

Kaji Eksperimental Pemanasan Campuran Biomassa Serat Kelapa Sawit dan Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) Menggunakan Oven *Microwave*

Agustin Dwi Permatasari¹, Novi Caroko², Wahyudi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

¹e-mail: Mithapermata815@gmail.com

Abstrak

Banyaknya limbah biomassa dan sampah plastik yang sulit terurai, menimbulkan akumulasi limbah. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan yang tepat untuk menjadi sumber energi yang bersifat terbarukan. Salah satu upaya alternatif pengolahan limbah yang dipandang cukup prospektif yaitu *thermal treatment* dengan menggunakan oven *microwave*. *Heating rate* dan *mass rate* digunakan untuk mengetahui variasi pengujian yang memiliki nilai ekonomi paling optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kenaikan temperatur selama proses pemanasan dengan kondisi temperatur mencapai 105 °C. Penelitian dengan metode pemanasan *microwave* dari campuran limbah biomassa serat kelapa sawit dan limbah plastik PET telah dilakukan dengan daya 800 watt. Komposisi pencampuran kedua jenis limbah bervariasi dari 100%, 75%, 50%, 25% dan 0% dengan menggunakan arang batok kelapa sebagai absorber untuk menaikkan tingkat serapan gelombang mikro. Pengambilan data temperatur dan massa didapat dari hasil rekaman per detik dengan menggunakan *datalogger* dan *hyperterminal*. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai laju pemanasan dan laju aliran massa terjadi penurunan dari 1,911 °C/detik menjadi 0,490 °C/detik dan 0,018 g/detik menjadi 0,006 g/detik. Variasi komposisi campuran kedua bahan memiliki pengaruh terhadap penurunan laju pemanasan dan laju aliran massa yaitu dengan bertambahnya komposisi PET. Nilai optimal diperoleh pada variasi pengujian serat 75% dengan laju pemanasan 0,886 °C/detik dan nilai laju aliran massa sebesar 0,030 g/detik. Pada variasi pengujian serat 75 %, terdapat *sticker* sebagai celah antar serat yang memudahkan *moister content* terlepas ke lingkungan sekitar.

Kata Kunci: Pemanasan *microwave*, serat kelapa sawit, PET, karakteristik pemanasan

Abstract

The amount of waste biomass and plastic waste that is difficult to decompose, causing accumulation of waste. Therefore, it is necessary to do the right processing to become a renewable energy source. One alternative effort to treat waste that is considered quite perspective is thermal treatment using a microwave oven. This study aims to know the characteristics increasing temperatures during the thermal treatment with final temperature conditions that reach 105 °C. The study using by microwave heating method from a mixture of waste of oil palm fiber biomass and PET plastic waste has been carried out with 800 Watts of power. The mixing composition of the two types of waste varies from 100 %, 75 %, 50 %, 25 % and 0 % by using coconut shell charcoal as an absorber for increasing the level of microwave absorption. Retrieving data on temperature and mass are obtained from recordings per second using data loggers and hyper terminals. The results showed that the value of the heating rate and mass rate has decreased from 1,911 °C/s to 0.490 °C/s and 0.018 g/s to 0.006 g/s. The variations in the composition of the mixture of the two ingredients have effect on decreasing the value of heating rate and mass rate by increasing the composition of PET. The optimum value is obtained in 75% fiber variation with a heating rate of 0.886 °C/s and a mass rate value of 0.030 g/s. In a variation of 75% fiber testing, there is a sticker as a gap between fibers which makes it easier to moisture content off into the surrounding environment.

Keyword: Microwave heating, oil palm fiber, PET, heating characteristics.

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak merupakan salah satu kebutuhan pokok untuk menjalankan roda perekonomian. Menipisnya cadangan energi fosil saat ini menjadi isu global dikarenakan kebutuhan energi akan terus bertambah seiring dengan adanya peningkatan pertumbuhan ekonomi. Menurut data dari SKK migas, 92,1% cadangan minyak dan 34,5% cadangan

gas bumi terhadap total cadangan sudah diproduksi, sedangkan produksi minyak bumi saat ini sebesar 338 juta barel.

