

Pengaruh Suhu Terhadap Karakteristik, Nilai Kalor, Dan Volume Minyak *Polyethylene* Dengan Metode Pirolisis

Hamdan Katsiro¹, Nely Ana Mufarida^{2*}, Bagus Setya Rintiyarna³, dan Nurhalim⁴

¹ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember; email : hamdandun3259@gmail.com

² Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember; email : nelyana@unmuhjember.ac.id

³ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember; email : bagus.setya@unmuhjember.ac.id

⁴ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember; email : nurhalim@unmuhjember.ac.id

* Penulis Korespondensi : Nely Ana Mufarida Email : nelyana@unmuhjember.ac.id

Abstract: *The increase in plastic consumption in Indonesia has an impact on the increasing generation of plastic waste that is difficult to decompose and has the potential to pollute the environment, one of which is polyethylene (PE) waste from the 3LPE (Three Layer Polyethylene) steel pipe coating process. The waste is generally not reused because it has been contaminated with other materials. This study aims to determine the effect of pyrolysis temperature on the volume, yield, physical characteristics, and calorific value of polyethylene waste pyrolysis oil as an alternative fuel. The method used was an experiment with a quantitative approach using the pyrolysis process without oxygen at a temperature of 500°C for 180 minutes with 2 kg of avfal PE raw material. The resulting pyrolysis oil is then tested for characteristics including density, viscosity, and calorific value. The results showed that at 500°C the oil volume was obtained at 250 ml with a yield of 11.05%. Pyrolysis oil has a density of 0.924 gr/ml, a viscosity of 0.754 Pa.s, and a calorific value of 17,385.67 cal/gram. Visually, the oil is dark brown, pungent smelling, dilute, and flammable. These results show that polyethylene waste from the 3LPE process has the potential to be utilized as an alternative fuel through the pyrolysis method, although its characteristics still require quality improvement to approach conventional fuel standards.*

Keywords: *pyrolysis; plastic waste; caloric value; density; Viscosity*

Abstrak: Peningkatan penggunaan plastik di Indonesia berkontribusi terhadap bertambahnya volume limbah plastik yang sulit terdegradasi dan berpotensi mencemari lingkungan. Salah satu jenis limbah tersebut berasal dari polyethylene (PE) sisa proses pelapisan pipa baja metode 3LPE (Three Layer Polyethylene). Limbah ini umumnya tidak dimanfaatkan kembali karena telah tercemar oleh material lain. Penelitian bertujuan untuk menganalisis suhu pirolisis terhadap volume, rendemen, karakteristik fisik, serta nilai kalor minyak produk pirolisis limbah polyethylene sebagai BBM. Pengambilan data yang digunakan adalah dengan eksperimen pendekatan kuantitatif dari proses pirolisis tanpa udara pada suhu 500°C selama 180 menit menggunakan bahan baku avfal PE sebanyak 2 kg. Minyak hasil pirolisis selanjutnya diuji karakteristiknya meliputi densitas, viskositas/kekentalan, dan nilai kalor. Penelitian menunjukkan bahwa pada saat suhu 500°C diperoleh volume minyak sebesar 250 ml dengan rendemen 11,05%. Minyak pirolisis memiliki densitas 0,924 g/ml, viskositas 0,754 Pa.s, dan nilai kalor sebesar 17.385,67 cal/gram. Secara visual, minyak berwarna coklat gelap, berbau menyengat, bersifat encer, dan mudah terbakar. Temuan ini menunjukkan bahwa limbah polyethylene dari proses 3LPE berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif melalui metode pirolisis, meskipun diperlukan peningkatan kualitas agar karakteristiknya mendekati standar bahan bakar konvensional.

Kata kunci: pirolisis; limbah plastik; nilai kalor; densitas; viskositas

Diterima: February 04, 2026

Direvisi: February 22, 2026

Diterima: February 24, 2026

Diterbitkan: March 2, 2026

Versi sekarang: March 3, 2026



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.

Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka

berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons

Attribution (CC BY SA) (

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Indonesia termasuk negara dengan tingkat konsumsi plastik yang tergolong tinggi. Berdasarkan data SPSN (Sistem Pengelolaan Sampah Nasional) Kementerian Lingkungan Hidup, hingga April 2025 tercatat timbulan sampah nasional mencapai 33,621 juta ton per

tahun, sekitar 10,8 juta ton atau setara dengan 20% adalah sampah plastik. Dari jumlah tersebut, sekitar 39,91% belum terkelola dengan baik, sehingga rata-rata sampah tidak terkelola mencapai lebih dari 13 juta ton per tahun. Kondisi ini terjadi karena hampir keseluruhan aktivitas manusia, baik rumah tangga, industri, maupun perdagangan, menghasilkan limbah plastik. Selain itu, pertumbuhan jumlah penduduk turut berperan dalam meningkatkan volume sampah yang dihasilkan setiap tahun.

