudah menguap. Hasil minyak dari biomassa CS ketika dicampur dengan PET meningkat dari 21,72 menjadi 25,87%. Hasil minyak dari biomassa SFR ketika dicampur dengan PET 23,17 hingga 25,56%. Hasil minyak dari biomassa HS ketika dicampur dengan PET 18,22 hingga 29,89%. ER ketika dicampur dengan PET meningkat dari 26,26 hingga 27,01%.

Abnisa dkk., (2013) melakukan pirolisis cangkang, tandan kosong, dan serat kelapa sawit. Pengeringan diawali dengan penjemuran selama 24 jam kemudian dikeringkan menggunakan oven konvensional pada temperatur 105°C selama 24 jam. Limbah dihancurkan hingga ukuran sampel 1-2 mm. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 500°C, waktu pirolisis 1 jam, dan laju aliran nitrogen 2 l/menit. Hasil pengujian menunjukkan pirolisis cangkang, tandan kosong, dan cangkang kelapa sawit menghasilkan produk *bio-oil* lebih banyak dibanding produk *bio-char* atau

gas *noncondensable*. *Bio-oil* yang dihasilkan bersifat asam dan mengandung kadar oksigen tinggi. Nilai kalor *bio-oil* bervariasi dari 10,49 MJ/kg sampai 14,78 MJ/kg. Nilai kalor *bio-char* (20-30 MJ/kg) lebih tinggi daripada *bio-oil*. Cangkang sawit memiliki kandungan lignin tertinggi sehingga menghasilkan produk *bio-char* yang paling banyak.

Caroko dkk., (2015) meneliti tentang karakteristik pembakaran briket arang limbah industri minyak kelapa sawit berupa cangkang, cangkang, dan tandan kosong kelapa sawit dengan variasi bahan perekat kanji dan tar menggunakan TGA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya kadar air pada briket menyebabkan menurunnya kandungan *fixed carbon*. Hal tersebut berakibat pada penurunan nilai IVTM (*Initiation Temperature of Volatile Matter*), ITFC (*Initiation Temperature of Fixed Carbon*), PT (*Peak of weight loss Temperature*), BT (*Burning out Temperature*) dan meningkatnya nilai energi aktivasi (E_a) yang mengakibatkan semakin lama waktu proses pembakaran.

Namazi dkk., (2015) meneliti tentang penyebaran temperatur pada sampel biomassa lignoselulosa yang dipanaskan dengan oven *microwave*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa biomassa merupakan peredam radiasi gelombang mikro yang lemah dengan nilai *loss tangent* kurang dari 0,1. Menurut Namazi dkk., (2015), pada *microwave heating* perlu menambahkan material yang penyerapan yang kuat terhadap gelombang mikro.

Huang dkk., (2016) meneliti penggunaan teknologi pemanasan *microwave* dan pemanasan konvensional sebagai pemanasan pirolisis. Dari penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemanasan menggunakan *microwave* lebih menguntungkan dibandingkan dengan pemanasan konvensional. Serupa dengan Huang dkk., (2016), Motasemi dan Afzal, (2013) juga melakukan penelitian tentang penggunaan teknologi *microwave* sebagai teknologi pemanasan pirolisis yang hasilnya disimpulkan bahwa teknologi *microwave* lebih efektif untuk meningkatkan kualitas produk, mengurangi waktu pemrosesan, dan meningkatkan kualitas pemanasan.

