

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang *thermal treatment* telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti dari berbagai jenis mulai dari *drying*, *torrefaction*, *combustion*, *pyrolysis*, dan *gasification*. Barneto dkk., (2009) melakukan penelitian tentang *thermal treatment* dengan proses gasifikasi dari 2 bahan baku biomassa yaitu *Leucaena* dan *Tagasaste*. Penelitian ini menggunakan berat material sampel 5 mg dan terdapat 3 variasi *heating rate*, yaitu: 5, 10, dan 20 °C/menit dengan temperatur dari 25–900 °C. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meningkatnya *heating rate* dapat mengakibatkan penurunan *density* dari 511 menjadi 449 kg/m<sup>3</sup> dan peningkatan porositas dari 70–74 %. Hal tersebut dapat mempengaruhi perilaku posterior *char*. Selain itu, pada temperatur pemanasan/pembakaran *char* (375–500°C), analisis gravimetri termal (TGA) dari kedua sampel menunjukkan perubahan penurunan massa (*mass loss*) yang signifikan yaitu dengan meningkatkan variasi *heating rate* menyebabkan peningkatan *mass loss*. Dapat disimpulkan bahwa, nilai *heating rate* berbanding lurus terhadap nilai *mass rate*.

Chen dkk., (2014) melakukan penelitian yang bertujuan mempelajari karakteristik *thermal* pada biomassa dalam proses *pre-treatment* khususnya pada *torrefaction* dengan temperatur mencapai 800 °C selama 1 jam. Biomassa yang digunakan pada penelitian ini yaitu serat kelapa sawit dan kayu putih. Sebelum dilakukan proses *torrefaction*, kedua bahan dikeringkan pada temperatur 105 °C selama 24 jam. Chen dkk., (2014) mengatakan bahwa hampir semua kadar air (*moisture content*) dalam bahan baku dihilangkan selama pengeringan. Penelitian ini juga dilakukan analisis gravimetri termal (TGA) pada temperatur 200, 250, dan 300 °C untuk mengetahui dekomposisi *thermal* pada material. Hasilnya adalah ketika temperatur *torrefaction* 200 °C, serat kelapa sawit hanya terurai 3,17 %. Pada temperatur 250 °C, serat kelapa sawit kehilangan berat sebanyak 19,39 wt%,

sedangkan pada temperatur 300 °C terjadi penurunan massa yang cukup drastis yaitu sebesar 25,92 wt%. Hal tersebut menunjukkan bahwa *thermal treatment* secara signifikan dipengaruhi oleh kandungan lignoselulosa dalam biomassa dan temperatur *torrefaction*. Dekomposisi *thermal* hemiselulosa pada serat kelapa sawit terjadi pada temperatur 200 dan 250 °C, sedangkan degradasi *thermal* selulosa terjadi pada temperatur 300 °C. Oleh karena itu, reaksi panas serat kelapa sawit meningkat dengan meningkatkan temperatur *torrefaction*.

Caroko dkk., (2015) meneliti tentang karakteristik pembakaran briket arang limbah industri minyak kelapa sawit berupa cangkang, serat, dan tandan kosong kelapa sawit dengan variasi bahan perekat kanji dan tar menggunakan TGA. Dari penelitiannya, dihasilkan 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 distribusi temperatur di dalam sampel biomassa lignoselulosa yang dipanaskan dengan oven *microwave*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa biomassa merupakan peredam radiasi gelombang mikro yang cukup lemah dengan *loss tangent* kurang dari 0,1. Menurut Namazi dkk., (2015), pada *microwave heating* perlu menambahkan zat atau material penyerap gelombang mikro yang kuat.

