

Thermal Heating Study Of Microwave Reactor For Pyrolysis Of Vegetable Wastes

Defani Alrasyidi Nugraha¹, Wirawan Sumbodo² dan Samsudin Anis^{2,*}

¹Prodi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang

*Corresponding author: samsudin_anis@mail.unnes.ac.id

Abstract. Efforts to utilize vegetable waste originating from traditional markets need to be done to reduce environmental problems. One of the ways to deal with this issue is by converting vegetable waste into bio oil through microwave pyrolysis. The purpose of this study is to investigate thermal characteristics of vegetable wastes pyrolysis in a microwave reactor in term of temperature profile, heating rate, and thermal efficiency. In this study, cabbage wastes with moisture contents of 15% (dry-sample) and 27% (wet-sample) were used as the experimental samples. About 100 g of each samples was tested at various microwave power of 257 W, 362 W, and 418 W for 30 min of irradiation. The result showed that microwave power and moisture content of the sample highly affect thermal characteristics of microwave reactor. High reaction temperature, heating rate, and thermal efficiency could be obtained at higher microwave power and lower moisture content. At 418 W, the highest temperature, heating rate, and thermal efficiency for the dry-sample were 411°C, 12.7°C/min, and 78%, respectively whereas for the wet-sample were 306°C, 9.3°C/min and 52.8%.

Abstrak. Upaya pemanfaatan limbah sayuran yang berasal dari pasar tradisional perlu dilakukan untuk mengurangi masalah lingkungan. Salah satu cara untuk menangani permasalahan limbah sayuran tersebut adalah dengan mengkonversinya menjadi bio oil melalui pirolisis berbantuan gelombang mikro. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengkaji karakteristik termal reaktor gelombang mikro untuk proses pirolisis limbah sayuran dalam bentuk profil temperatur, laju pemanasan, dan efisiensi termal. Penelitian ini menggunakan limbah sayuran kubis dengan kadar air 15% (sampel kering) dan 27% (sampel basah). Sekitar 100 g dari masing-masing sampel diuji pada berbagai daya *microwave* yaitu 257 W, 362 W, dan 418 W selama 30 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya *microwave* dan kadar air sangat berpengaruh terhadap karakteristik termal reaktor gelombang mikro. Temperatur, laju pemanasan, dan efisiensi termal yang tinggi dapat diperoleh pada kondisi daya *microwave* yang lebih tinggi dan kadar air yang lebih rendah. Pada 418 W, temperatur, laju pemanasan, dan efisiensi termal tertinggi untuk sampel kering masing-masing adalah 411°C, 12.7°C/menit, and 78%, sedangkan untuk sampel basah masing-masing adalah 306°C, 9.3°C/min and 52.8%.

Keywords: Karakteristik termal, gelombang mikro, pirolisis, limbah sayuran

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Pasar tradisional merupakan tempat yang sangat sering dikunjungi masyarakat Indonesia untuk membeli sayuran. Dikaji dari kehidupan produksi dan jual beli di pasar tradisional, hal yang sering menjadi permasalahan yaitu munculnya limbah pasar khususnya limbah sayuran. Sebagai contoh timbunan limbah sayuran di pasar Peterongan Semarang tahun 2014 mencapai 275,884 ton/hari [1].

Upaya pemanfaatan limbah sayuran yang berasal dari pasar tradisional perlu dilakukan untuk mengurangi masalah lingkungan. Banyak cara untuk menangani permasalahan limbah sayuran tersebut, salah satunya dengan mengkonversi limbah sayuran menjadi bio oil ataupun biodiesel.

Biodiesel merupakan energi alternatif terbarukan atau bahan bakar alternatif pengganti minyak diesel yang diproduksi dari lemak hewan atau minyak tumbuhan [2]. Limbah sayuran sangat memungkinkan dikonversi menjadi biodiesel agar dapat meminimalisir jumlah limbah sayuran yang ada di pasar tradisional. Biodiesel memiliki beberapa keunggulan, diantaranya sebagai bahan bakar ramah lingkungan yang tidak beracun, bebas dari belerang, berbau harum, aplikasinya sederhana, dan menghasilkan emisi gas buang yang relatif lebih bersih dibandingkan bahan bakar fosil. Berdasarkan keunggulan biodiesel yang telah dipaparkan, biodiesel dapat menjadi solusi masalah pencemaran lingkungan yang ada di pasar tradisional. Proses yang umumnya digunakan untuk

