

Pirolisis Biomassa Limbah Kayu Mahoni dan Plastik Polypropylene

Diya Zalfa Aisyah Safitri^{1*}, Danar Susilo Wijayanto², Taufik Wisnu Saputra³



^{1,2,3}Pendidikan Teknik Mesin, FKIP, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received August 31, 2022

Revised September 03, 2022

Accepted January 14, 2023

Available online April 25, 2023

Kata Kunci:

Biomassa, limbah gergaji kayu mahoni, limbah plastik polypropylene (PP), pirolisis, energi alternatif terbarukan.

Keywords:

Biomass, sawdust mahogany, polypropylene plastic waste, renewable alternative energy.



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Kebutuhan bahan bakar yang meningkat seiring meningkatnya jumlah penduduk serta kemajuan industri, sementara cadangan bahan bakar fosil terus berkurang. Masyarakat juga dihadapkan oleh permasalahan meningkatnya jumlah sampah, baik dalam bentuk organik maupun anorganik. Dalam hal ini limbah kayu mahoni dan limbah plastik polypropylene yang masih jarang dimanfaatkan oleh masyarakat dapat menjadi solusi untuk dijadikan bahan bakar alternatif diolah dengan proses pirolisis. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi rasio komposisi limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik polypropylene terhadap kuantitas minyak hasil pirolisis. Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan proses pirolisis terhadap campuran biomassa limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik polypropylene dengan rasio komposisi 100%:0%, 75%:25%, 50%:50%, 25%:75%, dan 0%:100% selama 90 menit selanjutnya dilakukan pengujian minyak pirolisis meliputi uji kuantitasnya. Terdapat adanya pengaruh variasi rasio komposisi campuran biomassa serbuk gergaji kayu mahoni dan limbah plastik polypropylene terhadap kuantitas minyak hasil pirolisis. Kuantitas terbanyak dihasilkan oleh campuran 100% limbah plastik polypropylene karena kuantitas minyak hasil pirolisis dipengaruhi oleh jenis bahan baku, jumlah bahan baku, dan temperatur pemanasan yang dicapai saat proses pirolisis.

ABSTRACT

Fuel requirement increased along with the increased of population also industrial progress, meanwhile the alternative fuel always decreasing. People also faced by the problem of increasing amount of waste, either its organic or anorganic. In this case mahogany waste and polypropylene plastic waste which still rarely used by people can be a solution to make an alternative fuel processed by pyrolysis process. The purpose of this study is to find out about the effect of composition ratio variation of mahogany waste and polypropylene plastic waste to oil quantity of pyrolysis test. This study conducted with pyrolysis process to mixed biomass sawdust mahogany and polypropylene plastic waste with the 100%-0%, 75%:25%, 50%:50%, 25%:25%, and 0%:100% ratio for 90 minutes, next are do pyrolysis oil test which was quantity test, there is an influence of variety mixed biomass sawdust mahogany and polypropylene plastic waste ratio to quantity of pyrolysis oil. The most quantity are produced by 100% of mixed plastic polypropylene waste because of the pyrolysis result of quantity oil be affected by type of material, amount of material, and heating temperature achieved when pyrolysis process.

1. PENDAHULUAN

Saat ini kebutuhan bahan bakar sebagai sumber energi di Indonesia tiap tahunnya tercatat semakin tinggi seiring meningkatnya jumlah penduduk serta kemajuan industri (Nurwidayati, Sulastri, Ardiyati, & Aktawan, 2019; Qiram, Widhiyanuriyawan, & Wijayanti, 2015). Menipisnya cadangan bahan bakar, maka perlu adanya pengembangan sumber energi alternatif yang dapat diperbarui, (Wibowo, Efiyanti, & Pari, 2017) ramah lingkungan, serta tidak membahayakan kehidupan seperti biomassa (Sugiharto & Firdaus, 2021). Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang memanfaatkan tumbuhan yang dihasilkan dalam proses fotosintesis (Ridhuan, Irawan, & Inthifawzi, 2019; Zakariya, Arif, & Rosadi, 2020). Biomassa kayu tersedia melimpah, dapat diperoleh dari residu kayu, limbah industri, limbah kehutanan, pertanian, serta limbah kota (Rizal et al., 2020; Suriapparao & Tejasvi, 2022). Kayu mahoni adalah salah satu bahan baku biomassa dimana pada pemanfaatannya masih belum optimal serta tidak jarang masih menjadi limbah yang menumpuk seiring dengan pesatnya perkembangan industri mebel atau furnitur. Limbah gergaji kayu mahoni yang memiliki komponen struktural selulosa 47,26%, hemiselulosa 27,37 %, holoselulosa 74,63 % dan lignin 25,82 % salah satu biomassa yang berasal dari limbah kayu pada industri (Saleh & Nur, 2018). Selulosa merupakan komponen gergaji kayu mahoni yang

*Corresponding author.

