

# Analisis Komparatif Proses Pirolisis dari Bahan Sampah Plastik dan Biomassa terhadap Hasil Produk

Kemas Ridhuan<sup>1</sup>, Tri Cahyo Wahyudi<sup>2\*</sup>, Diego Antonio<sup>3</sup>, Riki Renaldi<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro  
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Metro, Lampung

<sup>3,4</sup>Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro  
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Metro, Lampung.

Corresponding author: [tricahyowahyudi3@gmail.com](mailto:tricahyowahyudi3@gmail.com)

## Abstract

*Pyrolysis is a process of heating materials at high temperatures with little or no oxygen to chemically break down materials, to produce products such as fuel and liquid smoke. The purpose of this study was to determine the process, quantity, and characteristics of the products obtained from plastic waste and biomass. This research method uses a burner fueled by LPG gas. Using raw materials of LDPE plastic waste and biomass (rice husk) with a weight of 1.5 kg each. Using a batch type pyrolysis reactor and a straight pipe condenser with a diameter of 1 inch and a length of 4 m. The results showed that the two raw materials produced significantly different product proportions. LDPE pyrolysis produced a liquid product with a volume of 419 (mL) and a solid of 0.825 (kg), and had a higher calorific value of 10648.21 (kJ/kg) than rice husk. Meanwhile, rice husk pyrolysis produced a larger liquid (742 mL) with 0.316 kg of lower solids and a lower calorific value (8761.33 kJ/kg). This difference confirms that the type of feedstock significantly determines the quality and quantity of bio-oil or pyrolysis oil produced, which is crucial for renewable energy development and waste management.*

**Keywords:** *Pyrolysis, rice husk, plastik, bio-oil, waste.*

## Abstrak

Pirolisis merupakan proses pemanasan bahan pada suhu tinggi dengan tanpa atau sedikit oksigen untuk memecah material secara kimia, untuk menghasilkan produk seperti bahan bakar dan asap cair. Tujuan penelitian untuk mengetahui proses, jumlah, karakteristik hasil produk yang diperoleh dari sampah plastik dan biomassa. Metode penelitian ini menggunakan burner berbahan bakar gas LPG. Menggunakan jenis bahan baku sampah plastik LDPE dan biomassa (sekam padi) dengan berat masing-masing 1,5 kg. Menggunakan *reactor* pirolisis jenis *batch* dan kondensor pipa lurus berdiameter 1 inch dan panjang 4 m. Hasil penelitian menunjukkan kedua bahan baku menghasilkan proporsi produk yang berbeda secara signifikan. Pirolisis LDPE menghasilkan produk cairan dengan volume 419 (mL) dan padatan 0.825 (kg), serta memiliki nilai kalor lebih tinggi 10648.21 (kJ/kg) dibandingkan sekam padi. Sedangkan, pirolisis sekam padi menghasilkan cairan yang lebih banyak 742 (mL) dengan padatan yang lebih sedikit 0.316 (kg) dan nilai kalor yang lebih rendah 8761.33 (kJ/kg). Perbedaan ini menegaskan bahwa jenis bahan baku sangat menentukan kualitas dan kuantitas *bio-oil* atau minyak pirolisis yang dihasilkan, yang krusial untuk pengembangan energi terbarukan dan pengelolaan limbah.

**Kata kunci:** Pirolisis, sekam padi, plastik, bio-oil, sampah

## 1. Pendahuluan

Sampah adalah suatu bahan atau produk bekas juga buangan sisa hasil dari usaha atau kegiatan yang sudah tidak bermanfaat lagi, bahkan di beberapa daerah sampah sudah sangat mengganggu dan menjadi persoalan yang besar karena sudah menimbulkan masalah seperti bau busuk, menimbulkan penyakit, mencemari air tanah, sudah menumpuk dan mengganggu aktifitas masyarakat [1]. Sampah merupakan isu global yang semakin lama semakin mendesak dan harus segera diatasi.

Peningkatan konsumsi dan aktivitas manusia menghasilkan volume sampah yang kian hari terus bertambah, baik sampah organik (biomassa) maupun anorganik (plastik). Terutama sampah plastik tidak mudah untuk dimusnakan, bahkan di dalam tanahpun mampu bertahan hingga ratusan tahun.