Data Direktorat Jenderal (Dukcapil) Kementerian Dalam Negeri menunjukkan jumlah masyarakat Indonesia pada semester I tahun 2025 mencapai 286.693.693 jiwa, mengalami kenaikan sebesar 1,7 juta jiwa dari tahun 2024. Pertambahan jumlah penduduk tersebut berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan dan konsumsi masyarakat, termasuk penggunaan plastik di berbagai sektor. Peningkatan konsumsi plastik juga merupakan dampak dari perkembangan industri, teknologi, dan aktivitas ekonomi. Oleh karena itu, peningkatan penggunaan plastik perlu diimbangi dengan sistem pengelolaan limbah yang efektif dan efisien agar tidak berdampak buruk terhadap lingkungan.

Plastik yang tidak segera diolah atau di proses kembali berpotensi menumpuk kemudian menyebabkan pencemaran lingkungan. Hal ini disebabkan oleh karakteristik plastik membutuhkan waktu yang sangat lama untuk terdekomposisi secara alami, bahkan dapat mencapai ratusan tahun. Selain itu, mikroorganisme di alam mengalami kesulitan dalam menguraikan material plastik. Penanganan sampah plastik yang kurang tepat, seperti pembakaran terbuka atau penimbunan langsung, justru dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Pembakaran plastik dapat menghasilkan gas berbahaya bagi sistem pernapasan, sedangkan penimbunan dapat mencemari tanah dan air tanah.

Penggunaan plastik tidak hanya terbatas pada sektor rumah tangga, tetapi juga meluas ke bidang industri manufaktur dan konstruksi. Dalam industri pipa baja, plastik dimanfaatkan sebagai material pelapis melalui sistem 3LPE (Three Layer Polyethylene) yang berfungsi melindungi pipa dari korosi. Meskipun sistem ini efektif meningkatkan daya tahan pipa baja, proses produksinya menghasilkan limbah plastik dalam jumlah yang cukup besar. Limbah tersebut umumnya berupa serbuk biji plastik (avfal) dan potongan plastik hasil pemotongan ujung pipa, yang sering kali tidak dimanfaatkan kembali karena telah terkontaminasi oleh epoxy dan perekat.

Berbagai metode daur ulang sampah telah diterapkan, seperti konsep 3R (*Reuse, Recycle, and Reduce*). Namun, selain metode tersebut, pengolahan limbah plastik juga dapat dilakukan melalui teknologi termal, seperti gasifikasi, insinerasi, dan pirolisis. Teknologi pirolisis merupakan salah satu solusi alternatif pada saat ini karena mampu mengonversi limbah plastik menjadi bahan bakar cair yang berpotensi digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Proses pirolisis dilakukan melalui pemanasan material pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen, sehingga terjadi pemecahan rantai polimer menjadi senyawa yang lebih sederhana dalam bentuk padat, cair, dan gas.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh hasil observasi selama kegiatan magang di industri manufaktur pipa baja, khususnya pada area proses pelapisan 3LPE. Proses tersebut menghasilkan limbah *polyethylene* dalam jumlah besar dan belum dikelola secara optimal. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pemanfaatan limbah *polyethylene* dari proses 3LPE menjadi BBM alternatif melalui metode pirolisis, sehingga diharapkan dapat memberikan manfaat bagi lingkungan, masyarakat, serta industri terkait.

2. Tinjauan Literatur

Pada studi kasus penggunaan limbah plastik *polyethylene* menjadi BBM dengan proses pirolisis. Bab ini membahas mengenai teori dan konsep yang berkaitan dengan topik penelitian. Diantaranya adalah sebagai berikut:

Pirolisis didefinisikan sebagai proses degradasi material melalui reaksi termokimia pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Dalam penguraian bahan plastik, proses ini biasanya memerlukan suhu antara 300–500 °C untuk menghasilkan senyawa gas yang selanjutnya dikondensasikan dan disuling sehingga diperoleh minyak, serta menyisakan residu padat berupa arang.

Berdasarkan hasil penelitian [1] metode pirolisis pada plastik HDPE dan PP dengan massa 500–2500 g dan suhu sekitar 300–450°C. Hasil menunjukkan PP menghasilkan minyak lebih banyak (72%) dibanding HDPE (31%). Densitas minyak 0,767–0,768 g/mL dan nilai kalor mencapai 19.752 Btu/lb (PP). Minyak PP lebih encer dan baik kualitasnya sebagai BBM alternatif.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [2] menggunakan campuran berbeda yaitu HDPE dan PET Penelitian ini memanfaatkan pirolisis sederhana dengan pemanas LPG dan pendingin air bersuhu 134–200°C selama 120 menit menggunakan 500 g plastik. Hasil menunjukkan HDPE menghasilkan minyak lebih banyak (74 mL) dibanding PET (27 mL), dengan rendemen 11,37% dan densitas 769 kg/m³. Minyak HDPE lebih encer dan layak sebagai bahan bakar alternatif.