E-mail addresses: dhijajalpa@student.uns.ac.id (Diya Zalfa Aisyah Safitri)

akan terurai pada suhu 250°C s/d 35°C. Hemiselulosa terurai pada suhu pirolisis 200°C s/d 280°C. Sedangkan lignin akan terurai pada suhu 280°C s/d 500°C (Fajar, 2018). Seiring meningkatnya jumlah penduduk di Indonesia, hal ini meningkatkan penggunaan produk plastik. Berdasarkan data yang dikemukakan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), pada tahun 2020 Indonesia menghasilkan 67,8 juta ton sampah, di mana 17% nya merupakan sampah plastik (Katadata, 2021). Limbah *polypropylene* (PP) salah satu sampah yang menempati peringkat teratas berdasarkan jumlahnya. Hal ini dikarenakan sifat dari PP yang kuat, ringan serta tahan terhadap temperatur tinggi (Azis & Rante, 2021; Mardika, 2018). *Polypropylene* (PP) merupakan jenis polimer berbasis petrokimia yang paling umum digunakan untuk bahan kemasan makanan (Kirchkeszner et al., 2022; Mardika, 2018). Banyaknya limbah plastik bisa mengakibatkan efek tidak baik bagi lingkungan apabila tidak diolah dan dikelola dengan baik (Cheng et al., 2022; Evode, Qamar, Bilal, Barceló, & Iqbal, 2021; Nasrun, Kurniawan, & Sari, 2016). Oleh karena itu, mendaur ulang sampah plastik merupakan satu-satunya cara untuk mengurangi jumlah sampah plastik, perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut, yaitu dengan mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif (Dewi, 2014; Indrayani, Sadiana, Novianto, & Syahputra, 2021).

Plastik yang saat ini digunakan oleh masyarakat adalah polimer sintetik yang berasal dari minyak bumi, yang unsur penyusun utamanya ialah karbon dan hidrogen (Anom & Lombok, 2020). Limbah plastik dapat menghasilkan hidrokarbon yang mana merupakan bahan dasar kimia dan energi jika melalui pengolahan dengan cara yang tepat. Oleh karena itu, plastik memiliki kandungan energi yang tinggi sebagai bahan bakar seperti bensin, solar, dan minyak tanah (Jahirul et al., 2022). Teknologi konversi terbaik untuk mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar cair adalah pirolisis (Bhoi & Rahman, 2022; Kasar, Sharma, & Ahmaruzzaman, 2020). Pirolisis sampah plastik adalah suatu proses dekomposisi senyawa organik yang ada pada plastik dengan proses pemanasan menggunakan sedikit atau tanpa melibatkan oksigen, di mana plastik mengalami pemecahan struktur kimia dan diharapkan plastik dapat diubah menjadi senyawa hidrokarbon menjadi bahan bakar minyak (Ridhuan et al., 2019; Wajdi, Sapiruddin, Novianti, & Zahara, 2020). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Riupassa & Baharuddin, 2018) melalui proses pirolisis, limbah plastik PP mampu dimanfaatkan menjadi bahan bakar alternatif yang menghasilkan efisiensi sebesar 91,566 % dan nilai densitas minyak sebesar 678,25 kg/m³.

Baru-baru ini banyak penelitian yang dilakukan untuk mengurangi limbah plastik dan limbah biomassa dengan cara pirolisis. Beberapa peneliti mengungkapkan bahwa, pencampuran limbah plastik dan limbah biomassa pada proses pirolisis dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas minyak yang dihasilkan. Dalam penelitiannya Dong et al. (2022) mengungkapkan pirolisis biomassa menghasilkan kualitas minyak yang buruk, karena biomassa memiliki kandungan hidrogen yang rendah (Vo et al., 2022) dan oksigen yang tinggi. Rasio campuran biomassa dan plastik juga mempengaruhi kuantitas dan kualitas minyak yang dihasilkan (Suriapparao & Tejasvi, 2022; Zhao et al., 2021). Berdasarkan pemaparan diatas sangat penting untuk mengurangi jumlah sampah plastik dan biomassa. Salah satunya dengan mendaur ulang limbah. Studi ini berfokus dengan minyak hasil pirolisis RDF-4 menggunakan campuran biomassa limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP. Hal tersebut dilakukan karena komponen utama dari limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP yang sangat cocok untuk dibuat bahan bakar alternatif. Pemilihan limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP sebagai bahan campuran karena jumlah yang melimpah akan tetapi belum dimanfaatkan secara optimal dan belum ditemukan di penelitian sebelumnya. Tujuan utama dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi rasio komposisi limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP terhadap kuantitas minyak hasil pirolisis.