Untuk pengelolaan sampah agar menjadi produk yang lebih bermanfaat maka pengolahan sampah dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya yaitu dengan proses pirolisis. Pirolisis merupakan suatu

teknologi konversi termokimia dengan dekomposisi material organik atau anorganik pada suhu tinggi tanpa atau sedikit udara, dalam menghasilkan produk berupa *bio-oil* (cair), *biochar* (padat), dan gas [2]. Produk-produk tersebut merupakan produk alami yang bermanfaat. Pirolisis sampah plastik bertujuan untuk mengubah polimer rantai panjang menjadi produk cair yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar atau bahan kimia bernilai tinggi. Sementara pirolisis biomassa berfokus pada pemanfaatan limbah pertanian yang berlimpah, menghasilkan *bio-oil* yang dapat menjadi substitusi bahan bakar fosil.

Untuk produk *bio-oil* dari bahan biomassa yaitu merupakan asap cair, yang merupakan bahan multiguna yaitu pengawet makanan alami, pupuk cair, penghilang bau dan lainnya [3]. Dan produk *biochar*nya akan menghasilkan produk berupa bahan bakar arang dengan nilai kalor yang tinggi. Sementara itu jika bahan bakunya limbah plastik maka akan menghasilkan produk *bio-oil* yang merupakan bahan bakar pengganti solar dan bensin [4]. Dan produk *biochar* berupa padatan yang memiliki sifat material yang kuat dan keras, sehingga sangat baik untuk bahan baku paiping blok yang tahan pecah dan anti retak jika jatuh bahkan tahan terhadap rembesan air.

Sampah plastik, yang didominasi oleh polimer sintetik, sulit terdegradasi secara alami, dan butuh waktu yang lama untuk menghancurkannya [5]. Oleh karenanya perlu diolah agar menjadi produk yang lebih bermanfaat.

Melihat dari sifat penyusun plastik dari komponen hidrokarbon minyak bumi, limbah atau sampah plastik ini sangat berpotensi untuk dikonversi menjadi BBM. Cara yang digunakan untuk mengembalikan material plastik tersebut adalah dengan cara pemecahan rantai karbon atau polimer sehingga menjadi hidrokarbon. Pirolisis merupakan suatu proses pengolahan pada sampah plastik yang dapat menghasilkan bahan bakar alternatif menggantikan bahan bakar fosil [6]. Dan untuk pirolisis dengan menggunakan bahan baku biomassa dapat

menghasilkan produk yang bernilai, seperti bahan bakar arang, asap cair dan sinhgas [7]. Meskipun pirolisis dari kedua bahan sampah plastik (LDPE) dan biomassa (sekam padi) ini telah banyak diteliti dan pada *reactor* terpisah, namun perbandingan komparatif langsung pada proses satu *reactor* yang sama dengan membandingkan efisiensi proses dan karakteristik produk akhir dalam kondisi operasi yang serupa pada kedua jenis sampah ini masih diperlukan dan dikaji lebih lanjut.

Perbedaan komposisi material awal (plastik dan biomassa) diperkirakan akan menghasilkan produk pirolisis dengan karakteristik dan proses yang berbeda pula [8]. Beberapa hasil produk berbeda yang didapatkan dari proses ini seperti asap cair, arang, minyak plastik dan gas [9]. Hal ini juga bisa berpengaruh pada parameter operasi seperti suhu, waktu tinggal, laju pemanasan, rendemen dan kualitas hasil produk pirolisis [10]. Pemahaman yang mendalam mengenai perbedaan ini penting untuk mengoptimalkan proses pirolisis pada *reactor* yang sama dan aplikasi produk berbeda yang dihasilkan sehingga dapat menentukan kapasitas produksi (kg/jam) dengan waktu proses pirolisisnya [11].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui proses dan jumlah serta karakteristik hasil produk yang diperoleh dari masing-masing sampah plastik dan biomassa.

## 2. Metode Penelitian

### Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain komparatif eksperimental untuk membandingkan hasil pirolisis sampah plastik LDPE dan biomassa sekam padi. Proses dilakukan dalam reaktor pirolisis *batch* skala laboratorium.

