

PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU PROSES TERHADAP KARAKTERISTIK MINYAK PIROLISIS LIMBAH PLASTIK LOWDENSITY POLYETHYLENE

THE EFFECT OF TEMPERATURE AND TIME PROCESSING ON THE PYROLYSIS OIL CHARACTERISTICS OF LOWDENSITY POLYETHYLENE PLASTIC WASTE

Dara Rizky Rivaldo Rijadi¹⁾, Erry Ika Rhofita²⁾, Shinfi Wazna Auvaria³⁾

^{1,2,3} Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Surabaya, Indonesia
email: dararizky777@gmail.com¹⁾, erryikarhofita@uinsa.ac.id²⁾, shinfiwazna@uinsa.ac.id³⁾

Received:
13 Juli 2024

Accepted:
21 Maret 2025

Published:
18 April 2025



Abstrak

Kurangnya pemanfaatan limbah plastik menjadi penyebab penurunan kualitas lingkungan dan kesehatan. Pemanfaatan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif melalui metode pirolisis adalah pilihan yang tepat untuk mengurangi kuantitas limbah dan memperbaiki kualitas lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu proses pirolisis limbah plastik *lowdensity polyethylene* (LDPE) terhadap kualitas minyak pirolisis. Reaktor tipe *fixed batch* skala laboratorium yang diatur menjadi tiga variasi temperatur 520°, 550° dan 580°C dengan waktu proses 90 dan 120 menit digunakan untuk memproduksi minyak pirolisis dari limbah plastik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk memproduksi rendemen minyak pirolisis lebih dari 55% perlu meningkatkan waktu proses sebesar 30 menit pada temperatur 520°C. Sementara menaikkan temperatur proses hingga 580°C akan meningkatkan nilai densitas yang dan viskositas minyak pirolisis menjadi 823 kg/m³ dan 20 cSt. Namun nilai kalor akan menurun sebesar 4 MJ/kg, sehingga diperlukan pencampuran dengan produk biofuel lain untuk menurunkan nilai viskositasnya.

Kata Kunci: LDPE, limbah plastik, minyak pirolisis, pirolisis.

Abstract

The underutilization of plastic waste leads to environmental and health degradation. Utilizing plastic waste as an alternative fuel through pyrolysis is a precise choice for reducing waste quantity and improving environmental quality. This study aims to determine the effect of temperature and pyrolysis time of low-density polyethene (LDPE) plastic waste on the quality of pyrolysis oil. A laboratory-scale fixed batch reactor set to three temperature variations of 520, 550, and 580°C with processing times of 90 and 120 min was used to produce pyrolysis oil from plastic waste. The results showed that to produce more than 55% of pyrolysis yield, it is necessary to increase the processing time by 30 minutes at a temperature of 520°C. Increasing the process temperature to 580°C increased the density and viscosity of pyrolysis oil to 823 kg/m³ and 20 cSt, respectively. However, the calorific value will decrease by 4 MJ/kg, it is mixed with other biofuel products to reduce its viscosity value.

Keywords: LDPE, plastics waste, pyrolysis oil, pyrolysis.

DOI: 10.20527/sjmekinematika.v10i1.326

How to cite: Rijadi, D.R.R., Rhofita, E.I., & Auvaria, S.W. "Pengaruh Temperatur dan Waktu Proses Terhadap Karakteristik Minyak Pirolisis Limbah Plastik Lowdensity Polyethylene". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 10(1), 70-80, 2025.

PENDAHULUAN

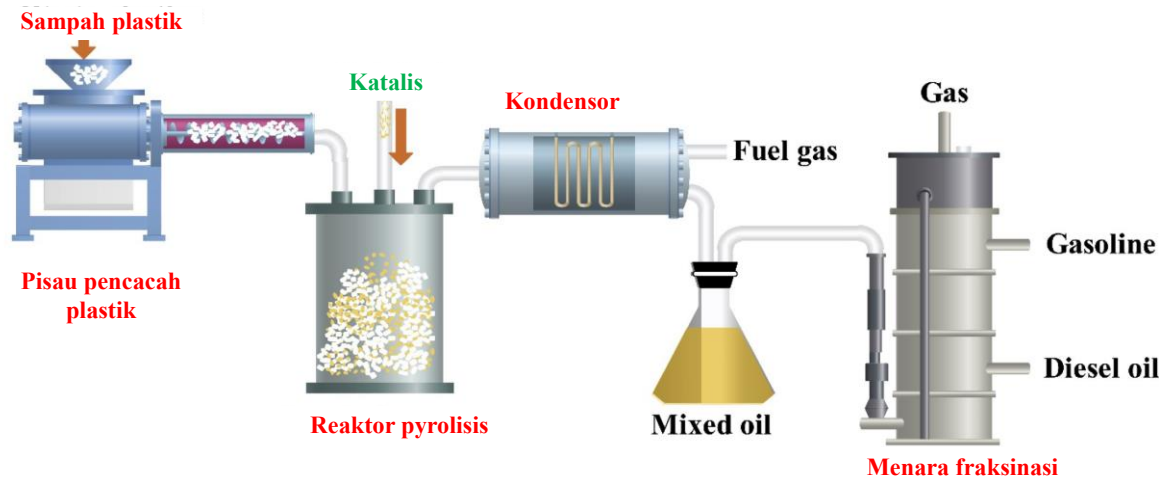
Produksi plastik global selama dua dekade telah meningkat dua kali lipat, diperkirakan pada awal tahun 2000-an mencapai 234 juta ton sementara tahun 2019 sebesar 460 juta ton; akibatnya peningkatan jumlah limbah plastik telah terjadi secara signifikan[1]. Dennis pada tahun 2023 melaporkan bahwa sekitar 159 juta ton sampah plastik telah dihasilkan pada tahun 2023[2], dengan komposisi 14% dari keseluruhan sampah plastik adalah jenis plastik *low density polyethylene* (LDPE). Secara umum, plastik LDPE memiliki kode 4 yang termasuk jenis termoplastik yang mudah didaur ulang, namun sulit untuk terurai secara alami[3]. Densitas plastik LDPE yang rendah berkisar antara 910–940kg/m³ dengan suhu dekomposisi 260°C dan titik lebur 330°C[4], menjadikan plastik jenis ini memiliki sifat elastis, kuat, tahan retak dan tahan cuaca[5], sehingga memerlukan metode pengolahan yang tepat untuk menangani sampah plastik LDPE. Oleh karena itu, proses pengolahan baru diperlukan untuk meningkatkan nilai tambah sampah plastik melalui proses pirolisis untuk memperoleh bahan bakar cair.