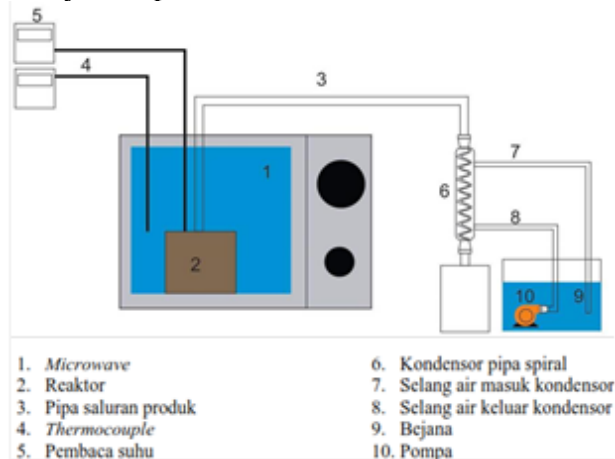
mengolah biodiesel adalah proses pirolisis, salah satunya menggunakan metode iradiasi gelombang mikro atau biasa disebut *microwave* [3]. Sifat gelombang mikro diyakini sangat berpengaruh dalam pengolahan limbah biomassa menjadi bio oil dan biodiesel yang menggunakan proses pirolisis [4,5]. Secara umum, pengolahan limbah biomassa dengan *microwave* harus memperhatikan beberapa parameter utama termasuk daya *microwave*, penambahan absorber dan katalis, serta kadar air material. Limbah biomassa yang memiliki sifat dielektrik yang baik dapat digunakan secara langsung karena dapat menyerap energi gelombang mikro dan kemudian mengubahnya menjadi panas [6]. Namun demikian, material memiliki respons yang berbeda terhadap pemanasan *microwave* yang menunjukkan bahwa sifat dielektrik dari bahan tersebut sangat bervariasi.

Berdasarkan kondisi di atas, studi tentang karakteristik termal limbah sayuran dalam reaktor gelombang mikro sangat penting untuk diketahui sebagai dasar menentukan kondisi operasi proses pirolisis yang sesuai. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik termal dalam bentuk profil temperatur, laju pemanasan, dan efisiensi termal pada proses pirolisis limbah sayuran menggunakan reaktor gelombang mikro.

Metode Penelitian

Bahan baku yang digunakan adalah limbah sayuran kubis yang diperoleh dari pasar tradisional di Semarang. Sebelum digunakan, bahan baku dipotong 1-2 cm² kemudian dipanaskan selama 30 menit pada suhu 105°C. Perlakuan ini menghasilkan bahan baku dengan kadar air sebesar 27% (sampel basah). Selanjutnya, sebagian bahan baku dikeringkan kembali hingga kadar air mencapai 15% (sampel kering).

Sekitar 100 g dari masing-masing sampel kemudian diproses secara pirolisis dalam reaktor gelombang mikro selama 30 menit seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

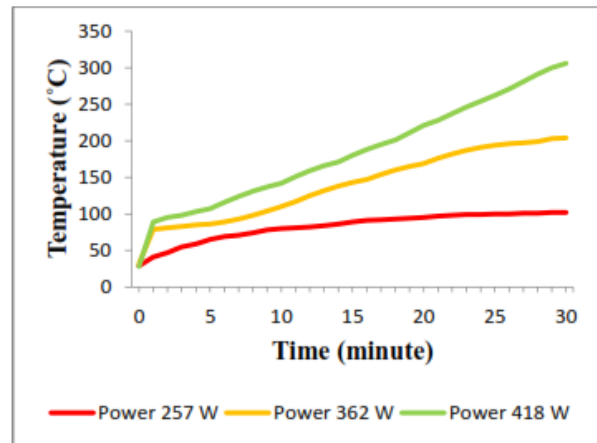


Gambar 1. Skema alat penelitian

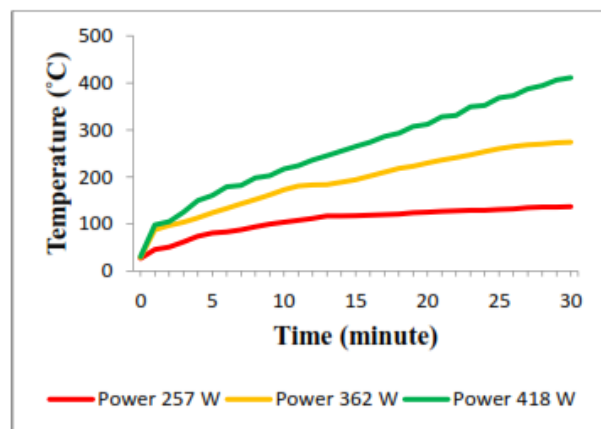
Penelitian dilakukan pada berbagai daya *microwave* yaitu 257 W, 362 W, dan 418 W. Perubahan suhu dicatat setiap 60 detik selama 30 menit. Data tersebut digunakan untuk mengevaluasi laju pemanasan (*heating rate*) dan efisiensi termal sebagaimana diuraikan pada penelitian sebelumnya [4,7].

