

Kombinasi Sampah Plastik (PET & LDPE) Menjadi BBM Alternatif Melalui Metode Pirolisis dengan Variasi Suhu Sebagai Upaya *Circular Economy*

Aquila Nuh Islami^{1*}, Mohamad Mirwan¹, Sri Redjeki², Nurvita Cundaningsih¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya

²Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: 22034010121@student.upnjatim.ac.id

Diterima: 26 Juni 2026

Disetujui: 08 Juli 2026

Abstract

Plastic waste management in Surabaya faces a major challenge, with waste generation projected to reach 660 thousand tons in 2025, 16,51% of which is contributed by plastic waste. This study aims to analyze the conversion of combined Polyethylene Terephthalate (PET) and Low Density Polyethylene (LDPE) plastic waste into alternative liquid fuel through catalytic pyrolysis using 10 grams of natural zeolite catalyst to support the circular economy framework. The pyrolysis process was carried out for 60 minutes at temperature variations of 400°C and 600°C across various blending ratios. The results indicated that the highest oil yield was achieved in the TA4 treatment (PET 0% : LDPE 100% at 400°C) at 91,5%, while the lowest was in the TG6 (PET 100% : LDPE 0% pada at 600°C) at 6,7%. Increasing the temperature at 600°C triggered secondary cracking, which reduced the oil recovery as products further cracked into non-condensable gases. The physical characteristics of the pyrolytic oil showed a density ranging from 0,745 to 0,922 g/mL (average 0,815 g/mL), viscosity from 1,10 to 4,20 cP (average 2 cP), and a heating value ranging from 26,50 to 44,80 MJ/kg (average 35,90 MJ/kg). These physical properties closely resemble commercial liquid fuel standards. Economic assessment using Cost Benefit Analysis (CBA) at the laboratory scale revealed a negative Net Benefit of -Rp 12.825 due to the small feed capacity (100 grams). Nevertheless, this technology holds significant sustainability potential if scaled up to an industrial level.

Keywords: *catalytic pyrolysis, PET, LDPE, alternative fuel, circular economy*

Abstrak

Pengelolaan sampah plastik di Kota Surabaya menghadapi tantangan besar dengan timbulan sampah yang diproyeksikan mencapai 660 ribu ton pada tahun 2025, di mana 16,51% di antaranya merupakan sampah plastik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan produk pirolisis dari kombinasi sampah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE) menggunakan katalis zeolit alam seberat 10 gram sebagai upaya mendukung circular economy. Proses pirolisis dijalankan selama 60 menit dengan variasi suhu operasi 400°C dan 600°C serta berbagai variasi fraksi komposisi campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen minyak tertinggi diperoleh pada perlakuan TA4 (PET 0% : LDPE 100% pada suhu 400°C) yaitu sebesar 91,5%, sedangkan rendemen terendah diperoleh pada perlakuan TG6 (PET 100% : LDPE 0% pada suhu 600°C) sebesar 6,7%. Kenaikan suhu hingga 600°C memicu terjadinya secondary cracking yang mengubah fraksi cairan menjadi gas non-kondensabel sehingga menurunkan rendemen minyak. Minyak pirolisis yang dihasilkan memiliki karakteristik fisik dengan nilai densitas berkisar antara 0,745 – 0,922 g/mL (rata-rata 0,815 g/mL), nilai viskositas berkisar antara 1,10 – 4,20 cP (rata-rata 2 cP), dan nilai kalor berkisar antara 26,50 – 44,80 MJ/kg (rata-rata 35,90 MJ/kg). Karakteristik fisik produk ini secara umum telah mendekati standar baku mutu bahan bakar komersial cair. Berdasarkan *Cost Benefit Analysis* (CBA) skala laboratorium, diperoleh nilai *Net Benefit negative* sebesar -Rp 12.825 karena keterbatasan kapasitas reaktor (100 gram). Walaupun demikian, teknologi ini memiliki potensi keberlanjutan yang besar apabila dilakukan peningkatan skala (*upscaling*) produksi.

