

## The Effect of Microwave Oven Power Variations on Co-Pyrolysis Process of Oil Palm Shells and Polystyrene

### Pengaruh Variasi Daya Microwave Oven Terhadap Proses Co-Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit dan Polistirena

Rizal Nazarrudin<sup>1\*</sup>, Harwin Saptoadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia, <sup>2</sup>  
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

**Abstract.** Indonesia has a very large area of oil palm plantations, one of which is the island of Sumatra. However, in processing and handling palm oil product waste in the form of palm shells, it has not been maximized. Therefore, the chemical decomposition process can play an important role in supporting waste management and sustainable energy use in Indonesia which is not yet optimal. In this research, the proper use of power will be tested with the help of microwaves as a reactor for the co-pyrolysis process of oil palm shells and polystyrene plastic. The purpose of this study was to determine the appropriate power to produce maximum co-pyrolysis products and to investigate the physical characteristics of the oil-pyrolytic products. The test uses a microwave oven which has a power variation of 300 W, 450 W, 600 W, and 800 W with the addition of a catalyst. The ratio of the composition of oil palm shells to polystyrene plastic is 1:1 with a total mass of 105 gr and using coconut shell charcoal as an activated carbon absorber. The pyrolysis temperature is 500 °C, the nitrogen gas flow rate is 1.5 LPM, and the pyrolysis time is 60 minutes. Furthermore, testing the physical properties of the pyrolysis oil product in the form of density, acidity, and viscosity testing. The results showed that the optimal power to obtain oil-pyrolytic was 600 W with a product oil of 17.6%, and from the physical properties it had a low viscosity value of 2.55 mPa.s with a pH level of 6.6.

**Keywords:** co-pyrolysis, palm kernel shell, polystyrene, oil-pyrolytic, physical properties

**Abstrak.** Indonesia memiliki lahan area perkebunan kelapa sawit yang sangat luas salah satunya pulau sumatera. Namun, dalam pengolahan dan penanganan limbah produk minyak kelapa sawit berupa cangkang kelapa sawit belum maksimal. Oleh karena itu, proses dekomposisi kimia dapat berperan penting guna menunjang pengelolaan limbah serta pemanfaatan energi berkelanjutan di Indonesia yang belum optimal. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian penggunaan daya yang tepat dengan bantuan gelombang mikro sebagai reaktor proses co-pirolisis cangkang kelapa sawit dan plastik polistirena. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui daya yang tepat untuk menghasilkan produk co-pirolisis yang maksimal serta menyelidiki karakteristik fisik dari produk minyak pirolisis. Pengujian menggunakan *oven microwave* yang memiliki variasi daya 300W, 450W, 600W, dan 800W dengan penambahan katalis. Rasio komposisi cangkang kelapa sawit dengan plastik polistirena yaitu 1:1 dengan massa total 105 gr serta menggunakan arang cangkang kelapa sebagai *absorber* karbon aktif. Temperatur pirolisis yaitu 500 °C, laju aliran gas nitrogen 1,5 LPM, dan waktu pirolisis 60 Menit. Selanjutnya, pengujian sifat fisik dari produk minyak pirolisis berupa pengujian densitas, keasaman, dan viskositas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya

optimal untuk memperoleh minyak pirolisis yaitu daya 600 W dengan produk minyak sebesar 17,6%, dan dari sifat fisik memiliki nilai viskositas rendah yaitu sebesar 2,55 mPa.s dengan kadar pH 6,6.

**Kata kunci:** co-pirolisis, cangkang kelapa sawit, polistirena, minyak pirolisis, viskositas

## 1. PENDAHULUAN

Produksi hasil perkebunan minyak kelapa sawit yang banyak akan sejalan dengan limbah produksi lingkungan yang dihasilkan diantaranya cangkang, serat, dan tandan. Akan tetapi, limbah biomassa tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal terutama untuk energi. Tentunya apabila dapat diolah secara maksimal akan bermanfaat bagi pemenuhan kebutuhan energi Indonesia khususnya pada sektor energi baru dan terbarukan yang sangat bermanfaat bagi kehidupan lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada energi fosil.