Penggunaan energi terbarukan dipercaya dapat menggantikan bahan bakar fosil karena tingginya permintaan energi di seluruh dunia, tidak stabil, sumbernya tidak pasti, dan dikhawatirkan akan terjadi perubahan iklim global (Huang dkk., 2016). Sumber energi terbarukan yang ada di dunia sudah cukup banyak, seperti energi geothermal, tenaga surya, angin, air, dan biomassa (Motasemi dan Afzal, 2013).

Kelapa sawit merupakan hasil produksi pertanian yang cukup penting bagi Indonesia dalam sektor perekonomian (Harahap dkk., 2019) karena Indonesia termasuk produsen kelapa sawit terbesar di dunia (Sukiran dkk., 2017). *United States Departement of Agriculture* (2015) menjelaskan bahwa pada tahun 2019 produk kelapa sawit diperkirakan mencapai 4,3 juta ton dan mengalami peningkatan sebesar 1,5 juta ton dari 2018. Peningkatan produksi kelapa sawit juga berdampak terhadap peningkatan produk samping atau limbah kelapa sawit. Limbah kelapa sawit memiliki beberapa jenis di antaranya cangkang kelapa sawit (*Palm Kernel Shell/PKS*), serat kelapa sawit (*Mesocarp Fiber/MF*), dan tandan kosong (*Empty Fruit Bunch/EFB*) (Mabrouki dkk., 2015).

Selain limbah industri minyak kelapa sawit, terdapat limbah kota seperti limbah plastik yaitu *polyethylene terephthalate* (PET), *high-density polyethylene* (HDPE), *low-density polyethylene* (LDPE), *polypropylene* (PP), dan *polystyrene* (PS) (Sharuddin dkk., 2016; Miandad dkk., 2017). (*Association of Plastic Manufacturers Europe*, 2015) melaporkan bahwa produksi plastik global telah mencapai sekitar 299 juta ton pada tahun 2013 dan mengalami peningkatan 4 % dari tahun 2012. Permintaan plastik yang terus meningkat akan menyebabkan pertumbuhan dalam akumulasi limbah setiap tahun.

Adanya permasalahan dalam pengolahan limbah industri minyak kelapa sawit dan sampah plastic yang belum optimal, menimbulkan pemikiran untuk melakukan pengolahan limbah agar dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. *Thermal treatment* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas suatu material agar memiliki nilai tambah dan efisien dalam penggunaan energy.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Persiapan Bahan

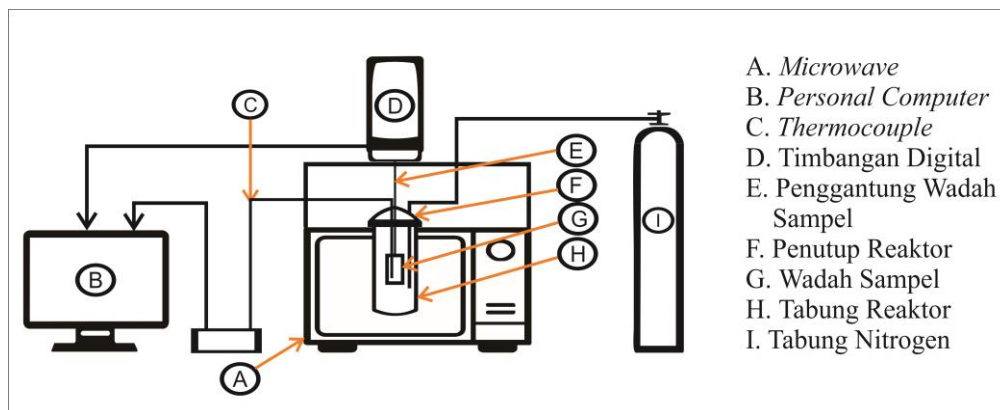
Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu serat kelapa sawit, PET, dan arang tempurung kelapa sebagai material absorber dapat dilihat pada Gambar 1. Karakteristik dasar bahan baku serbuk serat kelapa sawit diketahui dengan melakukan uji proksimat dan kadar holoselulosa-alfa selulosa sesuai standar SNI 0492:2008 dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Bahan Penelitian