Dari penelitian yang sudah dilakukan, para peneliti sebelumnya melakukan *thermal treatment* campuran biomassa *cotton stalks* (CS), *hazelnut shells* (HS),

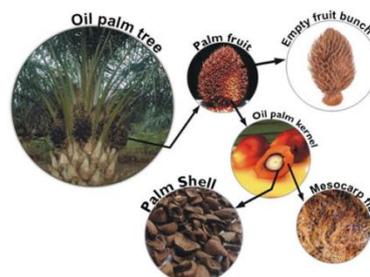
sunflower residues (SFR) dan *Euphorbia rigida* (ER), dan plastik yaitu *polyethylene terephthalate* (PET) and *polyvinyl chloride* (PVC) hingga suhu 800⁰C dan untuk *thermal treatment* biomassa cangkang, tandan kosong, dan serat kelapa sawit hingga suhu 105⁰C pemanasan menggunakan oven konvensional, maka perlu dilakukan penelitian *thermal treatment* campuran biomassa cangkang kelapa sawit dan plastik PET menggunakan oven *microwave*

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Kelapa Sawit

Pohon kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan minyak nabati maupun bahan bakar. Tinggi pohon kelapa sawit dapat mencapai 24 meter. Bagian dari pohon kelapa sawit yang banyak digunakan yaitu buahnya karena dapat menghasilkan minyak. Buah kelapa sawit terdiri atas beberapa bagian seperti daging buah, inti/biji, cangkang, cangkang, dan tandan kosong (Sukiran dkk., 2017) dapat dilihat pada Gambar 2.1. Kelapa sawit sebagai minyak nabati memiliki kelebihan yaitu rendah kolesterol, lebih ekonomis, dan memiliki kandungan karoten yang tinggi.

Minyak kelapa sawit juga memiliki beberapa karakteristik yaitu kadar air tinggi, densitas rendah, nilai kalor rendah, dan memiliki sifat kemampuan menyerap air dari lingkungan (Sukiran dkk., 2017). Oleh karena itu, diperlukan suatu proses untuk mengubah limbah minyak kelapa sawit menjadi produk yang berkualitas tinggi sebagai bahan bakar atau produk lainnya.



Gambar 2.1. Bagian Pohon Kelapa Sawit (Abnisa dkk, 2013)

2.2.1.1. Cangkang kelapa sawit

Cangkang kelapa sawit adalah merupakan biomassa yang terbentuk dari hasil foto sintesis butir-butir hijau daun yang bekerja sebagai sel surya yang menyerap energi sinar matahari dan mengkonversi karbon dioksida dengan air menjadi

suatu senyawa kimia yang terdiri atas karbon, hidrogen dan oksigen. Senyawa kimia tersebut dalam bentuk padatan dapat dikonversi menjadi arang cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit baik digunakan sebagai bahan bakar ataupun arang karena memiliki bahan lignoselulosa yang tinggi. Kemudian mempunyai berat jenis yang lebih tinggi dari kayu, yaitu 1,4 gr/cm³ (Abidin & Limbong, 2015). Cangkang kelapa sawit memiliki karakteristik kimia yang bisa dilihat pada Gambar 2.1

Tabel 2.1. Karakteristik Fisik dan Kimia Cangkang Kelapa (Okroigwe, 2014)

Property	Parameter	Value	
		Ar	db
Physical	Moisture content (%)	6.11	-
	Ash content (%)	8.68	
	*Bulk density (kg-m ⁻³)	740	9.24
	*Porosity (%)	28	650
Chemical	C (%)	46.75	49.79
	H (%)	5.92	5.58
	O (%)	37.97	34.66
	N (%)	0.68	0.72
	S (%)	<0.08	<0.08
	Cl (ppm)	84	89
Structural carbohydrates	Hemicellulose (%)	26.16	
	Cellulose (%)	6.92	
	Lignin (%)	53.85	

2.2.2. Plastik

Plastik merupakan material yang tersusun atas polimer dari karbon dan hidrogen, oksigen, nitrogen, *chlorin* atau sulfur. Contohnya adalah *Polystyrene* (PS), *Polypropylene* (PP), *Polyethylene terephthalate* (PET), *Polyvinyl chloride* (PVC), *High-density polyethylene* (HDPE), dan *Low-density polyethylene* (LDPE), (Sharuddin dkk, 2016).

