

# NOZEL

## Jurnal Pendidikan Teknik Mesin

Jurnal Homepage: <https://jurnal.uns.ac.id/nozel>



### PIROLISIS CAMPURAN BIOMASSA LIMBAH SEKAM PADI DAN LIMBAH PLASTIK *LOW DENSITY POLYETHYLENE* MENGGUNAKAN KOMPOR BIOMASSA

Muhammad Rifqi Koes Setyawira<sup>1\*</sup>, Dinar Susilo Wijayanto<sup>1</sup>, Ngatou Rohman<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pendidikan Teknik Mesin, FKIP, Universitas Sebelas Maret Surakarta  
Kampus V FKIP UNS, Jl. Ahmad Yani 200, Surakarta  
Email : [rifqikoes9930@student.uns.ac.id](mailto:rifqikoes9930@student.uns.ac.id)

#### Abstract

*The demand for fuel oil is increasing day by day, resulting in the depletion of oil and gas reserves in Indonesia. Rice husk waste biomass and low-density polyethylene plastic are wastes that can be utilized as alternative fuel sources by pyrolysis method. Pyrolysis is the process of burning organic and synthetic materials in conditions of little or no oxygen by utilizing heat from high temperature combustion. Pyrolysis method processing requires a heater to burn the material during the process. Efforts that can be made are the use of biomass stoves as the right solution because of the availability of abundant and cheap raw materials, biomass stoves can also provide solutions to reduce the impact of environmental pollution smoke. The purpose of this study was to determine the temperature produced by the biomass stove and the effect of the comparison of the composition of the biomass mixture of rice husk waste and low density polyethylene plastic waste on the quantity of pyrolysis oil. This research uses experimental method with quantitative descriptive analysis technique. This research was conducted by pyrolyzing a mixture of rice husk biomass waste and low density polyethylene plastic waste with variations in composition ratio of 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, and 100%:0%. The pyrolyzed oil was then filtered and tested for quantity. The test results show that the biomass stove can be used as a heater in a pyrolysis device with a capacity of 4 kg of coconut shell briquettes. The use of coconut shell briquettes as fuel has the advantage of being able to produce higher heat and last longer than charcoal. The biomass stove can produce the highest pyrolysis temperature reaching 665.5°C at the bottom, 541°C in the middle, and 430.3°C at the top. There is an effect of variation in the composition of the mixture of rice husk waste and low-density polyethylene plastic waste on the quantity of pyrolysis oil. The composition of more rice husk waste compared to low density polyethylene plastic waste produces less quantity of pyrolysis oil, while the comparison of the composition of more low density polyethylene plastic waste compared to rice husk waste produces pyrolysis oil with more quantity. This can be seen from the quantity of pyrolysis oil produced ranging from 265 ml to 853.3 ml.*

**Keywords:** *pyrolysis, biomass, biomass stove, alternative energy, rice husk waste, low density polyethylene plastic waste*

## A. PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) yang berasal dari fosil semakin hari semakin meningkat, hal tersebut menimbulkan semakin menipisnya cadangan minyak dan gas bumi di Indonesia (Nurulita et al., 2021). Berdasarkan Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2020-2024, cadangan energi fosil yang dimiliki sangat terbatas, dengan cadangan minyak bumi sebesar 3,8 miliar barel pada tahun 2019 dan diperkirakan habis dalam waktu 9 tahun, sedangkan untuk gas bumi memiliki cadangan sebesar 77,29 *standard cubic feet* (TSCF) dan diperkirakan habis dalam 18,8 tahun ke depan.

Penggunaan BBM secara terus menerus akan menimbulkan permasalahan karena sifatnya yang tidak dapat diperbaharui (Wibowo, 2015). Dengan menipisnya bahan bakar fosil, banyak riset yang dicoba untuk memanfaatkan energi alternatif yang terbarukan salah satunya merupakan pemanfaatan biomassa menjadi bahan bakar (Wijayanti et al., 2020).

Biomassa merupakan suatu limbah benda padat yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar. Kelebihan

biomassa yaitu menjadi sumber energi yang bisa dimanfaatkan secara terus-menerus dikarenakan dapat diperbaharui (*renewable resource*) (Saparudin et al., 2015). Sekam padi merupakan salah satu biomassa yang bisa dimanfaatkan menjadi bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil dan juga dapat dikembangkan menjadi produk ramah lingkungan lainnya (Gobel & Arief, 2022).