2.2 Alat Penelitian

Instalasi peralatan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Oven *microwave* digunakan sebagai media pemanas dengan frekuensi 2,45 Ghz dan daya 800 Watt. Tabung reaktor yang digunakan terbuat dari kaca *pyrex* dengan ukuran panjang 21 cm dan DO 9,5 cm. Pengambilan data temperatur dan massa menggunakan komputer yang terinstal *software datalogger* dan *hyperterminal*.



Gambar 2. Instalasi Penelitian

2.3 Prosedur Penelitian

Bahan baku dihancurkan dan disaring dalam bentuk mesh (1-2 mm) kemudian dilakukan penimbangan sesuai variasi dengan massa total 30 g. Variasi pengujian dapat dilihat pada Tabel 1. Bahan dimasukkan ke dalam wadah sampel dan digantungkan ke timbangan digital. *Thermocouple* diletakkan di tengah dari setengah wadah untuk mengukur temperatur sampel biomassa. Gas nitrogen dialirkan ke dalam sistem pada tabung reaktor untuk mempertahankan kondisi *anoxic*. Setelah pembersihan cukup, oven *microwave* dihidupkan bersamaan dengan *software datalogger* dan *hyperterminal* untuk mencatat atau merekam data temperatur dan massa selama pengujian berlangsung. Pengujian berlangsung hingga temperatur akhir mencapai suhu 105 °C, kemudian oven *microwave* dimatikan dan dilanjutkan dengan pengolahan data untuk mendapatkan nilai *heating rate* dan nilai *mass rate*.

Tabel 1. Variasi Pengujian

No	Variasi Sampel	Serat Kelapa Sawit (gram)	Plastik PET (gram)	absorber (gram)
1	Serat 100 % + PET 0%	15	0	15
2	Serat 75 % + PET 0 %	11,25	3,75	15
3	Serat 50 % + PET 50 %	7,5	7,5	15
4	Serat 25 % + PET 75 %	3,75	11,25	15
5	Serat 0% + PET 100%	0	15	15

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Analisis *Proximate*

Analisis *proximate* digunakan untuk mengetahui *moisture content*, *volatile matter*, *fixed carbon*, dan *ash* pada material. Kadar holoselulosa digunakan untuk mengetahui holoselulosa, alfa selulosa, dan lignin yang terdapat pada biomassa serat kelapa sawit.

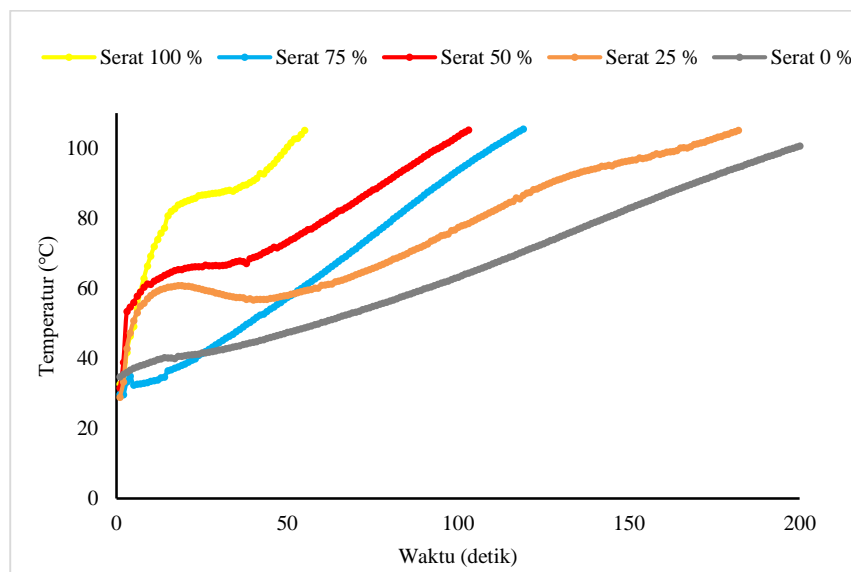
Tabel 2. Hasil Analisis *Proximate* dan Kadar Holoselulosa.

