

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

Afif Nur Wijayanto¹, Novi Caroko², Wahyudi³

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

¹e-mail: apepnur@gmail.com

Abstrak

Saat ini, kebutuhan energi semakin meningkat sedangkan cadangan energi fosil dunia semakin menipis. Di sisi lain, pengolahan limbah industri minyak kelapa sawit dan sampah plastik belum optimal. Dengan pemanfaatan yang tepat, limbah industri kelapa sawit dan sampah plastik dapat menjadi sumber energi bersifat terbarukan. Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik kenaikan temperatur selama proses pemanasan dengan kondisi suhu mencapai 105 °C. Penelitian dengan metode pemanasan *microwave* dari campuran limbah biomassa cangkang 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 suhu dan massa didapat dari hasil rekaman per detik dengan menggunakan *data logger* dan *hyper terminal*. Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa nilai *heating rate* mengalami penurunan dari 0.6804°C/detik hingga 0.3285°C/detik. Nilai *mass loss rate* mengalami penurunan dari 0.0146 g/detik hingga 0.0059 g/detik. Nilai konsumsi energi mengalami kenaikan dari 88 kJ hingga 171.2 kJ. Penambahan PET akan berdampak pada turunnya nilai laju pengurangan massa dan nilai laju pemanasan namun pada konsumsi energi mengalami kenaikan.

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

Abstract

The depleting of fossil energy reserves is a global issue because increasing energy needs. On the other hand, the utilization of palm kernel shells and plastic waste are not optimal. This research aims to find out the characteristic of increasing temperature from heating a mixture of palm kernel shells and PET waste using a microwave oven. Palm kernel shell and PET were mixed in the percentages of 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of PET. shell charcoal used to increase the rate of absorption of microwaves. The thermal treatment was carried out until it reaches a temperature of 105°C. Temperature and mass were recorded per second automatically. Retrieving data on temperature and mass are obtained from recordings per second using data loggers and hyper terminals. The results showed that the heating rate value decreases from 0.6804 °C / sec to 0.3285 °C / sec. The mass loss rate value decreased from 0.0146 g / sec to 0.0059 g / sec. The value of energy consumption increased from 88 kJ to 171.2 kJ. The addition of PET will have an impact on the decrease in the value of mass loss rate and heating rate but the energy consumption has increased.

Keyword: Absorber; coconut shell charcoal; microwave oven; palm kernel shells; PET

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak merupakan hal penting di Indonesia karena dapat berkontribusi banyak dalam mewujudkan kesejahteraan masyarakat dan memenuhi kebutuhan operasional. Isu tentang bahan bakar minyak selalu menarik dibicarakan. Keberadaannya yang terbatas namun berperan sebagai sumber energi utama yang belum dapat tergantikan, sehingga minyak bumi terus menjadi perhatian seluruh dunia. Menurut data dari ESDM migas, Cadangan minyak bumi tahun 2014 sebanyak 3,6 miliar barel, jika dengan tingkat produksi saat ini maka minyak bumi akan habis dalam jangka waktu sekitar 13 tahun. Cadangan gas bumi tahun 2014 sebanyak 100,3 TCF dan akan habis dalam jangka waktu 34 tahun. Usia cadangan migas tersebut diasumsikan dengan tidak ada lagi penemuan cadangan migas baru (Hutagulung dkk., 2015)

Pemanasan gelombang mikro adalah pemanasan yang menggunakan gelombang elektromagnetik frekuensi ultra-tinggi. Gelombang elektromagnetik dihasilkan dari magnetron dalam

oven *microwave*. Sejak abad ke-21, katalisis gelombang mikro telah menjadi perhatian dan pencapaian peneliti serangkaian prestasi (Yi dkk., 2019). Wang dkk., (2018) melakukan pengujian dengan *microwave* gabungan radiasi dan fotokatalisis untuk menurunkan senyawa kimia tetrasiklin, hasilnya menunjukkan bahwa radiasi gelombang mikro dapat meningkatkan pemisahan kinerja katalitik dan fotogenerasi pembawa muatan. Metode menggunakan *microwave* untuk katalisis polutan organik dikatakan layak.