Plastik digunakan untuk berbagai keperluan manusia, mulai dari keperluan rumah tangga sampai industri. Untuk memudahkan proses daur ulang plastik, plastik diurutkan ke dalam nilai yang berbeda dengan pemberian kode plastik yang sudah ditetapkan secara internasional. Kode tersebut digunakan pada kemasan plastik sekali pakai (*disposable*), seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Jenis-jenis Plastik (Karuniastuti, 2017)

Jenis Plastik	Keterangan	Kode dan Gambar
<i>Polyethylene terephthalate</i> (PET/PETE)	<ul style="list-style-type: none"> • Transparan/jernih/tembus pandang. • Digunakan pada botol minuman. • Sekali pakai. 	
<i>High-density polyethylene</i> (HDPE)	<ul style="list-style-type: none"> • Keras, kuat, lebih tahan suhu tinggi. • Digunakan untuk botol susu, galon air minum, <i>tupperware</i>, dan kursi lipat. 	
<i>Polyvinyl chloride</i> (PVC/V)	<ul style="list-style-type: none"> • Lebih tahan terhadap senyawa kimia dan minyak. • Digunakan untuk plastik pembungkus, pipa, konstruksi bangunan. 	
<i>Low-density polyethylene</i> (LDPE)	<ul style="list-style-type: none"> • Fleksibel, kuat dan permukaan agak berlemak. • Digunakan untuk tempat makanan, dan botol lembek. 	
<i>Polypropylene</i> (PP)	<ul style="list-style-type: none"> • Transparan yang tidak jernih, lebih kuat dan ringan. • Digunakan untuk mainan mobil-mobilan, film, dan botol minum bayi. 	
<i>Polystyrene</i> (PS)	<ul style="list-style-type: none"> • Mudah dibentuk dan diproses. • Digunakan untuk tempat CD, tempat makan <i>styrofoam</i>. 	

Plastik memiliki kandungan proksimat yang berbeda berdasarkan jenisnya. Kandungan proksimat yang terdapat pada jenis plastik yaitu *moisture content*, *fixed carbon*, *volatile*, dan *ash* dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3. Analisis Proksimat Berdasarkan Jenis Plastik (Sharuddin, 2016)

Type of plastics	Plastics type marks	Moisture (wt%)	Fixed carbon (wt%)	Volatile (wt%)	Ash (wt%)
Polyethylene terephthalate (PET)		0.46 0.61	7.77 13.17	91.75 86.83	0.02 0.00
High-density polyethylene		0.00 0.00	0.01 0.03	99.81 98.57	0.18 1.40
Polyvinyl chloride (PVC)		0.80 0.74	6.30 5.19	93.70 94.82	0.00 0.00
Low-density polyethylene		0.30 -	0.00 -	99.70 99.60	0.00 0.40
Polypropylene		0.15 0.18	1.22 0.16	95.08 97.85	3.55 1.99
Polystyrene		0.25 0.30	0.12 0.20	99.63 99.50	0.00 0.00
Polyethylene (PE)		0.10	0.04	98.87	0.99
Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)		0.00	1.12	97.88	1.01
Polyamide (PA) or Nylons		0.00	0.69	99.78	0.00
Polybutylene terephthalate (PBT)		0.16	2.88	97.12	0.00

2.2.2.1 Plastik *Polyethylene Terephthalate (PET)*

Polyethylene Terephthalate (PET) adalah sejenis poliester jenuh yang diproduksi oleh asam tereftalat dan polimerisasi etilen glikol. PET banyak digunakan dalam kemasan botol minum karena harganya murah, keamanan tinggi, tahan tekanan, memiliki pori-pori kecil yang mampu menyimpan gas, dan aroma yang lebih lama daripada material botol plastik lainnya. Namun, sifat yang dimiliki PET hampir tidak terurai secara alami di lingkungan sehingga berdampak pada akumulasi limbah dan menyebabkan masalah lingkungan yang serius. Oleh karena itu, perlu dilakukan daur ulang. Para peneliti telah melakukan berbagai metode daur ulang seperti metode kimia dan metode mekanik. Daur ulang kimia menjadi metode pengolahan akumulasi sampah yang digunakan oleh peneliti salah satunya adalah *thermal treatment*.

