



NOZEL

Jurnal Pendidikan Teknik Mesin

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



PIROLISIS CAMPURAN BIOMASSA LIMBAH AMPAS KOPI DAN LIMBAH PLASTIK POLYPROPYLENE

Lutfi Ilunsa Zain^{1*}, Danar Susilo Wijayanto¹, Taufik Wisnu Saputra¹

¹Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, FKIP, Universitas Sebelas Maret, Surakarta
Kampus V FKIP UNS, Jl. Ahmad Yani 200, Surakarta
Email : lutfiilunsazain@student.uns.ac.id

Abstract

The need for energy progressively increase, meanwhile fossil fuel reserves gradually decrease since it is nonrenewable resources. Coffee grounds and polypropylene plastic waste can be used as alternative fuels. One of the ways to use coffee grounds and plastic waste as fuel is through the pyrolysis process. Pyrolysis is a chemical decomposition process of a material thermally in the absence of oxygen which converts RDF-4 into a liquid smoke product in the form of oil. The purpose of this study was to determine the effect of the comparison of the composition of the mixture of coffee grounds and polypropylene plastic waste on the quantity of pyrolysis oil. This study uses an experimental method with quantitative descriptive analysis techniques. This research was carried out by means of a pyrolysis process on RDF-4 a mixture of coffee grounds biomass waste and polypropylene plastic waste with various composition ratios of 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, and 100%:0%. The pyrolysis oil is then filtered, for later testing the quantity. The test shows that there is an effect of variations in the ratio of the composition of the biomass mixture to the quantity of pyrolysis oil. RDF-4 from coffee grounds waste mixed with polypropylene plastic waste produces a quantity that tends to decrease as the ratio of coffee grounds composition decreases. RDF-4 which is not mixed with coffee grounds or has a composition ratio of coffee grounds less than the composition ratio of polypropylene plastic waste produces pyrolysis oil with more quantity and quality that tends to be better than the ratio of other RDF-4 compositions. The quantity of pyrolysis oil produced ranged from 219.33 ml to 1026.67 ml. RDF-4 from 100% polypropylene plastic waste produces pyrolysis oil with the highest quantity of 1026.67 ml with the highest pyrolysis temperature achieved 391°C at T₁, 345.5 °C at T₂, and 367.75 °C at T₃.

Keywords: biomass, coffee grounds, polypropylene plastic waste, pyrolysis, fuel, renewable alternative energy

A. PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap energi terus mengalami kenaikan sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk di

Indonesia (Haqiqi, 2018). Berdasarkan data yang dikemukakan oleh Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional (2017) pada tahun 2025 diperkirakan permintaan

minyak terbesar berasal dari sektor transportasi yaitu sebesar 67%, sektor non energi (bahan baku) sebesar 23,5%, dan sisanya oleh sektor-sektor lainnya.

Cadangan BBM dari waktu ke waktu menurun jumlahnya karena tidak dapat diperbarui, sehingga perlu adanya pemanfaatan sumber energi terbarukan (Hartanto & Sartini, 2019). Biomassa dari limbah pertanian dan industri saat ini sangat potensial untuk dijadikan *RDF* sebagai sumber energi alternatif baru terbarukan (Soolany, 2020).

Ampas kopi merupakan salah satu limbah pertanian yang dapat diolah menjadi bahan bakar alternatif (Van Nguyen et al., 2021). Meningkatnya konsumsi kopi membuat limbah ampas kopi yang juga memiliki nilai kalor tinggi menjadi bahan dasar yang cukup menjanjikan untuk bahan baku pembuatan biomassa (Fahmy et al., 2020).

Salah satu jenis limbah yang juga menjadi perhatian adalah limbah plastik di mana kontribusi limbah plastik terhadap total produksi sampah nasional mencapai 15% dengan pertumbuhan rata-rata mencapai 14,7% per tahun (Astuti et al., 2018). Banyaknya limbah plastik dapat menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan jika tidak diolah dan dikelola dengan baik (Evode et al., 2021).

Polypropylene (PP) merupakan jenis polimer berbasis petrokimia yang paling umum digunakan untuk bahan kemasan makanan (Kirchkeszner et al., 2022). Tingginya pemakaian plastik PP dalam kehidupan sehari-hari menyebabkan jumlah limbah PP limbah mengalami peningkatan setiap tahun (Herliati et al., 2019). Pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar cair dapat menjadi solusi permasalahan limbah plastik yang selama ini menjadi permasalahan lingkungan.