Biomassa adalah produk fotosintesis yang menyerap energi matahari dan mengubah menjadi karbon dioksida dengan air ke campuran karbon, hidrogen dan oksigen. Biomassa juga meliputi sampah bio yang dapat diuraikan untuk digunakan sebagai bahan bakar. Biomassa tidak termasuk material organik yang telah diubah dengan proses geologis ke dalam zat, seperti batubara atau petroleum (Pranoto dkk., (2013). Limbah kelapa sawit merupakan salah satu contoh biomassa yang 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). Namun, limbah kelapa sawit memiliki beberapa karakteristik yaitu kadar air tinggi, densitas rendah, nilai kalor rendah, dan memiliki sifat higroskopis (Sukiran dkk., 2017)

Plastik adalah bahan yang sering digunakan dan ditemui di masyarakat modern. Mulai dari botol kemasan air minum, peralatan makan (gelas, garpu, wadah, sendok), kantong pembungkus/kresek, pipa pralon, gigi palsu, peralatan mandi (sikat gigi, botol sabun dan shampoo), dan mainan anak-anak. Penggunaan plastik dapat menimbulkan gangguan kesehatan jika salah penggunaannya karena plastik dapat memicu kanker dan kerusakan jaringan pada tubuh manusia. Sampah plastik sulit diuraikan oleh mikro organisme, hal ini menimbulkan permasalahan bagi lingkungan sekitar. *Association of Plastik Manufacturers Europe* (2015) melaporkan bahwa produksi plastik global telah mencapai sekitar 299 juta ton pada tahun 2013 dan meningkat 4 % sejak tahun 2012. Adanya pertumbuhan dalam akumulasi limbah setiap tahun karena permintaan plastik yang terus. Pada tahun 2010 Indonesia adalah penyumbang sampah terbesar setelah China (Jambeck dkk., (2015)

Upaya untuk mengantisipasi limbah cangkang sawit dan sampah plastik dengan metode yang tepat sehingga potensi energi terbarukan semakin berkembang. *Thermal treatment* merupakan salah satu alternatif pengolahan akumulasi limbah PET. Dengan metode tersebut, pengolahan limbah dapat dirubah menjadi energi terbarukan yang ekonomis.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Persiapan Bahan

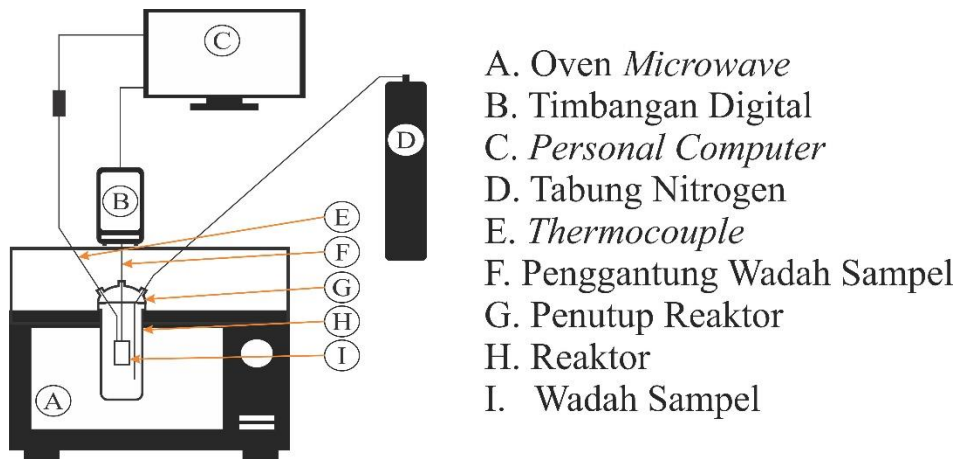
Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu cangkang kelapa sawit, PET, dan arang tempurung kelapa sebagai material absorber dapat dilihat pada Gambar 1. Karakteristik dasar bahan baku serbuk cangkang kelapa sawit diketahui dengan melakukan uji proksimat dan kadar holoselulosa-alfa selulosa sesuai standar SNI 0492:2008 dapat dilihat pada Tabel 2.