Selain limbah biomassa, sampah plastik juga menjadi permasalahan dikarenakan pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh menumpuknya sampah terutama sampah plastik yang berasal dari kegiatan manusia dalam kehidupan sehari-hari (Anggara et al., 2022). Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) adalah salah satu jenis plastik sintetik yang tidak bisa terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga sering menimbulkan masalah lingkungan (Bow et al., 2018).

Pirolisis merupakan salah satu cara untuk menyelesaikan permasalahan sampah yang terus bertambah jumlahnya dan tidak bisa terurai di lingkungan (Rahmadanty, 2022). Pirolisis merupakan proses pembakaran bahan organik maupun sintetis dalam kondisi sedikit atau tanpa oksigen dengan memanfaatkan panas dari

pembakaran bertemperatur tinggi (Kurniawan et al., 2021).

Pengolahan metode pirolisis memerlukan pemanas sebagai pembakaran bahan pada saat proses berlangsung. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah penggunaan kompor biomassa sebagai solusi yang tepat karena ketersediaan bahan baku yang melimpah dan murah, kompor biomassa juga dapat memberikan solusi untuk mengurangi dampak asap polusi lingkungan (Kamba & Djafar, 2019).

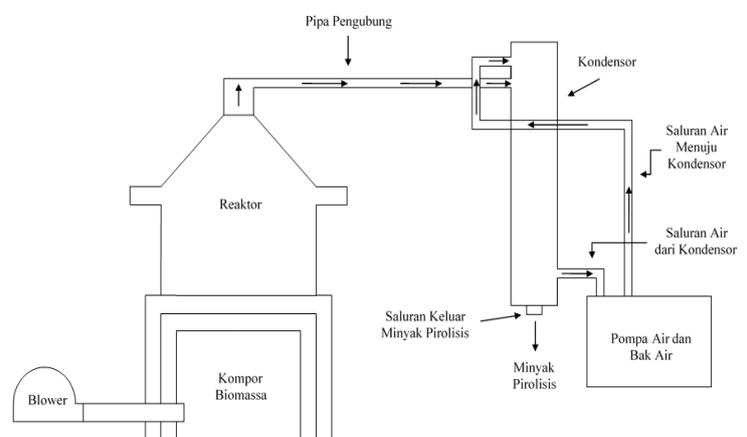
Uraian tersebut menjadi dasar untuk melakukan penelitian mengenai pirolisis campuran biomassa limbah sekam padi dan plastik LDPE menggunakan kompor biomassa.

## B. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Sampel penelitian ini adalah performa suhu kompor biomassa dan uji kuantitas minyak hasil pirolisis campuran plastik LDPE dan limbah sekam padi dengan variasi rasio komposisi 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, dan 100%:0%. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah pengukuran dan pengamatan. Penelitian ini menggunakan teknik analisis deskriptif kuantitatif.

## 1. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menghasilkan minyak hasil pirolisis dengan bahan plastik LDPE dan limbah sekam padi menggunakan alat pirolisis. Proses pirolisis penelitian ini berlangsung selama 60 menit dengan massa total bahan sebesar 800 gram. Limbah sekam padi dan plastik LDPE dicampur dengan variasi rasio komposisi 100% limbah sekam padi : 0% limbah plastik LDPE, 75% limbah sekam padi : 25% limbah plastik LDPE, 50% limbah sekam padi : 50% limbah plastik LDPE, 25% limbah sekam padi : 75% limbah plastik LDPE, dan 0% limbah sekam padi : 100% limbah plastik LDPE.



Gambar 1. Skema Pirolisis

Proses ini dimulai dengan pemanasan plastik LDPE dan limbah sekam padi pada reaktor dengan

menggunakan kompor biomassa yang berbahan bakar briket tempurung kelapa. Selama proses berlangsung terjadi dekomposisi termal di dalam reaktor yang mengakibatkan terjadinya perubahan wujud padat menjadi gas. Gas yang dihasilkan kemudian bergerak mengalir melewati pipa penghubung menuju ke kondensor. Gas yang berada di dalam kondensor akan mengalami pendinginan dan mengakibatkan terjadinya peristiwa pengembunan, yang mengubah zat gas menjadi zat cair. Pendinginan dalam kondensor berasal dari air yang disirkulasi secara terus menerus di dalam kondensor dengan menggunakan pompa air. Cairan yang keluar dari kondensor inilah yang merupakan minyak hasil pirolisis. Selain minyak, proses pirolisis juga menghasilkan cairan yang lebih kental yang disebut tar. Tar memiliki tekstur yang lebih kental, berwarna kehitaman, dan sulit mengalir. Setelah proses pirolisis selesai diperlukan adanya penyaringan guna memisahkan minyak hasil pirolisis dengan tar.