Analisis	Component	% Serat	Wt.% PET
Proksimat	Moisture Content	7,26	0,46
	Volatile Matter	63,49	91,75
	Fixed Carbon	22,99	7,77
	Ash	6,29	0,02
Kadar Holoselulosa	Holoselulosa	46,33	
	Alfa selulosa	22,24	
	Lignin	34,10	

(Sharuddin dkk.,
2016)

Pada Tabel 2 diketahui bahan serat kelapa sawit memiliki *moisture content* sebesar 7,26 % dan *fixed carbon* sebesar 22,99 % lebih banyak dibandingkan dengan bahan PET yang memiliki *moisture content* sebesar 7,46 % dan *fixed carbon* sebesar 7,77 %.

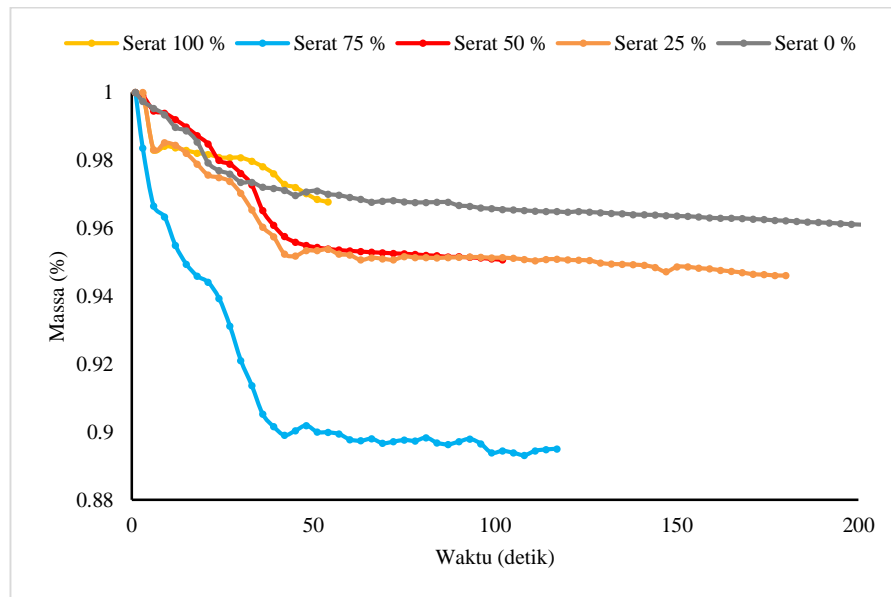
3.2 Profil Temperatur



Gambar 3. Temperatur Terhadap Waktu

Gambar 3 di atas, dapat dilihat bahwa variasi pengujian 100 % serat memiliki profil kenaikan temperatur yang lebih cepat (55 detik) dibandingkan variasi pengujian campuran (119 detik pada variasi pengujian 75 % serat, 103 detik pada variasi pengujian 50 % serat, dan 182 detik pada variasi pengujian 25 % serat) dan 100 % PET (214 detik) untuk mencapai temperatur 105 °C. Kondisi tersebut disebabkan *thermal treatment* pada oven *microwave* sangat dipengaruhi oleh kandungan *fixed carbon* pada suatu material yang ditunjukkan oleh Tabel 2 bahwa kandungan *fixed carbon* pada serat lebih banyak dibandingkan pada PET.