Berdasarkan hasil penelitian [3] bahwa pirolisis pada suhu 500°C dengan perbedaan waktu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit menggunakan 400 g PP. Volume minyak tertinggi 200 mL (60 menit), sedangkan nilai kalor terbaik 10.831,1 Kcal/Kg (90 menit). Minyak berwarna kuning jernih dan memiliki kualitas energi melebihi bensin murni.

Berdasarkan hasil penelitian [4] terbatas yang menggunakan jenis plastik /LDPE dengan variasi temperatur 275°C, 300°C, dan 350°C selama 200 menit pada 1.500 g bahan. Hasil penelitian memperlihatkan peningkatan suhu reaktor berpengaruh terhadap jumlah dan mutu minyak yang dihasilkan. Volume minyak meningkat dari 90 mL (275°C) menjadi 127 mL (350°C). Densitas meningkat dari 0,730 menjadi 0,782 kg/L, dan viskositas dari 2,2 menjadi 3,5 cSt. Nilai kalor minyak juga meningkat dari 10.956 cal/g hingga 11.308 cal/g, sedangkan titik nyala naik dari 14,5°C menjadi 16,5°C. Secara visual, minyak berwarna kuning jernih pada suhu tinggi, dan karakteristiknya mendekati Pertalite (pada suhu 300–350°C) serta minyak tanah (pada suhu 275°C).

2.1 Pirolisis

Kata *pyrolysis* berasal dari kata Yunani, *pyro* yang berarti api dan *lysis* yang berarti pemisahan. Pirolisis adalah proses pemanasan dengan suhu tinggi tanpa adanya oksigen. [5] Pirolisis didefinisikan sebagai proses pemanasan material pada suhu tinggi dengan kondisi minim atau tanpa oksigen.. Proses pirolisis biasanya dilakukan pada suhu antara 300°C hingga 800°C. Isoto di jurnal [2] menjelaskan bahwa pirolisis merupakan proses degradasi suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara (proses termokimia), dalam mendegradasi bahan plastik dibutuhkan suhu antara 300-500 °C untuk menjadi gas kemudian dikondensasikan, kemudian disuling untuk menghasilkan minyak dan residu yang menjadi arang. Proses pirolisis diklasifikasikan menjadi tiga diantaranya sebagai berikut: *Slow pyrolysis* atau pirolisis lambat dilakukan dalam waktu yang lama dan bahkan dapat memakan waktu hingga beberapa hari.. *Fast pyrolysis* merupakan proses pirolisis yang melibatkan suhu lebih dari 500°C dengan waktu (1 hingga 30 detik). *Intermediate pyrolysis* merupakan proses yang dilakukan pada suhu 100-500°C dan pada durasi tertentu [6]. Pirolisis adalah proses pemanasan dengan suhu tinggi tanpa adanya oksigen. [7] Minyak dipanaskan pada suhu tinggi tanpa udara untuk memisahkannya menjadi bahan gas, cair, dan padat. Ridhuan di jurnal [3] menjelaskan bahwa pirolisis adalah dekomposisi bahan kimia organik dengan melalui proses pemanasan tanpa adanya oksigen atau regain lain. [8] pirolisis mengkonversi materi sampah menjadi energi panas, flue gas, dan ash yang kemudian dilepaskan ke atmosfer.

2.2 Rendemen

Rendemen merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan perbandingan antara jumlah produk akhir yang dihasilkan dengan jumlah bahan baku awal. Nilai rendemen biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase dan digunakan untuk mengevaluasi efisiensi suatu proses.

Dalam konteks pirolisis, rendemen minyak dihitung berdasarkan perbandingan massa atau volume minyak pirolisis yang diperoleh terhadap massa plastik yang digunakan sebagai bahan baku. Yuniarifin di jurnal [5] Semakin besar nilai rendemen, semakin tinggi efektivitas proses pirolisis dalam mengonversi limbah plastik menjadi bahan bakar cair. Untuk menghitung rendemen adalah sebagai berikut:

$$\text{Rendemen} = ((\text{Volume minyak yang dihasilkan})) / ((\text{Berat plastik})) \times 100\% \quad (1)$$

2.3 Densitas

Densitas adalah ukuran massa per satuan volume suatu zat, sering juga disebut massa jenis atau kerapatan. Densitas atau massa jenis merupakan besaran fisika yang menyatakan perbandingan antara massa suatu zat terhadap volumenya. Nilai densitas menggambarkan tingkat kerapatan partikel penyusun suatu material. Menurut [6] densitas merupakan pengukuran massa jenis suatu zat, dalam setiap satuan volume zat (benda). Zat dengan densitas tinggi memiliki partikel yang lebih rapat dibandingkan zat dengan densitas rendah.