Salah satu metode yang cukup menjanjikan untuk digunakan dalam mengubah sampah menjadi bahan bakar cair adalah pirolisis (Dewi, 2017). Pirolisis mampu bermanfaat untuk mengurangi jumlah limbah plastik serta menyediakan bahan bakar dengan nilai energi yang cukup tinggi (Astuti et al., 2018). Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia suatu bahan secara termal tanpa adanya oksigen yang mampu mengubah *RDF-4* menjadi produk asap cair yaitu berupa minyak .

Teknologi pirolisis dianggap sebagai metode pemulihan yang ideal dalam pengolahan minyak karena menghasilkan sedikit polutan sekunder (Qu et al., 2019). Parameter utama yang mempengaruhi pirolisis menurut Udyani et al. (2018) meliputi kadar air, ukuran partikel, laju pemanasan, temperatur,

bahan, komposisi bahan uji, laju nitrogen, dan waktu tinggal padatan. *Bio-oil* yang dihasilkan dari pirolisis dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil.

Hanif et al. (2019) mengemukakan bahwa ekstraksi minyak dari ampas kopi mampu menghasilkan minyak sebesar 23,32% dalam basis berat kering dan memiliki kualitas yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan cadangan pembuatan biosolar. Penelitian lain yang dilakukan oleh Riupassa et al. (2014) 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.

Berdasarkan uraian di atas peneliti tertarik untuk meneliti proses pirolisis dan adanya pengaruh variasi rasio komposisi campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP terhadap kuantitas minyak hasil pirolisis.

B. METODE

Penelitian ini menggunakan metode proses pirolisis untuk pembuatan minyak dari campuran limbah ampas kopi dan limbah plastik PP dengan rasio variasi komposisi 100% : 0%, 25% : 75%, 50% : 50%, 75% : 25%, dan 0% : 100%.

Pengujian kuantitas (volume) dilakukan pada minyak pirolisis yang dihasilkan.

1. Alat Penelitian

a. *Pirolisator*



Gambar 1. *Pirolisator*

Pirolisator digunakan untuk mengolah *RDF-4* campuran biomassa dan plastik menghasilkan minyak hasil pirolisis. Alat ini terdiri dari beberapa bagian di antaranya:

1) Tabung Reaktor



Gambar 2. Tabung Reaktor

Tabung reaktor berguna sebagai tempat pemanas dan pengurai komponen biomassa dan plastik. Material reaktor pada penelitian ini terbuat dari stainless steel. Reaktor yang digunakan memiliki ukuran diameter 250 mm dengan tinggi 200 mm.

2) Pipa Penghubung



Gambar 3. Pipa Penghubung

Pipa ini terbuat dari material galvalum dengan diameter 32 mm, ketebalan 1 mm, dan panjang 600 mm. Pipa ini berfungsi sebagai penghubung antara tabung reaktor dengan kondensor dan merupakan jalur lewat dari gas hasil pirolisis yang akan dikondensasikan menjadi wujud cair.

3) Kondensor



Gambar 4. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk menurunkan temperatur gas hasil pembakaran pada tabung reaktor, sehingga terjadi perubahan fasa dari gas menjadi cair. Kondensor ini memiliki tinggi 800 cm dan lebar 150 cm, di mana di dalamnya terdapat pipa berbentuk spiral yang merupakan tempat terjadinya sirkulasi air.

4) Termokopel



Gambar 5. Termokopel

Alat ini dihubungkan dengan 3 sensor suhu yang dipasang pada reaktor. Termokopel yang digunakan berbasis *Arduino*. Fungsi alat ini yaitu untuk

mengukur suhu kerja ketika proses pirolisis. Sensor suhu yang digunakan yaitu Tipe-K dengan *range* pengukuran 0° s/d 400°C.

b. Ayakan



Gambar 6. Ayakan

Ayakan digunakan untuk mengayak limbah ampas kopi dengan ukuran *mesh* 10.

c. Timbangan Digital



Gambar 7. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan mengukur massa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP. Kapasitas timbangan digital ini seberat 5 kg dengan tingkat ketelitian 0,001 kg.