3.3 Profil Massa



Gambar 4. Massa Terhadap Waktu

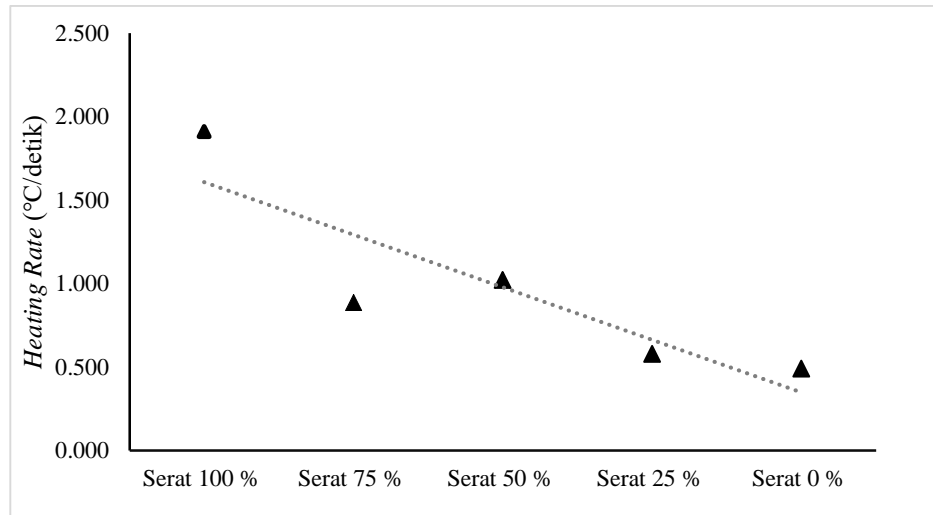
Hasil rekaman penurunan massa dari variasi pengujian selama *thermal treatment* ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat jelas bahwa massa pada setiap variasi pengujian mengalami penurunan seiring dengan waktu *thermal treatment*. Dari perbandingan variasi pengujian di atas, dapat diketahui bahwa penurunan massa pada setiap variasi pengujian memiliki tren yang sama. Penurunan massa disebabkan karena terjadinya penguapan *moisture content* selama *thermal treatment*.

Gambar 3 dan Gambar 4, dapat disimpulkan bahwa peningkatan temperatur dan penurunan massa memiliki tren yang sama pada setiap variasi pengujian, baik perkomponen maupun campuran. Hal tersebut ditandai dengan semakin lama *thermal treatment*, maka pemaparan *microwave* semakin lama yang berdampak pada terbentuknya titik *hotspot* yang semakin banyak pada material yang dipanaskan.

3.4 Heating Rate

Tabel 3. Hasil *Heating Rate*

Variasi Pengujian	Waktu (detik)	<i>Heating Rate</i> (°C/s)
Serat 100 % + PET 0%	55	1.911
Serat 75 % + PET 0 %	119	0.886
Serat 50 % + PET 50 %	103	1.021
Serat 25 % + PET 75 %	182	0.577
Serat 0% + PET 100%	214	0.490