Pirolisis dapat didefinisikan sebagai proses pembakaran atau pemanasan terkontrol limbah plastik tanpa adanya oksigen, yang mana struktur makromolekul polimer dipecah menjadi molekul yang lebih kecil atau oligomer dan terkadang unit monomer. Pirolisis ini dipengaruhi oleh beberapa kondisi dan tidak terbatas pada suhu, waktu tinggal, keberadaan katalis dan kondisi proses lainnya, seperti jenis reaktor[6]. Menurut Maqsood et al. pada tahun 2021, pirolisis sampah plastik berlangsung pada suhu antara 200°C hingga 1300°C tergantung pada metode pirolisis[7]. Lebih detail, Gambar 1 menjelaskan proses spesifik yang terjadi pada pirolisis sampah plastik. Pertama, sampah plastik dipanaskan secara seragam hingga kisaran suhu terbatas dengan fluktuasi suhu minimal dan kemudian oksigen diekstraksi dari ruang pirolisis. Selama proses pirolisis dengan suhu rendah (<450°C) dan laju pemanasan rendah, produk adalah char atau arang. Sedangkan pada pirolisis suhu lebih dari 800°C dan laju pemanasan tinggi, sebagian besar produk abu dan gas. Namun, minyak pirolisis umumnya diproduksi dengan mengaplikasikan suhu menengah dan laju pemanasan yang relatif tinggi[8]. Beberapa peneliti telah mengidentifikasi rendemen minyak pirolisis dapat ditentukan oleh jenis plastik dan proses yang digunakan, seperti metode pirolisis, temperatur, dan waktu reaksi yang ditunjukkan pada Tabel 1 yang difokuskan pada jenis limbah plastik LDPE. Seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh Genuino et al. pada tahun 2023 aplikasi temperatur dan waktu proses pirolisis limbah plastik LDPE 500°C selama 60 menit dapat memproduksi rendemen minyak pirolisis sebesar 96%wt dan 4%wt gas. Temperatur pirolisis <400°C menghasilkan rendemen minyak pirolisis <81%w.t[9]; bahkan hanya mampu menghasilkan rendemen sekitar 67.30%w.t pada temperatur proses 400°C[14].

Meskipun sudah banyak penelitian mengenai pirolisis sampah plastik, namun penelitian ini lebih memfokuskan pada pemanfaatan sampah plastik LDPE terhadap variasi temperatur dan waktu reaksi pirolisis untuk mengetahui karakteristik dari minyak pirolisis yang dihasilkan, seperti densitas, viskositas, dan nilai kalor. Lebih detail, proses pirolisis menggunakan plastik LDPE dapat menghasilkan minyak lebih banyak dibandingkan dari plastik jenis lain Polystyrene (PS)[30]. Hasil pirolisis plastik LDPE memiliki karakteristik fisik kerosin dan bensin, sehingga sangat mungkin dijadikan alternatif energi terbarukan yang baik pada temperatur proses yang tepat [31].

Tabel 1. Efek metode pirolisis untuk limbah plastik LDPE terhadap rendemen minyak pirolisis

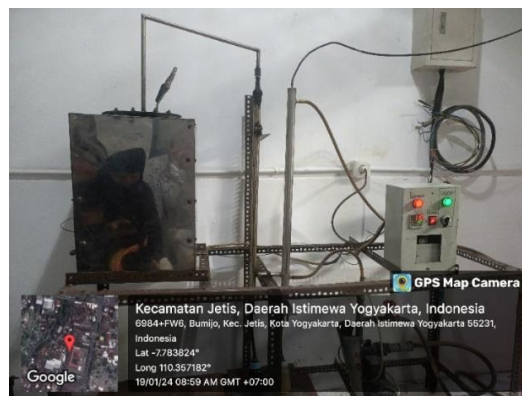
Metode pirolisis	Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Rendemen (wt%)	Referensi
<i>Slow pyrolysis</i>	500	60	96	[10]
<i>Slow pyrolysis</i>	300–450	135	86,5	[12]
<i>Slow pyrolysis</i>	<200	N/A	18	[13]
<i>Slow pyrolysis</i>	300	120	67,30	[14]
<i>Slow pyrolysis</i>	425	60	89,50	[15]
<i>Slow pyrolysis</i>	430	N/A	75,6	[16]



Gambar 1. Skema pirolisis sampah plastik[15]

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kantong plastik LDPE seberat 0.25 kg per percobaan. Reaktor pirolisis yang digunakan merupakan tipe *fixed-bed pyrolyzer reactor*, dengan pengaturan temperatur antara 400–600°C (Gambar 2).