d. Kompor



Gambar 8. Kompor

Kompor berfungsi sebagai sumber panas yang digunakan untuk pembakaran pada proses pirolisis.

e. Pompa Air



Gambar 9. Pompa Air

Pompa air berfungsi untuk memompa air agar terjadi sirkulasi dalam kondensor. Pompa air yang digunakan memiliki kapasitas maksimal 19 l/m dengan daya hisap maksimal 9 meter.

f. Bak Air



Gambar 10. Bak Air

Bak air berfungsi sebagai tempat penampungan air yang akan digunakan untuk sirkulasi di dalam kondensor. Alat ini berbahan dasar plastik dan memiliki ukuran 63,1 x

41,1 x 25,5 cm dengan kapasitas 56 L.

g. Gelas Ukur



Gambar 11. Gelas ukur
Gelas ukur dilakukan untuk mengukur kuantitas (volume) minyak hasil pirolisis. Gelas ukur yang digunakan ini memiliki kapasitas 1 liter dengan ketelitian 10 ml.

h. Stopwatch



Gambar 12. Stopwatch
Stopwatch yang digunakan memiliki ketelitian 0,01 s, berfungsi untuk menghitung lama waktu pembakaran pada proses pirolisis.

i. Flowmeter



Gambar 13. Flowmeter

Flowmeter yang digunakan berbasis *Arduino*, di mana alat ini merupakan sensor yang memiliki fungsi penghitung aliran debit air dipasang pada saluran pipa masuk kondensor untuk mengetahui besar debit aliran masuk pada kondensor.

2. Bahan Penelitian

a. Limbah Ampas Kopi



Gambar 14. Limbah ampas kopi
Limbah ampas kopi merupakan biomassa yang digunakan dalam bentuk *RDF-4* sebagai bahan campuran pembuatan minyak hasil pirolisis.

b. Limbah Plastik PP



Gambar 15. Limbah Plastik PP

Limbah plastik PP yang telah dicacah kemudian diayak untuk mendapatkan plastik dengan ukuran berkisar 1 cm. Bahan ini digunakan sebagai bahan pembuatan minyak hasil pirolisis.

- c. Gas LPG 15 kg



Gambar 16. Gas LPG

Gas LPG 15 kg berfungsi sebagai sumber bahan bakar untuk melakukan pembakaran pada proses pirolisis.

3. Prosedur Penelitian

Pengambilan dan analisis data dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Menyiapkan *RDF-4* dari bahan limbah ampas kopi dan limbah plastik PP. Limbah ampas kopi disaring hingga berbentuk serbuk

halus, kemudian dicampur dengan limbah plastik PP yang telah dicacah.

- b. Pembuatan minyak melalui proses pirolisis dari variasi campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP dengan massa total setiap variasi campuran adalah 1 kg. Setiap variasi dilakukan proses pirolisis sebanyak tiga kali dengan waktu 90 menit pada setiap proses pirolisis, sehingga total sampel yang dihasilkan adalah 15 sampel minyak. Terdapat tiga sensor suhu pada reaktor untuk mengetahui suhu selama proses pirolisis berlangsung, yang mana sensor T_1 terletak di bawah, T_2 di tengah, dan T_3 terletak di atas.
- c. Pengambilan data kuantitas minyak hasil pirolisis variasi campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP setiap lima menit sekali.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah penelitian ini dilakukan, maka diperoleh mengenai proses pirolisis dan pengaruh rasio komposisi campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah

plastik PP terhadap minyak hasil pirolisis ini dapat dilihat dalam bentuk grafik.

1. Proses Pirolisis

Proses pirolisis pada campuran biomassa limbah ampas kopi dan plastik PP berlangsung selama 90 menit untuk setiap variasi rasio komposisi. Reaktor dihubungkan dengan kondensor menggunakan pipa penghubung. Kondensor dihubungkan dengan pompa air agar terjadi sirkulasi air di dalam kondensor.

RDF-4 campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP dengan massa total 1 kg yang dimasukkan ke dalam reaktor dilakukan pemanasan dengan menggunakan kompor di mana jarak tungku kompor ke reaktor adalah 5 cm dan katup gas ke kompor terbuka penuh.