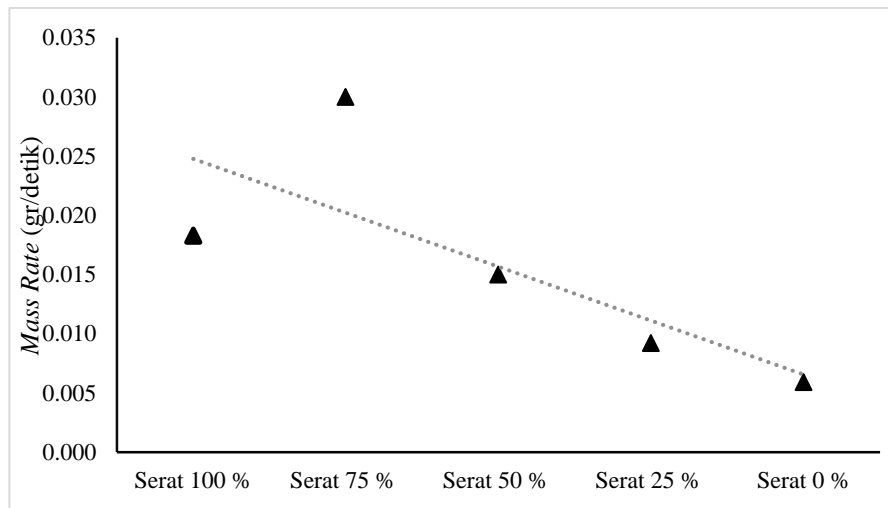
Gambar 5. Heating Rate

Tabel 3, menggambarkan bahwa semakin tinggi *heating rate* akan memberikan waktu proses yang lebih singkat. Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai *heating rate* memiliki kondisi linier yang cenderung menurun dengan bertambahnya kadar PET. Nilai *heating rate* terbesar ditunjukkan oleh variasi pengujian 100 % serat yaitu sebesar 1,911 °C/detik dan terkecil pada variasi pengujian 100 % PET yaitu sebesar 0,491 °C/detik. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan *fixed carbon* di dalam serat menghasilkan panas yang lebih besar, sehingga lebih berpengaruh pada peningkatan nilai *heating rate* dibandingkan pada PET. Namun pada variasi pengujian campuran, nilai *heating rate* terbesar pada variasi pengujian 50 % serat.

3.5 Mass Rate

Table 4. Hasil Mass Rate

Variasi Pengujian	Mass Rate (gram/detik)
Serat 100 % + PET 0%	0.018
Serat 75 % + PET 0 %	0.030
Serat 50 % + PET 50 %	0.015
Serat 25 % + PET 75 %	0.009
Serat 0% + PET 100%	0.006



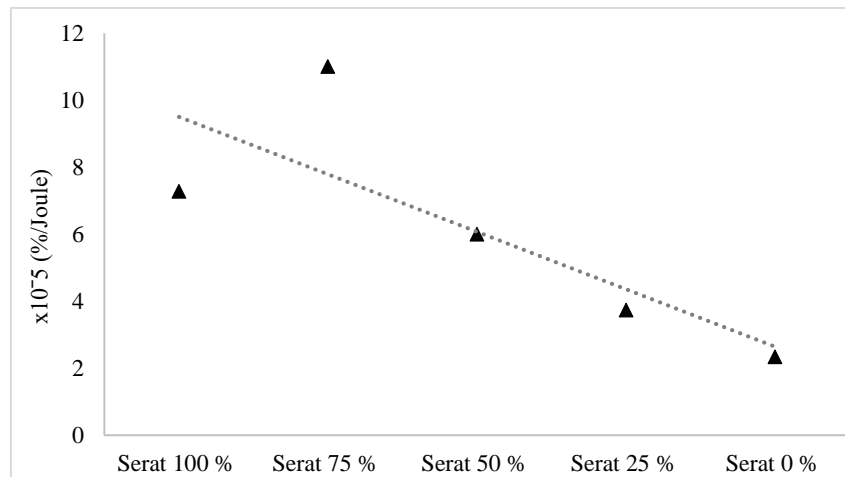
Gambar 6. Mass Rate

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai *mass rate* memiliki tren yang sama dengan nilai *heating rate* yaitu memiliki kondisi linier yang cenderung menurun seiring dengan bertambahnya kadar PET. Hal tersebut disebabkan kandungan *fixed carbon* di dalam serat menghasilkan panas yang digunakan untuk mengeluarkan *moisture content* dari dalam biomassa ke lingkungan sekitar. Dapat diketahui bahwa semakin banyak kadar serat akan berdampak pada semakin tingginya nilai *heating rate* dan semakin besarnya nilai *mass rate*. Hal tersebut dapat dikorelasikan bahwa semakin tinggi nilai *heating rate* akan berpengaruh pada semakin besarnya nilai *mass rate*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Barneto dkk., (2019) yang menyatakan bahwa menaikkan nilai *heating rate* berdampak pada peningkatan nilai *mass rate*.