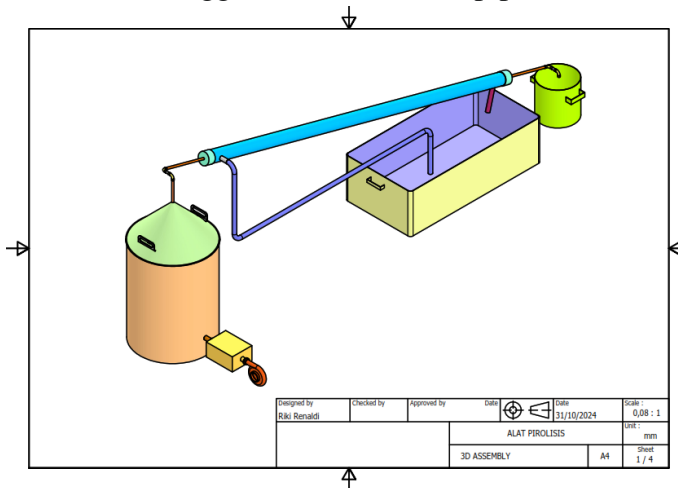
### Bahan Baku

1. Plastik Sampah: *Low-Density Polyethylene* (LDPE), disiapkan dalam kondisi bersih dan dicacah kecil-kecil.
2. Biomassa: Sekam padi, disiapkan dan dikeringkan mencapai kadar air 5-10%.

### Prosedur Pirolisis

Setiap bahan baku (plastik LDPE dan sekam padi) diproses secara terpisah dalam reaktor pirolisis. Parameter utama yang dikontrol meliputi:

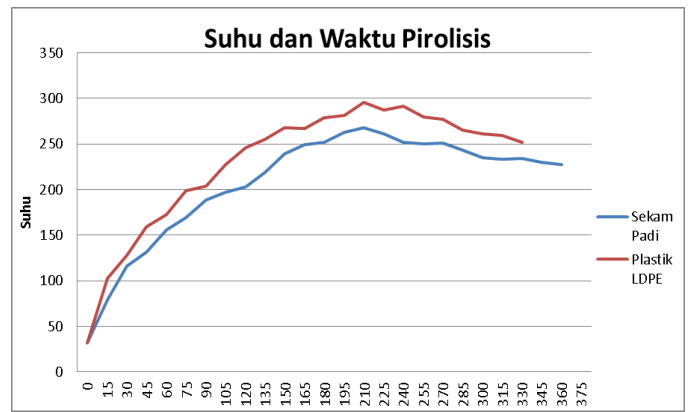
1. Menyiapkan alat pirolisis dan bahan.
2. Menghubungkan reaktor dengan kondensor.
3. Mengisi air ke dalam kondensor
4. Memasukkan bahan bakar ke dalam ruang bakar Massa Awal Sampel: Jumlah massa awal untuk plastik LDPE dan sekam padi sama, yaitu sebanyak 1,5 kg.
5. Lingkungan Reaktor: Pirolisis dilakukan dalam suasana tanpa oksigen (inert).
6. Suhu: Pemanasan dilakukan hingga mencapai suhu tertinggi yang tercatat 300°C.
7. Pengumpulan Produk: Produk cairan (minyak pirolisis) dikumpulkan melalui kondensor, sedangkan padatan (arang) diukur setelah pendinginan.
8. Menggunakan burner pembakaran berbahan bakar LPG.
9. Menggunakan kondensor pipa lurus.



Gambar 1. Rangkaian Alat Sistem Pirolisis

### 3. Hasil Dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengujian pada reactor pirolisis, data-datanya dianalisa dan dibahas, maka didapat hasil sebagai berikut :



Gambar 2. Suhu dan waktu pirolisis

Adapun data-data hasil pengujian yang didapatkan disajikan pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Data Hasil pengujian

Bahan	Hasil cairan (ml)	Hasil padatan (kg)	Nilai kalor (kJ/kg)
Plastik LDPE	742	0,316	10648,21
Sekam padi	419	0,825	7261,34

Bahan	Waktu pirolisis (menit)	Suhu tertinggi (°C)	Massa jenis (kg/liter)
Plastik LDPE	315	296	0,9621
Sekam padi	360	268	0,9835