## **2. Alat Penelitian**

### **a. Alat Pirolisis**

Alat pirolisis adalah alat yang digunakan untuk mengolah limbah

plastik yang sebelumnya sudah dibentuk ke RDF-3 menjadi minyak hasil pirolisis. Alat pirolisis terdiri menjadi beberapa bagian antara lain:

#### **1) Reaktor Pirolisis**

Reaktor pirolisis merupakan alat utama dalam proses pirolisis yang dimana bahan baku diubah menjadi minyak, dengan cara pemanasan tanpa adanya oksigen. Material yang digunakan pada reaktor ini adalah besi, dengan tinggi 200 mm dan ukuran diameter sebesar 180 mm.

#### **2) Kondensor**

Kondensor merupakan bagian pirolisis yang berfungsi sebagai tempat terjadinya proses perubahan fasa dari gas menjadi cair (Octavian et al., 2022). Kondensor ini memiliki ukuran diameter sebesar 150 mm dan tinggi 800 mm.

#### **3) Pipa Penghubung**

Pipa penghubung berfungsi sebagai penghubung antara reaktor dengan kondensor yang menjadi jalur lewat gas hasil pirolisis yang kemudian akan dikondensasikan menjadi cairan.

Material yang digunakan adalah *galvalum* dengan ukuran diameter 32 mm, tebal 1 mm, dan panjang 600 mm.

4) Termokopel

Termokopel adalah alat yang berfungsi sebagai pengukur suhu pada reaktor ketika proses pirolisis berlangsung. Termokopel yang digunakan berbasis *Arduino* dengan sensor suhu termokopel tipe K yang mempunyai rentang suhu 0 °C s.d. 1260 °C.

b. Kompor Biomassa

Kompor biomassa merupakan kompor alternatif yang digunakan pada proses pirolisis sebagai pengganti kompor gas LPG. Kompor biomassa memiliki fungsi sebagai pembakar reaktor pirolisis yang menggunakan bahan bakar dari briket tempurung kelapa dengan kapasitas 4 kg briket tempurung kelapa.

c. Blower

Blower merupakan alat yang berfungsi mengeluarkan angin untuk menyalakan api dalam kompor biomassa. Blower dihubungkan dengan pipa ke kompor biomassa agar angin dapat

masuk ke kompor kemudian memperbesar nyala api. Blower memiliki kecepatan 3000 s.d. 3600 *rpm*.

d. Pompa Air

Pompa air berfungsi sebagai pemompa air untuk sirkulasi dalam kondensor pirolisis. Pompa air ini memiliki kapasitas maksimal 19 l/menit dan daya hisap maksimal 9 meter.

e. Bak Air

Bak air memiliki fungsi sebagai tempat penampungan air untuk sirkulasi didalam kondensor. Bak air dapat menampung sebesar 82 liter dan dimensi bak air adalah 64 x 47 x 40 cm.

f. Timbangan Digital

Timbangan digital berfungsi untuk menimbang massa limbah plastik LDPE. Timbangan digital memiliki kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,001 kg.

g. *Stopwatch*

*Stopwatch* berfungsi untuk menghitung waktu pembakaran saat proses pirolisis berlangsung. *Stopwatch* mempunyai ketelitian sebesar 0,01 s.

h. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume minyak hasil pirolisis. Kapasitas gelas ukur adalah 1 liter dengan ketelitian 10 ml.

i. *Flowmeter*

*Flowmeter* merupakan sensor untuk menghitung aliran debit air yang masuk pada kondensor. Alat ini dipasang pada saluran pipa masuk kondensor. *Flow sensor* yang digunakan berjenis FS300A G3/4 dengan interval debit air 1 l/m s.d. 60 l/m.