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	Cangkang Kelapa Sawit (gram)	Plastik PET (gram)	absorber (gram)
1	Cangkang 100 % + PET 0%	15	0	15
2	Cangkang 75 % + PET 0 %	11,25	3,75	15
3	Cangkang 50 % + PET 50 %	7,5	7,5	15
4	Cangkang 25 % + PET 75 %	3,75	11,25	15
5	Cangkang 0% + PET 100%	0	15	15

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Analisis Proximate

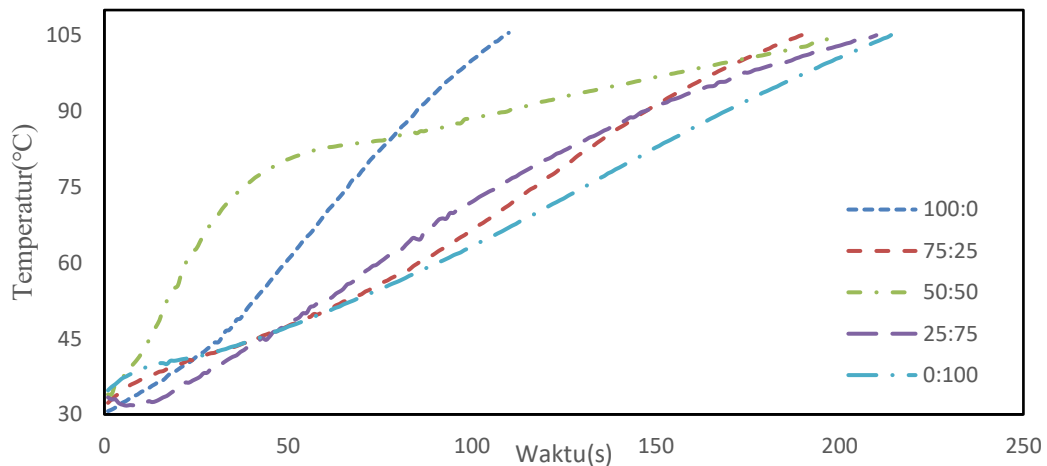
Analisis *proximate* digunakan untuk mengetahui *moisture content*, *volatile matter*, *fixed carbon*, dan *ash* pada material. Kadar holoselulosa digunakan untuk mengetahui holoselulosa, alfa selulosa, dan lignin yang terdapat pada biomassa serat kelapa sawit.

Tabel 2. Hasil Analisis Proximate dan Kadar Holoselulosa.

Analisis	Component	%	Wt.% PET
		Cangkang	(Sharuddin dkk., 2016)
Proksimat	Moisture Content	6,36	0,46
	Volatile Matter	67,84	91,75
	Fixed Carbon	24,3	7,77
	Ash	6,29	0,02
Kadar Holoselulosa	Holoselulosa	57	
	Alfa selulosa	28,67	
	Lignin	38,76	

Pada Tabel 2 diketahui pada cangkang kelapa sawit memiliki nilai *moisture content*, *fixed carbon*, dan *ash* yang lebih besar dibandingkan PET, namun nilai *volatile matter* cangkang kelapa sawit lebih kecil dibandingkan PET