Kata Kunci: *pirolisis katalitik, PET, LDPE, BBM alternatif, ekonomi sirkular*

1. Pendahuluan

Total sampah yang dihasilkan di kota Surabaya pada tahun 2025 mencapai 660 ribu ton. Dari jumlah tersebut, sebanyak 16,51% atau sekitar 108 ribu ton disumbang oleh sampah plastik. Pengolahan dengan pembakaran pun memiliki dampak negatif terhadap lingkungan sekitar yaitu terjadinya pencemaran

udara (Tia Novia, 2021). Banyak penelitian menunjukkan bahwa volume sampah plastik di seluruh dunia terus meningkat, dan hanya sebagian kecil yang dapat didaur ulang (Hopewell *et al.*, 2009). Sistem ini masih bergantung pada pengumpulan, pengangkutan, dan pembuangan akhir sampah (Gandhi *et al.*, 2021).

Pirolisis merupakan proses degradasi material pada rentang suhu tinggi, yaitu antara 300 - 1000 °C, yang bertujuan untuk mengubah bahan menjadi gas. Pirolisis katalitik mampu menghasilkan fraksi hidrokarbon yang lebih ringan dan lebih sesuai dengan rentang bahan bakar komersial. Keberhasilan proses pirolisis dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain komposisi bahan baku yang berbeda sehingga menghasilkan variasi kandungan minyak, serta parameter operasional seperti temperatur, waktu tinggal, dan ukuran partikel bahan baku. Proses pirolisis merupakan suatu bentuk penguraian/perengkahan (*cracking*) pada suhu tinggi berkisar 230 °C. perengkahan plastik pada suhu tinggi adalah proses paling sederhana untuk daur ulang sampah plastik. Reaksi yang terjadi melalui tiga tahap, yaitu tahap memulai, tahap pendinginan, dan tahap penghentian. Pada proses pirolisis dengan memanfaatkan energi panas menyebabkan struktur makromolekul dari plastik ini terurai menjadi molekul yang lebih kecil dan hidrokarbon rantai pendek terbentuk. Hasil proses ini dipengaruhi oleh jenis dan karakteristik bahan baku yang digunakan dengan memperhatikan waktu dan suhu (Ramdhan dan Ali, 2012). Proses pirolisis jika ditujukan untuk mendapatkan hasil maksimal dalam bentuk liquid, maka suhu yang digunakan sebesar 425 - 600 °C dengan laju pemanasan yang tinggi (*fast pyrolysis*). Jika tujuannya untuk mendapatkan hasil maksimal pada bahan bakar gas, maka suhu yang digunakan berkisar > 600 °C dengan laju pemanasan yang tinggi sesuai dengan kondisi operasi (*flash pyrolysis*), dan jika diperuntukkan bahan bakar padat, maka suhu yang digunakan pada suhu 200 - 300 °C dengan laju pemanasan yang rendah.

Berkaitan dengan hal tersebut, parameter proses pirolisis juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas minyak yang dihasilkan. Namun demikian, kualitas minyak hasil pirolisis sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter proses, seperti jenis plastik, komposisi bahan baku, suhu proses, serta penggunaan katalis. Variasi suhu dalam proses pirolisis diketahui memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik minyak yang dihasilkan, termasuk densitas dan nilai kalor (Riesco *et al.*, 2022). Oleh karena itu, optimasi parameter proses seperti suhu, komposisi bahan baku, dan penggunaan katalis menjadi aspek penting dalam pengembangan teknologi pirolisis limbah plastik sebagai sumber energi alternatif.

Penerapan konsep *circular economy* dalam pengelolaan limbah plastik telah menunjukkan bukti nyata dalam penelitian ilmiah sebagai salah satu strategi efektif untuk menghasilkan bahan bakar alternatif sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari sampah plastik. Dalam kerangka *circular economy*, limbah plastik secara mekanik diubah menjadi produk bernilai melalui proses pirolisis, sehingga sumber daya yang sebelumnya menjadi dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar cair yang dapat digunakan untuk energi (Aryan *et al.*, 2025).