### 3. Bahan Penelitian

a. Limbah Sekam Padi

Limbah sekam padi adalah limbah biomassa dari sisa hasil padi sebagai bahan baku pembuatan minyak pirolisis.

b. Limbah Plastik LDPE

Limbah plastik LDPE merupakan bahan untuk pembuatan minyak pirolisis. Limbah plastik ini dicacah hingga berukuran 2 mesh.

c. Briket Tempurung Kelapa

Briket tempurung kelapa merupakan bahan bakar utama kompor biomassa. Briket ini berbahan dasar tempurung kelapa yang memiliki bentuk

kotak dengan ukuran 4x4 cm dan bentuk segienam dengan ukuran 5x10 cm. Briket tempurung kelapa dapat menyala selama 2 jam.

## C. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Kompor Biomassa

Proses pirolisis pada penelitian ini menggunakan kompor biomassa sebagai pemanas reaktor pirolisis dan juga sebagai pengganti kompor LPG. Kompor biomassa menggunakan bahan bakar briket tempurung kelapa, dengan kapasitas kompor sebesar 4 kg briket tempurung kelapa. Briket tempurung kelapa yang digunakan memiliki bentuk kotak dan segienam dengan ukuran 4x4 cm dan 5x10 cm. Penggunaan briket tempurung kelapa ini dilakukan dengan tujuan karena briket tempurung kelapa mempunyai kelebihan yaitu dapat menghasilkan panas yang lebih tinggi dan tahan lama daripada arang biasa (Hanandito & Willy, 2011).

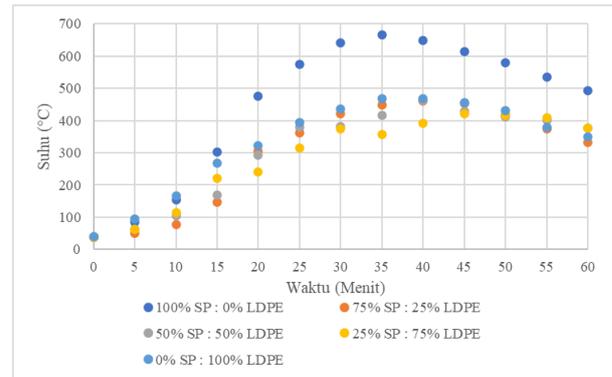


Gambar 2. Kompor Biomassa

Pengoperasian kompor biomassa memerlukan waktu dikarenakan perlunya penyalaan api pada briket tempurung kelapa. Briket perlu dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *torch* api sampai briket terbakar, serta perlu adanya dorongan angin dari blower agar proses pemanasan briket lebih cepat. Penggunaan kompor biomassa perlu adanya dorongan angin secara terus menerus menggunakan blower agar api yang dihasilkan briket menjadi lebih besar. Kompor biomassa memiliki suara bising ketika digunakan, hal itu dikarenakan suara dari blower yang dihidupkan, akan tetapi penggunaan kompor biomassa tidak menghasilkan asap sama sekali sehingga tidak mencemari lingkungan.

## 2. Suhu Pirolisis

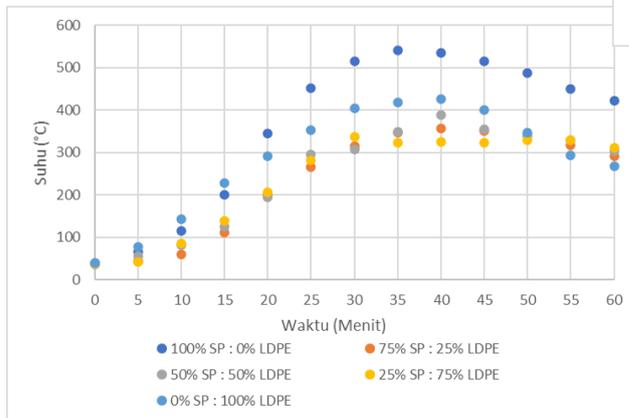
Pada proses pirolisis penelitian ini terdapat tiga bagian titik suhu yang diukur yaitu  $T_1$ ,  $T_2$ , dan  $T_3$ .