Gambar 2. Alat pirolisis

Metode *thermal cracking* tanpa katalis dipilih untuk mengetahui tingkat efektivitas proses pirolisis apabila dioperasikan pada variasi temperatur dan waktu yang berbeda. Rancangan acak lengkap (RAL) dua faktor, yaitu variasi suhu proses (520, 550, dan 580°C) sebagai faktor 1, dan variasi waktu reaksi (90 dan 120 menit) sebagai faktor 2, dipilih untuk mengetahui pengaruh antara suhu proses dan waktu reaksi terhadap jumlah rendemen dan karakteristik (densitas, viskositas, dan nilai kalor). Pengujian densitas minyak dilakukan sesuai dengan ISO (2811-1, 2023), viskositas sesuai dengan ASTM (D445, 2017), dan nilai kalor minyak hasil pirolisis dianalisis dengan menggunakan *bomb calorimeter* (Oxygen

Bomb Calorimeter LBC-C20). Selanjutnya, besarnya nilai hasil pengujian minyak pirolisis dianalisis secara statistik dengan menggunakan uji *two-way anova*, serta uji lanjutan beda nyata terkecil (BNT).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Temperatur Reaksi Dan Waktu Reaksi Terhadap Rendemen Minyak Hasil Pirolisis

Rendemen merupakan perbandingan kuantitas hasil produksi yang berupa minyak hasil pirolisis dengan kuantitas input produksi yang berupa limbah plastik LDPE dengan tujuan mengetahui nilai efisiensi produksi. Rendemen yang diperoleh dari penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 2. Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hariadi et al. pada tahun 2021, rendemen yang dihasilkan pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan rendemen yang dihasilkan dari pirolisis LDPE pada suhu proses 250 °C dengan waktu proses 110 menit; sebesar 88,78%. yang mampu menghasilkan rendemen[16]. Rendemen yang lebih tinggi dari penelitian ini juga dihasilkan dari proses pirolisis plastik LDPE pada waktu proses 100 menit sebesar 90%[17]. Secara umum, rendemen minyak hasil pirolisis meningkat seiring dengan peningkatan temperatur dan waktu reaksi proses pirolisis yang digunakan. Namun, saat temperatur proses 550°C kuantitas rendemen minyak hasil pirolisis tidak mengalami peningkatan atau dengan kata lain tetap. Penelitian Pratiwi dkk. pada tahun 2018 menjelaskan bahwa rendemen minyak pirolisis diatas suhu 500°C akan mengalami penurunan karena tingginya temperatur membuat banyaknya penguapan dari plastik menjadi gas yang tidak dapat terkondensasi sehingga sulit untuk terkumpul menjadi minyak sehingga kuantitasnya semakin berkurang[18]. Menurut Maulinda et al. pada tahun 2023, temperatur dan waktu pirolisis memiliki pengaruh signifikan pada peningkatan minyak pirolisis sebagai produk dan menurunkan kuantitas abu dan gas sebagai produk samping pirolisis, karena adanya penambahan durasi proses dekomposisi pada bahan[19].

Faktor lain yang mempengaruhi kuantitas rendemen minyak pirolisis, antara lain ukuran cacahan plastik dan kadar air. Menurut S.H. Chang pada tahun 2023, semakin kecil ukuran cacahan plastik, maka semakin besar peluang perpindahan panas yang mampu meningkatkan nilai suhu plastik[20]. Apabila limbah plastik sebagai bahan baku yang proses pirolisis memiliki nilai kadar air yang tinggi akan berdampak pada naiknya jumlah energi yang diperlukan dalam proses pirolisis untuk menurunkan nilai kadar air bahan[21]. Selain itu, densitas plastik LDPE sebesar 934 kg/m³ mampu menghasilkan minyak pirolisis yang mengandung fraksi karbon C₆-C₁₁ (*light fraction*), C₁₂-C₂₀ (*medium fraction*) dan C₂₁-C₃₂ (*heavy fraction*) sebesar 11,72, 80,12, dan 8,16% berturut-turut pada temperatur proses 350°C[20]. Namun, fraksi karbon C₁₂-C₂₀ (*medium fraction*) akan menurun sekitar 20% pada temperatur proses 400°C sehingga berkorelasi signifikan terhadap kuantitas produk pirolisis[22]. Sama halnya dengan titik leleh plastik LDPE sebesar 111°C[9] memiliki pengaruh terhadap kecepatan degradasi termal; semakin tinggi titik leleh plastik menyebabkan semakin sulitnya molekul besar rantai karbon (C) dan hidrogen (H) untuk dipisahkan dengan pirolisis termal; sehingga akan berdampak pada kuantitas minyak pirolisis yang dihasilkan[23]. Oleh karena itu, diperlukan analisa sifat fisik plastik (seperti densitas dan titik leleh) sebelum dilakukan proses pirolisis.