2.2.3. Pemanasan (*Thermal Treatment*)

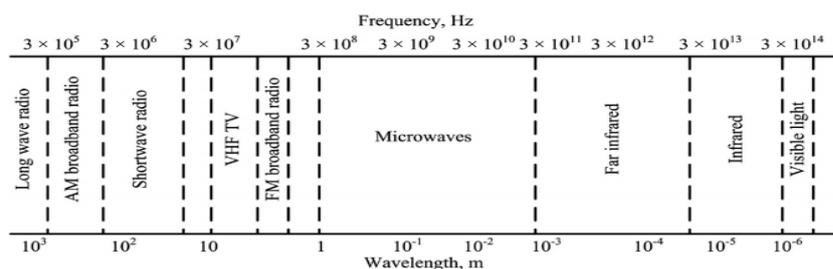
Thermal treatment merupakan pemisahan sejumlah kecil kadar air atau zat yang ada di dalam material sehingga mengurangi kandungan air yang ada pada material tersebut sampai suatu nilai yang dikehendaki. Menurut Ding dkk. (2019),

teknologi *thermal treatment* yang paling umum digunakan di antaranya, *in situ thermal treatment* (ISTT) dan *ex situ thermal treatment* (ESTT), teknologi hemat energi (smoldering), teknologi *microwave heating*, dan teknologi kuat tapi intensif energi (vitrifikasi).

Thermal treatment telah menjadi hal menarik dan *hot topic* dalam pengolahan limbah karena secara *thermal* dapat didekomposisi menjadi produk yang dapat meningkatkan nilai tambah pada penggunaan bahan bakar maupun bahan untuk aplikasi industri dan komersial. *Thermal treatment* terdapat beberapa macam yaitu *drying*, *torrefraction*, *combustion*, *pyrolysis*, dan *gasification* (Chen dkk, 2018)

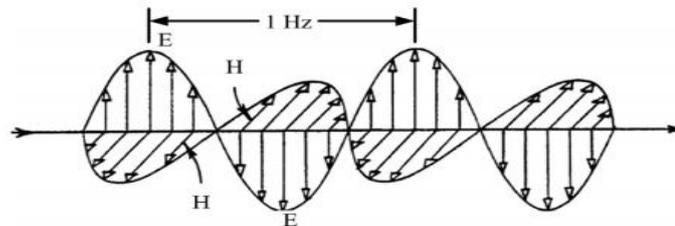
2.2.4. Microwave

Penggunaan teknologi *microwave* sebagai *thermal treatment* sudah lama digunakan sejak Percy Spencer menemukan temuannya pada tahun 1940-an. *Microwave* atau gelombang mikro terletak di antara wilayah radiasi inframerah dan gelombang radio di spektrum gelombang elektromagnetik (dapat dilihat pada Gambar 2.2) yang memiliki panjang gelombang antara 0,001-0,1 m dan frekuensi 0,3-300 GHz. Pada wilayah tersebut, frekuensi dialokasikan untuk telepon seluler, radar, dan komunikasi satelit. Namun, untuk menghindari gangguan dari telekomunikasi, Komisi Komunikasi Federal mengatur panjang gelombang untuk kebutuhan industri, ilmiah, dan medis (Mushtaq dkk, 2014).



Gambar 2.2. Spektrum elektromagnetik (Motasemi dan Afzal, 2013).

Seperti gelombang elektromagnetik lainnya, gelombang mikro juga terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang keduanya saling tegak lurus (dapat dilihat pada Gambar 2.3.). Sebagian besar, reaktor *microwave* untuk keperluan oven *microwave* dan sintesis kimia beroperasi pada frekuensi 0,915 GHz ($\lambda = \sim 33$ cm) atau 2,45 GHz ($\lambda = \sim 12$ cm) (Motasemi dan Afzal, 2013; Zaker dkk. 2019).