2. METODE

Limbah gergaji kayu mahoni adalah serbuk hasil pengerjaan kayu mahoni untuk keperluan industri. Serbuk gergaji kayu mahoni digunakan untuk bahan campuran RDF. Ukuran yang digunakan 10 mesh. Limbah plastik PP yang akan digunakan sebagai campuran yang sebelumnya dicacah terlebih dahulu dengan ukuran 1 cm, lalu digunakan sebagai bahan pembuatan minyak hasil pirolisis. Alat pirolisis digunakan untuk mengolah RDF-4 campuran biomassa limbah gergaji kayu mahoni dan plastik PP menghasilkan minyak hasil pirolisis. Tabung reaktor berfungsi sebagai tempat pemanas dan pengurai limbah biomassa dan plastik. Tabung reaktor memiliki diameter 250 mm dan tinggi 200 mm. Bahan tabung reaktor adalah stainless steel. Kondensor berfungsi untuk menurunkan temperatur gas hasil pembakaran di dalam tabung reaksi, sehingga terjadi perubahan fasa dari gas menjadi cair. Ukuran kondensor adalah diameter 150 mm dan tinggi 800 mm. Pipa penghubung, pipa ini menghubungkan tabung reaktor dengan kondensor. Pipa penghubung terbuat dari *galvalume* dengan diameter 32 mm, tebal 1 mm, dan panjang 600 mm. Pipa kondensor, pipa ini memanjang dan memiliki tiga cabang. Diameter pipa saluran masuk dan keluar adalah 19 mm, dan diameter cabang adalah 12,6 mm. Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP yang

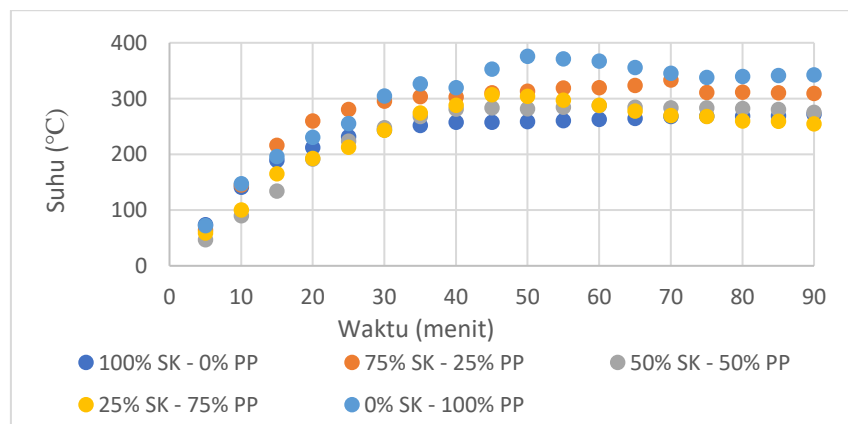
digunakan. Timbangan digital memiliki kapasitas 5000 gram dan ketelitian 0,01 gram. Ayakan digunakan untuk mengayak limbah serbuk gergaji kayu mahoni dengan ukuran 10 mesh. Termokopel yang digunakan berbasis Arduino. Termokopel dihubungkan dengan 3 sensor suhu pada reaktor berfungsi untuk mengukur temperatur kerja alat pirolisator. Sensor suhu yang digunakan yaitu tipe-K dengan range pengukuran 0° s/d 400 °C. *Stopwatch* digunakan untuk mengukur lamanya waktu yang digunakan pada proses pirolisis dengan ketelitian yang digunakan adalah 0,05 detik. *Flowmeter* berbasis Arduino ini digunakan untuk mengetahui besar debit aliran masuk pada kondensor, dan dipasang pada saluran pipa masuk kondensor. Flow sensor yang digunakan model FS300A G3/4. Flow sensor dapat bekerja pada interval debit 1 l/m s/d 60 l/m. Gelas ukur digunakan untuk mengukur jumlah minyak pirolisis dengan kapasitas 500 ml. Akurasi alat ini adalah 0,1 ml. Pompa air adalah alat untuk memompa air dari bak air menuju ke kondensor agar terjadi sirkulasi. Spesifikasi pompa air yang digunakan memiliki kapasitas maksimal 19 l/m dengan daya hisap maksimal 9 meter. Bak air digunakan sebagai tempat menampung air yang digunakan untuk sirkulasi pada kondensor. Bak air ini memiliki kapasitas 82 L. Gas LPG 15 kg digunakan sebagai sumber bahan bakar untuk pembakaran proses pirolisis.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang terdiri dari beberapa tahap berkesinambungan agar tujuan penelitian dapat tercapai. Tahap pertama adalah persiapan awal. Pada tahap ini dilakukan persiapan bahan baku yang berupa limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP. Persiapan yang dilakukan meliputi pengayakan, pembersihan Tahap kedua adalah proses pirolisis biomassa dan limbah plastik. Pembuatan minyak dengan proses pirolisis setiap variasi campuran biomassa limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP dengan total massa 1 kg. Variasi komposisi campuran limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP sebesar 100% : 0%, 25% : 75%, 50% : 50%, 75% : 25%, dan 0%: 100%. Setiap variasi dilakukan proses pirolisis sebanyak tiga kali dengan lama waktu pembakaran selama 90 menit, sehingga total sampel yang didapatkan sebanyak 15 buah minyak. Terdapat tiga sensor suhu pada reaktor untuk mengetahui suhu selama proses pirolisis berlangsung, yang mana sensor T₁ terletak di bagian bawah, T₂ di bagian tengah, dan T₃ terletak di bagian atas. Tahap ketiga adalah analisis minyak hasil pirolisis. Pengambilan data kuantitas minyak hasil pirolisis variasi campuran biomassa limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP setiap menit sekali.