Tabel 2. Rendemen minyak hasil pirolisis

Temperatur (°C)	Rendemen (wt%)	
	90 menit	120 menit
520	30,72	59,20
550	59,00	58,62
580	56,88	62,72

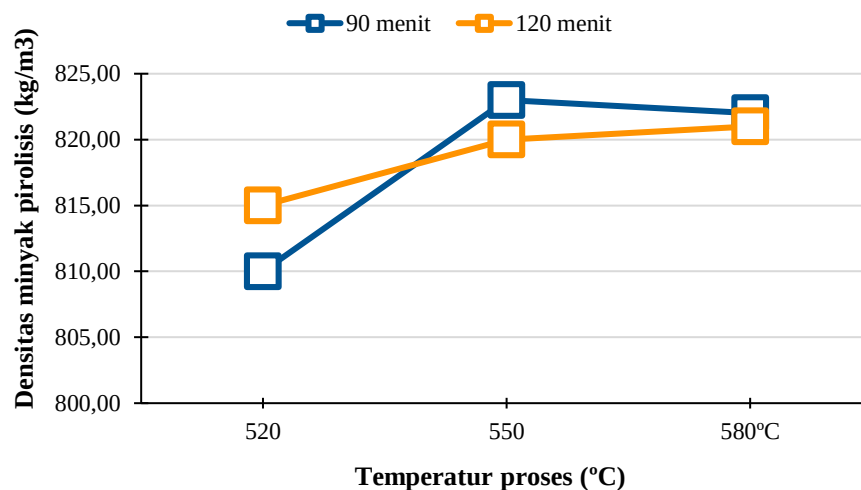
Hasil analisis statistik *two way anova* untuk mengetahui pengaruh antara temperatur proses pirolisis terhadap rendemen diperoleh nilai F sebesar 6.351 dan nilai signifikansi (p) sebesar 0.033 ($p < 0,05$) yang menunjukkan bahwa terdapat pengaruh perlakuan variasi penggunaan temperatur proses terhadap rendemen minyak pirolisis. Selanjutnya, uji lanjutan BNT diimplementasikan untuk menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan dengan variasi penggunaan temperatur proses. Sedangkan analisis statistik pengaruh antara waktu reaksi terhadap rendemen diperoleh nilai F sebesar 10.616 dengan nilai signifikansi (p) sebesar 0,017 ($p < 0,05$) yang menunjukkan adanya pengaruh waktu reaksi yang berbeda terhadap rendemen, dan diperlukan uji lanjutan BNT untuk menunjukkan tingkat signifikansi antar perlakuan. Dan yang terakhir adalah hasil uji statistik *two way anova* pengaruh antara interaksi temperatur dan waktu terhadap rendemen diperoleh nilai F sebesar 7.175 dengan nilai signifikansi (p) sebesar 0,026 ($p < 0,05$) yang berarti terdapat ada pengaruh perlakuan interaksi temperatur dan waktu yang berbeda terhadap rendemen.

Pengaruh Temperatur Reaksi Dan Waktu Reaksi Terhadap Densitas Minyak Hasil Pirolisis

Densitas atau massa jenis adalah parameter penting dalam setiap produksi bahan bakar, yang merupakan perbandingan antara massa per volume minyak hasil pirolisis dan dinyatakan dalam satuan kg/m^3 . Pada penelitian ini densitas minyak hasil pirolisis dianalisis berdasarkan ISO (2811-1, 2023) dengan menentukan massa dan volume minyak pirolisis yang dihasilkan.

Densitas minyak hasil penelitian ini berkisar antara $810\text{--}823 \text{ kg/m}^3$ (Gambar 2). Nilai densitas minyak pirolisis hasil penelitian yang diproduksi pada temperatur 550°C dan waktu reaksi 90 dan 120 menit sebesar 820 dan 823 kg/m^3 lebih tinggi dibandingkan dengan minyak pirolisis yang diproduksi pada temperatur 325°C dan waktu reaksi 240 jam dengan nilai densitas sebesar 803 kg/m^3 [24]. Nilai densitas ini setara dengan minyak pirolisis yang diproduksi dari limbah plastik PP pada temperatur 325°C dan waktu reaksi 240 jam yang menghasilkan nilai densitas 820 kg/m^3 [24]. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Riandis dkk. pada tahun 2021, yang mampu memproduksi minyak pirolisis dengan densitas $823,71 \text{ kg/m}^3$ pada temperatur proses 450°C [25]. Liestiono dkk. pada tahun 2017 menjelaskan bahwa semakin tinggi temperatur yang digunakan pada proses pirolisis maka nilai densitas pada minyak hasil akan semakin besar dikarenakan banyaknya molekul limbah plastik yang terdekomposisi seiring dengan peningkatan dengan temperatur proses yang diaplikasikan, sehingga secara signifikan meningkatkan densitas minyak pirolisis[26].