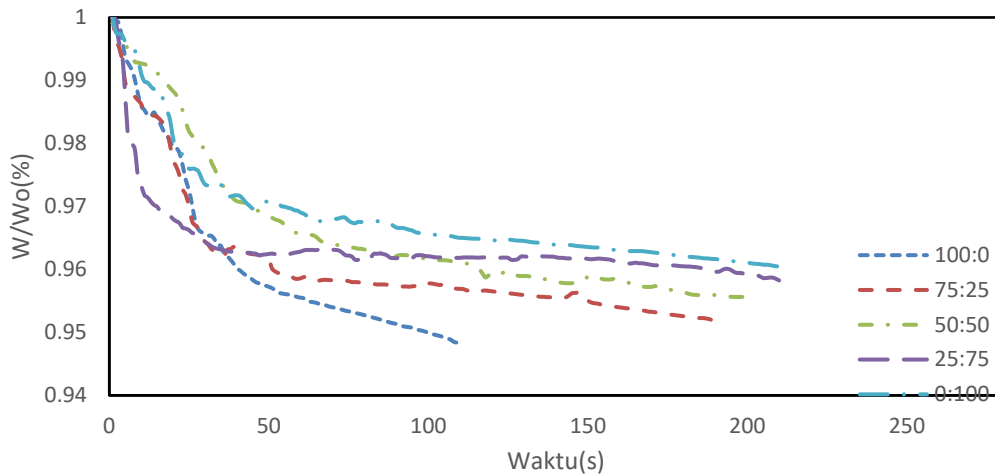
3.2 Profil Temperatur



Gambar 3. Temperatur Terhadap Waktu

Gambar 3 dapat diketahui variasi pengujian 100 % cangkang memiliki profil kenaikan temperatur yang paling cepat (dalam waktu 110 detik) dibandingkan variasi pengujian campuran (dalam waktu 190 detik pada variasi pengujian 75 % cangkang, 200 detik pada variasi pengujian 50 % cangkang, dan 210 detik pada variasi pengujian 25 % cangkang) dan 100 % PET (dalam waktu 214 detik) untuk mencapai temperatur 105 °C. Kondisi tersebut disebabkan *thermal treatment* pada oven *microwave* sangat dipengaruhi oleh kandungan *fixed carbon*. Pada variasi 50:50 sempat terjadi *hot spot* (panas pada titik tertentu) yang muncul didekat termokopel sehingga sempat terjadi kenaikan temperatur yang cepat.

3.3 Profil Massa

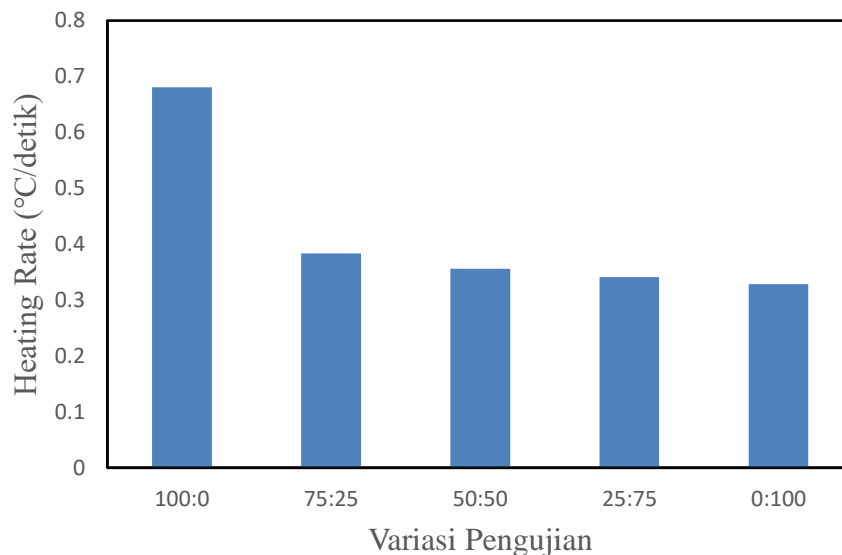


Gambar 4. Massa Terhadap Waktu

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 per-komponen maupun campuran. Hal tersebut ditandai dengan semakin lama *thermal treatment*, maka paparan *microwave* semakin lama yang berdampak pada terbentuknya titik *hotspot* yang semakin banyak pada material yang dipanaskan.