3. HASIL DAN BAHASAN

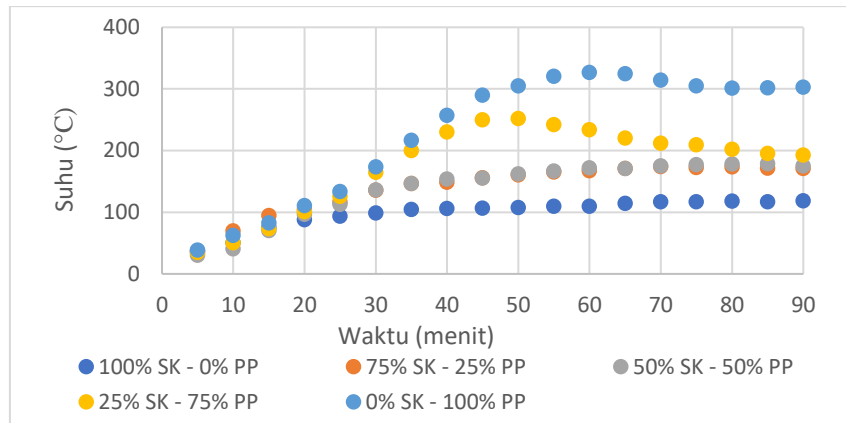
Hasil

Setelah dilakukan penelitian, maka didapatkan beberapa data dari hasil proses pirolisis dapat dilihat pada [Gambar 1](#), [Gambar 2](#), [Gambar 3](#), dan [Gambar 4](#).



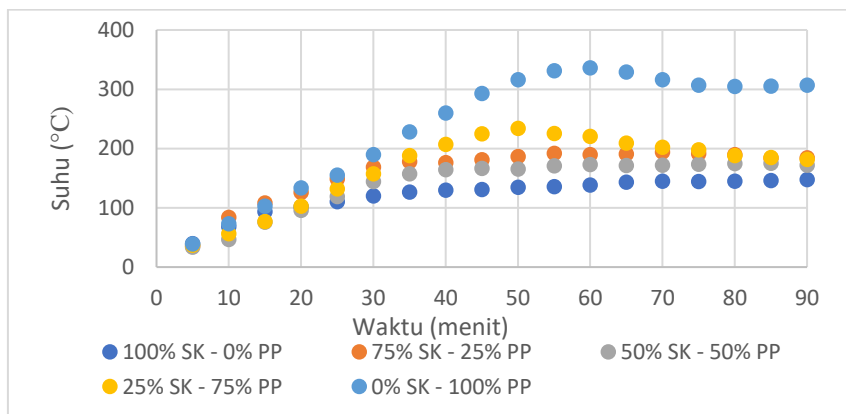
Gambar 1. Grafik Suhu T₁

Suhu pada sensor T₁ merupakan suhu tertinggi dikarenakan sensor T₁ berada di bagian bawah dekat dengan proses pembakaran. [Gambar 1](#) menunjukkan suhu tertinggi yang dicapai oleh masing-masing variasi rasio campuran limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP. Masing-masing suhu sebesar 272 °C pada 100%:0%, 309,25 °C pada 75%:25%, 275,25 °C pada 50%:50%, 254,5 °C pada 25%:75%, dan 342,5 °C pada 0%:100%.