Densitas minyak hasil pirolisis yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan standar minyak tanah untuk densitas $790,90 \text{ kg/m}^3$ [22]. Namun, besarnya densitas tersebut telah memenuhi baku mutu densitas minyak diesel sebesar $815\text{--}860 \text{ kg/m}^3$. Nilai densitas minyak hasil pirolisis dipengaruhi oleh panjang ikatan hidrokarbon, yang mana semakin panjang ikatan CH maka semakin tinggi densitasnya[24].



Gambar 2. Densitas minyak hasil pirolisis

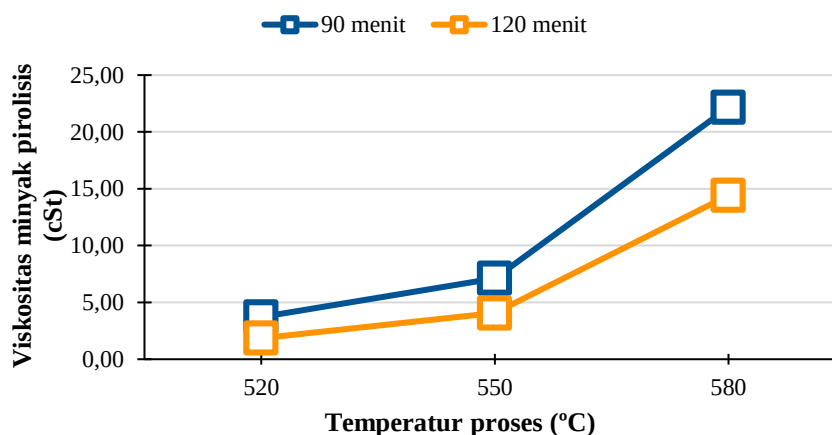
Hasil analisis statistik *two-way anova* menunjukkan bahwa temperatur proses mempunyai pengaruh terhadap densitas minyak pirolisis dengan pengaruh antara nilai F sebesar 5,891 dan nilai signifikansi (p) sebesar 0,038 ($p < 0,05$), sehingga diperlukan uji lanjut BNT, yang hasilnya menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar perlakuan dengan temperatur yang berbeda dengan densitas minyak hasil pirolisis. Berbeda dengan hasil pengujian statistik untuk menunjukkan pengaruh waktu proses terhadap densitas minyak hasil pirolisis yang tidak menunjukkan adanya pengaruh, dan diperoleh nilai F sebesar 0,018 dengan nilai signifikansi (p) sebesar 0,897 ($p > 0,05$). Sedangkan hasil pengujian pengaruh antara interaksi temperatur dan waktu terhadap densitas minyak hasil pirolisis diperoleh nilai F sebesar 0,945 dan nilai signifikansi (p) sebesar 0,440 ($p > 0,05$), sehingga menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh perlakuan interaksi temperatur dan waktu reaksi yang berbeda terhadap densitas minyak pirolisis.

Pengaruh temperatur reaksi dan waktu reaksi terhadap viskositas minyak hasil pirolisis

Viskositas memiliki penting terhadap kualitas pengaliran bahan bakar karena jika bahan bakar terlalu kental berakibat sulit untuk dipompakan, akibatnya mesin menjadi sulit untuk dinyalakan[27]. Viskositas yang terlalu encer akan menyulitkan proses pembakaran dan kebocoran pipa injeksi[28]. Secara umum semakin tinggi temperatur yang diberikan maka viskositas minyak pirolisis yang dihasilkan akan semakin rendah, karena tingginya temperatur pirolisis membuat densitas bahan bakar cair berkurang yang menyebabkan viskositas juga semakin encer atau rendah[26]. Sedangkan waktu proses pirolisis yang semakin lama akan membuat nilai viskositas minyak semakin rendah[28]. Pada penelitian ini pengujian viskositas minyak pirolisis dengan alat viskometer ostwald, volume 2 ml sesuai dengan metode ASTM (D445, 2017), sehingga diperoleh hasil viskositas berkisar antara 1,85–22,15 cSt (Gambar 3).

Gambar 3 menunjukkan bahwa hasil viskositas tertinggi didapat pada temperatur 580°C pada waktu 90 menit sebesar 22,15 cSt, sementara viskositas terendah diproduksi dari temperatur 520°C pada waktu 120 menit. Nilai viskositas minyak hasil pirolisis ini mempunyai hubungan signifikan dengan nilai densitasnya, yang dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Peningkatan densitas minyak akibat pirolisis plastik menyebabkan peningkatan viskositas minyak. Hasil penelitian yang sama juga dilakukan oleh Setiawan et al. [24], menyatakan bahwa nilai viskositas minyak pirolisis berbanding lurus dengan densitasnya. Hasil viskositas yang diperoleh pada penelitian ini masih belum memenuhi standar kriteria

bahan bakar solar yang ditetapkan oleh Pertamina untuk perlakuan dengan temperatur proses lebih dari 520, yang menyatakan bahwa standar viskositas untuk solar 48 dan 51 sebesar 2,0–5,0 cSt dan 2,0–4,5 cSt[29].