Dalam pengujian bahan bakar, densitas menjadi salah satu parameter penting karena berpengaruh terhadap performa mesin. Densitas yang terlalu tinggi dapat meningkatkan beban kerja mesin dan mempercepat keausan komponen. Oleh karena itu, pengujian densitas minyak pirolisis dilakukan untuk mengetahui kesesuaiannya dengan karakteristik bahan bakar konvensional. Di sisi lain, kerapatan yang semakin besar akan berpengaruh terhadap mesin dengan menyebabkan keausan dan kerusakan [4]. Densitas juga merupakan awal dari pengujian viskositas yang dapat pula digunakan sebagai tolak ukur. Berikut rumus dari densitas:

$$\rho = m/v \quad (2)$$

Keterangan:

ρ = rho (g/cm³)

m = massa (g) $\Rightarrow$ (massa awal – massa akhir)

V = volume (ml)

2.4 Viskositas (kekentalan)

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar atau kecilnya gesekan didalam fluida. Viskositas disebut juga dengan Tingkat kekentalan suatu zat cair. Viskositas juga berperan sebagai acuan atau parameter apakah cairan mudah tidaknya mengalir. Menurut [7] viskositas adalah suatu ukuran dari besar perlawanan zat cair untuk mengalir. Viskositas merupakan ukuran tingkat kekentalan suatu fluida yang menunjukkan besar kecilnya hambatan internal saat fluida tersebut mengalir. Nilai viskositas berperan penting dalam menentukan kemudahan aliran bahan bakar serta proses atomisasi pada sistem pembakaran.

Pengujian viskositas minyak pirolisis umumnya dilakukan menggunakan viskometer Ostwald, yang bekerja berdasarkan waktu alir fluida melalui pipa kapiler. Semakin lama waktu alir yang dibutuhkan, semakin besar nilai viskositas fluida tersebut. Nilai viskositas yang sesuai sangat diperlukan agar bahan bakar dapat mengalir dengan baik dan tidak mengganggu kinerja mesin. Untuk mendapatkan nilai viskositas menggunakan viskometer ostwald dapat dilakukan dengan perhitungan berikut:

$$\eta\alpha/\eta x = (\rho\alpha.t\alpha)/(\rho x.tx) \quad (3)$$

Keterangan :

ηx = Nilai Viskositas minyak (Pa.s)

$\eta\alpha$ = Nilai Viskositas cairan pembanding (Pa.s)

ρx = Massa jenis minyak (g/cm³)

$\rho\alpha$ = Massa jenis cairan pembanding (g/cm³)

tx = Waktu minyak (s)

t α = Waktu cairan pembanding (s)

2.5 Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan total energi panas yang dilepaskan saat pembakaran suatu zat. Seperti bahan bakar, dan makanan. [4] menjelaskan bahwa nilai kalor adalah angka yang menunjukkan berapa banyak kalori atau panas yang dihasilkan ketika sejumlah bahan bakar dibakar dengan udara atau oksigen. Nilai kalor merupakan besaran yang menunjukkan jumlah energi panas yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar mengalami proses pembakaran sempurna. Parameter ini digunakan untuk menilai kualitas energi dari bahan bakar, di mana nilai kalor yang lebih tinggi menunjukkan potensi energi yang lebih besar.

Dalam penelitian bahan bakar alternatif, nilai kalor menjadi indikator utama untuk membandingkan kemampuan energi minyak pirolisis dengan bahan bakar fosil konvensional. Semakin tinggi nilai kalor minyak pirolisis, semakin besar peluang minyak tersebut untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.

2.6 Standar Acuan Bahan Bakar

Data dibawah merupakan beberapa acuan yang diambil dari Kementrian. (ESDM) tahun 2017 dan Direktorat Jendral Minyak dan Gas (DJM) tahun 2020.

Tabel 1. Pengambilan Data Penelitian

Karakteristik	Jenis bahan bakar		
	Pertalite	Minyak Tanah	Solar
Densitas (gr/mol)	0,780	0,830	0,870
Viskositas (Pa.s)	0,8	2,0	5,0
Nilai Kalor (cal/gram)	10994	9000	10348

3. Metode

Pendekatan eksperimental kuantitatif diterapkan dalam penelitian ini untuk mengkaji keterkaitan antara perubahan suhu proses dan karakteristik hasil pengujian berdasarkan data numerik yang diperoleh secara langsung.

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Lt. 1, Universitas Muhammadiyah Jember. Kegiatan penelitian dilakukan pada bulan Januari dengan memanfaatkan fasilitas laboratorium yang tersedia.

3.2. Alat dan Bahan

Material utama yang dimanfaatkan dalam penelitian ini adalah limbah plastik *polyethylene* (PE) berbentuk serbuk atau avfal yang berasal dari sisa proses pelapisan pipa baja metode 3LPE, dengan total massa bahan yang digunakan sebesar 2 kg untuk setiap pengujian.

Peralatan penelitian terdiri dari rangkaian pirolisis yang meliputi reaktor, pemanas, kondensor, pipa penghubung, dan sensor suhu. Selain itu, digunakan pula alat penunjang seperti gelas ukur, gelas beker, timbangan digital, stopwatch, serta alat pengujian berupa piknometer untuk pengukuran densitas dan viskometer Ostwald untuk pengujian viskositas. Avfal PE (*Polyethylene*) bahan berbentuk serbuk plastik dengan total keseluruhan 6 kg.