[1] Indonesia mencatatkan sekitar 8,9 miliar ton atau 14% sampah plastik dari total 64 miliar ton sampah plastik untuk masalah lingkungan. Penggunaan tempat makan untuk makanan catering yaitu plastik polistirena (PS) turut berperan pada jumlah sampah plastik di Indonesia. Tahun 2017 Presiden Indonesia mengeluarkan perpres nomor 59 tentang tujuan pembangunan berkelanjutan (TPB) yang sejalan dengan cita-cita *sustainable development goals* (SDGs), salah satunya yaitu untuk mengurangi permasalahan sampah lingkungan [2].

Oleh karena itu, diperlukan metode untuk mengolah limbah tersebut salah satunya yaitu dengan metode co-pirolisis. Co-pirolisis adalah proses pirolisis yang mencampurkan antara biomassa dengan material lainnya sebagai bahan utama dalam mencapai sinergitas antara material. Pirolisis sendiri merupakan proses dekomposisi suatu unsur senyawa pada suhu tinggi yang berlangsung tanpa atau sedikit oksigen, dimana biomassa akan terdekomposisi pada temperatur  $>300^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 12-20 MPa [3]. Produk pirolisis diantaranya merupakan produk gas, cairan dan padatan. Pemilihan plastik sebagai campuran selain untuk mengurangi limbah lingkungan, disisi lain mengingat kemampuan plastik menjadi salah satu material yang memiliki sinergitas tinggi pada proses pirolisis biomassa [4].

Beberapa jenis reaktor telah digunakan dalam metode pirolisis untuk mencapai efisiensi konversi energi dalam skala penelitian diantaranya yaitu *microwave*. Penggunaan gelombang elektromagnetik pada *microwave* akan membuat proses pemanasan lebih stabil dan seragam [5]. Oleh karena itu, akan dilakukan penelitian pengaruh variasi daya *microwave oven* terhadap proses co-pirolisis cangkang kelapa sawit dan plastik polistirena dengan penambahan katalis. Penambahan katalis diharapkan dapat mempercepat laju reaksi proses co-pirolisis serta efisiensi energi dapat tercapai dengan menggunakan *microwave* sebagai reaktor.

Tujuan Penelitian ini adalah :

1. Memperoleh data profil temperatur & produk yang baik dari setiap variasi daya *microwave oven* terhadap proses co-pirolisis cangkang kelapa sawit dan plastik polistirena
2. Mengetahui karakteristik fisik (Densitas, pH, dan Viskositas) dari setiap produk minyak co-pirolisis

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

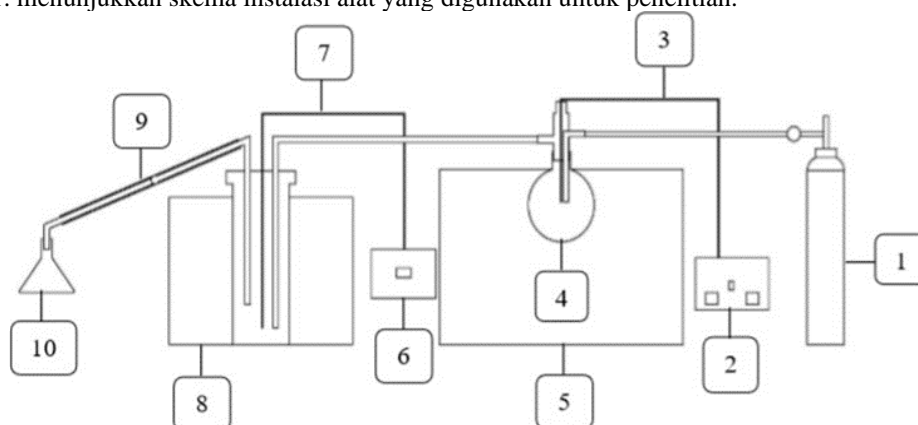
### 2.1 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan yaitu :

- a. Limbah produksi minyak kelapa sawit, yaitu : Cangkang kelapa sawit
- b. Limbah sampah plastik, yaitu : Plastik jenis polistirena (PS)
- c. *Absorber* karbon aktif, yaitu : Arang cangkang kelapa
- d. Katalis, yaitu : Zeolit alam dan CaO

### 2.2 Alat Penelitian

Gambar 1. menunjukkan skema instalasi alat yang digunakan untuk penelitian.