#### a. Persentase Hasil Produk

Hasil produk yang dihasilkan kemudian dibuat Persentase jumlah produk yang diperoleh dari proses pirolisis ini sebagai berikut :

- 1) Hasil minyak plastik yaitu :

$$\begin{aligned} \eta_{mp} &= \frac{mp}{m} \times 100 \\ &= \frac{0,419}{1,5} \times 100 \\ &= 27,93\% \end{aligned}$$

- 2) Hasil asap cair yaitu :

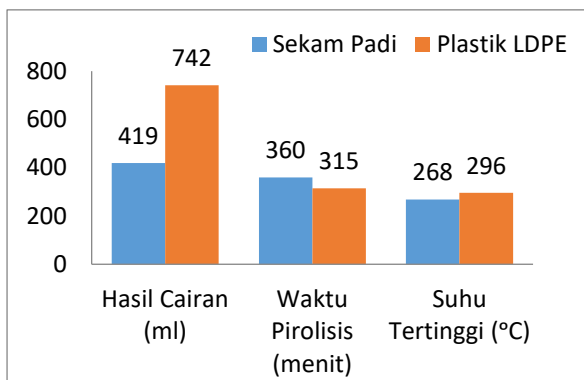
$$\begin{aligned} \eta_{ac} &= \frac{ac}{m} \times 100 \\ &= \frac{0,742}{1,5} \times 100 \\ &= 49,47\% \end{aligned}$$

- 3) Hasil padatan plastik yaitu :

$$\begin{aligned}\eta_{pp} &= \frac{pp}{m} \times 100 \\ &= \frac{0,825}{1,5} \times 100 \\ &= 55,00\%\end{aligned}$$

4) Hasil arang sekam yaitu :

$$\begin{aligned}H_{as} &= \frac{as}{m} \times 100 \\ &= \frac{0,316}{1,5} \times 100 \\ &= 21,07\%\end{aligned}$$



Gambar 3. Grafik Hasil cairan, Waktu pirolisis dan Suhu tertinggi produk

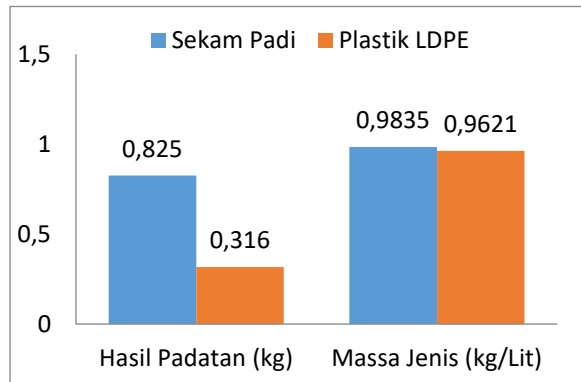
Pada gambar 3, menunjukkan bahwa grafik plastik LDPE menghasilkan volume cairan (minyak plastik) yang jauh lebih tinggi yaitu 742 ml atau 49,47% dibandingkan sekam padi yaitu 419 ml atau hanya 27,93%. Hal ini disebabkan karena Plastik LDPE adalah polimer hidrokarbon murni. Ketika rantai panjang C-C terpecah (*cracking*), hampir seluruh massa polimer berubah menjadi uap hidrokarbon yang kemudian didinginkan menjadi cairan (minyak pirolisis) [12]. Dan minimnya pembentukan kokas dan gas sehingga menyebabkan hasil cairan yang didapatkan lebih banyak [13]. Sementara itu hasil cairan (asap cair) sekam padi yang didapat lebih sedikit, hal ini dikarenakan sekam padi memiliki kandungan lignin (yang membentuk arang) dan abu (silika) yang tinggi, serta kandungan oksigen yang tinggi [14], sebagian besar massa akan terbagi menjadi padatan dan gas, sehingga menyebabkan hasil cairan menjadi lebih sedikit [15]. Beberapa faktor yang dapat

mempengaruhi hasil cairan dari proses pirolisis ini diantaranya yaitu suhu pirolisis, laju pemanasan, lama waktu proses pirolisis dan bahan baku [16].