Gambar 3. Grafik Suhu pada  $T_1$

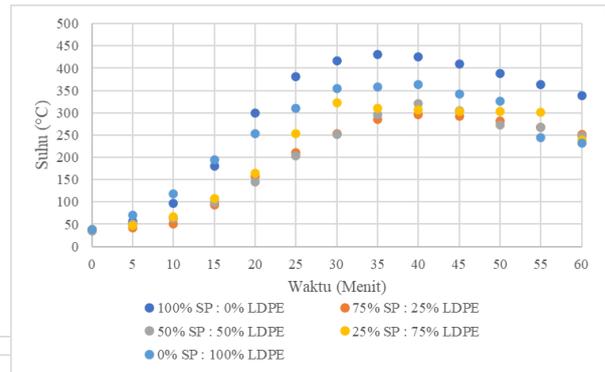
Sensor suhu  $T_1$  merupakan sensor yang terletak dibagian paling bawah dinding tabung reaktor. Sensor suhu  $T_1$  ini berada di bagian yang paling dekat dengan kompor biomassa saat proses pirolisis berlangsung sehingga suhu yang dihasilkan dari sensor ini paling tinggi diantara sensor  $T_2$  dan  $T_3$ . Pada gambar 3 menunjukkan suhu tertinggi yang dapat dicapai pada setiap variasi rasio komposisi campuran biomassa limbah sekam padi dan plastik LDPE. Rasio komposisi 100% limbah sekam padi dan 0% limbah plastik LDPE mencapai suhu tertinggi sebesar  $665,5^{\circ}\text{C}$ . Rasio komposisi 75% limbah sekam padi dan 25% limbah plastik LDPE mencapai suhu tertinggi sebesar  $461,8^{\circ}\text{C}$ . Rasio komposisi 50% limbah sekam padi dan 50% limbah plastik LDPE mencapai suhu tertinggi sebesar  $463^{\circ}\text{C}$ . Rasio komposisi 25% limbah sekam padi

dan 75% limbah plastik LDPE mencapai suhu tertinggi sebesar 421,8°C. Rasio komposisi 0% limbah sekam padi dan 100% limbah plastik LDPE mencapai suhu tertinggi sebesar 467,3°C.



Gambar 4. Grafik Suhu pada T<sub>2</sub>

Sensor suhu T<sub>2</sub> merupakan sensor suhu yang terletak pada bagian tengah tabung reaktor. Gambar 4 menunjukkan suhu tertinggi sensor T<sub>2</sub> yang dicapai setiap variasi rasio komposisi campuran biomassa limbah sekam padi dan limbah plastik LDPE adalah 541°C pada rasio 100%:0%, 357,8°C pada rasio 75%:25%, 389°C pada rasio 50%:50%, 337,5°C pada rasio 25%:75%, dan 425,5°C pada rasio 0%:100%.



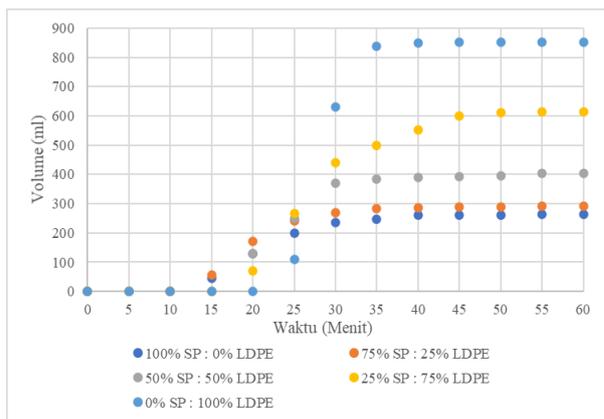
Gambar 5. Grafik Suhu pada T<sub>3</sub>

Sensor suhu T<sub>3</sub> merupakan sensor suhu yang terletak pada bagian atas tabung reaktor. Gambar 5 menunjukkan suhu tertinggi sensor T<sub>3</sub> yang dicapai setiap variasi rasio komposisi campuran biomassa limbah sekam padi dan limbah plastik LDPE adalah 430,3°C pada rasio 100%:0%, 295,3°C pada rasio 75%:25%, 321°C pada rasio 50%:50%, 323°C pada rasio 25%:75%, dan 363°C pada rasio 0%:100%.

Suhu tertinggi yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 665,5°C pada T<sub>1</sub>, 541°C pada T<sub>2</sub>, dan 430,3°C pada T<sub>3</sub>. Suhu yang dihasilkan kompor biomassa tersebut tergolong tinggi sehingga dapat digunakan sebagai pemanas pada alat pirolisis.