Gambar 1. Skema instalasi alat penelitian.

Keterangan instalasi alat penelitian, sebagai berikut:

1. Tabung Gas Nitrogen
2. Pengatur Temperatur *Primer*
3. *Thermocouple* Reaktor *Primer*
4. Reaktor Kuarsa (Tabung *pyrex*)
5. Reaktor *Primer*
6. Pengatur Temperatur Sekunder
7. *Thermocouple* Reaktor Sekunder
8. Reaktor Sekunder
9. Pipa Kondensor
10. Wadah Penampung (Gelas *Erlenmeyer*)

### 2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dengan 3 tahapan yaitu:

#### 2.3.1 *Pre-Processing*

Alat-alat yang telah dipersiapkan akan diinstalasi sedemikian rupa seperti Gambar 1. Tahap awal persiapan bahan yakni cangkang kelapa sawit terlebih dahulu dijemur dibawah sinar matahari dengan temperatur 30°C selama 2-3 hari serta dibersihkan dari tanah yang menempel. Selanjutnya, bahan seperti cangkang kelapa sawit, plastik polistirena, arang kelapa, dan zeolit alam yang akan dipakai dalam penelitian mendapatkan beberapa perlakuan diantaranya di-*grinding* dengan mesin *grinder* dan di-*meshing* hingga menjadi ukuran 20-6 *mesh*.

Kemudian untuk bahan penelitian yang telah halus terlebih dahulu disimpan pada tempat yang kedap air. Pengujian dengan variasi daya (300 W, 450 W, 600 W, dan 800 W) menggunakan komposisi cangkang kelapa sawit dan plastik PS dengan rasio 1:1 yaitu 35 gr : 35 gr, dan *absorber* arang aktif sebanyak 50% dari total berat bahan utama serta penambahan katalis yaitu 100% dari bahan utama.

#### 2.3.2 *Processing*

Pada tahap ini bahan utama dan katalis dimasukkan dalam masing-masing bejana reaktor dengan kapasitas 1000 ml yang selanjutnya dimasukkan kedalam *microwave oven*. *Microwave oven* yang digunakan memiliki *output power* sebesar 1200 W dan frekuensi 2,45 GHz, dengan bagian dalam pemanas memiliki ukuran panjang 30 cm, lebar 30 cm dan tinggi 20 cm. Temperatur pirolisis maksimal yaitu 500°C dengan waktu 60 menit dan atur laju aliran gas *inert* sebesar 1,5 LPM.

Kemudian mengatur proses kondensasi dengan mengalirkan air dari *chiller* pada pipa kondensor menggunakan pompa air. Proses co-pirolisis dapat dimulai ketika semua persiapan sudah dilakukan. Pencatatan waktu pirolisis tiap menit dan pengamatan fenomena saat proses pirolisis. Proses penelitian dilakukan ketika campuran bahan dimasukkan ke dalam ruang pemanasan hingga mencapai temperatur pirolisis selama 60 menit.

Pemisahan produk arang dan katalis yaitu ketika proses pirolisis selesai dan kemudian ditimbang. Selanjutnya, produk cair (*pyrolytic-oil*) dilakukan pengujian tingkat keasaman (PH meter), densitas, dan tingkat kekentalan (viskositas).

**2.3.3 Post-Processing**

Tahapan *post processing* yakni metode pengambilan data :

1. Pengujian Kuantitas Produk Co-pirolisis  
Massa gas dapat diperoleh dari persamaan 1, berikut :

$$m_{gas} = m_{total\ bahan} - (m_{pyrolytic\ oil} + m_{arang}) \tag{1}$$

dimana ;

- $m_{gas}$  = Massa gas (gr)
- $m_{total\ bahan}$  = Massa total bahan baku (gr)
- $m_{pyrolytic\ oil}$  = Massa *pyrolytic oil* (gr)
- $m_{arang}$  = Massa arang (gr)

Penentuan persentase kuantitas dari *pyrolytic oil*, arang, dan gas dapat diperoleh dari persamaan 2-4, berikut :

$$\Sigma\ pyrolytic\ oil = \left(\frac{m_{pyrolytic\ oil}}{m_{total\ bahan}}\right) \chi\ 100\% \tag{2}$$

$$\Sigma\ arang = \left(\frac{m_{arang}}{m_{total\ bahan}}\right) \chi\ 100\% \tag{3}$$

$$\Sigma\ gas = \left(\frac{m_{gas}}{m_{total\ bahan}}\right) \chi\ 100\% \tag{4}$$

dimana ;