Berikutnya untuk variable waktu pirolisisnya (gambar 3), menunjukkan bahwa grafik sekam padi membutuhkan waktu pirolisis sedikit lebih lama yaitu 360 menit dibandingkan plastik LDPE dengan waktu yang lebih cepat yaitu 315 menit, hal ini dikarenakan bahwa sekam padi memiliki struktur yang sangat heterogen, padat, dan berlapis-lapis (lignoselulosa) seperti Selulosa, Hemiselulosa, dan Lignin. Ketiga komponen ini terikat silang satu sama lain dan membentuk dinding sel yang kaku juga struktur padat yang dapat menyebabkan terhambatnya perpindahan panas [17], sehingga waktu pirolisis dan terdekomposisi menjadi lebih lama. Kemudian plastik LDPE memiliki struktur molekul bercabang tidak teratur (kristalinitas rendah), molekul-molekulnya tidak terikat sangat kuat satu sama lain, sangat homogen, dan padat secara molekuler tetapi rapuh secara ikatan termal. Jadi fleksibel dan densitasnya rendah [18], sehingga membuatnya rapuh saat terkena panas tinggi atau suhu tertentu, menjadikannya mudah melunak atau meleleh di suhu relatif rendah sehingga waktu pirolisis lebih cepat.

Selanjutnya untuk variable suhu pemanasan pirolisis didapatkan bahwa plastik LDPE memiliki suhu lebih tinggi yaitu 296°C dibanding sekam padi hanya 268°C, karena plastik LDPE merupakan polimer murni yang terdiri dari rantai panjang ikatan kovalen C-C yang kuat, yang membentuk tulang punggung polimer (backbone) merupakan ikatan yang sangat stabil secara termal [19], sehingga dekomposisi LDPE baru terjadi secara signifikan di atas 400°C [12]. Maka suhu pirolisis untuk plastik LDPE lebih besar yaitu 296°C. Sementara itu untuk sekam padi yang tersusun dari biopolimer yang kaya oksigen (Selulosa, Hemiselulosa, Lignin) [17] dan keberadaan atom oksigen (O) yang tinggi dalam ikatan C-O (ikatan glikosidik) yang lebih lemah dan berjenjang

serta C=O membuat ikatan-ikatan ini secara termal kurang stabil [20], sehingga energi panas yang dibutuhkan untuk memulai dan mempertahankan pemutusan rantai biomassa (kecuali lignin) secara efektif berada di rentang suhu yang lebih rendah [14]. Sehingga suhu pirolisis sekam padi lebih kecil yaitu 268°C.