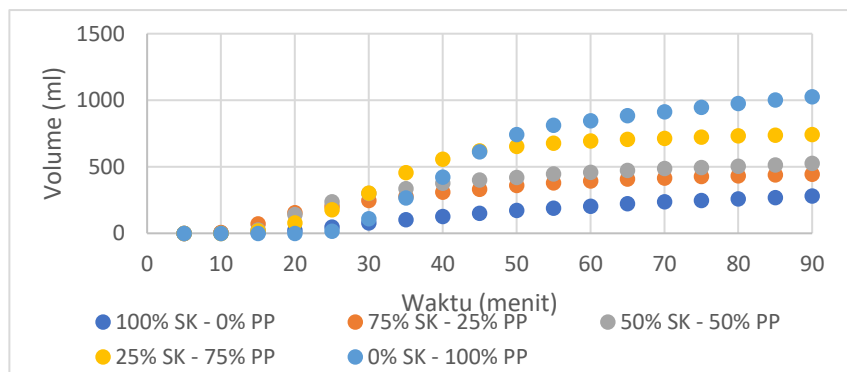
Gambar 2. Grafik Suhu T2

Sensor suhu T₂ berada di bagian tengah tabung reaktor. Gambar 2 menunjukkan suhu tertinggi yang dicapai oleh masing-masing variasi rasio campuran limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP. Masing-masing suhu sebesar 118,5 °C pada 100%:0%, 171 °C pada 75%:25%, 175 °C pada 50%:50%, 192,75 °C pada 25%:75%, dan 303 °C pada 0%:100%.



Gambar 3. Grafik Suhu T3

Suhu pada sensor T₃ merupakan suhu terendah di antara sensor suhu yang lainnya, dikarenakan sensor T₃ berada di bagian atas jauh dengan sumber pembakaran. Gambar 3 menunjukkan suhu tertinggi yang dicapai oleh masing-masing variasi rasio campuran limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP. Masing-masing suhu sebesar 147,5 °C pada 100%:0%, 184 °C pada 75%:25%, 171,75 °C pada 50%:50%, 181,25 °C pada 25%:75%, dan 306 °C pada 0%:100%.



Gambar 4. Grafik Kuantitas Minyak

Pada Gambar 4 grafik kuantitas minyak hasil pirolisis yang diambil tiap lima menit selama 90 menit menunjukkan bahwa kuantitas minyak hasil pirolisis rata-rata mengalami laju pertambahan tinggi ketika memasuki menit ke-25 hingga menit ke-60. Kuantitas minyak pirolisis yang dihasilkan berkisar 280 ml s.d. 1026,67 ml. Hasil penelitian ini lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa hasil pirolisis 1 kg LDPE dengan lama pembakaran 60 menit menghasilkan minyak 77,33 ml s/d 400 ml Sandi et al. (2020). Pirolisis dilakukan dengan waktu tinggal selama 90 menit. Bahan baku yang digunakan adalah limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik *polypropylene*, setelah dipanaskan di dalam reaktor pada temperatur tinggi akan terdekomposisi menjadi gas yang dapat terkondensasi menjadi cairan. Data kuantitas dan suhu minyak hasil pirolisis tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Kuantitas dan Suhu Minyak Hasil Pirolisis

| Sampel | Kuantitas (ml) | Suhu (°C) | | |
|-----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| | | T ₁ | T ₂ | T ₃ |
| 100% SK – 0% PP | 280 | 272 | 118,5 | 147,5 |
| 75% SK – 25% PP | 445 | 333,25 | 174,25 | 193,75 |
| 50% SK – 50% PP | 526,67 | 287,5 | 179 | 175 |
| 25% SK – 75% PP | 743,33 | 306,75 | 251,75 | 234 |
| 0% SK – 100% pp | 1026,67 | 375,5 | 326,5 | 336 |

Keterangan : SK = Limbah Gergaji Kayu Mahoni, PP = Limbah Plastik *Polypropylene*

Hasil data pada Tabel 1 menjelaskan bahwa campuran biomassa limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP dengan rasio komposisi 0%:100% mampu mencapai suhu paling tinggi dan kuantitas paling banyak di antara rasio komposisi yang lain. Hal ini menunjukan adanya pengaruh rasio komposisi terhadap suhu proses pirolisis dan kuantitas minyak yang dihasilkan. Semakin banyak rasio komposisi limbah plastik PP dalam campuran, maka suhu yang dapat dicapai pada proses pirolisis akan semakin tinggi sehingga minyak yang dihasilkan semakin banyak.