3.4 Heating Rate

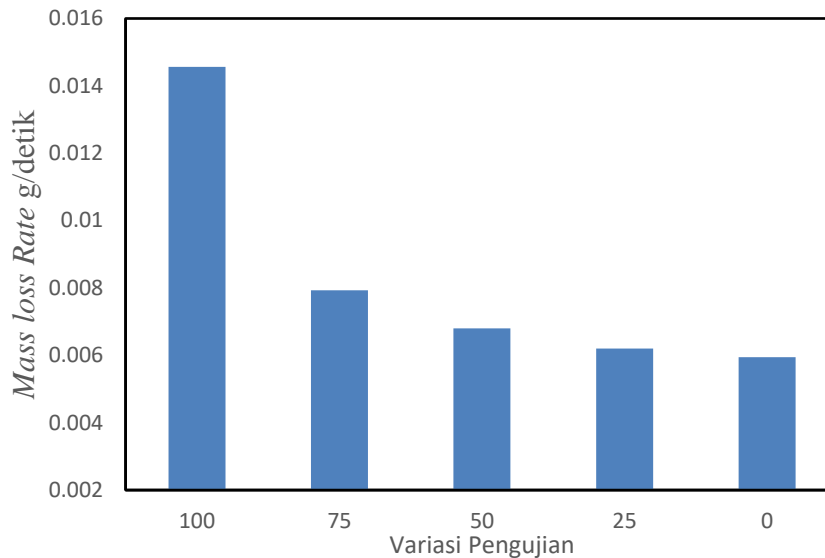


Gambar 5. Heating Rate

Gambar 5 menunjukkan semakin banyak kadar PET akan semakin rendah nilai *heating rate*. Nilai *heating rate* terbesar ditunjukkan oleh variasi pengujian 100:0 yaitu sebesar 0.6804°C/detik dan terkecil pada variasi pengujian 0:100 yaitu sebesar 0.3285°C/detik. Hal

ini menunjukkan bahwa kandungan *fixed carbon* di dalam cangkang menghasilkan panas yang lebih besar, sehingga lebih berpengaruh pada peningkatan nilai *heating rate* dibandingkan pada.

3.5 Mass Rate



Gambar 6. Mass Rate

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai *mass loss rate* memiliki tren yang sama dengan nilai *heating rate* yaitu memiliki kondisi linier yang cenderung menurun seiring dengan bertambahnya kadar PET. Nilai *mass loss rate* terbesar ditunjukkan oleh variasi 100:0 yaitu sebesar 0.0146 g/detik dan terkecil ditunjukkan oleh variasi 0:100 yaitu sebesar 0.0059 g/detik. Hal tersebut disebabkan kandungan *fixed carbon* pada cangkang menyerap gelombang mikro yang dihasilkan *microwave* sehingga menghasilkan panas yang digunakan untuk mengeluarkan *moisture content* siring dalam sampel. Dapat diketahui bahwa semakin banyak kadar cangkang akan berdampak pada semakin tingginya nilai *heating rate* dan semakin besarnya nilai *mass loss rate*. Hal tersebut dapat dikorelasikan bahwa semakin tinggi nilai *heating rate* akan berpengaruh pada semakin besarnya nilai *mass loss rate*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Barneto dkk., (2019) yang menyatakan bahwa menaikkan nilai *heating rate* berdampak pada peningkatan nilai *mass loss rate*.

3.6 Konsumsi Energi

Tabel 3. Konsumsi energi

Variasi Pengujian	Konsumsi Energi (kJ)
Cangkang 100 % + PET 0%	88
Cangkang 75 % + PET 0 %	152
Cangkang 50 % + PET 50 %	160
Cangkang 25 % + PET 75 %	168
Cangkang 0% + PET 100%	171.2

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa semakin besar kandungan sampel cangkang pada proses pemanasan campuran cangkang dan PET dengan oven *microwave* maka akan berpengaruh pada banyaknya *fixed carbon*. Kandungan *fixed carbon*

berpengaruh pada panas yang dimunculkan semakin banyak kandungan cangkang mengakibatkan nilai *heating rate* menjadi lebih tinggi. Semakin tinggi nilai *heating rate* berpengaruh pada energi yang dibutuhkan, semakin tinggi *heating rate* maka semakin kecil energi yang dibutuhkan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian, maka dapat diambil kesimpulan untuk nilai *heating rate* mengalami penurunan dari 0.6804°C/detik pada variasi 100:0 hingga 0.3285°C/detik pada variasi 0:100. Nilai *mass loss rate* mengalami penurunan dari 0.0146 g/detik pada variasi 100:0 hingga 0.0059 g/detik pada variasi 0:100. Nilai konsumsi energi mengalami kenaikan dari 88 kJ pada variasi 100:0 hingga 171.2 kJ pada variasi 0:100.