Gambar 3. Viskositas Minyak

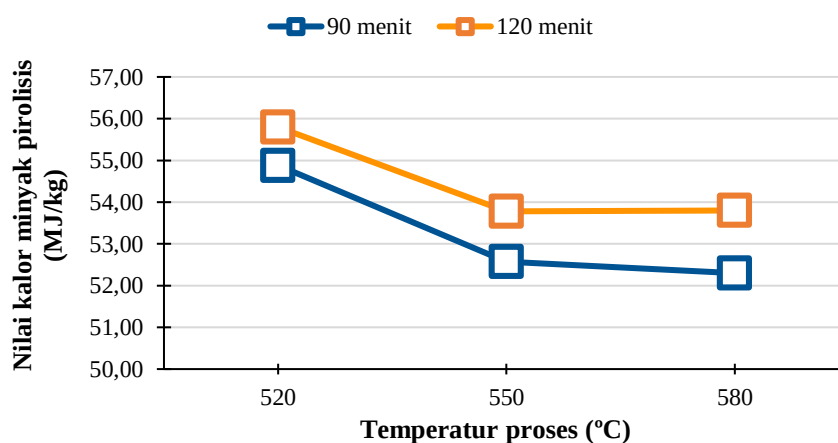
Selain itu, minyak pirolisis hasil penelitian ini juga tidak memenuhi standar untuk kriteria viskositas untuk bahan bakar bensin dengan kadar oktan 95 sebesar 0,4–0,8 cSt[30]. Tingginya nilai viskositas minyak pirolisis pada temperatur diatas 550 °C disebabkan temperatur dan waktu pirolisis yang lama akan mengevolusi komposisi produk pirolisis dengan meningkatkan berat molekul dan rantai molekul hidrokarbon yang lebih panjang; akibatnya nilai densitas dan viskositas minyak pirolisis akan meningkat. Lebih detail, Suhartono pada tahun 2019 menjelaskan bahwa viskositas bahan bakar mempunyai peranan penting dalam menentukan efisiensi mesin. Bahan bakar dengan viskositas tinggi menyebabkan atomisasi tidak sempurna sehingga menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Namun bahan bakar dengan viskositas yang sangat rendah dapat menghasilkan semprotan yang terlalu lembut sehingga tidak memiliki penetrasi yang baik dalam proses pembakaran[22].

Hasil analisis statistik *two-way anova* untuk mengetahui pengaruh antara temperatur terhadap viskositas minyak pirolisis menunjukkan adanya pengaruh variabel temperatur yang berbeda dengan viskositas, dan diperoleh nilai F sebesar 261.032 dan nilai signifikansi (p) sebesar 0,000 ($p < 0,05$) sehingga menunjukkan bahwa terdapat pengaruh perlakuan temperatur yang berbeda terhadap viskositas minyak pirolisis. Begitu pula dengan hasil analisis statistik untuk menunjukkan pengaruh antara waktu proses terhadap viskositas diperoleh nilai F sebesar 51.128 dengan nilai signifikansi (p) sebesar 0,000 ($p < 0,05$) sehingga menunjukkan adanya pengaruh perlakuan. Sedangkan hasil analisis pengaruh antara interaksi temperatur dan waktu proses terhadap viskositas diperoleh nilai F sebesar 9.242 dengan nilai signifikansi (p) sebesar 0,015 ($p < 0,05$) sehingga menunjukkan adanya pengaruh perlakuan interaksi temperatur dan waktu yang berbeda terhadap viskositas. Hasil uji lanjut BNT ketiga analisis statistik tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antar perlakuan dengan faktor 1 dan 2.

1. Nilai Kalor

Nilai kalor atau *heating value* adalah parameter penting yang harus diidentifikasi pada bahan bakar. Nilai ini menentukan kandungan energi bahan bakar yang berkorelasi signifikan terhadap efisiensi pembakaran. Nilai kalor dari minyak pirolisis limbah plastik LDPE berkisar antara 52,30–55,80 MJ/kg (Gambar 4). Sebagai perbandingan, Das et al melakukan percobaan untuk menghasilkan minyak pirolisis dari limbah plastik LDPE pada

temperatur proses 350, 375, dan 400 °C dan diperoleh nilai kalor sebesar 46,77, 46,29, dan 46,23 MJ/kg[9]. Sedangkan Sharuddin et al. pada tahun 2018 menganalisis nilai kalor minyak pirolisis dari limbah plastik LDPE sebesar 39,50 MJ/kg[31]. Jika dibandingkan dengan kedua penelitian tersebut, nilai kalor dari minyak pirolisis penelitian lebih tinggi dibandingkan dengan keduanya. Selain itu, nilai kalor ini menurun seiring dengan peningkatan temperatur proses sebagai salah faktor penentu keberhasilan proses pirolisis. Perbedaan nilai kalor juga dapat dipengaruhi oleh struktur kimia dari limbah plastik yang digunakan sebagai bahan baku[32].