Pada proses pemanasan *RDF-4* dalam reaktor terjadi proses dekomposisi kimia secara termal tanpa adanya oksigen, dan terjadi perubahan wujud zat dari padat. Gas hasil pemanasan tersebut kemudian bergerak melewati pipa penghubung menuju kondensor. Terdapat pipa spiral yang merupakan tempat terjadinya sirkulasi air di dalam kondensor. Pipa spiral tersebut mengelilingi pipa vertikal

yang merupakan jalur untuk uap yang dihasilkan.

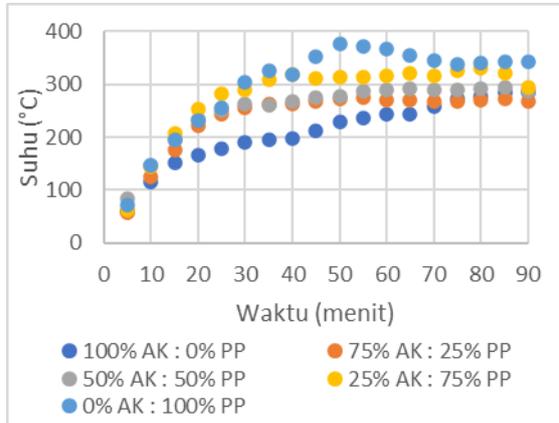
Terjadi peristiwa di dalam kondensor berupa perubahan zat yang disebut mengembun, di mana wujud zat berubah dari gas menjadi cair. Pada peristiwa ini zat melepaskan energi panas, sehingga cairan yang keluar dari kondensor sudah dalam keadaan dingin. Cairan yang keluar inilah yang merupakan minyak hasil pirolisis.

Tidak hanya cairan minyak yang keluar dari kondensor dalam proses pirolisis ini, melainkan juga terdapat cairan berupa tar. Tar memiliki tekstur yang lebih kental, berwarna hitam, tidak mudah mengalir, serta tidak dapat menyatu dengan minyak, sehingga dalam pengujian kuantitas perlu dilakukan penyaringan untuk memisahkan antara minyak dengan tar.

Proses pirolisis ini juga menghasilkan gas. Gas yang dihasilkan merupakan uap hasil pemanasan *RDF-4* campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP yang tidak terkondensasi secara sempurna. Proses pirolisis juga menghasilkan *char*, di mana *char* merupakan arang sisa pembakaran yang terdapat di dalam reaktor.

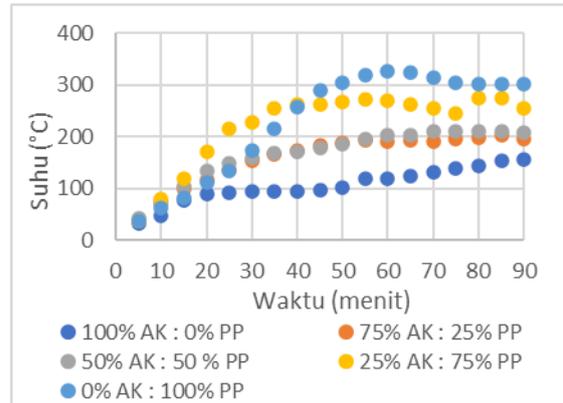
2. Suhu Pirolisis

Terdapat tiga bagian titik suhu yang diukur dalam proses pirolisis ini yaitu T_1 , T_2 , dan T_3 .



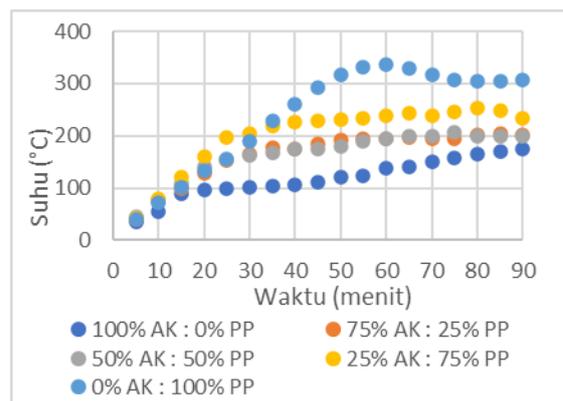
Gambar 17. Grafik Suhu pada T_1

Sensor suhu T_1 merupakan sensor yang terletak pada bagian bawah tabung reaktor. Secara tidak langsung sensor ini paling dekat dengan sumber panas. Gambar 19 menunjukkan suhu tertinggi yang dicapai oleh masing-masing variasi rasio komposisi campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP adalah 391 °C pada rasio 0%:100%, 384,25 °C pada rasio 25%:75%, 349,5 °C pada rasio 50%:50%, 317,5 °C pada rasio 75%:25%, dan 292,5°C pada rasio 100%:0%.