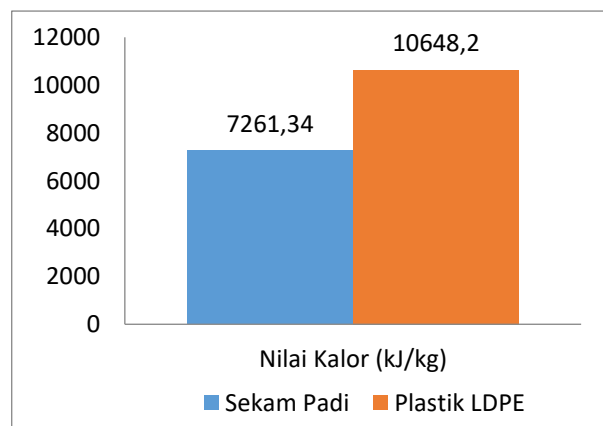


Gambar 4. Grafik Hasil padatan dan Massa jenis produk

Selanjutnya pada gambar 4, untuk variabel hasil produk padatan terlihat bahwa sekam padi (arang) menunjukkan hasil padatan yang cukup besar yaitu 0,825 kg atau 55%. Sebaliknya hasil dari plastik LDPE lebih kecil yaitu 0,316 kg atau 21,07%. Hal ini dikarenakan bahwa sekam padi memiliki kandungan abu yang sangat tinggi, yang didominasi oleh silika (SiO<sub>2</sub>), yang bisa mencapai 15% hingga 25% dari berat kering [21]. Kandungan abu ini yang terdapat tidak menguap selama pirolisis dan sepenuhnya terintegrasi kedalam struktur arang. Dan pirolisis lambat mendorong kondensasi dari sisa-sisa polimer menjadi struktur karbon amorf yang lebih padat dan stabil [15]. Biomassa menghasilkan campuran senyawa dengan rentang molekul yang lebih luas, termasuk molekul berat yang meningkatkan kepadatan [21], sehingga hasil padatan sekam padi bisa lebih besar. Kemudian untuk plastik LDPE menghasilkan produk padatan yang kecil dikarenakan hampir sepenuhnya terurai menjadi cairan dan gas. Hasil padatan (kokas) sangat minim (seringkali < 5%). Padatan plastik ini terbentuk dari reaksi sekunder dan pemecahan hidrokarbon yang berlebihan yang kemudian mengalami

dehidrogenasi dan kondensasi menjadi karbon murni. Padatan ini sering kali berupa lapisan tipis karbon yang memiliki struktur yang sangat amorf, sangat porous, dan ringan [22], sehingga hasil padatan plastik LDPE lebih kecil.

Untuk variable massa jenis produk cairan yang dihasilkan seperti pada gambar 4 terlihat bahwa grafik sekam padi menghasilkan massa jenis yang lebih besar yaitu 0,9845 kg/liter dibandingkan hasil plastik LDPE yang lebih kecil yaitu 0,9621 kg/liter, hal ini dikarenakan pada sekam padi oksigen membentuk berbagai kelompok fungsional seperti asam karboksilat, aldehida, keton, dan fenol, senyawa-senyawa ini cenderung memiliki massa molekul yang relatif tinggi dibandingkan hidrokarbon sederhana [21]. Dan pada asap cair mengandung persentase air yang tinggi (15% - 35%) yang terperangkap. Massa jenis air (1.0 g/cm<sup>3</sup>) jauh lebih tinggi daripada sebagian besar hidrokarbon, sehingga campuran minyak bio secara keseluruhan memiliki massa jenis yang lebih tinggi (biasanya >1.0 g/cm<sup>3</sup>) [23]. Kemudian untuk plastik LDPE, bahwa minyak ini hampir secara eksklusif terdiri dari hidrokarbon alifatik rantai lurus. Senyawa ini hanya memiliki ikatan C-C dan C-H. Molekul-molekul hidrokarbon tersusun secara longgar dan kurang rapat [18]. Massa jenisnya menyerupai fraksi minyak bumi ringan (seperti bensin atau diesel). Minyak plastik pirolisis dari LDPE tidak mengandung air terikat [22].



Gambar 5. Grafik Nilai kalor produk cairan

Pada gambar 5 grafik nilai kalor produk cairan, terlihat bahwa cairan plastik LDPE memiliki hasil nilai kalor yang tinggi yaitu 10648,21 kJ/kg dibandingkan dengan cairan sekam padi nilai kalornya kecil yaitu 7261,34 kJ/kg. hal ini dikarenakan bahwa plastik LDPE merupakan polimer hidrokarbon murni dengan rantai  $(C_2H_4)_n$ , memiliki ikatan C-C dan C-H yang sangat kuat dan kaya energi. Saat terbakar, ikatan ini melepaskan energi panas yang besar saat terjadi pembakaran [24]. Plastik LDPE merupakan hidrokarbon murni (kaya Karbon dan Hidrogen) yang hampir tidak mengandung oksigen dan air [18]. Sementara itu cairan sekam padi memiliki nilai kalor rendah karena didominasi oleh senyawa teroksidasi dan kandungan air yang tinggi, yang secara kimiawi menurunkan potensi energi yang dapat dilepaskan saat pembakaran [21]. Sekam padi merupakan biomassa berlignoselulosa yang secara alami mengandung Oksigen (O) dalam jumlah besar (sekitar 40-50%) [25]. Oksigen bukanlah unsur bahan bakar; keberadaan oksigen dalam molekul justru menurunkan nilai kalor karena oksigen dianggap sebagai "beban" massa yang sudah teroksidasi sebagian. Sekam padi mengandung 15% hingga 35% air yang terikat secara kimiawi [25]. Air memiliki nilai kalor nol dan justru menyerap energi saat penguapan (reaksi endotermik), sehingga menurunkan nilai kalor total secara drastis saat pembakaran. Pirolisis biomassa menghasilkan air sebagai produk sampingan dari reaksi dehidrasi selulosa dan hemiselulosa [14]. Dengan demikian nilai kalor cairan sekam padi kecil.