- $\Sigma\ pyrolytic\ oil$  = Jumlah kuantitas *pyrolytic oil* (%)
- $\Sigma\ arang$  = Jumlah kuantitas arang (%)
- $\Sigma\ gas$  = Jumlah kuantitas gas (%)

2. Pengujian Densitas Produk Co-pirolisis  
Persamaan 5, berikut digunakan untuk menghitung nilai densitas yang sebelumnya telah diukur menggunakan timbangan digital dengan gelas ukur kapasitas volume 30 ml.

$$\rho_{pyrolytic\ oil} = \frac{m - m_o}{V} \tag{5}$$

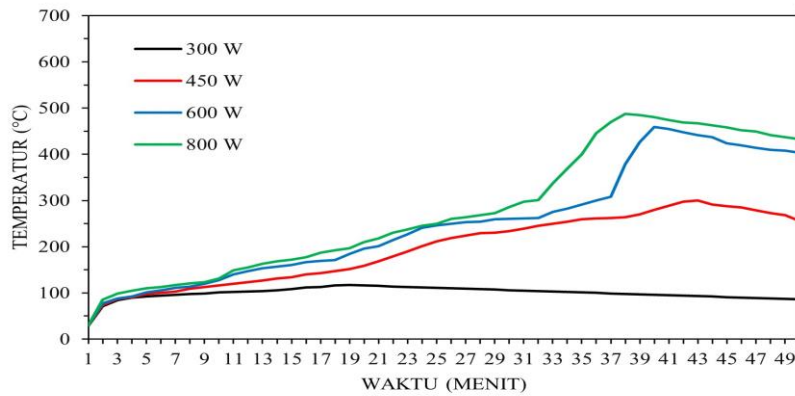
dimana ;

- $\rho_{pyrolytic\ oil}$  = Densitas *pyrolytic oil* (gr/ml)
- $m$  = Massa gelas ukur berisi *pyrolytic oil* (gr)
- $m_o$  = Massa gelas ukur kosong (gr)
- $V$  = Volume gelas ukur (ml)

**3. HASIL PENELITIAN**

**3.1 Perbandingan Profil Temperatur Variasi Daya Co-pirolisis**

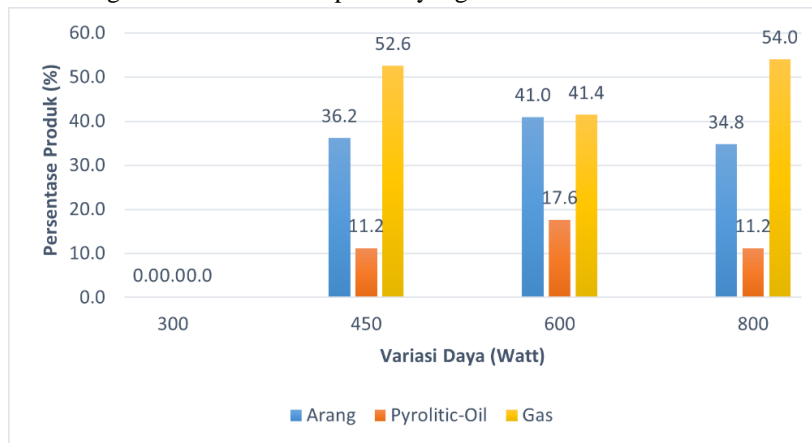
Gambar 2. menunjukkan grafik perbandingan profil temperatur variasi daya penelitian. Profil temperatur tertinggi yakni pada variasi daya 800 W dimana, profil temperatur dengan cepat mencapai temperatur pirolisis dengan temperatur maksimum yang dicapai yaitu 487 °C pada waktu ke-38 menit. sedangkan untuk profil temperatur terendah yaitu pada variasi daya 300 W dimana temperaturnya tidak mampu mencapai temperatur minimum dekomposisi dari biomassa sehingga tidak terjadi reaksi proses pirolisis.



Gambar 2. Perbandingan Profil Temperatur Variasi Daya Co-pirolisis.