Namun pada variasi pengujian 75 % serat, didapatkan nilai optimum untuk mendapatkan nilai *mass rate* yang paling besar sebesar 0,030 g/detik dengan nilai *heating rate* sebesar 0,886 °C/detik. Pada komposisi ini, setiap kenaikan 1 °C akan berdampak pada hilangnya *moisture content* sebesar 0,034 g. Hal ini dimungkinkan karena penambahan kadar PET sebesar 25 % berperan sebagai *sticker/ganjal* yang akan berdampak pada munculnya celah antarpartikel serat yang menyebabkan semakin mudahnya *moisture content* terlepas ke lingkungan sekitar. Hal ini sesuai dengan pengeringan kayu dengan menggunakan *sticker/ganjal* yang dilakukan oleh Budiarto, (1996) bahwa pengeringan menggunakan *sticker/ganjal* sebagai sirkulasi udara dapat memudahkan melepasnya *moisture content*.

3.6 Konsumsi Daya

Berdasarkan Gambar 7 dapat diketahui bahwa semakin besar prosentase serat pada proses pemanasan campuran serat dan PET menggunakan oven microwave, akan berpengaruh pada semakin besarnya prosentase kandungan air yang diuapkan untuk setiap joule energy yang digunakan. Hal tersebut dimungkinkan karena semakin besar prosentase serat akan berpengaruh pada semakin besarnya kandungan *fixed carbon* dan *moisture content*. Kandungan *fixed carbon* berpengaruh pada panas yang dimunculkan, sehingga semakin besar prosentase serat akan berakibat pada semakin tingginya nilai *heating rate*. Semakin besar *moisture content* akan menyebabkan semakin banyaknya kandungan air yang diuapkan. Semakin tingginya *heating rate* dan semakin besarnya *moisture content* menyebabkan semakin besarnya prosentase serat akan berakibat pada semakin banyak prosentase kandungan air yang diuapkan untuk setiap Joule energy yang digunakan oleh oven *microwave*.



4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian, maka dapat diambil kesimpulan bahwa *moisture content* dan *fixed carbon* sangat berpengaruh pada *thermal treatment* menggunakan oven *microwave* yang berdampak pada nilai *heating rate* dan *mass rate*. Variasi komposisi campuran kedua material memiliki pengaruh terhadap nilai *heating rate* dan *mass rate* yang menunjukkan tren cenderung menurun dengan bertambahnya kadar PET dari 1,911 °C/detik (pada variasi pengujian 100 % serat) menjadi 0,490 °C/detik (pada variasi pengujian 100 % PET) dan 0,018 gr/detik (pada variasi pengujian 100 % serat) menjadi 0,006 gr/detik (pada variasi pengujian 100 % PET). Pada variasi pengujian serat 75 % didapatkan nilai optimum dengan nilai *heating rate* sebesar 0,886 °C/detik, nilai *mass rate* maksimal sebesar 0,030 g/detik.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada Allah SWT, kepada keluarga, Bapak Novi Caroko dan Bapak Wahyudi selaku pembimbing, serta saudara Luthfi, Apep, dan Ian selaku rekan kerja proyek penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abas, Fatimatul Z., Ani, Farid N., dan Zakaria, Zainul A. 2018. "Microwave-assisted Production of Optimized Pyrolysis Liquid Oil from Oil Palm Fiber." *Journal of Cleaner Production*.
- Abnisa, F., Arami-Niya, A., Daud, W. M.A.W., dan Sahu, J. N. 2013. "Characterization of Bio-oil and Bio-char from Pyrolysis of Palm Oil Wastes." *Bioenergy Research* 6(2): 830–40.
- Barneto, Agustin G., Carmona, Jose A., Gálvez, A., dan Conesa, Juan A. 2009. "Effects of the composting and the heating rate on biomass gasification." *Energy and Fuels* 23(2): 951–57.
- Burra, K. G., dan Gupta, A. K. 2018. "Kinetics of synergistic effects in co-pyrolysis of biomass with plastic wastes." *Applied Energy* 220(October 2017): 408–18.
- Caroko, N., Wahyudi., dan Utomo, W. E. 2015. "Analisis Karakteristik Pembakaran Briket Arang Limbah Industri Kelapa Sawit dengan Variasi Bahan Perekat (Binder) Kanji dan Tar Menggunakan Metode Thermograviteri Analysis (TGA)." *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTMXIV)* (Snttm Xiv): 7–8.
- Cepeliogullar, Ozge dan Putun, Ayse E. 2013. "Thermal and kinetic behaviors of biomass and plastic wastes in co-pyrolysis." *Energy Conversion and Management* 75: 263–70.
- Chen, Wei H., Kuo, Po C., Liu, Shih H., dan Wu, W. 2014. "Thermal characterization of oil palm fiber and eucalyptus in torrefaction." *Energy*: 1–9.