#### 4. Kesimpulan

Pada Kuantitas Hasil Produk (*Yield*), terdapat Hasil Cairan (Minyak/Asap Cair): Plastik LDPE menghasilkan cairan yang jauh lebih banyak yaitu 49,47% atau 742 ml dibandingkan sekam padi hanya 27,93% atau 419 ml. Hasil Padatan (Arang/Residu): Sekam padi menghasilkan padatan yang dominan yaitu 55% atau 0,825 kg)

sementara itu LDPE hanya menyisakan sedikit residu yaitu 21,07% atau 0,316 kg.

Pada Waktu Proses Pirolisis menunjukkan LDPE lebih cepat dengan waktu 315 menit dibandingkan sekam padi lebih lama yaitu 360 menit. Plastik LDPE membutuhkan suhu pirolisis lebih tinggi yaitu 296°C, sedangkan sekam padi mulai terdekomposisi pada suhu lebih rendah yaitu 268°C. Untuk karakteristik Fisik dan Energi

Cairan sekam padi memiliki massa jenis lebih berat yaitu 0,9835 kg/liter. Sedangkan Cairan LDPE lebih ringan yaitu 0,9621 kg/liter). Nilai Kalor (Kualitas Energi): Cairan plastik LDPE memiliki potensi energi yang jauh lebih unggul yaitu 10.648,21 kJ/kg dibandingkan sekam padi hanya 7.261,34 kJ/kg).

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada kepada Rektor Universitas Muhammadiyah Metro yang telah memberikan bantuan dana penelitian ini, dan Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Muhammadiyah Metro atas bantuan dana penelitian OPR (Operasional Penelitian Rutin) tahun akademik 2025/2026, serta rekan-rekan di jajaran Program studi Teknik Mesin UM.Metro yang telah mambantu, dan tidak lupa Mahasiswa Teknik Mesin yang terlibat dalam penelitian ini. Terima kasih semuanya.

#### Referensi

- [1] Amrina, D. H. (2021). Kajian dampak sampah rumah tangga terhadap lingkungan dan perekonomian bagi masyarakat kecamatan sukrame kota bandar lampung berdasarkan perspektif islam. *Holistic Journal of Management Research*, 6(2), 42-59.
- [2] Hidayat, B., & Prmuga, A. (2024). Technique Of Biochar Production. *Jurnal Agroteknologi*, 12(3), 1-11.