### 3.2 Perbandingan Kuantitas Produk Co-pirolisis tiap Variasi Daya

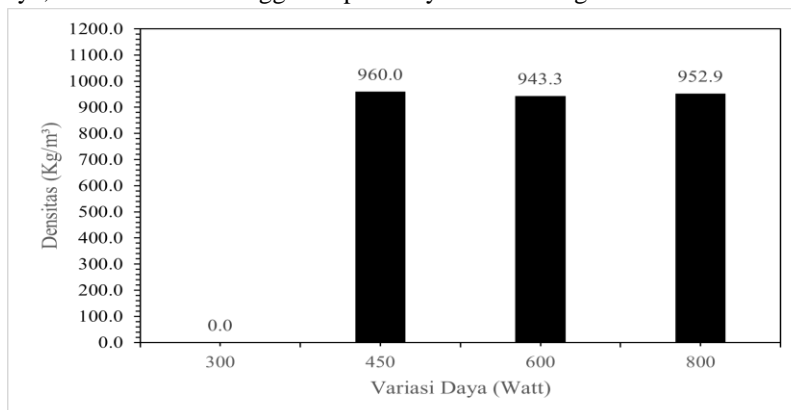
Gambar 3. merupakan perbandingan kuantitas/persentase produk dari proses co-pirolisis tiap variasi daya. Dimana, untuk kuantitas produk *pyrolytic oil* terbanyak dihasilkan oleh daya 600 W sebanyak 17,6% dengan massa arang sebesar 41%. Sedangkan, produk gas terbanyak dihasilkan pada pengujian variasi daya 800 W sebesar 54%. Sementara pada variasi daya 300 W dikarenakan temperatur prosesnya tidak mencapai temperatur pirolisis mengakibatkan tidak ada produk yang dihasilkan.



Gambar 3. Perbandingan Kuantitas Produk Co-pirolisis antar Variasi Daya

### 3.3 Perbandingan Densitas *Pyrolytic Oil*

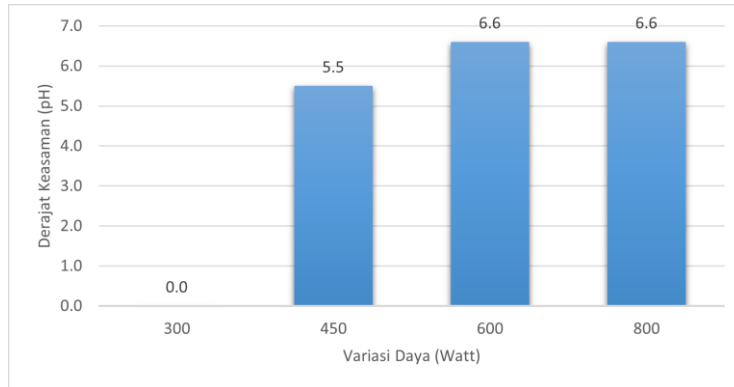
Densitas merupakan salah satu sifat yang diuji guna menyatakan perbandingan massa minyak setiap variasi pada volume yang sama. Perbandingan nilai densitas produk *pyrolytic oil* dapat dilihat pada Gambar 4. Dapat disimpulkan bahwa densitas terendah pada *pyrolytic oil* variasi daya 600 W, dengan nilai 943,3 kg/m<sup>3</sup>. Sebaliknya, nilai densitas tertinggi ada pada daya 450 W dengan nilai sebesar 960 kg/m<sup>3</sup>.