Hasil dan Pembahasan

Gambar 2 dan 3 masing-masing menunjukkan profil temperatur sampel sayuran basah dan kering pada berbagai daya *microwave*. Berdasarkan gambar tersebut, temperatur reaktor sangat dipengaruhi oleh daya *microwave* dimana temperatur meningkat dengan meningkatnya daya *microwave* baik untuk sampel sayuran basah maupun kering. Temperatur meningkat signifikan jika menggunakan daya 362 W dan 418 W. Hal ini karena daya *microwave* yang diserap oleh bahan di dalam reaktor meningkat ketika medan listrik sebagai pembangkit daya gelombang mikro semakin besar [4].



Gambar 2. Profil temperatur sampel sayuran basah

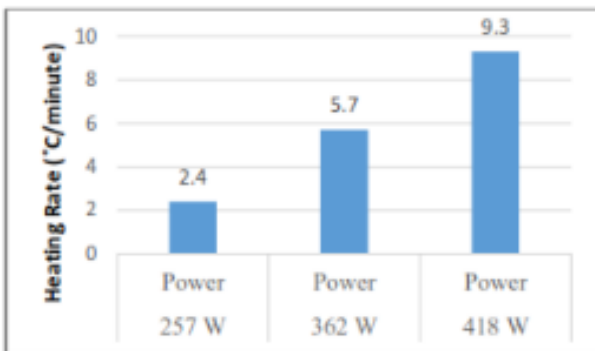


Gambar 3. Profil temperatur sampel sayuran kering

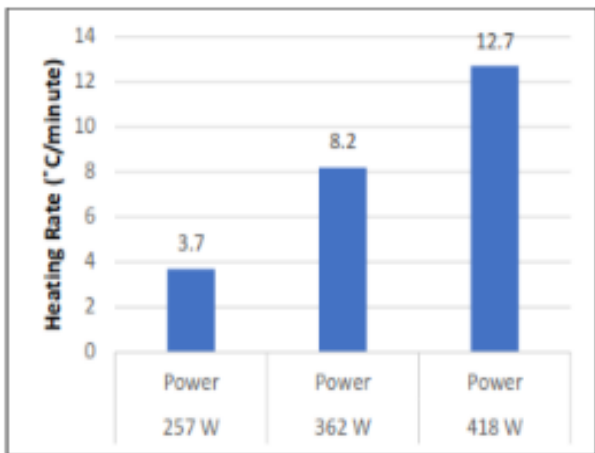
Selain itu, peningkatan temperatur limbah sayuran kering lebih tinggi dibandingkan dengan limbah sayuran basah. Temperatur tertinggi

didapatkan pada daya 418 W yaitu 306°C untuk sampel sayuran basah dan 411°C untuk sampel sayuran kering. Hal ini menunjukkan bahwa kadar air sampel sangat berpengaruh terhadap temperatur reaktor. Kadar air bahan yang rendah lebih menguntungkan jika diproses menggunakan gelombang mikro [8].

Gambar 4 dan 5 masing-masing menunjukkan laju pemanasan sampel sayuran basah dan kering pada berbagai daya *microwave*. Laju pemanasan menunjukkan kemampuan untuk memanaskan bahan baku di dalam reaktor gelombang mikro tiap satuan waktu.