Gambar 1. Serbuk Plastik *Polyethylene* (HDPE)



Alat penelitian merupakan komponen yang digunakan untuk melakukan proses pengujian, pengambilan data, serta pengolahan hasil eksperimen. Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari rangkaian pirolisis, alat penunjang, dan alat pengujian lainnya.

- a. Rangkaian pirolisis
 - 1) Reaktor
 - 2) Kondensor
 - 3) Pemanas/*Heater*
 - 4) Pipa kondensor
 - 5) Sensor suhu
- b. Alat penunjang
 - 1) Gelas *beaker*
 - 2) Pemantik api
 - 3) Sarung tangan
 - 4) Timbangan digital
 - 5) Timbangan digital mini *scale*
 - 6) *Stopwatch*
 - 7) Gelas ukur
 - 8) Pipet filler
- c. Alat pengujian
 - 1) Piknometer
 - 2) Viskositas Ostwald

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian yang digunakan termasuk ke dalam jenis penelitian eksperimen. Metode eksperimen dilakukan dengan terkontrol dan berguna untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap, diantaranya sebagai berikut: Tahapan penelitian diawali dengan persiapan alat dan bahan, yaitu pengambilan limbah plastik dari industri pipa baja serta pembersihan material dari kotoran atau logam yang menempel. Selanjutnya, bahan ditimbang sebanyak 2 kg dan dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis yang kemudian ditutup rapat.

Reaktor dipanaskan hingga mencapai suhu 500°C tanpa kehadiran oksigen dan dipertahankan selama 180 menit. Minyak pirolisis yang terbentuk dialirkan melalui kondensor dan ditampung menggunakan gelas beker. Setelah proses pirolisis selesai, minyak yang diperoleh selanjutnya diuji karakteristik fisiknya, meliputi densitas, viskositas, dan nilai kalor.

- a. Tahap persiapan alat dan bahan
 - 1) Mengambil bahan limbah dari industri pipa.
 - 2) Bersihkan limbah dari kawat menggunakan magnet.
- b. Tahap pembuatan bahan bakar
 - 1) Menimbang bahan sebanyak 2 kg, bahan sudah berbentuk serbuk dengan ukuran random.
 - 2) Masukkan ke dalam reaktor kemudian tutup dan kencangkan baut dan mur.
 - 3) Letakkan reaktor ke dalam pemanas dan sambungkan pipa dengan kondensor.
 - 4) Nyalakan incenerator dengan menancapkan steaker ke stop contact.
 - 5) Selanjutnya atur suhu pada indicator dengan menekan tombol arah atas atau arah bawah. Arah atas berguna untuk menaikkan suhu dan arah bawah untuk menurunkan suhu.
 - 6) Letakkan gelas beaker pada pipa pembuangan kondensor untuk menampung minyak pirolisis.
 - 7) Tunggu waktu hingga mencapai suhu yang ditentukan, dan tunggu hingga minyak menetes keluar.
 - 8) Ketika minyak menetes keluar catat waktu.
- c. Tahap pengujian densitas
 - 1) Timbang berat kosong piknometer.
 - 2) Tuang minyak ke piknometer dan timbang Kembali, lalu catat hasilnya.
 - 3) Timbang berat kosong piknometer.
 - 4) Tuang minyak ke piknometer dan timbang Kembali, lalu catat hasilnya.
 - 5) Timbang berat kosong piknometer.
 - 6) Tuang minyak ke piknometer dan timbang Kembali, lalu catat hasilnya.

- d. Tahap pengujian viskositas
- 1) Siapkan minyak dan tuang ke dalam gelas beaker lalu panaskan hingga mencapai suhu 40°C.
 - 2) Tuangkan minyak ke dalam viskositas Ostwald dan hisap minyak menggunakan pipet filler.
 - 3) Hisap hingga mencapai garis atas.
 - 4) Lepaskan penghisap dan catat waktu aliran minyak dari batas atas hingga batas bawah.
 - 5) Ulangi tiga kali percobaan untuk dicari nilai rata-ratanya.
 - 6) Catat hasilnya.

Tabel 2. Pengambilan Data Penelitian

Sampel	Volume	Rendemen	Data pada Sampel		
			Nilai kalor	Densitas	viskositas
500°C					

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengonversi limbah plastik polyethylene dari sisa proses 3LPE menjadi bahan bakar alternatif melalui metode pirolisis.. Penelitian pembuatan bahan bakar menggunakan avfal PE (*Polyethylene*) limbah dari proses pelapisan pipa baja dengan memanfaatkan massa 2 kg untuk dijadikan minyak pirolisis. Penelitian ini bertujuan untuk mengonversi limbah plastik polyethylene dari sisa proses 3LPE menjadi bahan bakar alternatif melalui metode pirolisis. Minyak hasil pirolisis kemudian dianalisis berdasarkan volume, rendemen, densitas, viskositas, serta nilai kalor untuk mengetahui kualitas bahan bakar yang dihasilkan.