Gambar 18. Grafik Suhu pada T_2

Sensor suhu T_2 merupakan sensor yang terletak pada bagian tengah tabung reaktor. Gambar 20 yang berupa grafik menunjukkan suhu tertinggi yang dicapai oleh masing-masing variasi rasio komposisi campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP adalah 345,5 °C pada rasio 0%:100%, 315 °C pada rasio 25%:75%, 248,5°C pada rasio 50%:50%, 222,5 °C pada rasio 75%:25%, dan 164 °C pada rasio 100%:0%.



Gambar 19. Grafik Suhu pada T_3

Sensor suhu T_3 merupakan sensor yang terletak pada bagian atas tabung reaktor. Gambar 21 menunjukkan bahwa

suhu tertinggi yang dicapai oleh masing-masing variasi rasio komposisi campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP adalah 367,75 °C pada rasio 0%:100%, 310,75 °C pada rasio 25%:75%, 252,5 °C pada rasio 50%:50%, 236 °C pada rasio 75%:25%, dan 176 °C pada rasio 100%:0%.

Hasil data pada Gambar 17 s/d Gambar 19 menjelaskan bahwa campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP dengan rasio komposisi 0%:100% mampu mencapai suhu paling tinggi di antara rasio komposisi yang lain. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh rasio komposisi terhadap suhu proses pirolisis. Semakin banyak rasio komposisi limbah plastik PP dalam campuran, maka suhu yang dapat dicapai pada proses pirolisis akan semakin tinggi.

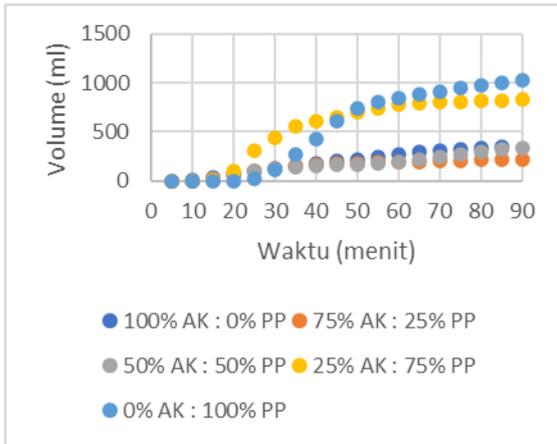
Fatimura (2020) mengemukakan bahwa suhu sangat berpengaruh pada proses pirolisis, di mana semakin tinggi suhu maka volume minyak yang dihasilkan akan semakin banyak. Pada penelitian ini rasio campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP yang mencapai suhu paling tinggi menghasilkan minyak dengan kuantitas paling banyak, namun bukan berarti semakin tinggi suhu semakin banyak minyak pirolisis yang dihasilkan. Hal ini

terbukti dari campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP dengan rasio komposisi 50%:50% dan 75%:25% dengan suhu tertinggi yang dicapai lebih tinggi daripada rasio komposisi 100%:0% menghasilkan kuantitas minyak yang lebih rendah.

Hal ini disebabkan karena pada campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP dengan rasio komposisi 50%:50% dan 75%:25% menghasilkan jumlah tar dan *char* lebih banyak daripada rasio komposisi campuran biomassa 100% limbah ampas kopi. Rasio terbaik dihasilkan dari proses pirolisis campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP dengan rasio 0%:100%, di mana suhu maksimal yang dicapai adalah 391°C pada T₁, 345,5 °C pada T₂, dan 367,75 °C pada T₃

3. Kuantitas Minyak Hasil Pirolisis

Data hasil pengukuran volume minyak hasil pirolisis dapat dilihat pada Gambar 20.