Gambar 2.3. Medan Gelombang Elektrik dan Magnetik pada Microwave (Motasemi dan Afzal, 2013)

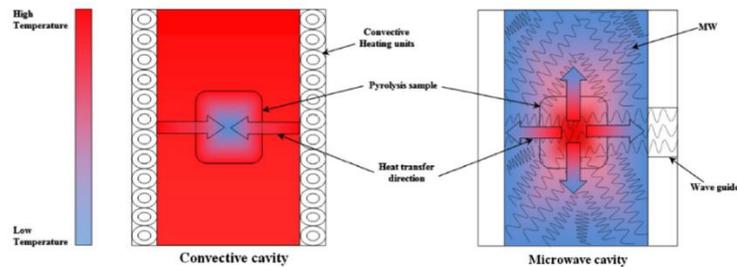
Sifat penyerapan material terhadap gelombang mikro dipengaruhi oleh struktur fisik, frekuensi radiasi, dan ikatan kimia. Hal tersebut dapat mengakibatkan tingkat kedalaman penetrasi gelombang mikro. *Microwave heating* telah diimplementasikan di berbagai aplikasi industri karena memiliki kelebihan dari pemanasan volumetrik, pemanasan selektif, dan waktu pemrosesan yang singkat (Namazi dkk, 2015).

2.2.4.1. Oven Microwave

Oven *Microwave* adalah peralatan dapur yang digunakan untuk memanaskan dan memasak makanan dengan menggunakan listrik dan bantuan energi dari gelombang mikro (*microwave*). Prinsip kerja pada oven *microwave* yaitu mengubah dari energi listrik menjadi energi gelombang mikro, energi gelombang mikro ini kemudian akan membuat panas pada material yang dipanaskan. Kerja oven *microwave* mampu menembus material dan membuat ekstasi pada molekul material secara merata. Selain itu, *microwave heating* tidak memerlukan konveksi, konduksi, dan radiasi panas seperti oven konvensional biasa sehingga proses pemanasan lebih cepat. Perbedaan pemanasan pada oven *microwave* dan oven konvensional dapat dilihat pada Gambar 2.4. Oven *microwave* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan oven konvensional Huang dkk., (2016), yaitu :

- a) Pemanasan non kontak
- b) Lebih mentransfer energi daripada *heat transfer*
- c) Memiliki *heating rate* yang lebih tinggi
- d) Pemanasan secara selektif pada material
- e) Pemanasan volumetrik

- f) Tingkat keamanan dan otomatisasi yang lebih tinggi
- g) Pemanasan dari bagian dalam



Gambar 2.4. Perbedaan Pemasanan Oven Microwave dan Oven (Mushtaq dkk, 2014)

Pada sebagian besar material, penyerapan *microwave* (sifat dielektrik) meningkat tajam pada temperatur yang tinggi. Akan tetapi, pada material dengan daya serap *microwave* yang rendah membutuhkan penambahan sumber panas dalam bentuk *receptor/absorber* untuk membantu mengatasi *heat transfer* yang kurang memadai (Namazi dkk. 2015). Selain itu, untuk meningkatkan *heating rate* dan temperatur maksimum diperlukan daya *microwave* yang lebih besar (Namazi dkk. 2015; Huang dkk. 2016).

Salah satu kelemahan yang dimiliki pada *microwave heating* yaitu adanya pembentukan *hot spot* pada saat pembentukan gelombang mikro yang berdampak pada temperatur inti material lebih tinggi daripada temperatur pada keseluruhan material. Menurut Huang dkk., (2016), untuk mengurangi adanya pembentukan *hot spot*, dilakukan beberapa cara, yaitu:

1. Memperbesar ukuran rongga *microwave*
2. Beroperasi pada frekuensi yang lebih tinggi
3. equipping a turntable
4. memasang mode *stirrer*