4.1 . Volume Minyak Pirolisis

Penelitian pembuatan bahan bakar menghasilkan minyak sebanyak 250 ml dari waktu tunggu 180 menit. Minyak tersebut dituangkan pada gelas *beaker* seperti gambar berikut:



Gambar 2. Minyak Pirolisis Pada Suhu 500°C

4.2 Rendemen

Rendemen adalah sisa dari pembakaran yang terdapat pada reaktor. Berikut merupakan perhitungan rendemen:

$$\begin{aligned}
 m &= V \times \rho \\
 m &= 250 \times 0,92 \\
 &= 230 \Rightarrow 0,23 \text{ kg}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Keterangan:

m : massa
 V : volume
 ρ : densitas

$$\text{Rendemen} = ((\text{Volume minyak yang dihasilkan}) / ((\text{Berat plastik}))) \times 100\% \tag{2}$$

$$\text{Rendemen} = 0,23/2 \times 100\%$$

$$\text{Rendemen} = 0,115 \Rightarrow 11,05\%$$

4.3 Densitas

Hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa minyak pirolisis memiliki nilai densitas sebesar 0,924 g/ml. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan beberapa bahan bakar konvensional, yang mengindikasikan bahwa minyak pirolisis memiliki tingkat kerapatan yang cukup besar dan perlu disesuaikan apabila akan diaplikasikan langsung pada mesin. $\rho = m/v$

(3)

$$\begin{aligned}\rho &= (28,316 - 19,076)/10 \\ &= 0,924 \text{ gr/ml}\end{aligned}$$



Gambar . (a) Nilai Timbangan Piknometer Kosong; (b) Nilai Timbangan Piknometer Isi.

4.4 Viskositas

Berikut merupakan perhitungan untuk viskositas minyak pirolisis:

$$\begin{aligned}\eta_x/\eta_x &= (\rho_x \cdot t_x)/(\rho_x \cdot t_x) \\ 0,8/\eta_x &= (0,98 \times 2)/(0,924 \times 2) \\ 0,8/\eta_x &= 1,96/1,848 \\ 1,96\eta_x &= 1,4784 \\ \eta_x &= 1,4784/1,96 \\ \eta_x &= 0,754 \text{ Pa.s}\end{aligned}\tag{4}$$

4.5 Nilai Kalor

Pengujian dilakukan menggunakan *Bomb Calorimeter Type XRY-1A* dengan menghasilkan nilai kalor sebesar 17385,67 cal/gram.

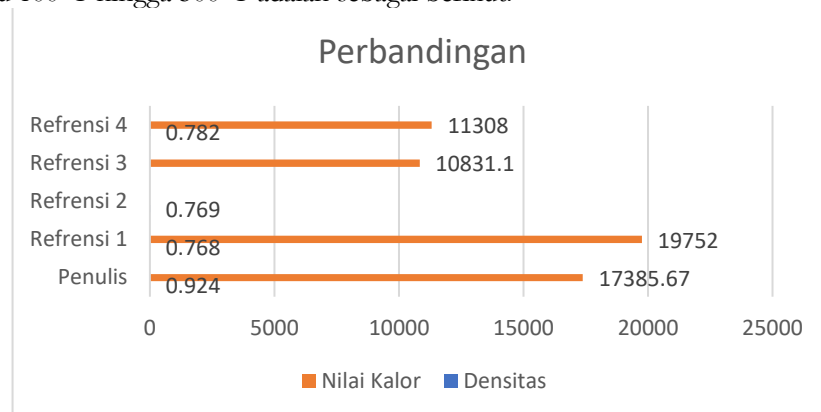
4.6 Karakteristik Minyak Pirolisis

Secara visual, minyak pirolisis yang dihasilkan berwarna coklat gelap, memiliki bau yang menyengat, bersifat encer, dan mudah terbakar. Karakteristik ini menunjukkan bahwa minyak hasil pirolisis polyethylene memiliki sifat mudah menyala, meskipun masih memerlukan pemurnian lebih lanjut agar mendekati standar bahan bakar komersial. Minyak hasil pirolisis pada suhu 500°C setelah proses berakhir. Minyak yang dihasilkan memiliki tampilan warna coklat gelap, bau yang menyengat, encer dan mudah terbakar menggunakan media dengan volume sebesar 250 ml. Secara visual, minyak pirolisis yang dihasilkan berwarna coklat gelap, memiliki bau yang menyengat, bersifat encer, dan mudah terbakar. Karakteristik ini menunjukkan bahwa minyak hasil pirolisis polyethylene memiliki sifat mudah menyala, meskipun masih memerlukan pemurnian lebih lanjut agar mendekati standar bahan bakar komersial.