### 3. Kuantitas Minyak Hasil Pirolisis

Setelah penelitian ini dilakukan diperoleh hasil data penelitian yang dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik Kuantitas Minyak Hasil Pirolisis

Kuantitas minyak hasil pirolisis dipengaruhi oleh jenis bahan baku, jumlah bahan baku dan temperatur pemanasan yang dicapai saat proses pirolisis (Octavian et al., 2022). Kuantitas minyak hasil pirolisis yang dihasilkan dari variasi rasio komposisi campuran biomassa limbah sekam padi dan limbah plastik LDPE setelah dilakukan proses pirolisis selama 60 menit menunjukkan bahwa kuantitas minyak yang dihasilkan berkisar 265 s.d. 853,3 ml. Kuantitas minyak hasil pirolisis pada gambar 6 menunjukkan bahwa minyak yang dihasilkan mengalami laju pertambahan yang tinggi ketika memasuki menit 20 s.d. 50.

Minyak hasil pirolisis campuran limbah sekam padi dan plastik LDPE tertinggi dihasilkan pada rasio komposisi 0%:100% sebesar 853,3 ml dengan suhu tertinggi 467,3°C. Hasil

penelitian ini lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kurniawan et al., (2021) bahwa hasil minyak pirolisis plastik LDPE seberat 1 kg selama 60 menit menghasilkan minyak berkisar antara 390 s.d. 410 ml dengan suhu 300°C. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Nugroho (2020) yang mengemukakan bahwa semakin meningkatnya suhu proses pirolisis, maka mengakibatkan semakin banyak minyak pirolisis yang dihasilkan, dimana pada penelitian ini minyak hasil pirolisis terbanyak dihasilkan pada rasio komposisi 100% limbah plastik LDPE sebesar 853,3 ml yang mencapai suhu tertinggi 467,3°C .

Pada gambar 6 rasio komposisi limbah plastik LDPE yang lebih banyak daripada limbah sekam padi menghasilkan kuantitas minyak yang cenderung meningkat, sedangkan rasio komposisi limbah sekam padi yang lebih banyak daripada limbah plastik LDPE mengakibatkan kuantitas minyak hasil pirolisis cenderung menurun. Hal tersebut disebabkan karena meningkatnya jumlah tar dan char yang dihasilkan pada proses pirolisis. Semakin sedikit char yang dihasilkan

pada proses pirolisis mengakibatkan semakin banyak minyak hasil pirolisis yang didapatkan (Fatimura, 2020).

## D. PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kompor biomassa dapat digunakan sebagai pemanas pada alat pirolisis dengan kapasitas sebesar 4 kg briket tempurung kelapa. Penggunaan briket tempurung kelapa sebagai bahan bakar memiliki kelebihan yaitu dapat menghasilkan panas yang lebih tinggi dan tahan lama daripada arang biasa. Kompor biomassa dapat menghasilkan suhu tertinggi sebesar 665,5°C pada T<sub>1</sub>, 541°C pada T<sub>2</sub>, dan 430,3°C pada T<sub>3</sub> selama 60 menit saat proses pirolisis berlangsung. Rasio komposisi campuran biomassa limbah sekam padi dan limbah plastik LDPE mempunyai pengaruh terhadap kuantitas minyak hasil pirolisis. Semakin banyak rasio komposisi plastik LDPE, maka semakin banyak juga minyak hasil pirolisis yang dihasilkan, begitu juga sebaliknya. Pirolisis limbah plastik LDPE dan limbah sekam padi menghasilkan minyak hasil yang berkisar 265 s.d. 853,3 ml. Hal ini disebabkan oleh kuantitas minyak hasil pirolisis dipengaruhi oleh jenis bahan baku,

jumlah bahan baku dan temperatur pemanasan yang dicapai saat proses pirolisis.

### Saran

Pada penelitian selanjutnya mengenai pembuatan minyak dari proses pirolisis, diharapkan perlu adanya rekonstruksi ulang kompor biomassa dengan bahan yang lebih kuat dan tebal sehingga dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama, serta pendingin yang dapat membuat kinerja kondensor lebih maksimal agar pada saat proses pirolisis berlangsung tidak ada uap yang keluar secara bebas dan dapat terkondensasi semuanya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, M., Mesa, A. P., & Mbulu, B. C. P. (2022). Analisis Properti Bahan Bakar Minyak dari Plastik LDPE (Low Density Polyethylene) dan PET (Polyethylene Terephthalate) menggunakan Proses Pirolisis. *JETM: Jurnal Energi Dan Teknologi Manufaktur*, 5(02), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.33795/jetm.v5i02.138>
- Bow, Y., Lestari, S. P., Sihombing, S. R., Kharissa, S. A., & Salam, Y. A. (2018). Pengolahan Sampah Low Density Polyethylene (LDPE) dan Polypropylene (PP) Menjadi Bahan Bakar Cair Alternatif menggunakan Prototipe Pirolisis. *Jurnal Kinetika*, 9(03), 1–6. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>