Huang dkk., (2016) meneliti penggunaan teknologi pemanasan *microwave* dan pemanasan konvensional sebagai teknologi pemanasan pirolisis. Dari penelitian tersebut, disimpulkan bahwa pemanasan *microwave* lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan pemanasan konvensional dan dapat menjadi teknik bioenergi yang menjanjikan. 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* efektif untuk mengurangi waktu

pemrosesan, dapat meningkatkan kualitas produk, mengatasi dalam kebutuhan penghancuran material, meningkatkan kualitas pemanasan, dan dapat menjadi metode yang cocok dalam mengurangi biaya pemrosesan.

Penelitian tentang *thermal treatment* dengan mencampurkan material biomassa dan plastik dilakukan oleh Fan dkk., (2018). Penelitian ini dilakukan dengan 2 metode yaitu *co-pyrolysis* dan *co-gasification* dihasilkan bahwa proses pirolisis ditandai dengan 2 tahap, yaitu: tahap pertama dekomposisi biomassa dan dan tahap kedua degradasi plastik, sedangkan pada gasifikasi ditunjukkan pada tahap ketiga (diatas temperatur 700 °C) yaitu reaksi produk dengan CO<sub>2</sub>. Hasil dari penelitian yang dilakukan adalah penambahan material plastik bermanfaat untuk dekomposisi biomassa dan dapat meningkatkan kandungan karbon serta mengurangi kandungan oksigen.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Cepeliogullar dan Putun (2013) tentang perilaku *thermal* dan kinetik campuran biomassa dan sampah plastik dalam pirolisis, dihasilkan bahwa perbedaan struktural biomassa dan plastik dapat mempengaruhi dekomposisi *thermal*. Menurut Cepeliogullar dan Putun (2013), degradasi biomassa membutuhkan waktu yang lebih lama daripada plastik dan membutuhkan temperatur yang lebih tinggi untuk menghancurkan struktur material.

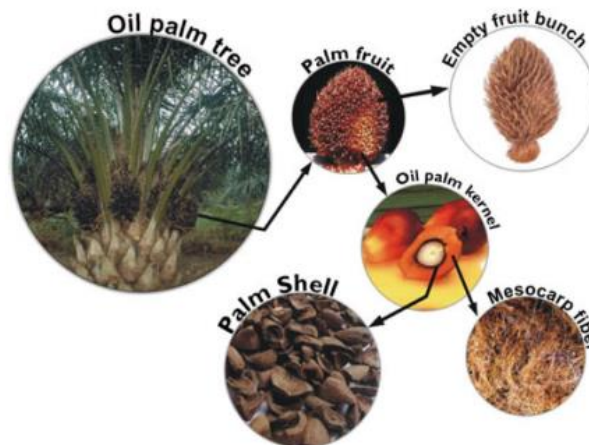
Penelitian tentang efek sinergis dilakukan oleh Burra dan Gupta, (2018) dengan metode pencampuran biomassa (kayu pinus) dan plastik (PET). Berdasarkan penelitiannya, Burra dan Gupta (2018) menjelaskan bahwa penambahan PET dalam kayu pinus dapat meningkatkan laju evolusi *volatile* dan dapat menurunkan puncak sesuai dengan pirolisis PET dibandingkan dengan DTG tertimbang. Selain itu, pencampuran PET dan kayu pinus terdapat efek sinergis yang dapat meningkatkan konversi karbon dan menurunkan pembentukan arang jika dibandingkan dengan hasil arang dari komponen individu. Tingkat sinergis tertinggi diamati pada kandungan plastik 75 % PET.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Kelapa Sawit

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

Limbah minyak kelapa sawit juga memiliki beberapa karakteristik, yaitu: kadar air yang tinggi, densitas rendah, nilai kalor rendah, dan memiliki sifat higroskopis (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 Serat Kelapa Sawit