Gambar 4. Perbandingan Nilai Densitas pada Produk *Pyrolytic Oil*

**3.4 Perbandingan Kadar Nilai Keasaman (pH meter) *Pyrolytic Oil***

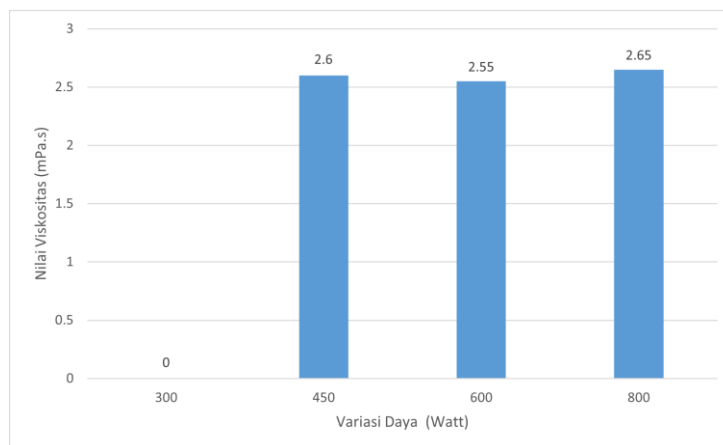
Kadar nilai keasaman pada produk *pyrolytic oil* dapat disimpulkan dari Gambar 5. Produk *Pyrolytic oil* yang memiliki nilai keasaman tinggi yakni pada variasi daya 450 W sebesar 5.5. Sedangkan untuk daya 600 dan 800 W memiliki nilai kadar keasaman yang sama yaitu sebesar 6.6.



**Gambar 5.** Perbandingan Nilai Kadar Keasaman *Pyrolytic Oil*

**3.5 Perbandingan Viskositas *Pyrolytic Oil***

Perbandingan nilai kekentalan (viskositas) dari *pyrolytic oil* ditunjukkan oleh Gambar 6. dimana nilai kekentalan tinggi dihasilkan oleh variasi daya 800 W sebesar 2,65 mPa.s. sedangkan nilai kekentalan rendah dihasilkan pada pengujian variasi daya 600 W sebesar 2,55 mPa.s tentunya dengan nilai kekentalan yang rendah akan mengindikasikan produk *pyrolytic oil* tersebut memiliki kualitas yang baik. Sebagaimana bahwa semakin rendah nilai kekentalan akan membuat semakin mudah bagi suatu produk cairan tersebut mengalir.



**Gambar 6.** Diagram Perbandingan Nilai Kekentalan (Viskositas) *Pyrolytic Oil*

**4. KESIMPULAN**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah 1). Berdasarkan hasil data penelitian yang telah dilakukan disarankan untuk penggunaan variasi daya 600 W dengan produk minyak dengan memperoleh sebesar 17,6%. Sedangkan, produk gas terbanyak dihasilkan pada pengujian variasi daya 800 W sebesar 54% ; 2). Produk minyak yang baik menurut data dari karakteristik fisik yaitu pengujian variasi daya 600 W, dengan nilai densitas sebesar 943,3 ( $kg/m^3$ ), kadar nilai PH 6,6, dan nilai viskositas sebesar 2,55 ( $mPa.s$ ).

**Ucapan terima kasih**

Penulis ingin mengucapkan terima kasih terkhusus kepada kedua orang tua, saudara, dosen pembimbing tentunya yang telah memberikan dorongan baik moral maupun moril hingga penulis menyelesaikan studi/riset. Selanjutnya kepada segenap ibu/bapak dosen dan civitas akademika Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas teknik, UGM yang telah memberikan ilmu pengetahuan serta kebutuhan administrasi kepada penulis selama menempuh pendidikan di DTMI, Universitas Gadjah Mada.

# Procedia of Social Sciences and Humanities

Proceedings of the 1st SENARA 2022

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Journal article:** Lestari, P., & Trihadiningrum, Y. (2019). The impact of improper solid waste management to plastic pollution in Indonesian coast and marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 149(August), 110505. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110505>
- [2] **Website Online:** Perpres. No. 59 (2017). *Tujuan Pembangunan Berkelanjutan*. [https://www.sdg2030indonesia.org/an-component/media/upload-book/A\\_Perpres\\_Nomor\\_59\\_Tahun\\_2017.pdf](https://www.sdg2030indonesia.org/an-component/media/upload-book/A_Perpres_Nomor_59_Tahun_2017.pdf)
- [3] **Book:** Basu, P. (2013). Pyrolysis. In *Pyrolysis: Types, Processes, and Industrial Sources and Products*. Elsevier Inc.
- [4] **Journal article:** Panda, A. K., Singh, R. K., & Mishra, D. K. (2010). Thermolysis of waste plastics to liquid fuel. A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products-A world prospective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 233–248. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.005>
- [5] **Journal article:** An, Y., Tahmasebi, A., & Yu, J. (2017). Mechanism of synergy effect during microwave co-pyrolysis of biomass and lignite. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 128(August), 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.10.023>