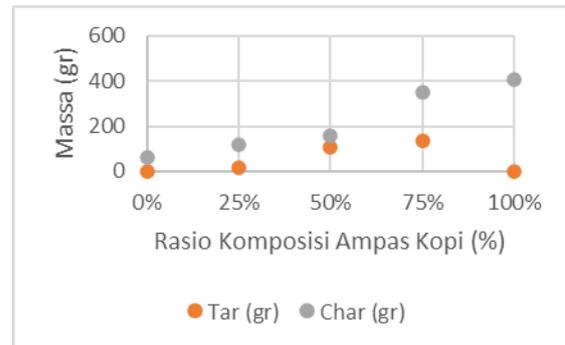
Gambar 20. Grafik Kuantitas Minyak Hasil Pirolisis Setiap Variasi Rasio Komposisi Ampas Kopi dan Limbah Plastik PP per 5 Menit

Gambar 17 merupakan grafik kuantitas minyak hasil pirolisis yang diambil tiap lima menit selama 90 menit menunjukkan bahwa kuantitas minyak hasil pirolisis cenderung mengalami laju pertambahan tinggi ketika memasuki menit ke-25 s.d. menit ke-60. Kuantitas minyak pirolisis yang dihasilkan berkisar 219,33 ml s.d. 1026,67 ml.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP dengan rasio 0% : 100% menghasilkan minyak hasil pirolisis dengan kuantitas terbanyak yaitu sebesar 1026,67 ml. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang mengemukakan bahwa 1 kg sampah plastik jenis PP dengan variasi temperatur 250 °C, 300 °C, dan 350 °C dapat menghasilkan minyak

sebanyak 1000 ml s.d. 1200 ml (Adoe & Ernanto, 2020).

Proses pirolisis tidak hanya menghasilkan minyak saja, melainkan juga menghasilkan tar dan *char* (sisa dalam bentuk padat). Data tar dan *char* yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 21.



Gambar 21. Grafik Jumlah Tar dan *Char* yang Dihasilkan Setiap Variasi Rasio Komposisi Campuran Biomassa Ampas Kopi dan Limbah Plastik PP

Gambar 21 menunjukkan bahwa campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP dengan rasio komposisi 75%:25% menghasilkan jumlah tar dan *char* (arang) paling banyak yaitu tar sebesar 133,33 gr dan *char* sebesar 347,67 gr. Rasio komposisi 75% limbah ampas kopi dan 25% limbah plastik PP menghasilkan minyak hasil pirolisis dengan kuantitas terendah yaitu 219,33 ml.

Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh jumlah tar dan *char* yang dihasilkan terhadap kuantitas minyak hasil pirolisis yang dihasilkan. Hal ini sejalan

dengan penelitian yang dilakukan oleh Maksud (2016) yang menjelaskan bahawa semakin banyak tar dan *char* yang dihasilkan, maka kuantitas minyak hasil pirolisis akan semakin sedikit.

D. PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, proses pirolisis mampu menjadi salah satu metode untuk mengubah RDF-4 campuran biomassa limbah ampas kopi dan limbah plastik PP menjadi minyak. Suhu pirolisis tertinggi mencapai 391°C pada T₁, 345,5 °C pada T₂, dan 367,75 °C pada T₃. Suhu tertinggi tersebut dicapai oleh RDF-4 dari 100% limbah plastik PP yang menghasilkan minyak hasil pirolisis dengan kuantitas terbanyak yaitu sebesar 1026,67 ml. Pengujian menunjukkan adanya pengaruh variasi rasio komposisi campuran biomassa terhadap kuantitas minyak hasil pirolisis. RDF-4 yang tidak dicampur dengan ampas kopi ataupun memiliki rasio komposisi ampas kopi lebih sedikit daripada rasio komposisi limbah plastik PP menghasilkan minyak hasil pirolisis dengan kuantitas lebih banyak daripada minyak hasil pirolisis RDF-4 100% ampas kopi dan RDF-4 yang memiliki rasio komposisi ampas kopi lebih banyak ataupun

sebanding dengan komposisi limbah plastik PP. RDF-4 dari 100% limbah plastik PP menghasilkan minyak hasil pirolisis dengan kuantitas terbanyak yaitu sebesar 1026,67 ml dengan suhu pirolisis tertinggi yang dicapai adalah 391°C pada T₁, 345,5 °C pada T₂, dan 367,75 °C pada T₃.