Pembahasan

Kuantitas minyak hasil pirolisis dipengaruhi oleh jenis bahan, jumlah bahan, dan suhu pemanasan (Ahmad, Hamidin, Ali, & Abidin, 2014; Alabdrabalnabi, Gautam, & Mani Sarathy, 2022; Firman, Maulana, & Panjaitan, 2019). Pada penelitian yang dilakukan oleh Iswadi et al. (2017), menunjukkan bahwa bahan baku LDPE dan PET dengan ukuran ± 3 cm dan massa 1 kg menghasilkan minyak yaitu 525 ml jenis plastik LDPE sedangkan sebanyak 368.47 ml jenis PET. Sedangkan pada penelitian ini bahan baku yang digunakan yaitu limbah gergaji kayu mahoni dengan ukuran 10 mesh dan limbah plastik PP dengan ukuran ± 2 cm dengan massa total 1 kg menghasilkan minyak terbanyak sebesar 1026,67 ml. Temperatur dan waktu proses pirolisis sangat berpengaruh, karena semakin lama waktu pirolisis, maka volume minyak yang dihasilkan akan semakin banyak. Semakin lama waktu pembakaran, maka semakin banyak bahan baku yang akan terdekomposisi karena adanya panas yang bersentuhan dengan bahan baku (Balikan, Tooy, & Wenur, 2021). Dengan plastik 1 kg dengan suhu 250 °C minyak yang dihasilkan sebanyak 1 liter, pada suhu 300 °C minyak yang dihasilkan sebanyak 1,1 liter, sedangkan pada suhu 350 °C menghasilkan minyak 1,2 liter (Adeo, Gusnawati, & Ernanto, 2020). Sementara pada penelitian ini, RDF-4 100% limbah plastik PP dengan suhu tertinggi sebesar 375,5 °C mampu menghasilkan minyak sebanyak 1026,67 ml dengan limbah plastik 1 kg.

Penelitian lainnya menunjukkan bahwa suhu sangat mempengaruhi proses pirolisis, dimana semakin tinggi suhu, maka semakin besar volume minyak yang dihasilkan (Fatimura, 2020). Pada penelitian ini rasio campuran biomassa limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP yang mencapai suhu paling tinggi menghasilkan minyak dengan kuantitas paling banyak, (Wardani, Nasution, & Amijaya, 2017) Pada penelitian lain menemukan bahwa minyak hasil pirolisis campuran limbah kayu dan PP mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya campuran PP (Suriapparao & Tejasvi, 2022). Sementara pada penelitian ini rasio campuran minyak hasil pirolisis yang menghasilkan kuantitas terbanyak adalah 100% PP dimana semakin sedikit rasio campuran biomassa serbuk gergaji kayu mahoni, maka semakin sedikit minyak yang dihasilkan. Hal ini disebabkan semakin banyak rasio campuran biomassa serbuk gergaji kayu mahoni, maka suhu yang dicapai saat proses pirolisis akan semakin rendah. Saat mencapai suhu tertentu dan kemudian menurun, karena semakin banyak gas tidak terkondensasi yang dihasilkan pada suhu pirolisis yang lebih tinggi (Husein, 2018).

4. SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa adanya pengaruh rasio variasi RDF-4 campuran biomassa limbah gergaji kayu mahoni dan limbah plastik PP terhadap kuantitas minyak hasil pirolisis yang dihasilkan. RDF-4 campuran 100% limbah plastik PP menghasilkan minyak hasil pirolisis dengan kuantitas paling banyak. RDF-4 yang tidak dicampur dengan biomassa limbah gergaji kayu mahoni akan menghasilkan kuantitas minyak lebih banyak dibanding dengan yang dicampur biomassa limbah gergaji kayu mahoni. Hal ini disebabkan oleh kuantitas minyak hasil pirolisis dipengaruhi oleh jenis bahan baku, jumlah bahan baku dan temperatur pemanasan yang dicapai saat proses pirolisis. Berbeda dari penelitian yang ada, penelitian ini lebih memperhatikan pengaruh perbandingan massa bahan dan temperatur yang berbeda terhadap kuantitas minyak yang dihasilkan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adoe, D. G. H., Gusnawati, & Ernanto, N. (2020). Analisis Pengaruh Temperatur pada Metode Pirolisis dari Sampah Plastik PP (Polypropylene) terhadap Kapasitas dan Kuantitas Minyak Pirolisis. *Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE)*, 24(2), 177–181. <https://doi.org/10.25042/jpe.112020.10>.
- Ahmad, R., Hamidin, N., Ali, U. F. M., & Abidin, C. Z. A. (2014). Characterization of Bio-oil from Palm Kernel Shell Pyrolysis. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES)*, 7(Desember), 49–58. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15282/jmes.7.2014.12.0110>.
- Alabdrabalnabi, A., Gautam, R., & Mani Sarathy, S. (2022). Machine Learning to Predict Biochar and Bio-oil Yields from Co-pyrolysis of Biomass and Plastics. *Fuel*, 328(July), 125303. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125303>.
- Anom, I. D. K., & Lombok, J. Z. (2020). Karakterisasi Asap Cair Hasil Pirolisis Sampah Kantong Plastik sebagai Bahan Bakar Bensin. *Fullerene Journ. Of Chem*, 5(2), 96–101. <https://doi.org/10.37033/fjc.v5i2.206>.
- Azis, H. A., & Rante, H. B. (2021). Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polypropylene (PP). *Journal of Chemical Process Engineering*, 6(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.33536/jcpe.v6i1.689>.
- Balikan, C. M., Tooy, D., & Wenur, F. (2021). Kajian Pembuatan Asap Cair Tempurung Kelapa dengan Proses Pirolisis dan Destilasi di Sulawesi Utara. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12(2), 98–104.
- Bhoi, P. R., & Rahman, M. H. (2022). Hydrocarbons Recovery Through Catalytic Pyrolysis of Compostable and Recyclable Waste Plastics Using a Novel Desk-top Staged Reactor. *Environmental Technology and Innovation*, 27, 102453. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102453>.
- Cheng, L., Zhang, Y., Wang, Y., Gu, J., Yuan, H., & Chen, Y. (2022). Pyrolysis of Long Chain Hydrocarbon-based Plastics via Self-exothermic Effects: The Origin and Influential Factors of Exothermic Processes. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127476. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127476>.
- Dewi, I. N. D. . (2014). Karakteristik Minyak Hasil Pirolisis Batch Sampah Plastik Polyethylene dan Polystyrene pada Berbagai Suhu. *Jurnal ENERGY*, 7(1), 52–55.
- Dong, H., Liu, M., Yan, X. Z., Qian, Z. H., Xie, Y., Luo, W., ... Zhou, Z. (2022). Pyrolysis Gas from Biomass and Plastics Over X-Mo@MgO (X = Ni, Fe, Co) Catalysts Into Functional Carbon Nanocomposite: Gas Reforming Reaction and Proper Process Mechanisms. *Science of the Total Environment*, 831, 154751. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154751>.
- Evode, N., Qamar, S. A., Bilal, M., Barceló, D., & Iqbal, H. M. N. (2021). Plastic Waste and Its Management Strategies for Environmental Sustainability. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4(August), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2021.100142>.
- Fajar, H. N. (2018). *Pemanfaatan Limbah Gergaji Kayu Mahoni (Swietenia macrophylla K.) sebagai Energi Alternatif dengan Metode Pirolisis*. Repositori UIN Alauddin. Skripsi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- 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>.
- Firman, L. O. M., Maulana, E., & Panjaitan, G. (2019). Yield Bahan Bakar Alternatif Dari Optimasi Pirolisis Sampah Plastik Polypropylene. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 9(2), 14–19. <https://doi.org/10.35814/teknobiz.v9i2.532>.
- Husein, A. (2018). *Pengaruh Temperatur Pembentukan Fuel Oil pada Proses Pirolisis Plastik Low Density Polyethylene (LDPE)*. Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya. Universitas Brawijaya.
- Indrayani, N. L., Sadiana, R., Novianto, N. A., & Syahputra, N. (2021). Analisis Pengaruh Temperatur Pirolisis Limbah Plastik High Density Polyethylene (Hdpe) terhadap Laju Reaksi Hasil Bio Oil

- sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(2), 101–109. <https://doi.org/https://doi.org/10.24127/trb.v9i1.1158>.
- Iswadi, D., Nurisa, F., & Liastuti, E. (2017). Pemanfaatan Sampah Plastik LDPE dan PET menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 1(2), 1–9. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.32493/jitk.v1i2.718>.
- Jahirul, M. I., Rasul, M. G., Schaller, D., Khan, M. M. K., Hasan, M. M., & Hazrat, M. A. (2022). Transport Fuel from Waste Plastics Pyrolysis – A Review on Technologies, Challenges and Opportunities. *Energy Conversion and Management*, 258(October 2021), 115451. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115451>.
- Kasar, P., Sharma, D. K., & Ahmaruzzaman, M. (2020). Thermal and Catalytic Decomposition of Waste Plastics and its Co-processing with Petroleum Residue Through Pyrolysis Process. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121639. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121639>.
- Katadata. (2021). Mayoritas Sampah Nasional dari Aktivitas Rumah Tangga pada 2020.
- Kirchkeszner, C., Petrovics, N., Tábi, T., Magyar, N., Kovács, J., Szabó, B. S., ... Eke, Z. (2022). Swelling as A Promoter of Migration of Plastic Additives in The Interaction of Fatty Food Simulants with Polylactic Acid- and Polypropylene-Based Plastics. *Food Control*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108354>.
- Mardika, E. R. (2018). *Pengaruh Temperatur terhadap Pembentukan Fuel Oil Hasil Pirolisis Plastik Polypropylene (PP)*. Skripsi, Universitas Brawijaya.
- Nasrun, Kurniawan, E., & Sari, I. (2016). Studi Awal Produksi Bahan Bakar dari Proses Pirolisis Kantong Plastik Bekas. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* 5:1, 1, 30–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.29103/jtku.v5i1.77>.
- Nurwidayati, A., Sulastris, P. A., Ardiyati, D., & Aktawan, A. (2019). Gasifikasi Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Mahoni (Swietenia Mahagoni) untuk Gasifikasi Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Mahoni (Swietenia Mahagoni) untuk Menghasilkan Bahan Bakar Gas sebagai Sumber Energi Terbarukan. *CHEMICA : Jurnal Teknik Kimia*, 5(May). <https://doi.org/10.26555/chemica.v5i2.13046>.
- Qiram, I., Widhiyanuriyawan, D., & Wijayanti, W. (2015). Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Massa dan Energi yang Dihasilkan Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (Swietenia Macrophylla) pada Rotary Kiln. *Jurnal ROTOR*, 8(2), 7. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.01.6>.
- Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *TURBO: Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 8(1), 69–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.924>.
- Riupassa, H., & Baharuddin, M. N. (2018). Pemanfaatan Limbah Plastik Melalui Proses. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 44–52.
- Rizal, W. A., Suryani, R., Wahono, S. K., Anwar, M., Amdani, R. Z., Suwanto, A., & Februanata, N. (2020). Pirolisis Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Campuran: Parameter Proses dan Analisis Produk Asap Cair. *Jurnal Riset Industri Balai Riset Dan Standarisasi Industri Samarinda*, 14(2), 353–364. <https://doi.org/https://doi.org/10.26578/jrti.v14i2.6606>.
- Saleh, A., & Nur, H. (2018). Pemanfaatan Limbah Gergaji Kayu Mahoni (Swietenia macrophylla K.) sebagai Energi Alternatif dengan Metode Pirolisis. *Al-Kimia*, 6(1). <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v6i1.5065>.
- Sandi, Y. A., Irfa'i, M. A., & Basuki, B. (2020). Analisis Pengaruh Panjang Pipa Tembaga Kondensor terhadap Volume Hasil Minyak pada Alat Pirolisis. *ARMATUR : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 1(2), 68–74. <https://doi.org/10.24127/armatur.v1i2.336>.
- Sugiharto, A., & Firdaus, Z. 'Ilma. (2021). Pembuatan Briket Ampas Tebu dan Sekam Padi Menggunakan Metode Pirolisis sebagai Energi Alternatif. *Inovasi Teknik Kimia*, 6(1), 17–22. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31942/inteka.v6i1.4449>.
- Suriapparao, D. V., & Tejasvi, R. (2022). A Review on Role of Process Parameters on Pyrolysis of Biomass and Plastics: Present Scope and Future Opportunities in Conventional and Microwave-assisted Pyrolysis Technologies. *Process Safety and Environmental Protection*, 162, 435–462. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.024>.
- Vo, T. A., Tran, Q. K., Ly, H. V., Kwon, B., Hwang, H. T., Kim, J., & Kim, S. S. (2022). Co-pyrolysis of Lignocellulosic Biomass and Plastics: A Comprehensive Study on Pyrolysis Kinetics and Characteristics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 163(January), 105464. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105464>.
- Wajdi, B., Sapiruddin, S., Novianti, B., & Zahara, L. (2020). Pengolahan Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM) dengan Metode Pirolisis sebagai Energi Alternatif. *Kappa Journal*, 4(1), 100–112. <https://doi.org/10.29408/kpj.v4i1.2156>.
- Wardani, A. R., Nasution, Y. N., & Amijaya, F. D. T. (2017). Aplikasi Logika Fuzzy Dalam Mengoptimalkan

- Produksi Minyak Kelapa Sawit Di PT. Waru Kaltim Plantation Menggunakan Metode Mamdani. *Informatika Mulawarman: Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 12(2), 94. <https://doi.org/10.30872/jim.v12i2.651>.
- Wibowo, S., Efiyanti, L., & Pari, G. (2017). Karakteristik Bio-oil Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Penambahan Katalis Ni/NZA menggunakan Metode Free Fall Pyrolysis. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 35(2), 83–100. <https://doi.org/https://doi.org/10.20886/jphh.2017.35.2.83-100>.
- Zakariya, M. A., Arif, M., & Rosadi, M. M. (2020). Analisis Pengaruh Variasi Bahan Bakar terhadap Uji Efektivitas Kompor Biomassa. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin Dan Manufaktur*, 1(2), 55–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.24127/armatur.v1i2.310>.
- Zhao, Z., Abdo, S. M. A., Wang, X., Li, H., Li, X., & Gao, X. (2021). Process Intensification on Co-pyrolysis of Polyethylene Terephthalate Wastes and Biomass via Microwave Energy: Synergetic Effect and Roles of Microwave Susceptor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 158(June), 105239. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105239>.