Serat kelapa sawit atau sering disebut dengan *fiber mesocarp* merupakan salah satu limbah padat industri minyak kelapa sawit yang berasal dari ampas perasan kelapa sawit yang diambil minyaknya pada saat proses pembuatan minyak kelapa sawit. Serat kelapa sawit biasanya dimanfaatkan sebagai pupuk kompos dan sebagai bahan bakar boiler karena memiliki kelembaban yang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan tandan kosong kelapa sawit. Serat kelapa sawit terdiri atas polimer karbohidrat (selulosa dan hemiselulosa) dan polimer aromatik (lignin dengan sedikit gugus etil, mineral, substituent fenolik) (Abas dkk., 2018). Serat kelapa sawit memiliki komposisi kimia yang dapat dilihat pada Tabel 2.1. Selain itu, serat kelapa sawit juga memiliki sifat fisik bahan, dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Komposisi kimia serat kelapa sawit (Chen dkk., 2014)

<i>Component</i>	<i>Content wt. %</i>
<i>Cellulose</i>	26,78
<i>Hemicellulose</i>	34,00
<i>Lignin</i>	16,8
<i>Other</i>	23,14

Tabel 2.2 Analisis *proximate* dan *ultimate* serat kelapa sawit (Chen dkk., 2014)

<i>Analysis</i>	<i>Component</i>	<i>Content wt. %</i>
<i>Proximate</i>	<i>Volatile Matter</i>	72,46
	<i>Fixed Carbon</i>	20,51
	<i>Ash</i>	7,03
<i>Ultimate</i>	<i>Carbon</i>	51,94
	<i>Hydrogen</i>	4,75
	<i>Nitrogen</i>	2,43
	<i>Oxygen</i>	40,88



### 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), *polyvinyl chloride* (PVC), *polyethylene terephthalate* (PET), *low-density polyethylene* (LDPE), *high-density polyethylene* (HDPE) (Sharuddin dkk., 2016).

Plastik banyak digunakan untuk berbagai keperluan manusia, mulai dari keperluan rumah tangga sampai industri. Penggunaan plastik sebagai pengemas pangan dikarenakan bentuknya yang fleksibel sehingga mudah dibentuk mengikuti bentuk pangan yang dikemas, ringan, tidak mudah pecah, bersifat transparan, mudah diberi label, dan dibuat dengan aneka warna, dapat diproduksi massal, harga relatif murah dan terdapat berbagai jenis pilihan bahan dasar plastik.








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 2.3.

Tabel 2.3 Jenis-jenis plastik

Jenis Plastik	Keterangan	Kode dan Gambar
<i>Polyethylene terephthalate</i> (PET/PETE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transparan, kuat, tahan pelarut, tahan <i>non permeable</i> (gas dan uap air)</li> <li>• Digunakan pada botol minuman</li> <li>• Tidak untuk air panas</li> </ul>	
<i>High-density polyethylene</i> (HDPE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaku, kuat, tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban, mudah diwarnai</li> <li>• Digunakan untuk botol susu cair, jus minumsn, kantong belanja</li> </ul>	

<p><i>Polyvinyl chloride</i> (PVC/V)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebih tahan terhadap senyawa kimia</li> <li>• Digunakan untuk botol kecap, baki, plastik pembungkus</li> </ul>	
<p><i>Low-density polyethylene</i> (LDPE)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mudah diproses, kuat fleksibel, mudah disegel, tahan kelembaban</li> <li>• Digunakan untuk botol wadah yogurt, botol madu, kantong kresek.</li> </ul>	
<p><i>Polypropylene</i> (PP)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuat, tahan terhadap panas, kelembaban, dan minyak.</li> <li>• Digunakan untuk peralatan dapur, peralatan microwave, piring dan mangkuk sekali pakai</li> </ul>	
<p><i>Polystyrene</i> (PS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mudah dibentuk dan diproses</li> <li>• Digunakan untuk <i>Styrofoam</i>, kartun wadah telur, mangkok sekali pakai.</li> </ul>	

Plastik memiliki *proximate analysis* yang berbeda berdasarkan jenisnya. *Proximate Analysis* yang terdapat pada jenis plastik yaitu *moisture*, *fixed carbon*, *volatile*, dan *ash* dapat dilihat pada Gambar 2.2.