Tabel 2. Pengambilan Data Penelitian

Sampel	Volume	Rendemen	Data pada Sampel		
			Nilai kalor	Densitas	viskositas
500°C	250 ml	11,05%	17385,67 cal/gram	0,924 gr/ml	0,754 Pa.s

Dibawah ini merupakan grafik perbandingan nilai kalor dan densitas dari penelitian sebelumnya. Bahan yang digunakan meliputi jenis HDPE, LDPE, PET, dan PP dengan rentan suhu 100°C hingga 500°C adalah sebagai berikut:



Keterangan:

Penulis : HDPE; 500°C

Refrensi 1 : HDPE dan PP; 300°C-450°C

Refrensi 2 : HDPE dan PET; 134°C-200°C

Refrensi 3 : PP; 500°C

Refrensi 4 : LDPE; 275°C-350°C

5. Perbandingan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [1] metode pirolisis pada plastik HDPE dan PP dengan massa 500–2500 g dan suhu sekitar 300–450°C. Hasil menunjukkan PP menghasilkan minyak lebih banyak (72%) dibanding HDPE (31%). Densitas minyak 0,767–0,768 g/mL dan nilai kalor mencapai 19.752 Btu/lb (PP). Minyak PP lebih encer dan lebih baik kualitasnya sebagai bahan bakar alternatif. Penelitian sebelumnya tidak menjelaskan bahan HDPE apa yang digunakan, bentuk bahan juga tidak tercantam, apakah berbentuk cacahan atau biji plastik, juga durasi waktu yang digunakan. Sedangkan penulis melakukan penelitian menggunakan serbuk plastik HDPE dengan suhu 500°C selama 180 menit menghasilkan volume 250 ml, jumlah rendemen 11,05%, nilai densitas 0,924 gr/ml, nilai viskositas 0,754 Pa.s, dan nilai kalor sebesar 17385,67 cal/gram.

6. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah plastik polyethylene (PE) dari proses 3LPE dapat dimanfaatkan sebagai BBM melalui proses pirolisis. Proses pirolisis pada suhu 500 °C dengan massa bahan 2 kg selama 180 menit menghasilkan minyak pirolisis sebanyak 250 ml dengan rendemen 11,05%.

Minyak yang dihasilkan memiliki densitas 0,924 g/ml, viskositas 0,754 Pa.s, dan nilai kalor 17.385,67 cal/gram, yang lebih tinggi dibandingkan beberapa bahan bakar konvensional. Hasil ini menunjukkan bahwa minyak berpotensi sebagai BBM. Keterbatasan penelitian ini terletak pada penggunaan satu variasi suhu, sehingga penelitian lanjutan disarankan untuk menggunakan variasi suhu dan pengujian performa pembakaran

Kontribusi Penulis: Penulis berkontribusi secara utama dalam merancang dan melaksanakan keseluruhan penelitian. Kontribusi meliputi: (1) perancangan eksperimen untuk menguji bahan yang digunakan, waktu, dan volume (2) persiapan material dan modifikasi alat; (3) pelaksanaan proses pirolisis; (4) pengambilan serta analisis data kuantitatif dalam perhitungan viskositas dan densitas; dan (5) interpretasi hasil untuk menentukan mutu bahan bakar hasil pirolisis.

Pendanaan: Penelitian ini dilaksanakan secara mandiri tanpa dukungan pendanaan eksternal dari lembaga hibah, institusi, maupun organisasi komersial. Seluruh biaya yang mencakup pengadaan bahan, penggunaan fasilitas laboratorium, dan operasional penelitian sepenuhnya ditanggung oleh penulis.

Pernyataan Ketersediaan Data: Data pendukung hasil penelitian ini bisa didapatkan dengan cara yang baik tanpa adanya unsur memaksa. Data tersebut meliputi catatan eksperimen, data

pengukuran mentah (raw data) serta data pendukung lain yang digunakan dalam proses analisis dan pembahasan.

Ucapan Terima Kasih: Penulis menyampaikan apresiasi kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember atas ketersediaan fasilitas laboratorium serta dukungan teknis yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi melalui bimbingan, masukan, dan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan lancar.

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan bahwa selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan naskah ini tidak terdapat hubungan finansial, profesional, maupun kepentingan pribadi yang berpotensi memengaruhi hasil dan interpretasi penelitian.

Referensi

- [1] Ida Bagus Alit and I Made Mara, "Bahan Bakar dari Limbah Ban Dan Plastik dengan Metode Pirolisis," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 13, no. 1, pp. 68–74, Mar. 2025, doi: 10.23887/jptm.v13i1.83758.
- [2] M. Hasan Febriansyah, "PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK JENIS LDPE (LOW DENSITY POLYETHYLENE) SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF MELALUI PROSES PIROLISIS," 2025.
- [3] M. Sigit Cahyono, S. Haryono, and W. Widya Mandala, "Proses Pirolisis Untuk Mengkonversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Penyaringan Adsorban (Arang dan Zeolit)," 2021.
- [4] A. yan Sabitah, I. N. Ardiyat, M. Misbachudin, I. U. Wusko, and R. P. Ningsih, "ANALISIS PROSES PIROLISIS LIMBAH PLASTIK HDPE DAN PET: PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU REAKSI DALAM UPAYA DAUR ULANG PLASTIK," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 9, no. 1, pp. 98–106, Jun. 2024, doi: 10.20527/sjmekinematika.v9i1.318.
- [5] Rahmat Hidayat, N. A. Mufarida, and R. Shofiyah, "PENGARUH CAMPURAN MINYAK PLASTIK," 2018.
- [6] N. Putu and D. Arwini, "SAMPAH PLASTIK DAN UPAYA PENGURANGAN TIMBULAN SAMPAH PLASTIK," vol. 5, no. 1, 2022.
- [7] Muhammad Nizar Arvila Putra et al., "Sampah Plastik sebagai Ancaman terhadap Lingkungan," *Aktivisme: Jurnal Ilmu Pendidikan, Politik dan Sosial Indonesia*, vol. 2, no. 1, pp. 154–165, Dec. 2024, doi: 10.62383/aktivisme.v2i1.725.
- [8] Annisa Vada Febriani, "2024 Kajian Pemanfaatan Teknologi Pirolisis dalam Konversi Sampah Plastik menjadi," Nov. 2024.
- [9] W. Kartika, "Utilization Of HDPE And PET Plastic Waste As Raw Materials For Manufacturing Alternative Fuel Using Pyrolysis Method With Natural Zeolite Catalyst," *Agroindustrial Technology Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 106–117, 2022, doi: 10.21111/atj.v5i2.8591.
- [10] D. A. Lubis, A. Arifin, and Y. Fitrianiingsih, "Pengolahan Sampah Plastik HDPE (High Density Polyethylene) dan PET (Polyethylene Terephthalate) Sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Proses Pirolisis," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 20, no. 4, pp. 735–742, Sep. 2022, doi: 10.14710/jil.20.4.735-742.
- [11] K. Wibowo and W. Wulamdari, "Pengolahan Sampah Plastik (Polypropylene) Menjadi Bahan Bakar Minyak," *Jurnal Kesmas Asclepius*, vol. 5, no. 2, pp. 137–145, Dec. 2023, doi: 10.31539/jka.v5i2.7794.
- [12] F. Faiz, D. Hidayat, and I. H. Siregar, "UJI KARAKTERISTIK MINYAK PIROLISIS BERBAHAN BAKU LIMBAH PLASTIK POLYPROPYLENE," 2022.
- [13] B. Sugianto, J. R. Arfianto, and K. Monika, "Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 'Kejuangan' Pembuatan Bahan Bakar Minyak (BBM) dari Sampah Plastik Menggunakan Proses Pirolisis," *Jurusan Teknik Kimia*, pp. 14–15, 2020.
- [14] K. Kosjoko and N. A. Mufarida, "Pemanfaatan Limbah Serbuk Arang Kayu Jati (Tectona Grandis L.F) sebagai Material Brake Pads," *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 21–27, Aug. 2022, doi: 10.32528/jp.v7i1.8052.
- [15] D. Ratna and S. Dan Ariani, "PENGOLAHAN TEMPURUNG KELAPA MENJADI ARANG DAN ASAP CAIR DENGAN METODE SEMI-BATCH PYROLYSIS," vol. 2021, no. 2, pp. 367–372, [Online]. Available: <http://distilat.polinema.ac.id>
- [16] M. Risqi Failani and N. Ana Mufarida, "Utilization Of Used Oil Waste Into An Alternative Fuel By Adding A Mixture Of Sulfuric Acid And Sodium Hydroxide," 2024. [Online]. Available: <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/JST>
- [17] M. Zaenuri, K. Kosjoko, and N. A. Mufarida, "Pengaruh Variasi Komposisi Zeolit Alam Terhadap Hasil Pirolisis Plastik Campuran Polypropylene Dan Polyethylene Terephthalate," *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, vol. 21, no. 2, pp. 227–233, Oct. 2023, doi: 10.31963/sinergi.v21i2.4342.
- [18] Y. Sari, S. Syahrul, and D. Iriani, "Skrining Fitokimia dan Aktivitas Antioksidan pada Kijing (Pylsbryoconcha Sp) dengan Pelarut Berbeda," *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*, vol. 13, no. 1, pp. 16–20, Apr. 2021, doi: 10.17969/jtipi.v13i1.18324.
- [19] N. H. Halim, A. A. A. Abidin, M. Z. R. Z. Ridho, N. A. M. A. Mufaridah, N. S. R. S. Rizal, and H. K. H. Katsiro, "Pengaruh Tingkat Kekerasan Biomassa Terhadap Kualitas Bio-Oil (TAR)," *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 14, no. 1, Jul. 2025, doi: 10.24127/trb.v14i1.4123.
- [20] Muh. Andrean Wahyu P, N. A. Mufarida, and K. Kosjoko, "PENGARUH PROSENTASE PENAMBAHAN ETHANOL PADA BAHAN BAKAR," 2019.