- [3] Purwandari, V., Gultom, E., Harahap, M., Nababan, T. M., Hulu, K., & Zebua, S. (2022). Pemanfaatan Asap Cair Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa Sebagai Bio-Oil. *Jurnal Abdimas Mutiara*, 3(2), 519-523.
- [4] Jahiding, M., Nurfianti, E., Hasan, E. S., & Rizki, R. S. (2020). Analisis Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Kualitas Bahan Bakar Minyak dari Limbah Plastik Polipropilena. *Gravitasi*, 19(1), 6-10.
- [5] Rindiani, N. A., & Agustiani, R. D. (2024). Studi Literatur: Identifikasi Mikroplastik Dan Bakteri Pendegradasi Mikroplastik Diperairan Indonesia. *Jurnal Biosains Medika*, 2(2), 47-55.
- [6] Sidabutar, R. A., Siahaan, E. W., & Sitanggang, H. (2024). Pengaruh Variasi Konsentrasi Metanol Terhadap Karakteristik Bahan Bakar Biogasoline Berbahan Baku Limbah Plastik Hasil Pirolisis. *Jurnal Teknik Mesin*, 17(2), 216-222.
- [7] Ridhuan, K., Winarno, E., & Irawan, D. (2022). Analisa proses pirolisis dengan variasi jumlah tabung pembakaran terhadap Karakteristik hasil bio-oil. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, p-ISSN: 2301-6663, e-ISSN: 2447-250X, Vol.11 No.2.
- [8] Novalia, S. (2019). Analisis Karakteristik Bahan Bakar Cair Hasil Konversi Unit Prototipe Reaktor Pirolisis Sampah Plastik Jenis Polipropilena (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- [9] Ridhuan, K., Mafrudin., Alfi Alrasyd., (2020), Optimasi pembakaran menyeluruh pada reaktor pirolisis dalam menghasilkan bioarang dan asap cair, *Jurnal TURBO* p-ISSN: 2301-6663, e-ISSN: 2447-250X Vol. 9, No. 1,
- [10] Cahyono, M. S., Liestiono, M. R. P., & Widodo, C. (2019). Proses pirolisis sampah plastik dalam rotary drum reactor dengan variasi laju kenaikan suhu. In *Prosiding Seminar Nasional Teknoka* (Vol. 3, No. 2502, p. 63).
- [11] Megaprastio, B., Syamsiro, M., Saputro, M. A., & Rina, F. (2023). Teknologi Pirolisis untuk Konversi Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Minyak: Kajian Literatur. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(2), 229-240.
- [12] Novarini., Kurniawan, sigit., 2021, Bahan bakar Minyak Dari Limbah Kantong Plastik, Penerbit Samudra Biru, Jambi.
- [13] Prakoso, A. Hafizh., Ardhyanta, H. et al, 2021, Review Pengaruh Konsentrasi dan Sifat Permukaan Dikorelasikan dengan Rasio Si/Al Katalis Silika-Alumina dalam Cracking Sampah Plastik Polypropylene untuk Produksi Bahan Bakar Cair, *JURNAL TEKNIK ITS*, Vol. 10, No. 2, ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).
- [14] Mahmud Rusydi Sulhatun, Hasibuan Rosdanelli, 2019, Pyroteknologi 4 in 1 : Prinsip Dasar Teknologi Pirolisis Biomassa, Penerbit Unimal Press, Lhokseumawe Aceh.
- [15] Sri Aulia Novita, Santosa, dkk., 2021, Artikel Review: Parameter Operasional Pirolisis Biomassa, *Agroteknika* 4 (1): Hal.53-67., ISSN: 2685-3450 (Online)
- [16] Masrida, Reni., Kartika, Wahyu., 2025, Potensi Konversi Limbah Organik dengan Metode Pirolisis Menjadi Biochar, Syngas dan Bio-Oil: Tinjauan Literatur Sistematis, *Journal of Engineering Environment Energy and Science*, Vol.4, No.2, June 2025, Hal. 79-88, e-ISSN : 2828-6170
- [17] Rahmayetty, 2023, Pengantar selulosa dan Selulosa Asetat, Penerbit Adab CV. Adanu Abimata Indrawayu.
- [18] Czarnecka-Komorowska, D., Wiszumirska, K., & Garbacz, T.

- (2018). Films LDPE/LLDPE made from post-consumer plastics: processing, structure, mechanical properties. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 12(3).
- [19] Pielichowski, K., Njuguna, J., & Majka, T. M. (2022). *Thermal degradation of polymeric materials*. Elsevier.
- [20] Saha, N. (2021). Behavior of selective oxygen functional groups upon hydrothermal carbonization and pyrolysis of biomass and their roles on selective applications.
- [21] Hossain, S. S., Mathur, L., & Roy, P. K. (2018). Rice husk/rice husk ash as an alternative source of silica in ceramics: A review. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 6(4), 299-313.
- [22] Passamonti, F. J., & Sedran, U. (2012). Recycling of waste plastics into fuels. LDPE conversion in FCC. *Applied Catalysis B: Environmental*, 125, 499-506.
- [23] Jourabchi, S. A. (2015). *Production and physicochemical characterisation of bio-oil from the pyrolysis of Jatropha curcus waste* (Doctoral dissertation, University of Nottingham).
- [24] Karaeva, J., Timofeeva, S., Islamova, S., Slobozhaninova, M., Oleynikova, E., & Sidorkina, O. (2025). High-Value Utilization of Amaranth Residue and Waste LDPE by Co-Pyrolysis. *Molecules*, 30(17), 3471.
- [25] Kwofie, E. M. (2016). *Improving energy supply and use in the rice value chain using rice husk energy systems*. McGill University (Canada).