

# KAJI EKSPERIMENTAL PEMANASAN CAMPURAN BIOMASSA TANDAN KELAPA SAWIT DAN PLASTIK POLYETHILEN TEREPHTALATE (PET) DENGAN MENGGUNAKAN OVEN MICROWAVE

Luthfi Rakhmat Yunanto<sup>a</sup>, Novi Caroko<sup>b</sup>, Wahyudi<sup>c</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

<sup>a</sup>[Luthfijogja48@gmail.com](mailto:Luthfijogja48@gmail.com), <sup>b</sup>[novicaroko@yahoo.co.id](mailto:novicaroko@yahoo.co.id), <sup>c</sup>[wahyudi\\_stmt@yahoo.co.id](mailto:wahyudi_stmt@yahoo.co.id)

## Abstrak

Kebutuhan energi semakin meningkat sementara bahan bakar fosil semakin menipis. Pemanfaatan limbah kelapa sawit dan limbah plastik adalah cara alternatif untuk mendapatkan energi terbarukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik kenaikan suhu pemanasan hingga mencapai suhu 105 ° C. Penelitian ini menggunakan bahan baku campuran limbah biomassa dan sampah plastik, yaitu limbah tandan kosong kelapa sawit dan sampah Polyethylene Terephthalate (PET) dengan daya pemanasan gelombang mikro sebesar 800 Watt. Penambahan absorber untuk meningkatkan penyerapan gelombang mikro dilakukan dengan menggunakan arang tempurung kelapa. Perbandingan komposisi tandan kosong dan PET yang digunakan adalah 100: 0, 75:25, 50:50, 25:75 dan 0: 100. Data logger dan terminal hiper digunakan untuk merekam suhu dan data massa secara otomatis per detik. Berdasarkan data penelitian dapat diketahui bahwa laju pemanasan yang terjadi adalah 1,859 °C/s, 1,311 °C/s, 0,975 °C/s, 0,736 °C/s, 0,328 °C/s, laju aliran massa adalah 0,0534 g/s, 0,0325 g/s, 0,0217 g/s, 0,0129 g/s, 0,00594 g/s, dan konsumsi energi adalah 32000 J, 43200 J, 61600 J, 79200J, 171200 J. Dari data di atas dapat dilihat bahwa penambahan PET ke dalam campuran biomassa dan PET akan menurunkan nilai laju pemanasan dan laju aliran massa sedangkan konsumsi energi akan semakin meningkat.

**Kata kunci** : heating rate, microwave, Polyethylene Terephthalate (PET), pengeringan, tandan kosong.

## Abstract

The connection process using the The need for energy is increasing while fossil fuels are depleting. Utilization of oil palm waste and plastic waste are alternative ways to get renewable energy. The purpose of this study was to determine the characteristics of the heating temperature increase to reach the temperature of 105 ° C. This study contains a mixture of waste biomass and plastic waste, namely oil palm empty bunch waste and plastic bottle waste (PET) with microwave heating of 800 Watt power has been carried out. The addition of an absorber to increase the absorption of microwaves is done using coconut shell charcoal. The reduced composition of empty bunches and PET are 100: 0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0: 100. a data logger and hyper terminal are used to record temperature and mass data automatically per second. The result showed that the heating rate is 1,859 ° C / s, 1,311 ° C / s, 0,975 ° C / s, 0,736 ° C / s, 0,328 ° C / s, while the flow rate mass was 0.0534 g / s, 0.0325 g / s, 0,0217 g / s, 0,0129 g / s, 0.00594 g / s and energy consumptions is 32000 J, 43200 J, 61600 J, 79200J, 171200 J. From the above data it can be seen that showing PET into the biomass mixture and PET will add value to increase and accelerate mass flow for energy consumption will increase.

**Keywords** :Empty fruit bunches,dry furnace, Polyethylene Terephthalate (PET),heating characteristics,Microwave

## 1. Pendahuluan.

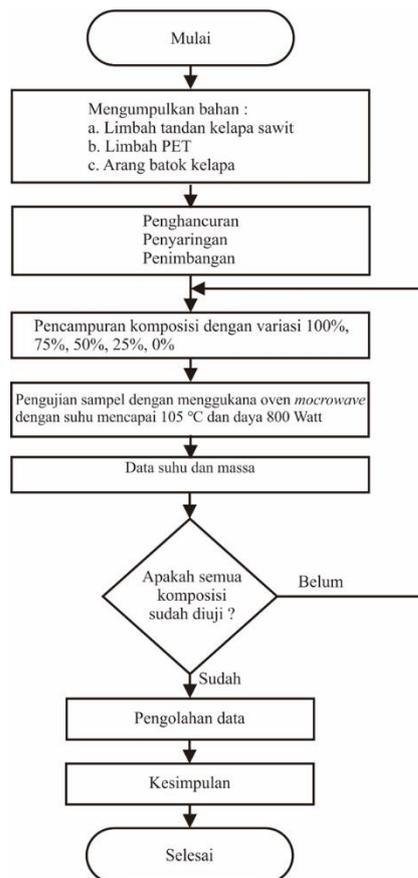
Bahan bakar merupakan kebutuhan energi yang sangat penting dalam menjalani kehidupan. Ketergantungan pada penggunaan energi fosil menyebabkan cadangan sumber energi semakin lama akan berkurang. Energi fosil berdambak pada lingkungan, seperti polusi udara. Hal ini membuat banyak kalangan sadar bahwa ketergantungan penggunaan energi fosil harus dikurangi. Dengan adanya masalah tersebut diperlukan adanya energi alternatif yang murah dan mudah didapatkan (Nurkholis dkk., 2011).

Limbah minyak kelapa sawit yang ada di Indonesia masih terlalu banyak dan pengolahannya belum terlalu maksimal, menyebabkan menumpuknya limbah sawit. Luas perkebunan sawit pada tahun 2016 yaitu 11.644.499 ha meningkat pada tahun 2017 menjadi 12.307.677 ha. Jumlah produksi pada tahun 2016 yaitu sebanyak 33.299.381 ton meningkat pada tahun 2017 sebanyak 35.359.384 ton (Direktorat Jendral Perkebunan, 2017). Dari data tersebut dapat dilihat bahwa kebutuhan akan kelapa sawit terus mengalami peningkatan, hal tersebut berdampak pada semakin banyaknya limbah kelapa sawit yang terbentuk.

Pada saat ini, sampah penggunaan plastik semakin meningkat sejak tahun 2003 sampah plastik tercatat mencapai 2,1 juta ton dan pada tahun 2004 menjadi 2,3 juta per tahun. Pada tahun 2010, tercatat sebanyak 2,4 juta ton dan meningkat pada tahun 2011 sebanyak 2,6 juta ton. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), pertumbuhan sampah per hari penduduk Indonesia mencapai 0,8 kg sampah per orang atau 189 ribu ton sampah per hari dikalkulasikan dari jumlah penduduk Indonesia. Dari data tersebut 15% sampah yang dibuang penduduk Indonesia adalah sampah plastik yaitu sebanyak 28,4 ribu ton sampah plastik per hari (Iswadi dkk., 2017).

Upaya untuk mengatasi akumulasi limbah kelapa sawit dan sampah plastik dengan metode yang tepat sehingga potensi energi terbarukan akan semakin berkembang. Thermal treatment merupakan salah satu alternatif pengolahan akumulasi limbah PET yang cukup berpotensi untuk dikembangkan. Dengan metode tersebut, pengolahan limbah dapat dirubah menjadi energi terbarukan yang cukup ekonomi.

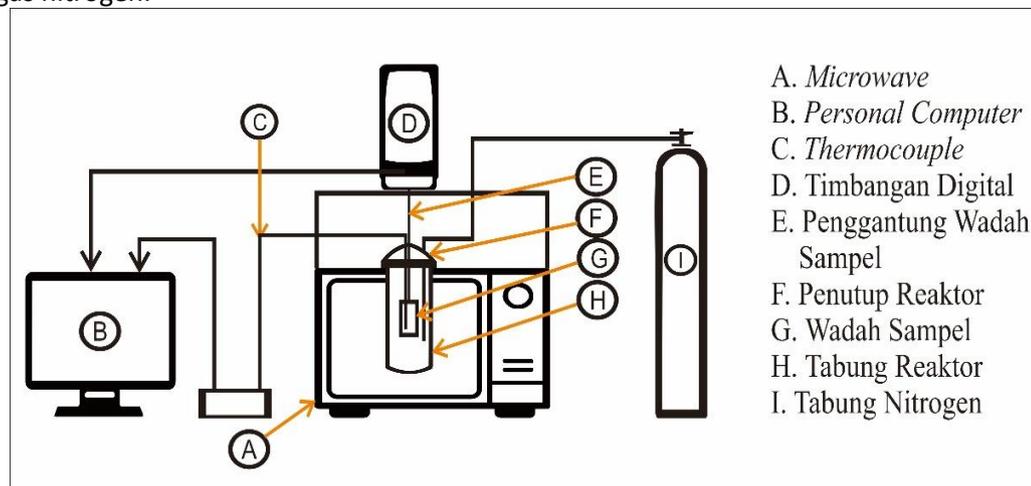
**2. Metode Penelitian.**



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

### 2.1. Alat Penelitian

Pada penelitian yang dilakukan memiliki instalasi pada Gambar yang terdiri atas microwave, timbangan digital, *Avantect*, dan *personal computer* (PC). Di samping itu, instalasi dilengkapi dengan peralatan-peralatan pendukung antara lain: tabung reaktor, penutup reaktor, wadah sampel, penggantung wadah sampel, thermocouple, dan tabung gas nitrogen.



Gambar 2. Instalasi Penelitian

### 2.2. Prosedur Penelitian

Bahan limbah tandan kelapa sawit, sampah plastik PET, dan arang batok kelapa yang sudah terkumpul kemudian digrinder dan disaring dalam bentuk serbuk dengan ukuran 1-2 mm. Ketiga bahan tersebut disiapkan sesuai dengan kebutuhan pengujian. Bahan yang akan dilakukan pengujian ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan variasi pengujian kemudian dimasukkan ke dalam wadah sampel. Wadah sampel tersebut kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaktor dan digantungkan di bawah timbangan digital.

Sebelum menghidupkan oven *microwave*, pastikan 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 kenaikan temperatur dan penurunan massa selama pengujian berlangsung. Pengujian berlangsung hingga temperatur mencapai 105 °C. Kemudian oven *microwave* dimatikan dan dilanjutkan dengan pengolahan data.

### 2.3. Variasi Pengujian

Proses variasi pengujian dilakukan dengan klasifikasi berat sampel dan material absorber. Variasi pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi pengujian

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

### 2.4. Pengolahan Data.

Setelah mendapatkan data temperatur dan penurunan massa, kemudian data di olah menggunakan *software Microsoft Excel* untuk mendapatkan grafik berupa *mass loss rate*, *heating rate* dan konsumsi energi.

a. *Mass loss rate*

*Mass loss rate* merupakan besarnya penurunan massa bahan sampel tiap waktu tertentu. Besarnya *mass loss rate* menunjukkan adanya penguapan kadar air (*moisture content*) dan zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*). *Mass loss rate* biasanya dinyatakan dalam satuan g/detik. Secara matematis, *mass loss rate* dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut.

$$MLR = (\text{Selisih massa}) / \text{waktu} \dots \dots \dots (2.1)$$

b. *Heating rate*

*Heating rate* merupakan besarnya kenaikan temperatur bahan sampel tiap waktu tertentu. *Heating rate* adalah besaran yang menunjukkan seberapa cepat kenaikan temperature bahan sampel pada waktu tertentu. *Heating rate* bahan sampel biasanya dinyatakan dalam satuan °C/min. Secara matematis, *heating rate* dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut.

$$HR = (\text{Selisih Temperatur}) / \text{waktu} \dots \dots \dots (2.2)$$

c. Konsumsi energi

Pada proses thermal treatment menggunakan oven microwave membutuhkan energi yang cukup besar untuk mendapatkan nilai *heating rate* dan *mass loss rate*. Oleh karena itu diperlukan perhitungan untuk mendapatkan variasi yang memiliki nilai ekonomis dalam penggunaan energi. Perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Energi} = P \times (\text{Waktu}) \dots \dots \dots (2.3)$$

**3. Hasil dan Pembahasan.**

**3.1. Hasil Uji Proximate.**

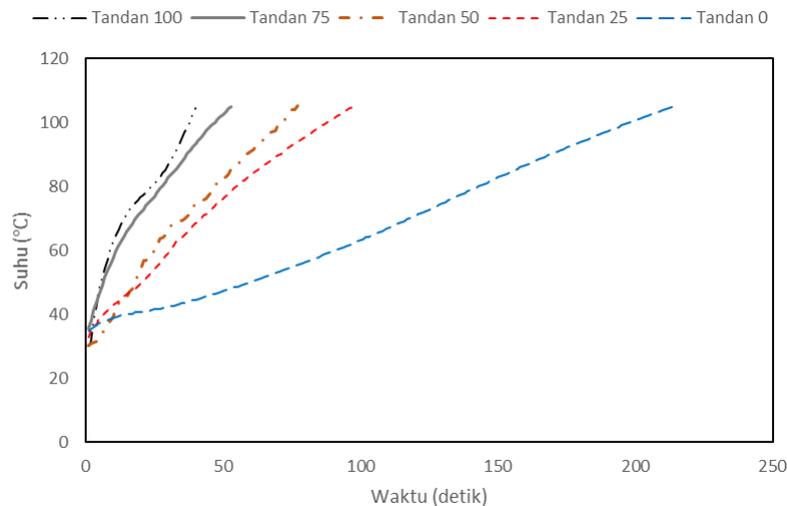
Pada proses pemanasan material akan dipanaskan mencapai suhu 105. Pada proses tersebut material akan kehilangan kadar air (*moisture content*) dengan hasil akhir yang tersisa pada material berupa char.

Karakteristik dasar dari bahan baku sampel tandan kosong kelapa sawit diketahui dari hasil uji proksimat dan kadar *holoselulosa-alfa selulosa* di Laboratorium Konversi Kimia Biomaterial Fakultas Kehutanan UGM yang mengacu pada standar SNI 0492:2008, sedangkan sampel PET diperoleh berdasarkan data dari Sharuddin dkk., (2016). Hasil pengujian proksimate tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil analisis proksimat dan kadar holoselulosa-alfa selulosa tandan kosong kelapa sawit dan PET

Analisis	Component	% Tandan Kossong	wt% PET (Sharuddin dkk. 2016)
Proksimat	Moisture	6,47	0,46
	Volatile Matter	69,23	91,75
	Fixed Carbon	18,69	7,77
		5,74	0,02
Kadar Holoselulosa	Ash		
	Heloselulosa	47,14	
	Alfa selulosa	26,21	
	Lignin	22,16	

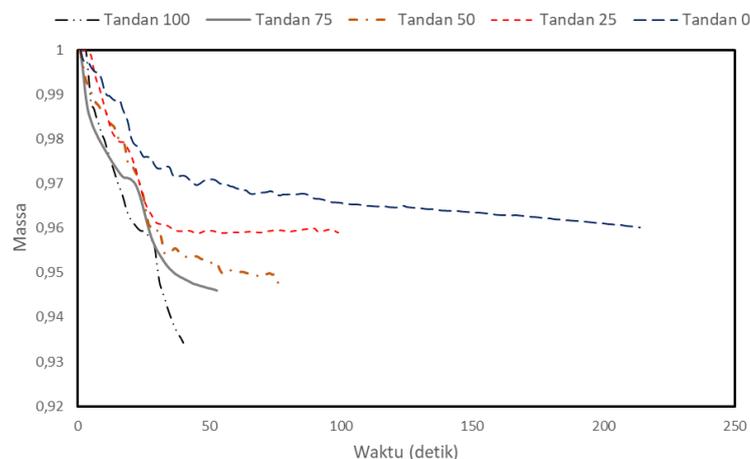
### 3.2. Profil Temperatur.



Gambar 3. Profil temperature

Dapat dilihat pada Gambar 3, bahwa variasi 100:0 memiliki kenaikan temperatur yang lebih cepat (40 detik) dibandingkan dengan variasi pengujian campuran 75:0 ; 50:50 ; 25:75 ; 0:100 untuk mencapai suhu 105°C. Hal tersebut dapat disebabkan *thermal treatment* pada oven *microwave* sangat dipengaruhi oleh kandungan *fixed carbon* pada suatu material semakin tinggi kandungan maka semakin cepat mencapai suhu 105°C. Dapat dilihat pada Table 1. bahwa kandungan *fixed carbon* tandan kosong lebih banyak dibandingkan pada PET.

### 3.3. Profil Massa.



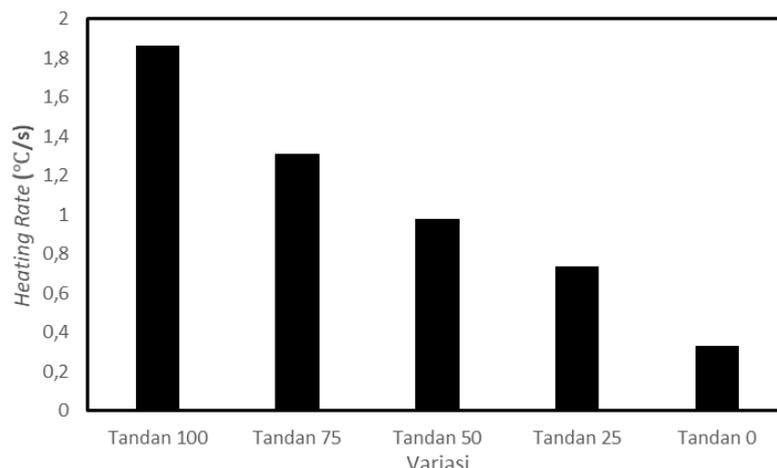
Gambar 4. Profil massa

Hasil perekaman penurunan massa dari variasi pengujian selama proses pemanasan dapat dilihat pada Gambar 4. Terlihat bahwa massa pada setiap variasi pengujian mengalami penurunan seiring dengan waktu pemanasan. Dari perbandingan variasi pengujian diatas, dapat diketahui bahwa penurunan massa pada setiap variasi pengujian memiliki tren yang sama yaitu dengan tren yang menurun. Penurunan massa dipengaruhi oleh kandungan *fixed carbon* pada sampel biomassa selama proses pemanasan. Semakin banyak *fixed carbon* maka proses pemanasan semakin cepat dan penurunan massa juga semakin banyak. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Chen dkk., (2014) bahwa selama

proses pemanasan dengan temperature mencapai 105 °C akan kehilangan moisture content.

Berdasarkan Gambar 3. dan Gambar 4. dapat disimpulkan bahwa peningkatan temperatur dan penurunan massa memiliki tren yang sama setiap variasi pengujian, baik variasi murni dan campuran. Hal tersebut ditandai dengan semakin banyak kandungan *fixed carbon*, maka pemanasan *microwave* akan mengakibatkan semakin cepat mencapai suhu 105 °C dan semakin banyak penurunan massa.

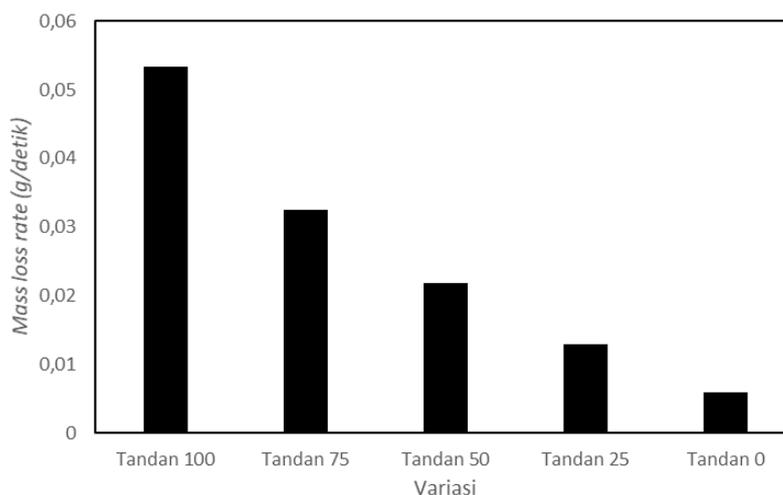
**3.4. Laju kenaikan Temperatur (*Heating Rate*).**



**Gambar 5.** Nilai *heating rate*

Dapat ditunjukkan pada Gambar 5. bahwa nilai *heating rate* menunjukkan kondisi yang linier dengan kecenderungan menurun dengan bertambahnya kadar PET. Dari variasi pengujian ditunjukkan bahwa nilai *heating rate* terbesar yaitu pada variasi pengujian 100% sebesar 1,859 °C/detik dan terendah pada variasi pengujian 100% PET sebesar 0,328 °C/s. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan *fixed carbon* sangat mempengaruhi nilai *heating rate*.

**3.5. Laju Aliran Massa (*Mass Loss Rate*).**

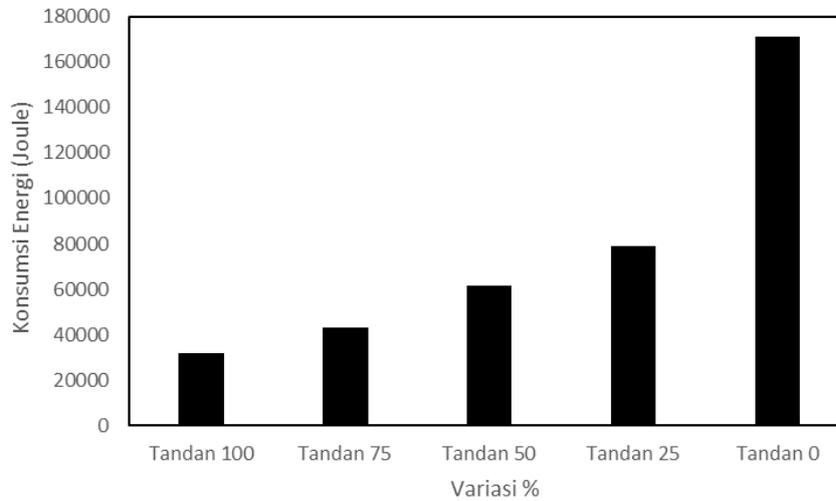


**Gambar 6.** Nilai *Mass loss rate*

Bedasarkan Gambar 6. dapat dilihat bahwa nilai *mass loss rate* memiliki tren yang mirip dengan nilai *heating rate* yang linier dengan kecenderungan menurung dengan bertambahnya kadar campuran PET. Kandungan *fixed carbon* dalam tandan kosong sangat berpengaruh terhadap peningkatan nilai *mass loss rate*. Dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai *heating rate* maka semakin tinggi nilai *mass loss rate*. Hal terebut dapat

dikorelasika terhadap penelitian dari Barneto dkk., (2009) yang mengatakan bahwa semakin tinggi nilai *heating rate* akan berdampak pada peningkatan nilai *mass loss rate*.

### 3.6. Konsumsi Energi.



**Gambar 7.** Konsumsi Energi

Berdasarkan Gambar 7. dapat diketahui bahwa semakin besar prosentase sampel tandan kosong dan waktu mencapai suhu 105°C pada proses pemanasan campuran tandan kosong kelapa sawit dan PET dengan menggunakan oven *microwave* maka akan berpengaruh pada konsumsi energi yang digunakan. Semakin besar prosentase tandan kosong kelapa sawit akan berpengaruh pada semakin besarnya kandungan *fixed carbon*. Kandungan *fixed carbon* berpengaruh terhadap panas yang dimunculkan, semakin banyak kandungan tandan kosong mengakibatkan semakin kecil energi yang dibutuhkan.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa *fixed carbon* berpengaruh terhadap proses *thermal treatment* dengan menggunakan oven *microwave* yang berdampak pada nilai *heating rate*, *mass loss rate*, dan konsumsi energi. Pencampuran variasi antara tandan kosong kelapa sawit dan PET memiliki pengaruh terhadap nilai *heating rate* dan *mass loss rate* yang memiliki tren yang cenderung menurun dengan bertambahnya kadar PET dari variasi pengujian 100% yang memiliki nilai *heating rate* sebesar 2,609 °C/detik menjadi 0,490 °C/detik pada pengujian PET 100% dan *mass loss rate* variasi tandan kosong 100% yang bernilai 0,0534 gr/detik menjadi 0,006 gr/detik pada variasi PET 100%. Pada konsumsi energi memiliki tren yang meningkat dengan bertambahnya campuran PET. Semakin tinggi kandungan *fixed carbon* maka semakin kecil konsumsi energi yang digunakan, pada variasi 100% yang memiliki nilai konsumsi energi sebesar 32000 joule menjadi 171200 joule pada variasi PET 100%.

### Daftar Pustaka

Journal:

- [1] Aishwarya, K. N., & Sindhu, N. (2016). Microwave Assisted Pyrolysis of Plastic Waste. *Procedia Technology*, 25(Raerest), 990–997.
- [2] Alias, N. B., Ibrahim, N., & Hamid, M. K. A. (2014). Pyrolysis of empty fruit bunch by thermogravimetric analysis. *Energy Procedia*, 61, 2532–2536.
- [3] Anuar Sharuddin, S. D., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115, 308–326.
- [4] Barneto, A. G., Carmona, J. A., Gálvez, A., & Conesa, J. A. (2009). Effects of the composting and the heating rate on biomass gasification. *Energy and Fuels*, 23(2), 951–957.
- [5] Caroko, N., & Wahyu, E. (2015). Analisis Karakteristik Pembakaran Briket Arang Limbah Industri Kelapa Sawit dengan Variasi Bahan Perekat ( BINDER ) Kanji dan Tar Menggunakan Metode Thermogravimetri Analysis ( TGA ). (Snttm Xiv), 7–8.
- [6] Chen, W. H., Kuo, P. C., Liu, S. H., & Wu, W. (2014). Thermal characterization of oil palm fiber and eucalyptus in torrefaction. *Energy*, 71, 40–48.
- [7] Ding, K., Liu, S., Huang, Y., Liu, S., Zhou, N., Peng, P., ... Ruan, R. (2019). Catalytic microwave-assisted pyrolysis of plastic waste over NiO and HY for gasoline-range hydrocarbons production. *Energy Conversion and Management*, 196(April), 1316–1325.
- [8] Fan, H., Gu, J., Hu, S., Yuan, H., & Chen, Y. (2018). Co-pyrolysis and co-gasification of biomass and polyethylene: Thermal behaviors, volatile products and characteristics of their residues. *Journal of the Energy Institute*, (November), 1–10.
- [9] Huang, Y. F., Chiueh, P. Te, & Lo, S. L. (2016). A review on microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass. *Sustainable Environment Research*, 26(3), 103–109.
- [10] Iswadi, D., Nurisa, F., & Liastuti, E. (2017). Pemanfaatan sampah plastik LDPE dan PET menjadi bahan bakar minyak dengan proses pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 1(2), 1–9.
- [11] Motasemi, F., & Afzal, M. T. (2013). A review on the microwave-assisted pyrolysis technique. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 317–330.

- [12] Mushtaq, F., Mat, R., & Ani, F. N. (2014). A review on microwave assisted pyrolysis of coal and biomass for fuel production. *Renewable and Sustainable Energy* Mushtaq, F., Mat, R., & Ani, F. N. (2014). A Review on Microwave Assisted Pyrolysis of Coal and Biomass for Fuel Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 555–574.
- [13] Namazi, A. B., Allen, D. G., & Jia, C. Q. (2015). Probing microwave heating of lignocellulosic biomasses. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 112, 121–128.
- [14] Sukiran, M. A., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., Abu Bakar, N., & Loh, S. K. (2017). A review of torrefaction of oil palm solid wastes for biofuel production. *Energy Conversion and Management*, 149, 101–120.
- [15] Tan, Y. T., Ngoh, G. C., & Chua, A. S. M. (2018). Evaluation of fractionation and delignification efficiencies of deep eutectic solvents on oil palm empty fruit bunch. *Industrial Crops and Products*, 123(June), 271–277.
- [16] Wan Mahari, W. A., Chong, C. T., Lam, W. H., Anuar, T. N. S. T., Ma, N. L., Ibrahim, M. D., & Lam, S. S. (2018). Microwave co-pyrolysis of waste polyolefins and waste cooking oil: Influence of N<sub>2</sub> atmosphere versus vacuum environment. *Energy Conversion and Management*, 171(April), 1292–1301.