Saran

Pada penelitian lanjutan mengenai pembuatan minyak dari campuran biomassa dan limbah plastik melalui metode pirolisis, perlu adanya penyempurnaan pada pipa output kondensor agar asap yang dihasilkan mampu terkondensasi lebih sempurna. Pada penelitian lanjutan diharapkan juga dapat menggunakan lebih banyak variasi jenis limbah plastik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adoe, D. G. H., & 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>
- Astuti, A. D., Prayitno, H. T., & Wahyudi, J. (2018). The Utilization of Plastic Waste as Raw Material for Producing Alternative Fuel. *Jurnal Litbang*, XIV(1), 58–67. <https://doi.org/10.1007/s00289-017-1962-x>

- Dewan Energi Nasional, S. J. (2017). *Outlook Energi Indonesia 2017*. Dewan Energi Nasional.
- Dewi, I. N. K. (2017). Karakteristik Minyak Hasil Pirolisis Batch Sampah Plastik Polystyrene. *Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Panca Marga*, 7(1), 52–55.
- 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(September). <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100142>
- Fahmy, T. Y. A., Fahmy, Y., Mobarak, F., El-Sakhawy, M., & Abou-Zeid, R. E. (2020). Biomass Pyrolysis: Past, Present, and Future. *Environment, Development and Sustainability*, 22(1), 17–32. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0200-5>
- Fatimura, M. (2020). Evaluasi Kinerja Reaktor Pirolisis Non Katalis Dalam Mengkonversikan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 4(1), 1–5. <https://doi.org/10.32493/jitk.v4i1.3725>
- Hanif, M., Heru, & Utami, H. (2019). Variasi Waktu dan Massa Ampas Kopi pada Leaching Minyak dari Residu Kopi Instan. *Jurnal KELITBANGAN*, 7(1), 49–60.
- Haqiqi, M. R. (2018). Rancang Bangun Mesin Pencetak Briket Pohon Pisang Tipe Ulir. *Computers and Industrial Engineering*, 2(January), 6.
- Hartanto, B., & Sartini, S. (2019). Kebijakan Pemanfaatan Energi dan Sumber Daya Energi Mineral Kelautan Indonesia. *Jurnal Baruna Horizon*, 2 (2), 90–106.
- Herliati, Prasetyo, S. B., & Verinaldy, Y. (2019). Review: Potensi limbah Plastik dan Biomassa sebagai Sumber Energi Terbarukan dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Teknologi*, 6(2), 85–98. <https://doi.org/10.31479/jtek.v6i2.13>
- Kirchkeszner, C., Petrovics, N., Tábi, T., Magyar, N., Kovács, J., Szabó, B. S., Nyiri, Z., & 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>
- Makhsud, A. (2016). Pengaruh Suhu Terhadap Produksi Asap Cair dari Blending Limbah Biomassa Cangkang Sawit dengan Batubara secara Pirolisis. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 01(01), 1–8.
- Qu, Y., Li, A., Wang, D., Zhang, L., & Ji, G. (2019). Kinetic Study of The Effect of In-situ Mineral Solids on Pyrolysis Process of Oil Sludge. *Chemical Engineering Journal*, 374(May), 338–346. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.183>
- Riupassa, H., Baharuddin, M. N., Petroleum, B., Pengajar, S., Studi, P., & Mesin, T. (2018). Pemanfaatan Limbah Plastik Melalui Proses Pirolisis sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 43–52.
- Soolany, C. (2020). Rancang Bangun Pencetak Briket Tipe Screw untuk Proses Produksi Briket Pelet dari Arang Cangkang Kakao. *AME*

(Aplikasi Mekanika Dan Energi):
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 6(2), 62.
<https://doi.org/10.32832/ame.v6i2.3260>

Udyani, K., Ningsih, E., & Arif, M. (2018). Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Yield dan Nilai Kalor Bahan Bakar Cair dari Bahan Limbah Kantong Plastik. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan VI, 2013*, 389–394.

Van Nguyen, Q., Choi, Y. S., Choi, S. K., Jeong, Y. W., & Han, S. Y. (2021). Co-pyrolysis of Coffee-grounds and Waste Polystyrene Foam: Synergistic Effect and Product Characteristics Analysis. *Fuel*, 292(December 2020), 120375.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120375>