- Chen, Z., Wang, M., Jiang, E., Wang, D., Zhang, K., Ren, Y., Jiang, Y. 2018. "Pyrolysis of Torrefied Biomass." *Trends in Biotechnology* 36(12): 1287–98.
- Ditjenbun. 2018. *Statistik Perkebunan Kelapa Sawit*. ditjenbun.pertanian.go.id.
- Fan, H., Gu, J., Hu, S., Yuan, H., Chen, Y. 2018. "Co-pyrolysis and co-gasi fi cation of biomass and polyethylene : Thermal behaviors , volatile products and characteristics of their residues." *Journal of the Energy Institute* (November): 1–10.
- Harahap, F., Silveira, S., dan Khatiwada, D. 2019. "Cost competitiveness of palm oil biodiesel production in Indonesia." *Energy*: 62–72.
- Huang, Y. F., Chiueh, P. T., Kuan, W. H., dan Lo, S. L. 2016. "Mini review A review on microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass." *Sustainable Environment Research*.
- Huang, Y. F., Chiueh, P. T., Kuan, W. H., dan Lo, S. L. 2016. "Microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass : Heating performance and reaction kinetics." *Energy* 100: 137–44.
- Mabrouki, J., Abassi, M. A., Guedri, K., Omri, A., Jeguirim, M. 2015. "Simulation of biofuel production via fast pyrolysis of palm oil residues." *Fuel* 159(July): 819–27.
- Miandad, R., Barakat, M. A., Aburuazauza, A. S., Rehan, M., Ismail, I. M. I., Nizami, A. S. 2017. "Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil." *International Biodeterioration and Biodegradation* 119: 239–52.
- Motasemi, F., dan Afzal, M. T. 2013. "A review on the microwave-assisted pyrolysis technique." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28: 317–30.
- Mushtaq, F., Ramli M, dan Nasir, F. 2014. "A review on microwave assisted pyrolysis of coal and biomass for fuel production." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39: 555–74.
- Namazi, Azadeh B., Allen, D. Grant dan Jia, Charles Q. 2015. "Probing microwave heating of lignocellulosic biomasses." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 112: 121–28.
- Sharuddin, A., Dayana, S., Abnisa, F. Daud, W. M. A. W., dan Aroua, Mohamed K. 2016. "A review on pyrolysis of plastic wastes." *Energy Conversion and Management* 115: 308–26. Association of Plastic Manufacturers Europe. 2015. *Plastics – the Facts 2015 An analysis of European plastics production , demand and waste data*.
- Sukiran, Mohamad A., Abnisa, F., Daud, W. M. A., Bakar, N. A. Loh, S. 2017. "A review of torrefaction of oil palm solid wastes for biofuel production." *Energy Conversion and Management* 149: 101–20. United States Departement of Agriculture. 2015. *Indonesia Oilseeds and Products Annual 2015*.
- Zaker, A., Chen, Z., Wang, X., dan Zhang, Q. 2019. "Microwave-assisted pyrolysis of sewage sludge : A review." *Fuel Processing Technology* 187(December 2018): 84–104.
- Zhang, X., Kou, J., dan Sun, J. 2019. "A comparative study of the thermal decomposition of pyrite under microwave and conventional heating with different temperatures." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 138: 41–53.