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

Gambar 2.2 Analisis proksimat berdasarkan jenis plastik (Sharuddin dkk., 2016)

### 2.2.2.1 Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET)

*Polyethylene Terephthalate* (PET) adalah suatu resin polimer termoplastik dari kelompok poliester. PET banyak digunakan dalam pengemasan botol minuman karena harganya murah, tahan tekanan, keamanan tinggi, memiliki pori-pori kecil yang mampu menyimpan gas, dan aroma yang lebih lama daripada material botol plastik lainnya. Namun, sifat yang dimiliki PET tidak terdegradasi secara alami di lingkungan. Hal tersebut dapat mengakibatkan akumulasi limbah dan menyebabkan masalah lingkungan yang serius. Oleh karena itu, perlu dilakukan daur ulang. Beberapa 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 atau sisa cairan yang ada pada material tersebut sampai suatu nilai yang dikehendaki. *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 2.3) yang memiliki panjang gelombang antara 0,01-1 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).

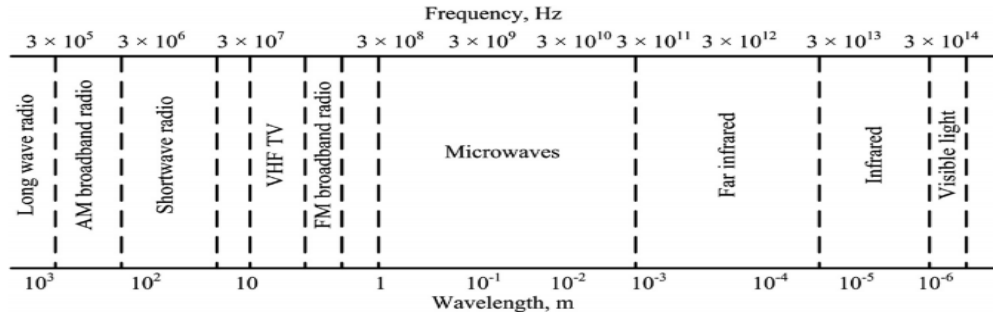


Fig. 2. The electromagnetic spectrum.

Gambar 2.3 Spektrum elektromagnetik (Motasemi dan Afzal, 2013)

Seperti gelombang elektromagnetik lainnya, gelombang mikro juga terdiri dari medan magnet dan medan listrik yang keduanya saling tegak lurus (dapat dilihat pada Gambar 2.4). Sebagian besar, reaktor *microwave* digunakan untuk keperluan sintesis kimia dan oven *microwave* rumah tangga beroperasi pada frekuensi 0,915 GHz ( $\lambda = \sim 33$  cm) atau 2,45 GHz ( $\lambda = \sim 12$  cm) (Zaker dkk., 2019; Motasemi dan Afzal, 2013).

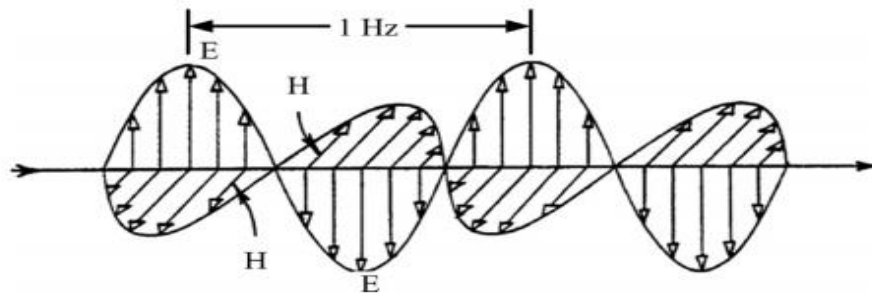


Fig. 3. Electric ( $E$ ) and magnetic ( $H$ ) field components in microwaves.