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

- Abidin, Z., & Limbong, H. P. 2015. "Sebagai bahan pembantu untuk meningkatkan kesuburan tanah berdasarkan kromatografi gc – ms." *Characterization of Palm Oil Charcoal as an Assistant Material to Improve The Fertility of Plants Based on GC-MS Chromatography*. (1996), 62–68.
- Abnisa, F., Arami-Niya, A., Daud, W. M. A. W., & Sahu, J. N. 2013. "Characterization of Bio-oil and Bio-char from Pyrolysis of Palm Oil Wastes." *Bioenergy Research*, 6(2), 830–840.
- Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., Ramalingam, S., Azemi, M. N. B. M., & Sahu, J. N. 2013. "Co-pyrolysis of palm shell and polystyrene waste mixtures to synthesis liquid fuel." *Fuel*, 108, 311–318.
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.1021/ef8005806>
- Caroko, N., Wahyudi, & Utomo, W. E. 2015. "Analisis karakteristik pembakaran briket arang limbah industri kelapa sawit dengan variasi bahan perekat (binder) kanji dan tar menggunakan metode thermogravimetri analysis (tga)." *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTMXIV)*, (Snttm Xiv), 7–8.
- Çepelioğullar, Ö., & Pütün, A. E. 2013. "Thermal and kinetic behaviors of biomass and plastic wastes in co-pyrolysis." *Energy Conversion and Management*, 75, 263–270.
- 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.
- Chen, Z., Wang, M., Jiang, E., Wang, D., Zhang, K., Ren, Y., & Jiang, Y. 2018. "Pyrolysis of Torrefied Biomass." *Trends in Biotechnology*, 36(12), 1287–1298.
- Huang, Y., Chiueh, P., Kuan, W., & Lo, S. 2016. "Microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass : Heating performance and reaction kinetics." *Energy*, 100, 137–144.
- Huang, Y., Chiueh, P., & Lo, S. 2016. "Mini review A review on microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass." *Sustainable Environment Research*.
- Hutagulung, A. M., Yunita, W., Rahamri, N. C., & Johansyah, A. 2015. "Rencana Strategis 2015-2019 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral." *Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi*.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., & Wileox, C. 2015. "Plastic wate inputs from land into the ocean." *Science*, (September 2014), 1655–1734.
- Karuniastuti, N. 2017. "Bahaya Plastik." *Forum Tenologi*, 03(1), 6–14.
- Mabrouki, J., Abbassi, M. A., Guedri, K., Omri, A., & Jeguirim, M. 2015. "Simulation of

- biofuel production via fast pyrolysis of palm oil residues." *Fuel*, 159(July), 819–827.
- Motasemi, F., & Afzal, M. T. 2013. "A review on the microwave-assisted pyrolysis technique." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 317–330.
- Mushtaq, F., Mat, R., & Nasir, F. 2014. "A review on microwave assisted pyrolysis of coal and biomass for fuel production." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 555–574.
- 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.
- Pranoto, B., Pandin, M., Fithri, S. R., & Nasution, S. 2013. "Peta Potensi Limbah Biomassa Pertanian Dan Kehutanan Sebagai Basis Data Pengembangan Energi Terbarukan." *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, 12(2), 123–130.
- 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.
- Zaker, A., Chen, Z., Wang, X., & Zhang, Q. 2019. "Microwave-assisted pyrolysis of sewage sludge : A review." *Fuel Processing Technology*, 187(December 2018), 84–104.
- Zhang, X., Kou, J., & Sun, C. 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.