- Fatimura, M. (2020). Evaluasi Kinerja Reaktor Pirolisis Non Katalis Dalam Mengkonversikan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.32493/jitk.v4i1.3725>
- Gobel, A. P., & Arief, A. T. (2022). Teknologi Pirolisis Pembuatan Asap Cair dari Sekam Padi. *Prima Abdika: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(4), 427–434. <https://doi.org/10.37478/abdika.v2i4.2201>
- Hanandito, L., & Willy, S. (2011). Pembuatan Briket Arang Tempurung Kelapa dari Sisa Bahan Bakar Pengasapan Ikan Kelurahan Bandarharjo Semarang. *Teknik Kimia*, 2(1), 1–9. [http://eprints.undip.ac.id/36696/1/3.Artikel\\_Il ilmiah.pdf](http://eprints.undip.ac.id/36696/1/3.Artikel_Il ilmiah.pdf)
- Kamba, M., & Djafar, R. (2019). Kompor Biomassa Sistem Batch menggunakan Bahan Bakar Sekam Padi. *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo (JTPG)*, 4(1), 15–25. <https://doi.org/10.30869/jtpg.v4i1.339>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). *Rencana Strategis DITJEN MIGAS 2020 - 2024*. <https://migas.esdm.go.id/uploads/informasi-publik/laporan-kierja/rev-1---rencana-strategis-2020-2024.pdf>
- Kurniawan, A., Basuki, & Irfai, M. A. (2021). Analisis jumlah volume bahan bakar yang dihasilkan pada alat pirolisis sampah plastik tipe LDPE. *ARMATUR*, 2(1), 1–6. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24127/armatur.v2i1.338>
- Nugroho, A. S. (2020). Pengolahan Limbah Plastik LDPE dan PP untuk Bahan Bakar dengan Cara Pirolisis. *Jurnal Litbang Sukowati: Media Penelitian Dan Pengembangan*, 4(1), 91–100. <https://doi.org/10.32630/sukowati.v4i1.166>
- Nurulita, B., Daulay, S. H., Saputra, A., Gunawan, F. A., Rizka, V., Sutrisno, J., & Silitonga, A. S. (2021). Design of Conversion Tools of Plastic Waste and Coconut Coconuts to be Alternative Fuel using Pirolisis Method. *SINERGI: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Polmed*, 2(2), 28–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v2i2.22>
- Octavian, I., Wijayanto, D. S., & Saputra, T. W. (2022). Analisis Minyak Hasil Pirolisis Biomassa Limbah Aren dan Limbah Plastik Polypropylene terhadap Kuantitas Minyak Hasil Pirolisis. *Jurnal Momentum*, 18(2), 144–150. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.36499/jim.v18i2.7026>
- Rahmadanty, N. (2022). *Pirolisis Sampah Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE) menggunakan Katalis Pasir Merapi sebagai Alternatif Bahan Bakar Minyak (BBM)* [Universitas Islam Indonesia]. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/41527>
- Saparudin, Syahrul, & Nurcahyati. (2015). Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis terhadap Kadar Hasil dan Nilai Kalor Briket Campuran Sekam Padi-Kotoran Ayam. *Dinamika Teknik Mesin*, 5(1), 16–24. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.29303/d.v5i1.46>
- Wibowo, S. (2015). Karakteristik Bio-Oil dari Limbah Industri Hasil Hutan menggunakan Pirolisis Cepat (Characteristics of Bio-oil of Forest Products Waste by Fast Pyrolysis Made Process). *JURNAL Penelitian Hasil Hutan*, 34(1), 61–76.

<https://doi.org/https://doi.org/10.20886/jpjh.2016.34.1.61-76>

Wijayanti, H., Ratnasari, D., & Hakim, R. (2020). Studi Kinetika Pirolisis Sekam Padi untuk Menghasilkan Bio-oil sebagai Energi Alternatif. *Buletin Profesi Insinyur*, 3(2), 83–88. <https://doi.org/10.20527/bpi.v3i2.67>