Gambar 4. Nilai kalor minyak

KESIMPULAN

Jumlah limbah plastik telah meningkat dua kali lipat dalam kurun waktu satu dekade. Pemanfaatannya yang belum optimal menjadi salah satu penyebab terjadinya berbagai pencemaran lingkungan. Namun, aplikasi reaktor tipe *fixed batch* untuk mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif atau *biofuel* menjadi salah satu upaya untuk menyubstitusi penggunaan bahan bakar fosil yang terus meningkat. Variabel temperatur dan waktu proses diimplementasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuantitas rendemen minyak pirolisis dan karakteristik minyak yang dihasilkan. Pirolisis limbah plastik LDPE pada temperatur dan waktu proses 520°C dan 90 menit menghasilkan rendemen minyak pirolisis <30%. Peningkatan waktu proses sebesar 30 menit mampu menaikkan persentase rendemen minyak pirolisis hampir dua kali lipat pada temperatur proses yang sama; mencapai 60%. Meskipun demikian penggunaan temperatur dan waktu proses 520°C dan 120 menit mampu menghasilkan minyak hasil pirolisis yang mempunyai karakteristik densitas dan viskositas yang mendekati karakteristik minyak diesel. Sementara pada temperatur dan waktu proses yang sama, nilai kalornya melebihi nilai kalor minyak diesel (45,5 MJ/kg). Peningkatan temperatur sebesar 30°C dan waktu proses sebesar 30 menit secara langsung berdampak pada penurunan nilai kalor sekitar 4 MJ/kg dan peningkatan densitas dan viskositas minyak hasil pirolisis. Lebih detail, untuk mengaplikasikan minyak hasil pirolisis limbah plastik LDPE sebagai pensubstitusi bahan bakar fosil perlu dilakukan proses pemisahan antara fraksi-fraksi hidrokarbon minyak dan pengotornya melalui proses destilasi

REFERENSI

- [1] OECD, *Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*. OECD, 2022. doi: 10.1787/de747aef-en.
- [2] P. Dennis, "Plastic Overshoot Day report highlights statistics on global plastic," Circular for Resources and Waste Professionals. [Online]. Available:

- <https://www.circularonline.co.uk/news/plastic-overshoot-day-report-highlights-statistics-on-global-plastic/#>
- [3] B. Afriyanto, E. W. Indriyati, and P. Hardini, “Pengaruh Limbah Plastik Low Density Polyethylene Terhadap Karakteristik Dasar Aspal,” *Jurnal Transportasi*, vol. 19, no. 1, pp. 59–66, Apr. 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.26593/jt.v19i1.3263.59-66>.
 - [4] T. Landi and Arijanto, “Perancangan Dan Uji Alat Pengolah Sampah Plastik Jenis LDPE (Low Density Polyethylene) Menjadi Bahan Bakar Alternatif,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2017.
 - [5] G. B. Susilo and T. Y. Teja Kusuma, “Analisis Pembuatan Bahan Bakar dari Pirolisis Thermal dan Katalitik Limbah Plastik Low Density Polyethylene,” *JQT*, vol. 3, no. 2, pp. 53–58, Apr. 2022, doi: [10.18196/jqt.v3i2.14141](https://doi.org/10.18196/jqt.v3i2.14141).
 - [6] A. K. Panda, R. K. Singh, and D. K. Mishra, “Thermolysis of waste plastics to liquid fuelA suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products—A world prospective,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 1, pp. 233–248, Jan. 2010, doi: [10.1016/j.rser.2009.07.005](https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.005).
 - [7] T. Maqsood, J. Dai, Y. Zhang, M. Guang, and B. Li, “Pyrolysis of plastic species: A review of resources and products,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 159, p. 105295, Oct. 2021, doi: [10.1016/j.jaap.2021.105295](https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105295).
 - [8] G.-H. Zhang, J.-F. Zhu, and A. Okuwaki, “Prospect and current status of recycling waste plastics and technology for converting them into oil in China,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 50, no. 3, pp. 231–239, May 2007, doi: [10.1016/j.resconrec.2006.11.007](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.11.007).
 - [9] P. Das and P. Tiwari, “Valorization of packaging plastic waste by slow pyrolysis,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 128, pp. 69–77, Jan. 2018, doi: [10.1016/j.resconrec.2017.09.025](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.025).
 - [10] H. C. Genuino, M. Pilar Ruiz, H. J. Heeres, and S. R. A. Kersten, “Pyrolysis of mixed plastic waste: Predicting the product yields,” *Waste Management*, vol. 156, pp. 208–215, Feb. 2023, doi: [10.1016/j.wasman.2022.11.040](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.11.040).
 - [11] R. Bagri and P. T. Williams, “Catalytic pyrolysis of polyethylene,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 63, no. 1, pp. 29–41, Mar. 2002, doi: [10.1016/S0165-2370\(01\)00139-5](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(01)00139-5).
 - [12] T. Ademiluyi and C. Akpan, “Preliminary evaluation of fuel oil produced from pyrolysis of low density polyethylene water- sachet wastes,” *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, vol. 11, no. 3, Jun. 2010, doi: [10.4314/jasem.v11i3.55069](https://doi.org/10.4314/jasem.v11i3.55069).
 - [13] A. López, I. De Marco, B. M. Caballero, M. F. Laresgoiti, and A. Adrados, “Dechlorination of fuels in pyrolysis of PVC containing plastic wastes,” *Fuel Processing Technology*, vol. 92, no. 2, pp. 253–260, Feb. 2011, doi: [10.1016/j.fuproc.2010.05.008](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.05.008).
 - [14] K. P. Rajan, I. Mustafa, A. Gopanna, and S. P. Thomas, “Catalytic Pyrolysis of Waste Low-Density Polyethylene (LDPE) Carry Bags to Fuels: Experimental and Exergy Analyses,” *Recycling*, vol. 8, no. 4, p. 63, Aug. 2023, doi: [10.3390/recycling8040063](https://doi.org/10.3390/recycling8040063).
 - [15] M. J. B. Kabeyi and O. A. Olanrewaju, “Review and Design Overview of Plastic Waste-to-Pyrolysis Oil Conversion with Implications on the Energy Transition,” *Journal of Energy*, vol. 2023, pp. 1–25, May 2023, doi: [10.1155/2023/1821129](https://doi.org/10.1155/2023/1821129).
 - [16] D. Hariadi, S. M. Saleh, R. Anwar Yamin, and S. Aprilia, “Utilization of LDPE plastic waste on the quality of pyrolysis oil as an asphalt solvent alternative,” *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 23, p. 100872, Jun. 2021, doi: [10.1016/j.tsep.2021.100872](https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100872).