Gambar 4. Laju pemanasan sampel sayuran basah

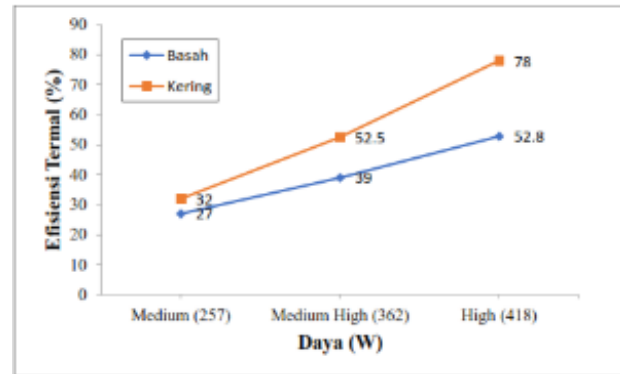


Gambar 5. Laju pemanasan sampel sayuran kering

Berdasarkan gambar tersebut, laju pemanasan meningkat dengan meningkatnya daya *microwave*. Penggunaan daya *microwave* 418 W menghasilkan laju pemanasan empat kali lebih cepat dibandingkan dengan daya 257 W. Hasil ini mengkonfirmasi penelitian sebelumnya bahwa laju pemanasan yang tinggi dari bahan dengan kadar air rendah tidak hanya memberikan temperatur reaktor yang tinggi tetapi juga mengurangi waktu pemanasan yang diperlukan [5]. Menurut El Harfi et al. [9], peningkatan suhu dengan meningkatnya daya gelombang mikro dimungkinkan oleh fakta bahwa ketika daya gelombang mikro meningkat (laju pemanasan meningkat), waktu paparan sampel sampai suhu tertentu berkurang. Dengan demikian,

semakin besar daya *microwave*, semakin cepat dan tinggi pula peningkatan laju pemanasan.

Gambar 6 menunjukkan efisiensi termal sampel sayuran basah dan kering pada berbagai daya *microwave*. Secara umum, termal efisiensi meningkat secara linier dengan meningkatnya daya *microwave*.



Gambar 6. Efisiensi termal sampel sayuran basah dan kering

Selain itu, sampel sayuran kering memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel sayuran basah. Menurut Amrullah dkk [10], kadar air yang tinggi menyebabkan energi *microwave* yang dihasilkan akan banyak terserap untuk menguapkan air. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi termal meningkat ketika kadar air dalam limbah sayuran semakin menurun.

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya *microwave* dan kadar air bahan baku berperan penting pada proses pirolisis limbah sayuran dalam reaktor gelombang mikro. Kombinasi daya *microwave* yang besar dan kadar air yang rendah menghasilkan temperatur, laju pemanasan, dan efisiensi termal reaktor gelombang mikro yang tinggi. Pada penelitian ini, hasil optimum didapatkan pada kondisi daya *microwave* 418 W dan kadar air 15% dimana temperatur, laju pemanasan, dan efisiensi termal masing-masing mencapai 411°C, 12,7°C/menit, dan 78%. Secara keseluruhan, kondisi tersebut memenuhi kondisi operasi proses pirolisis sehingga tidak membutuhkan penambahan material absorber.

Penghargaan

Penelitian ini didanai melalui skema riset terapan No. 1.1.7/PPK.4.5/2016 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Referensi

- [1] Imaduddin, M. dkk., 2014. Pemanfaatan sampah pasar produksi listrik melalui microbial fuel cells. *Jurnal Sains Dasar* 3(2), 196-204.
- [2] Kusmardiana, V. dkk., 2015. Metanolisis Minyak Kelapa pada Pembuatan Biodiesel dengan Menggunakan Continuous Microwave Biodiesel Reactor (CMBR). *Jurnal Rekayasa Produk dan Proses Kimia* 1, 1-5.
- [3] Anis, S. and Zainal, Z. A., 2016. Effective conversion of biomass tar into fuel gases in a microwave reactor. *AIP Conf. Proc.*, 1737(1), 060006-1–060006-9.
- [4] Anis, S. et al., 2017. Thermal characteristics analysis of microwaves reactor for pyrolysis of used cooking oil. *AIP Conf. Proc.*, 1818, 020003-1–020003-8.
- [5] Anis, S. et al., 2018. Thermal Characteristics of Microwave Reactor for Pyrolysis of Food Waste. *Journal of Physical Science*, 29(Supp. 2), 1–13.
- [6] Appleton, T. J. et al., 2005. Microwave technology for energy-efficient processing of waste. *Applied Energy* 81(1), 85–113.
- [7] Cherbanski, R. and Molga, E., 2009. Intensification of desorption processes by use of microwaves – An overview of possible applications and industrial perspectives. *Chemical Engineering and Processing* 48, 48-58.
- [8] Omar, R. et al., 2011. Characterization of empty fruit bunch for microwave-assisted pyrolysis. *Fuel*, 90(4), 1536-1544.
- [9] El Harfi, K. et al., 1999. Pyrolysis of the Moroccan (Tarfaya) oil shales under microwave irradiation. *Fuel* 79, 733-742.
- [10] Amrullah, A. dkk., 2015. Studi Eksperimental Bio Oil Berbahan Baku Limbah Sisa Makanan dengan Variasi Temperatur Pirolisis. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin.