

## Pirolisis Campuran PET dan LDPE Menggunakan Oven Microwave

Novi Caroko<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jalan Brawijaya, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia  
Email : novicaroko@umy.ac.id

### ABSTRAK

**Kata kunci:**  
*microwave, pyrolysis,  
PET, LDPE.*

Meningkatnya kebutuhan manusia terhadap produk plastik khususnya yang berbahan PET dan LDPE berdampak pada sampah yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh daya keluaran *microwave* (600 W dan 800 W) pada proses *microwave-assisted pyrolysis* sampah PET dan LDPE. Penelitian ini mencakup tiga langkah: preparasi sampel, analisis termogravimetri, dan analisis studi kinetik. Hasil studi kinetik menunjukkan bahwa peningkatan daya keluaran *microwave* mengakibatkan peningkatan temperatur maksimum, laju kenaikan temperatur, laju kehilangan massa, dan nilai kalor. Energi aktivasi pirolisis LDPE lebih rendah dibandingkan PET. Hasil uji GC-MS menunjukkan *pyrolytic oil* PET didominasi oleh senyawa asetaldehid, sedangkan pada LDPE didominasi senyawa fenol. Daya keluaran *microwave* paling efektif yang digunakan untuk memperoleh *pyrolytic oil* dari PET adalah 800 W, sedangkan LDPE adalah 600 W.

### ABSTRACT

**Keyword:**  
*microwave, pyrolysis,  
PET, LDPE*

*The increase in human demand for plastic products, especially those which made from PET and LDPE, has an impact on plastic waste increase. The research aims to investigate the effect of microwave output power at 600 W and 800 W in the microwave-assisted pyrolysis process of PET and LDPE waste. The research organised into/consists of three steps, namely preparation, thermogravimetry analysis, and kinetic analysis. Based on calculation/computation, the kinetic analysis shows that increasing the microwave output power would increase the maximum temperature, heating rate, mass-loss rate, and calorific value. Meanwhile, the activation energy of LDPE is lower than PET in both power variations of 600 W and 800 W. Furthermore, GC-MS analysis shows pyrolytic oil obtained from PET is dominated by acetaldehyde and from LDPE is dominated by phenol. In conclusion, based on the data, the most effective microwave output power to obtain the maximum pyrolytic oil for PET is 800 W and for LDPE is 600 W.*

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan produk plastik saat ini menjadi komoditas utama dalam skala global yang berdampak pada pesatnya industri penghasil produk plastik. Banyaknya industri tersebut akan membantu kebutuhan masyarakat tetapi dapat membahayakan lingkungan. Sampah yang dihasilkan dari industri plastik termasuk kategori sampah berbahaya karena terbuat dari bahan baku yang sulit terdegradasi. Bahan baku pembuatan plastik, yaitu polypropylene (PP), polystyrene (PS), polyvinylchloride (PVC), polyethylene (PE), and polyethylene terephthalate (PET) [1]. Pada tahun 2010, jumlah sampah plastik di dunia dari 192 negara mencapai 275 million ton (MT), sedangkan di Asia pada tahun 2020 jumlah sampah plastik sebanyak 79 million ton (MT) [2][3]. Tanpa pengolahan sampah yang baik, jumlah tersebut akan meningkat di masa yang akan datang.

Polyethylene Terephthalate (PET) merupakan bahan polimer yang banyak digunakan untuk kemasan botol. Polimer ini berasal dari reaksi kimia asam terephthalate dan etilen glikol. Saat ini, produk dari bahan PET dinilai lebih efektif dan menjadi bahan alternatif pengganti kaca [4]. Berbagai metode pengolahan sampah plastik telah banyak dikembangkan di antaranya hydrolysis [5], torrefaction [6], gasification [7], hydrothermal liquefaction [8], dan pyrolysis [9]. Pyrolysis memiliki efisiensi kinerja yang baik dibandingkan dengan metode yang lain. Hal ini didapatkan dari penelitian [10] bahwa proses pirolisis berpotensi untuk mengubah sebagian besar energi dari sampah plastik menjadi energi minyak dalam bentuk cair, padat, dan gas. Selain itu, efisiensi dari proses pirolisis juga berdampak pada kapasitas tempat pembuangan akhir menjadi berkurang, hemat biaya dan sedikit polusi yang dihasilkan.

Proses pirolisis menggunakan bantuan *microwave* saat ini sangat diminati oleh beberapa peneliti. Hal ini karena penggunaan *microwave* menciptakan energi panas yang dibutuhkan untuk proses pirolisis hingga mencapai suhu yang diinginkan [11]. Oleh karena itu, penggunaan *microwave* sangat dipengaruhi oleh besarnya daya yang digunakan. Besarnya tingkat daya pada *microwave* akan berpengaruh pada temperatur maksimum dan laju pemanasan [12] sehingga proses pirolisis dapat berjalan dengan cepat karena mencapai temperatur pirolisis yang diinginkan.

Saat ini, telah banyak dikembangkan penelitian mengenai efisiensi *microwave* pirolisis pada sampah plastik untuk mendapatkan produk biochar [13], biooil [14], atau syngas [15]. Akan tetapi, penelitian tentang pengaruh daya tinggi pada pirolisis sampah PET dan LDPE belum banyak dilakukan. Pada penelitian ini, proses pirolisis dengan bantuan *microwave* menggunakan daya *microwave* sebesar 600 W dan 800 W. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti lain dan berguna bagi industri untuk pengolahan sampah plastik secara tepat dan efisien.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Persiapan

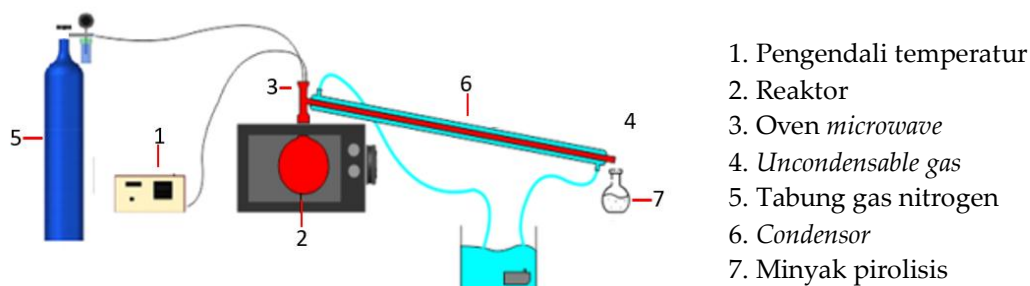
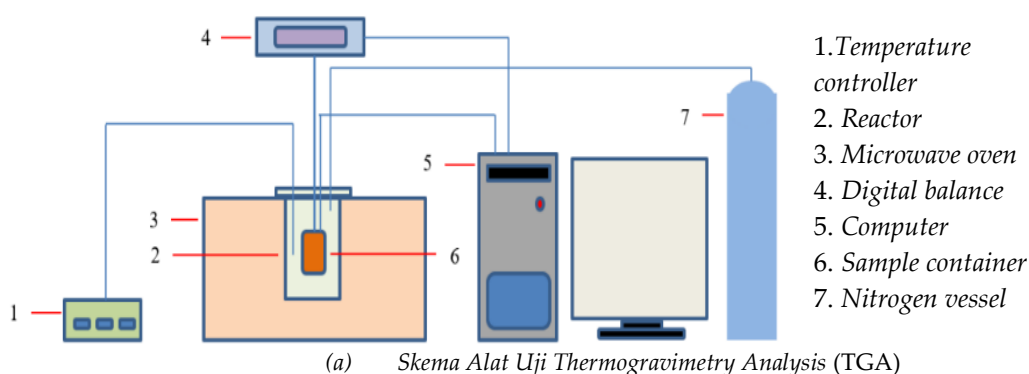
Bahan penelitian ini adalah sampah plastik yang berbahan polimer Polyethylene Terephthalate (PET) dan Low-Density Polyethylene (LDPE) serta absorber berupa arang batok kelapa dari industri arang kelapa di Yogyakarta, Indonesia. Material absorber yang digunakan sebanyak 50% dari keseluruhan bahan uji. Analisis Uji Proximate ditampilkan dalam tabel 1 berikut

Tabel 1 Hasil Uji Proximate

Analisis Proksimat(% berat)	PET	LDPE
Moisture	0.94	1.18
Volatile matter	92.31	98.01
Fixed carbon	6.66	0.09
Ash	0.09	0.89

### 2.2 Prosedur Penelitian

Pirolisis menggunakan *microwave* jenis EMM2308X frekuensi 2.45 GHz dengan variasi daya 600 W dan 800 W. Bahan sampah plastik PET, LDPE dan arang batok kelapa dihancurkan kemudian disaring ukuran 1-2 mm. Sampel diletakan pada reaktor Pyrex kapasitas 50 ml. Proses pirolisis menggunakan daya 600 W dan 800 W selama 60 menit serta dialiri nitrogen dengan debit 250 ml/menit. Sampel sebanyak 30 gram dimasukan dan dilakukan proses pirolisis hingga mencapai temperatur maksimum yang diinginkan. Selanjutnya, dilakukan pengujian dengan metode *Thermogravimetry Analysis* (TGA). Pengambilan data massa dan suhu menggunakan *software datalogger* dan *hyperterminal*. Gambar 1 merupakan skema alat yang digunakan dalam proses pengujian *Thermogravimetry Analysis* (TGA) dan *microwave-assisted pyrolysis*.



Gambar 1 Skema Alat Uji

### 2.3 Analisis Kinetik

Laju dekomposisi dijelaskan secara umum sebagai berikut:

$$\frac{d\alpha}{dt} = k(T)f(\alpha) \quad (1)$$

Di mana  $T$  adalah nilai mutlak suhu (K);  $k(T)$  adalah konstanta laju yang bergantung pada suhu;  $\alpha$  adalah konversi pecahan pada waktu  $t$ (s);  $f(\alpha)$  adalah fungsi yang bergantung pada mekanisme reaksinya. Dalam studi ini, konversi pecahan didefinisikan sebagai:

$$\alpha = \frac{w_0 - w}{w_0 - w_\infty} \quad (2)$$

Di mana  $w_0$ ,  $w$  and  $w_\infty$  adalah awal, waktu  $t$  dan berat akhir masing-masing sampel. Konstanta laju biasanya dijelaskan dengan persamaan Arrhenius:

$$k(T) = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (3)$$

Di mana  $A$  adalah faktor pra-eksponensial ( $s^{-1}$ ),  $E$  adalah energi aktivasi semu ( $J \text{ mol}^{-1}$ ), and  $R$  adalah konstanta gas ( $8.314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ ),  $f(\alpha)$  biasanya dijabarkan sebagai berikut:

$$f(\alpha) = (1 - \alpha)^n \quad (4)$$

Di mana  $n$  adalah orde reaksi. Nilai *heating rate* didefinisikan sebagai berikut:

$$\beta = \frac{dT}{dt} \quad (5)$$

Jadi, nilai persamaan  $\frac{d\alpha}{dt}$  dapat ditulis dengan persamaan  $\frac{d\alpha}{dT} = \frac{1}{\beta}$

Kombinasi dari persamaan (1) dan persamaan (3-5) memberikan:

$$\frac{d\alpha}{dT} = \frac{A}{\beta} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) (1 - \alpha)^n \quad (6)$$

Persamaan (6) adalah pernyataan dasar untuk menghitung parameter kinetik berdasarkan data TGA.

Dalam studi ini, metode Coats-Redfern [16] diterapkan untuk menentukan parameter kinetik. Menyusun ulang dan integrasi Persamaan (6) memberikan:

$$\int_0^\alpha \frac{d\alpha}{(1-\alpha)^n} = \int_{T_0}^T \frac{A}{\beta} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (7)$$

Kedua sisi diintegrasikan dan diikuti dengan mengambil logaritma dari persamaan yang diperoleh mengarah ke:

$$\ln \left[ \frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2} \right] = \ln \left[ \frac{AR}{\beta E} \left( 1 - \frac{2RT}{E} \right) \right] - \frac{E}{RT} \quad (\text{untuk } n=1) \quad (8)$$

dan,

$$\ln \left[ \frac{1 - (1 - \alpha)^{1-n}}{(1-n)T^2} \right] = \ln \left[ \frac{AR}{\beta E} \left( 1 - \frac{2RT}{E} \right) \right] - \frac{E}{RT} \quad (\text{untuk } n \neq 1) \quad (9)$$

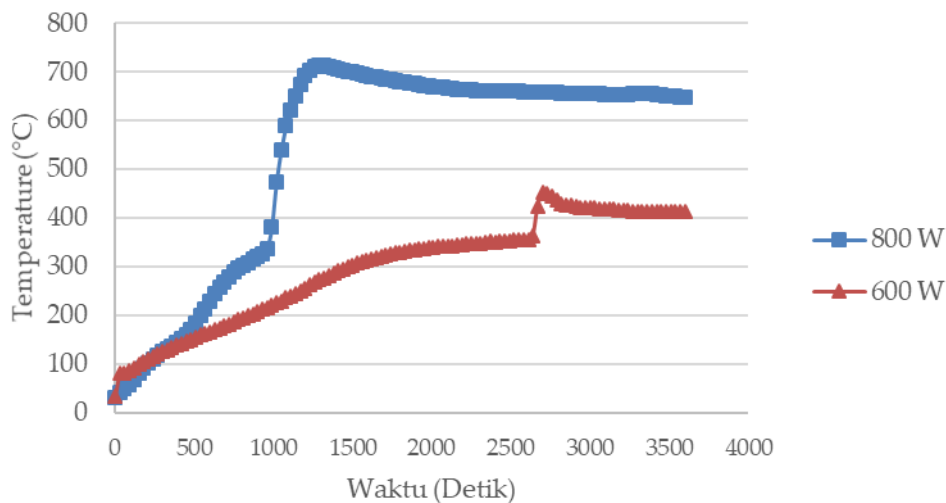
Dikarenakan  $2RT/E < 1$ , persamaan (8) and (9) disederhanakan menjadi:

$$\ln \left[ \frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2} \right] = \ln \left[ \frac{AR}{\beta E} \right] - \frac{E}{RT} \quad (\text{for } n=1) \quad (10)$$

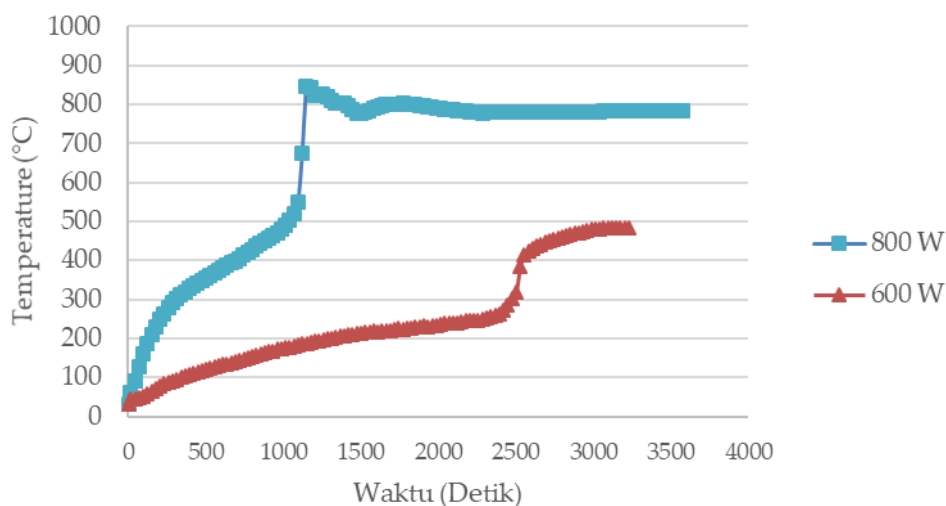
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Temperatur Maksimum

Secara umum, temperatur pada PET dan LDPE dengan dua variasi daya (600 W dan 800 W) mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu. Gambar 2 menunjukkan bahwa temperatur akan naik dan ketika sudah mencapai temperatur maksimum kembali turun hingga mencapai temperatur kesetimbangan dengan lingkungan.



(a) PET



(b) LDPE

Gambar 2 Profil Temperatur

Temperatur maksimum *microwave-assisted pyrolysis* PET dan LDPE ditunjukkan pada Tabel 2. Temperatur maksimum masing-masing bahan pada daya 600 W adalah PET 486,44 °C dan LDPE 458,88 °C, sedangkan pada 800 W, temperatur maksimumnya adalah PET 638,31 °C dan LDPE 861,30 °C.

Tabel 2 Temperatur Maksimum

Daya	PET	LDPE
	°C	
600 W	486,44	458,88
800 W	638,31	861,30

Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi daya yang digunakan maka temperatur maksimum yang dihasilkan juga semakin tinggi. PET pada daya 600 W mengalami kenaikan signifikan pada detik ke 2.610 dari 354 °C ke 453 °C, sedangkan pada daya 800 W kenaikan signifikan terjadi pada detik ke 960 dari 337 °C ke 713 °C. LDPE pada daya 600 W terjadi peningkatan pada detik 2.473 dari 301 °C ke 385 °C, sedangkan pada daya 800 W temperatur meningkat tajam pada detik ke 1.095 dari 549 °C ke 845 °C. Dari hasil tersebut terlihat bahwa setiap bahan uji mengalami perbedaan kenaikan untuk mencapai temperatur maksimum. Hal tersebut dikarenakan energi yang ditransfer dan kemampuan material untuk menyerap gelombang mikro yang berbeda. Munculnya panas di dalam bahan baku disebabkan oleh gesekan antarmolekul bahan sebagai akibat dari *microwave* yang diserap [17]. Peningkatan temperatur juga dipengaruhi oleh kandungan *moisture* pada masing-masing material [18] [19]. Hal ini merupakan karakter khas penggunaan oven *microwave* dibandingkan dengan oven konvensional sehingga *microwave-assisted pyrolysis* PET dan LDPE lebih cepat terjadi dibandingkan menggunakan oven konvensional. Cepeliogullar dan Putun [20] melakukan pengujian pirolisis PET menggunakan *fixed-bed reactor* untuk menghasilkan produk minyak cair pada suhu 500 °C. Penelitian ini menggunakan metode *microwave-assisted pyrolysis* dengan daya 600 W di mana terjadi pirolisis dengan hasil berupa *pyrolytic oil* dengan temperatur pirolisis di bawah 500 °C sehingga energi yang digunakan pada *microwave-assisted pyrolysis* lebih efisien dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan oven konvensional [20]. Hal tersebut juga terjadi pada *microwave-assisted pyrolysis* LDPE pada daya keluaran *microwave* 600 W yang mencapai suhu pirolisis di bawah 500 °C, sedangkan pada penelitian Williams [21] pirolisis LDPE menggunakan *fixed-bed reactor* untuk menghasilkan produk cair membutuhkan suhu minimal 500 °C.

### 3.2 Heating Rate (HR)

Nilai *heating rate* dari masing-masing variasi daya ditunjukkan pada Tabel 3. *Heating rate microwave-assisted pyrolysis* PET pada daya 600 W sebesar 9,43 °C/min dan LDPE sebesar 7,85 °C/min, sedangkan pada daya 800 W nilai *heating rate* PET 9,86 °C/min dan LDPE 42,96 °C/min.

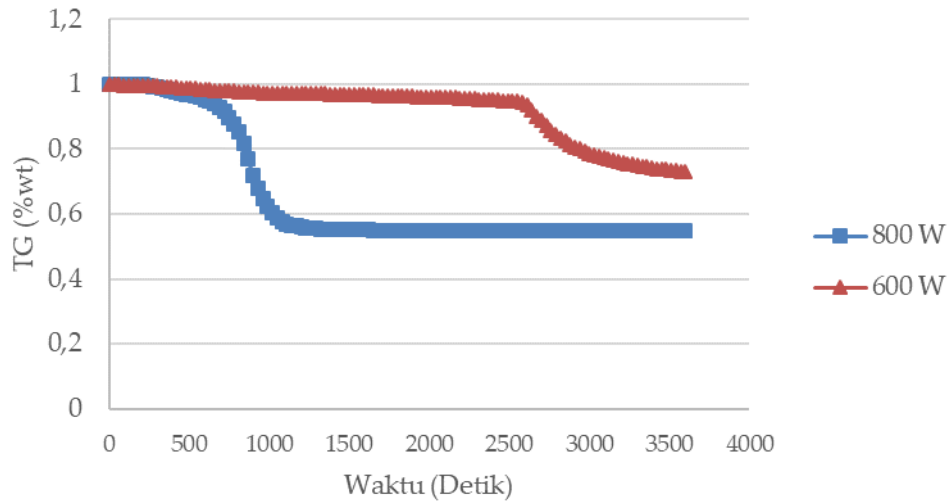
Tabel 3. Heating Rate

Daya	PET	LDPE
	°C/min	
600 W	9,43	7,85
800 W	9,86	42,96

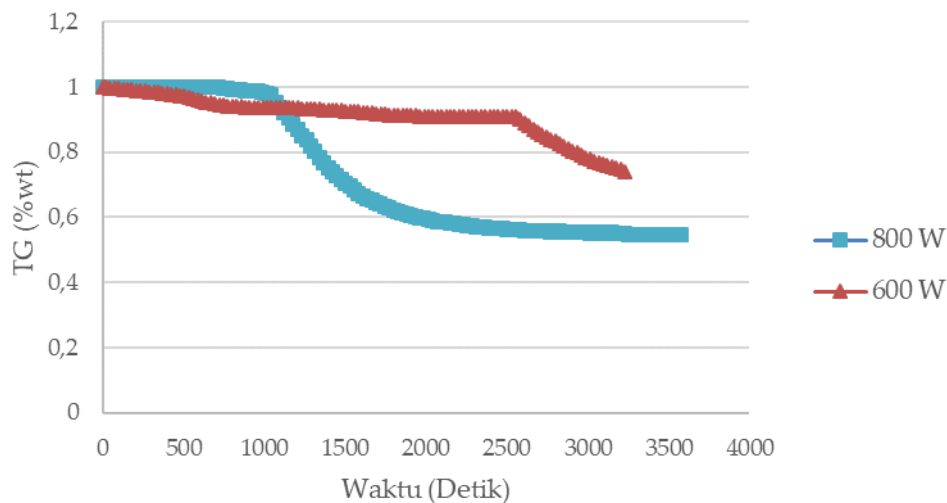
Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui bahwa semakin tinggi daya keluaran *microwave* yang digunakan akan meningkatkan *heating rate*. Kenaikan *heating rate* juga dipengaruhi adanya kandungan material *absorber* sebanyak 50% yang menyebabkan penyerapan gelombang mikro yang lebih baik [22]. PET mengalami kenaikan *heating rate* yang lebih lambat dibandingkan LDPE. Hal ini dikarenakan komponen yang terdapat di PET berupa C=C (ikatan rangkap) sulit mengalami dekomposisi [23]. Pada penelitian ini, daya 800 W untuk sampel PET dan LDPE dinilai lebih efektif karena menghasilkan produk cair, gas, dan padat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Nuryosuwito [24] yang menyatakan bahwa pirolisis plastik dengan katalis asam nilai *heating rate* 10, 15, 20 °C/min dan variasi suhu 400 °C, 500 °C, 600 °C menghasilkan produk cair, padat, dan gas. Selpiana [23] melakukan pengolahan sampah plastik berbahan *High Impact Polystyrene* (HIPS), *Oriented Polystyrene* (OPS) and *Expanded Polystyrene* (EPS) memberikan hasil bahwa semakin besar nilai *heating rate* maka akan semakin banyak produk cair yang dihasilkan.

### 3.3 Mass-Loss Rate (MLR)

Profil massa pada saat proses *microwave-assisted pyrolysis* ditampilkan pada Gambar 3 dengan kecenderungan massa akan terus menurun seiring bertambahnya waktu pengujian.



(a) PET



(b) LDPE

Gambar 3. Profil Massa

Nilai *mass-loss rate* PET dan LDPE ditampilkan pada Tabel 4 Pada daya 600 W, nilai *mass-loss rate* PET 0,0018 g/s dan LDPE 0,0025 g/s, sedangkan daya 800 W untuk PET 0,0030 g/s dan LDPE 0,0027 g/s.

Tabel 4 Mass Loss Rate

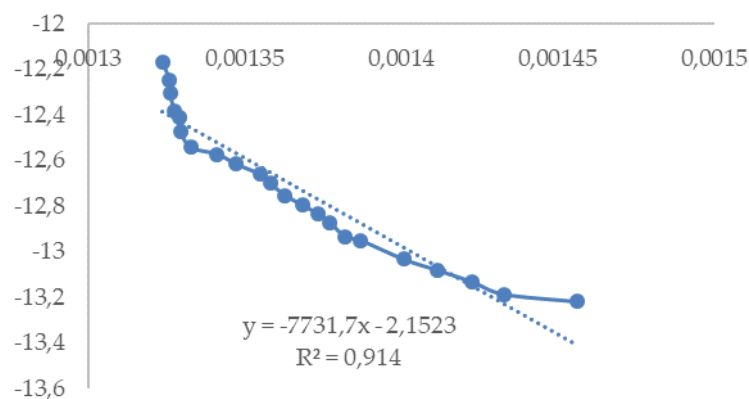
Daya	PET	LDPE
	g/s	
600 W	0,0018	0,0025
800 W	0,0030	0,0027

Nilai *mass-loss rate* digunakan untuk mengetahui fraksi massa dari *microwave-assisted pyrolysis* PET dan LDPE yang mengalami dekomposisi termal pada saat proses pemanasan. Berdasarkan data pengujian, dapat diketahui bahwa *mass-loss rate* LDPE lebih besar dibandingkan PET. Hal ini sesuai dengan Osman [25] yang menyatakan bahwa semakin banyak kandungan *volatile matter* akan menyebabkan semakin besar *mass-loss rate* yang terjadi saat proses pirolisis. Semakin besar daya keluaran

*microwave* yang digunakan menyebabkan semakin besarnya *mass-loss rate*, hal ini dikarenakan ikatan C-C yang terdapat pada LDPE merupakan ikatan lemah dan akan mengalami dekomposisi pada suhu tinggi sehingga massanya berkurang [26].

### 3.4 Energi Aktivasi

Energi aktivasi ditentukan menggunakan hasil regresi linear yang dicontohkan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4 Energi Aktivasi

Perhitungan energi aktivasi didapatkan dari hasil perkalian gradien regresi linear yang dinyatakan dalam  $m$  dikalikan  $R$  (konstanta gas 8.314 J/K.mol). Sebagai contoh, pada pirolisis LDPE daya 600 W menghasilkan nilai  $m$  7.731,7 dan  $R$  8.314 J/K.mol sehingga didapatkan energi aktivasi sebesar 64,57 kJ/mol.

Identik dengan metode di atas, nilai energi aktivasi pada penggunaan daya 800 W untuk *microwave-assisted pyrolysis* PET dapat diketahui sebesar 97,37 kJ/mol dan LDPE 73,82 kJ/mol. Energi aktivasi LDPE lebih rendah dibandingkan PET karena ikatan C-C yang terdapat pada LDPE merupakan ikatan lemah sehingga mudah mengalami degradasi, sedangkan pada PET terdapat ikatan C=C (ikatan rangkap) yang menyebabkan sulit mengalami degradasi. Hal tersebut didukung dari penelitian Fan[27] tentang dekomposisi sampah poliolefin yang menyatakan bahwa pada energi aktivasi yang rendah maka material akan mudah mengalami dekomposisi sehingga produk cair dan gas yang dihasilkan akan semakin banyak karena proses pemecahan rantai polimer.

### 3.5 Karakteristik Produksi Produk Padat, *Pyrolytic Oil*, dan Gas dari *Microwave-assisted Pyrolysis*

Tabel 5 memperlihatkan hasil produksi *pyrolytic oil* dari *microwave-assisted pyrolysis* PET dan LDPE 20 menit. Pada akhir menit ke-duapuluh tingkat produksi *pyrolytic oil* PET pada daya keluaran 600 W sebanyak 6,0 ml dan daya keluaran 800 W sebanyak 4,5 ml. Pada akhir menit ke-duapuluh tingkat produksi *pyrolytic oil* LDPE daya keluaran 600 W sebanyak 6,5 ml dan daya keluaran 800 W sebanyak 5,0 ml.

Tabel 5 Produk Pirolisis

Daya (W)	PET			LDPE		
	Padat	Oil	Gas	Padat	Oil	Gas
	(% berat)					
600	60,5	4,0	35,0	61,2	4,0	34,3
800	58,2	6,1	35,7	61,1	8,8	36,4

Pirolisis PET dan LDPE (600 W dan 800 W) menghasilkan produk padat, *pyrolytic oil*, dan gas. Pada PET daya keluaran 600 W menghasilkan produk padat 60,5% berat, *pyrolytic oil* 4,0% berat, dan gas 35,0% berat, sedangkan daya keluaran 800 W menghasilkan produk padat 58,2% berat, *pyrolytic oil* 6,1% berat, dan gas 35,7% berat. Pada LDPE daya keluaran 600 W menghasilkan produk padat 61,2% berat, *pyrolytic*



oil 4,0% berat, dan gas 34,3% berat, sedangkan LDPE daya keluaran 800 W menghasilkan produk padat sebanyak 61,1% berat, *pyrolytic oil* 8,8% berat, dan gas 30,1% berat.

Semakin tinggi daya yang digunakan produk padat semakin berkurang, sedangkan oil dan gas semakin banyak. Hal ini sesuai pada nilai *heating rate* yang semakin naik seiring bertambahnya daya. Caroko [18] menyatakan bahwa semakin tinggi nilai *heating rate* pada PET maka *pyrolytic oil* yang dihasilkan semakin banyak. Selain itu, Fan[27] menyatakan bahwa perpecahan/degradasi rantai polimer yang terdapat pada sampah plastik menghasilkan produk cair dan gas yang semakin banyak.

### 3.6 Analisis Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)

Pada masing-masing sampel PET dan LDPE dilakukan pengujian GC-MS untuk mengetahui komponen-komponen yang terdapat dalam produk *microwave-assisted pyrolysis*. Tabel 6 menyatakan hasil GS-MS untuk daya 600 W dan 800 W:

Tabel 6 Hasil Analisa GC-MS.

Daya (W)	PET			LDPE	
	Asam asetat	Asam benzoat	Asetaldehid	Asam asetat	Fenol
	(%)				
600	16.43	9.39	71.48	14.41	66.18
800	NA	19.78	36.81	NA	NA

*Microwave-assisted pyrolysis* PET pada daya 600 W menghasilkan produk yang mengandung komponen senyawa asam asetat 16,43%, asam benzoat 9,39%, dan asetaldehid 71,48%, sedangkan pada daya 800 W menghasilkan asam benzoate 19,78% dan asetaldehid 38,81%. Pada pirolisis LDPE dengan daya 600 W ditemukan komponen material asam asetat 14,41% dan fenol 66,18%, sedangkan pada daya 800 W tidak terdeteksi adanya komponen yang diinginkan.

Pada pirolisis PET ditemukan senyawa asetaldehid dan asam benzoat hal ini menunjukkan bahwa PET belum terdekomposisi secara maksimal. PET baru terdekomposisi menjadi asam benzoat yang merupakan monomer dari *polyethylene terephthalate* (PET) dan turunan asam benzoat tersebut. Ikatan kimia pada proses ini terputus pada cincin benzena, gugus karbonil, dan juga pada gugus metil. Pada umumnya, asetaldehid terbentuk dari dekomposisi hemiselulosa [15], sedangkan phenol terbentuk dari dekomposisi lignin [28] dan pada sampel LDPE komponen yang dominan adalah fenol.

### 3.7 Nilai Kalor

Hasil dari pengujian GC-MS digunakan untuk memprediksi nilai kalor yang terdapat dalam produk minyak hasil *microwave-assisted pyrolysis*. Hal tersebut agar menentukan apakah minyak yang dihasilkan dari pirolisis PET dan LDPE layak digunakan untuk bahan bakar atau tidak. Menurut Yaws [29], untuk memprediksi nilai kalor dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$\text{Nilai Kalor} = \% \text{ berat Senyawa A} \times \Delta H_c \text{ A} + \% \text{ berat Senyawa B} \times \Delta H_c \text{ B} + \dots \quad (11)$$

Dari hasil GC-MS senyawa dominan pada produk minyak hasil pirolisis PET dan LDPE adalah asetaldehid, asam asetat, asam benzoate, dan fenol. Nilai  $\Delta H_c$  (nilai kalor murni) digunakan untuk menghitung nilai kalor, menurut Solomons [30]  $\Delta H_c$  masing-masing senyawa ditampilkan pada Tabel 7 berikut :

Tabel 7 Nilai  $\Delta H_c$  Senyawa Murni.

Senyawa	$\Delta H_c$ , kJ/kg
Asam Asetat	13571
Phenol	31145
Asam Benzoat	25572
Asetaldehid	25070

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai kalor untuk PET daya 600 W 22,551 kJ/kg dan LDPE 25,318 kJ/kg, sedangkan daya 800 W PET 31,614 kJ/kg dan LDPE 34,082 kJ/kg. Dari hasil tersebut dapat



disimpulkan bahwa semakin tinggi daya yang digunakan maka nilai kalor yang didapatkan juga semakin tinggi. Oleh karena itu, industri pengolahan sampah plastik (PET dan LDPE) disarankan menggunakan *microwave-assisted pyrolysis* daya 800 W untuk mendapatkan produk bahan bakar secara optimal.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi daya keluaran *microwave* akan menyebabkan meningkatnya temperatur maksimum, laju kenaikan temperatur, laju kehilangan massa, dan nilai kalor. Pada variasi 600 W dan 800 W energi aktivasi LDPE lebih rendah daripada PET artinya LDPE lebih mudah mengalami dekomposisi. Hasil GC-MS menunjukkan pada masing-masing produk *pyrolytic oil* terdapat senyawa kimia berupa asetaldehid, asam asetat, asam benzoat, dan fenol. PET terdapat senyawa dominan asetaldehid, sedangkan LDPE didominasi senyawa fenol. Daya keluaran *microwave* yang paling efektif untuk menghasilkan *pyrolytic oil* adalah 800 W. Hal ini dapat digunakan sebagai referensi pada industri pengolahan sampah PET dan LDPE yang menggunakan *microwave-assisted pyrolysis*.

#### REFERENCES

- [1] G. Fitriyano dan D. Ar, "Tinjauan Singkat Potensi Pemanfaatan Botol Bekas Berbahan Polyethylene Terephthalate ( PET ) di Indonesia A Short Review on Potential of Utilization Used Bottle Made from Polyethylene Terephthalate ( PET ) in Indonesia," vol. 16, no. 1, hal. 18–24, 2019.
- [2] J. R. Jambeck, Q. Ji, Y.-G. Zhang, D. Liu, D. M. Grossnickle, dan Z.-X. Luo, "Plastic waste inputs from land into the ocean," *Science*, vol. 347, no. 6223, hal. 764–768, 2015.
- [3] Y. Liang, Q. Tan, Q. Song, dan J. Li, "An analysis of the plastic waste trade and management in Asia," *Waste Management*, vol. 119, hal. 242–253, 2021.
- [4] D. J. Kim dan K. T. Lee, "Determination of monomers and oligomers in polyethylene terephthalate trays and bottles for food use by using high performance liquid chromatography- electrospray ionization-mass spectrometry," *Polymer Testing*, vol. 31, no. 3, hal. 490–499, 2012.
- [5] Y. Y. Teh, K. T. Lee, W. H. Chen, S. C. Lin, H. K. Sheen, dan I. S. Tan, "Dilute sulfuric acid hydrolysis of red macroalgae *Euclima denticulatum* with microwave-assisted heating for biochar production and sugar recovery," *Bioresource Technology*, vol. 246, hal. 20–27, 2017.
- [6] O. D. Dacres *et al.*, "Pyrolysis kinetics of biomasses pretreated by gas-pressurized torrefaction," *Energy Conversion and Management*, vol. 182, no. September 2018, hal. 117–125, 2019.
- [7] M. V. Gil, M. P. González-Vázquez, R. García, F. Rubiera, dan C. Pevida, "Assessing the influence of biomass properties on the gasification process using multivariate data analysis," *Energy Conversion and Management*, vol. 184, no. December 2018, hal. 649–660, 2019.
- [8] B. Zhang, H. Feng, Z. He, S. Wang, dan H. Chen, "Bio-oil production from hydrothermal liquefaction of ultrasonic pre-treated *Spirulina platensis*," *Energy Conversion and Management*, vol. 159, no. October 2017, hal. 204–212, 2018.
- [9] F. Motasemi dan A. G. Gerber, "Multicomponent conjugate heat and mass transfer in biomass materials during microwave pyrolysis for biofuel production," *Fuel*, vol. 211, no. March 2017, hal. 649–660, 2018.
- [10] S. D. Anuar Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. Wan Daud, dan M. K. Aroua, "A review on pyrolysis of plastic wastes," *Energy Conversion and Management*, vol. 115, hal. 308–326, 2016.
- [11] S. S. Lam, W. A. Wan Mahari, A. Jusoh, C. T. Chong, C. L. Lee, dan H. A. Chase, "Pyrolysis using microwave absorbents as reaction bed: An improved approach to transform used frying oil into biofuel product with desirable properties," *Journal of Cleaner Production*, vol. 147, hal. 263–272, 2017.
- [12] Y. F. Huang, P. Te Chiueh, W. H. Kuan, dan S. L. Lo, "Microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass: Heating performance and reaction kinetics," *Energy*, vol. 100, hal. 137–144, 2016.
- [13] W. H. Chen, S. C. Ye, dan H. K. Sheen, "Hydrothermal carbonization of sugarcane bagasse via wet torrefaction in association with microwave heating," *Bioresource Technology*, vol. 118, hal. 195–203, 2012.

- [14] C. Yin, "Microwave-assisted pyrolysis of biomass for liquid biofuels production," *Bioresource Technology*, vol. 120, hal. 273–284, 2012.
- [15] Y. F. Huang, W. H. Kuan, C. C. Chang, dan Y. M. Tzou, "Catalytic and atmospheric effects on microwave pyrolysis of corn stover," *Bioresource Technology*, vol. 131, hal. 274–280, 2013.
- [16] "© 1964 Nature Publishing Group," 1964.
- [17] F. Motasemi dan M. T. Afzal, "A review on the microwave-assisted pyrolysis technique," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, hal. 317–330, 2013.
- [18] N. Caroko, H. Saptoadi, dan T. A. Rohmat, "Kinetics of Microwave Co-Pyrolysis of Palm Oil Industry Solid Waste and Polyethylene Terephthalate Waste," vol. 1, no. 1, hal. 72–82, 2020.
- [19] J. Alongi, G. Camino, dan G. Malucelli, "Heating rate effect on char yield from cotton, poly(ethylene terephthalate) and blend fabrics," *Carbohydrate Polymers*, vol. 92, no. 2, hal. 1327–1334, 2013.
- [20] O. Cepeliogullar dan A. E. Putun, "Utilization of Two Different Types of Plastic Wastes from Daily and Industrial Life," *Journal of Selcuk University Natural and Applied Science*, hal. 694–706, 2013.
- [21] R. Bagri dan P. T. Williams, "Catalytic pyrolysis of polyethylene," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 63, no. 1, hal. 29–41, 2002.
- [22] A. B. Namazi, D. G. Allen, dan C. Q. Jia, "ScienceDirect Microwave-assisted pyrolysis and activation of pulp mill sludge," *Biomass and Bioenergy*, vol. 73, hal. 217–224, 2014.
- [23] Selpiana, T. Aprianti, D. Pramayuda, dan D. S. Ismoro, "The ratio Influence of the polystyrene mixture and heating rate towards yield and pyrolysis results compound," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 298, no. 1, 2019.
- [24] N. Nuryosuwito, S. Soeparman, W. Wijayanti, dan M. Sasongko, "Pengaruh Campuran Sampah Plastik dengan Katalis Alam terhadap Hasil Produk Pyrolysis," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 2, hal. 85–91, 2018.
- [25] A. I. Osman, C. Farrell, A. H. Al-Muhtaseb, A. S. Al-Fatesh, J. Harrison, dan D. W. Rooney, "Pyrolysis kinetic modelling of abundant plastic waste (PET) and in-situ emission monitoring," *Environmental Sciences Europe*, vol. 32, no. 1, 2020.
- [26] I. Çit, A. Sinağ, T. Yumak, S. Uçar, Z. Misirlioğlu, dan M. Canel, "Comparative pyrolysis of polyolefins (PP and LDPE) and PET," *Polymer Bulletin*, vol. 64, no. 8, hal. 817–834, 2010.
- [27] L. Fan, P. Ma, dan Y. Liang, "Chemical recycling of waste polystyrene," *Petrochemical Technology*, vol. 33, no. 12, hal. 1198–1203, 2004.
- [28] Wahyudiono, M. Sasaki, dan M. Goto, "Recovery of phenolic compounds through the decomposition of lignin in near and supercritical water," *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 47, no. 9–10, hal. 1609–1619, 2008.
- [29] C. L. Yaws, *Yaws' Handbook of Thermodynamic and Physical Properties of Chemical Compounds: Physical, Thermodynamic and Transport Properties for 5,000 Organic Chemical Compounds*. McGraw-Hill, 2003.
- [30] T. W. G. Solomons dan C. B. Fryhle, *Organic Chemistry*, 10 ed. John Wiley & Sons, 2009.