- [17] E. Erawati, Hamid, and D. Martenda, "Kinetic study on the pyrolysis of low-density polyethylene (LDPE) waste using kaolin as catalyst," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 778, no. 1, p. 012071, Apr. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/778/1/012071.
- [18] R. Pratiwi, W. Dahani, and K. F. H, "Komparasi Potensi Pirolisa Limbah Plastik Perkotaan untuk Mendapatkan Bahan Bakar Cair Setara Bensin," *J. PENELITIAN DAN KARYA ILMIAH*, vol. 2, no. 2, pp. 50–58, Jan. 2018, doi: 10.25105/pdk.v2i2.2469.
- [19] L. Maulinda *et al.*, "The Influence of Pyrolysis Time and Temperature on the Composition and Properties of Bio-Oil Prepared from Tanjong Leaves (*Mimusops elengi*)," *Sustainability*, vol. 15, no. 18, p. 13851, Sep. 2023, doi: 10.3390/su151813851.
- [20] S. H. Chang, "Plastic waste as pyrolysis feedstock for plastic oil production: A review," *Science of The Total Environment*, vol. 877, p. 162719, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162719.
- [21] K. Udyani, E. Ningsih, and M. Arif, "Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Yield dan Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Dari Bahan Limbah Kantong Plastik," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, pp. 389–394.
- [22] S. Suhartono, A. Romli, M. Harsanti, S. Suharto, and F. Achmad, "Characteristics Study of Liquid Fuel From Pyrolysis of Polyethylene Plastic Waste," *Jurnal Teknologi*, vol. 84, no. 4, pp. 57–64, May 2022, doi: 10.11113/jurnalteknologi.v84.17517.
- [23] A. F. Anene, S. B. Fredriksen, K. A. Sætre, and L.-A. Tokheim, "Experimental Study of Thermal and Catalytic Pyrolysis of Plastic Waste Components," *Sustainability*, vol. 10, no. 11, p. 3979, Oct. 2018, doi: 10.3390/su10113979.
- [24] A. Setiawan, V. Setiani, and O. S. Mazdhatina, "Characterization of fuel oil from pyrolysis waste light density polyethylene (LDPE) and polypropylene (PP)," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 1034, no. 1, p. 012069, Feb. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1034/1/012069.
- [25] J. A. Riandis, A. R. Setyawati, and A. S. Sanjaya, "Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak," *CMG*, vol. 5, no. 1, p. 8, Jun. 2021, doi: 10.30872/cmg.v5i1.4755.
- [26] R. P. Liestiono, M. S. Cahyono, W. Widyawidura, A. Prasetya, and M. Syamsiro, "Karakteristik Minyak dan Gas Hasil Proses Dekomposisi Termal Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE)," *JO*, vol. 1, no. 2, p. 1, Dec. 2017, doi: 10.30588/jo.v1i2.288.
- [27] D. M. Kamal, "Penambahan Katalis Karbon Aktif dan Tanah Liat Bentonit Pada Pirolisis Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate (PETE)," *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur*, vol. 05, no. 01, pp. 23–28, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.33795/jetm.v5i01.111>.
- [28] F. F. D. Hidayat and I. H. Siregar, "Uji Karakteristik Minyak Pirolisis Berbahan Baku Limbah Plastik Polypropylene," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 13–20, 2022.
- [29] M. Syamsiro *et al.*, "Fuel Oil Production from Municipal Plastic Wastes in Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Reactors," *Energy Procedia*, vol. 47, pp. 180–188, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.212.
- [30] R. Prurapark, K. Owjaraen, B. Saengphrom, I. Limthongtip, and N. Tongam, "Effect of Temperature on Pyrolysis Oil Using High-Density Polyethylene and Polyethylene Terephthalate Sources From Mobile Pyrolysis Plant," *Front. Energy Res.*, vol. 8, p. 541535, Nov. 2020, doi: 10.3389/fenrg.2020.541535.

- [31] S. D. A. Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. W. Daud, and M. K. Aroua, "Pyrolysis of plastic waste for liquid fuel production as prospective energy resource," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 334, p. 012001, Mar. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/334/1/012001.
- [32] Suhartono, "Kerosene Like Fuel Characteristics from Municipal Solid Plastics Waste Pyrolytic Oil for Domestic Purposes," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 620, no. 1, p. 012102, Sep. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/620/1/012102.