Gambar 2.4 Medan gelombang magnetik dan elektrik pada *microwave* (Motasemi dan Afzal, 2013)

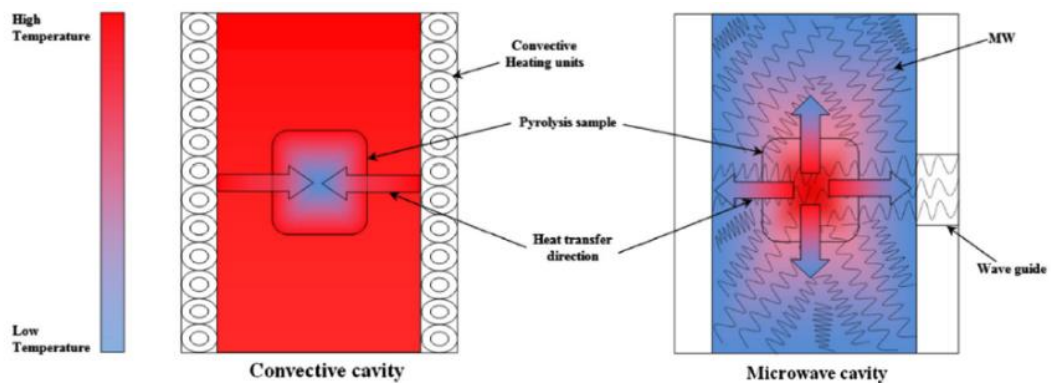
Sifat penyerapan material pada gelombang mikro dipengaruhi oleh frekuensi radiasi, struktur fisik, dan ikatan kimia. Hal tersebut dapat mengakibatkan perubahan kedalaman penetrasi gelombang mikro. *Microwave heating* telah diimplementasikan di berbagai aplikasi industri karena memiliki kelebihan dari 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 memasak dan memanaskan makanan dengan menggunakan listrik dan bantuan energi dari gelombang mikro (*microwave*). Prinsip kerja pada oven *microwave* yaitu mengubah energi listrik menjadi energi gelombang mikro, energi gelombang mikro ini kemudian akan memproduksi panas pada material yang dipanaskan. Penggunaan *Microwave* dapat mempercepat kerja oven *microwave* karena mampu menembus material dan mengeksitasi molekul pada material secara merata (tidak hanya permukaannya saja). Selain itu, *microwave heating* tidak memerlukan konveksi, konduksi, dan radiasi panas seperti oven konvensional biasa sehingga proses pemanasan dapat dilakukan lebih cepat. Perbedaan pemanasan pada oven *microwave* dan oven konvensional dapat dilihat pada Gambar 2.5. Oven *microwave* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan oven konvensional (Huang dkk., 2016), yaitu:

1. Pemanasan nonkontak

2. Lebih mentransfer energi daripada *heat transfer*
3. Memiliki *heating rate* yang lebih tinggi
4. Pemanasan secara selektif pada material
5. Pemanasan volumetrik
6. Tingkat keamanan dan otomatisasi yang lebih tinggi
7. Pemanasan dari bagian dalam/pusat material



Gambar 2.5 Perbedaan pemsanan oven *microwave* dan oven konvensional (Mushtaq dkk., 2014)

Pada sebagian besar material, penyerapan *microwave* meningkat tajam pada temperatur yang tinggi. Akan tetapi, pada material dengan daya serap *microwave* yang rendah (sifat dielektrik rendah) membutuhkan penambahan sumber panas dalam bentuk *microwave receptor*/absorber untuk membantu mengatasi *heat transfer* yang kurang memadai (Namazi dkk., 2015). Terdapat absorber yang ikut habis berreaksi seperti karbon dan arang, namun ada jenis absorber yang tidak ikut habis berreaksi seperti silikon karbida (Motasemi dan Afzal 2013). Selain itu, diperlukan daya *microwave* yang lebih besar untuk meningkatkan *heating rate* dan temperatur maksimum (Namazi dkk., 2015; Huang dkk., 2016).

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

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