Plastik terdiri atas berbagai jenis yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam penerapan teknologi pirolisis. Jenis-jenis plastik tersebut antara lain PET yang umum digunakan sebagai bahan botol minuman, HDPE yang banyak dimanfaatkan sebagai kemasan botol sampo yang dapat digunakan berulang kali, LDPE yang lazim digunakan untuk kantong plastik dan kantong sampah, PP yang digunakan sebagai wadah penyimpanan makanan, serta PS yang dimanfaatkan sebagai peralatan makan sekali pakai seperti sendok, garpu dan *styrofoam*. Di antara jenis plastik tersebut, LDPE dan PET merupakan jenis yang paling sering digunakan dalam proses pirolisis sederhana karena banyak digunakan sebagai produk sekali pakai oleh masyarakat. Oleh sebab itu, jenis plastik ini perlu diolah kembali menjadi material yang dapat diubah bentuknya atau dikonversi kembali ke bentuk awal bahan baku plastik, yaitu minyak.

Hasil penelitian oleh (Okonsky *et al.*, 2024) menyatakan bahwa mengoptimasi kondisi operasi (temperatur, catalyst to feed ratio, dan PET : LDPE) untuk memaksimalkan produk target *circular economy*. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh (Sivagami *et al.*, 2022) menyatakan bahwa pirolisis katalitik menggunakan zeolit dapat menghasilkan lebih banyak minyak yang hampir setara dengan standar baku mutu bahan bakar.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tiga rumusan masalah utama yang saling berkaitan. Pertama, bagaimana pengaruh kombinasi sampah plastik PET dan LDPE terhadap hasil produk pirolisis yang dihasilkan. Kedua, bagaimana pengaruh variasi suhu, yaitu 400°C dan 600°C, terhadap kualitas minyak hasil pirolisis dari kombinasi kedua jenis plastik tersebut. Ketiga, apakah minyak hasil pirolisis kombinasi PET dan LDPE memiliki karakteristik yang mendekati standar bahan bakar konvensional, sehingga berpotensi diterapkan dalam konsep *circular economy* untuk pengelolaan limbah plastik.

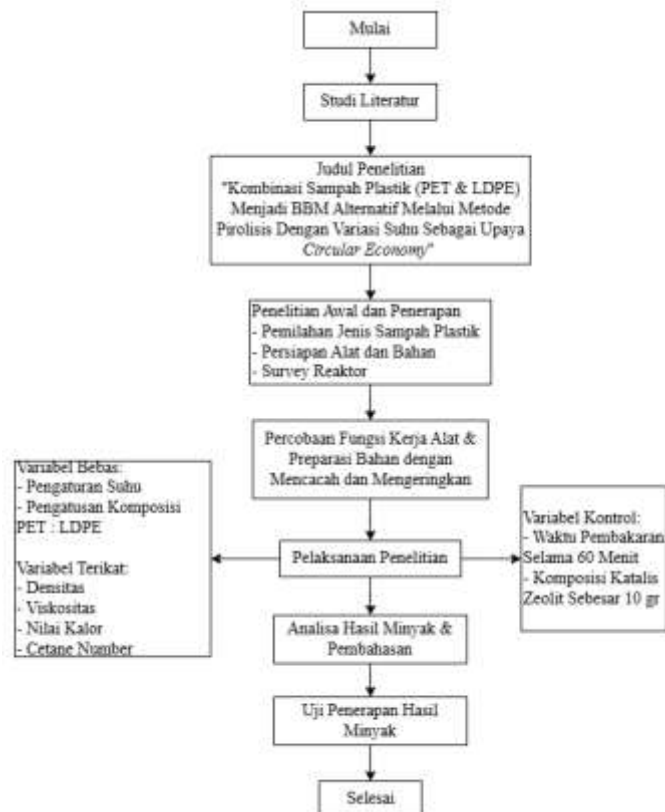
Berdasarkan rumusan masalah tersebut, penelitian ini disusun untuk mencapai tiga tujuan utama. Pertama, menganalisis perbandingan hasil produk pirolisis yang diperoleh dari kombinasi sampah plastik PET dan LDPE. Kedua, menganalisis pengaruh variasi suhu terhadap kualitas minyak yang dihasilkan, ditinjau berdasarkan parameter densitas, viskositas, dan nilai kalor. Tujuan ketiga dari penelitian ini adalah

mengevaluasi potensi minyak hasil pirolisis sebagai bahan bakar alternatif yang dapat mendukung penerapan konsep *circular economy* dalam pengelolaan limbah plastik secara berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini berisikan metode yang akan digunakan selama penelitian serta gambaran umum terkait tahapan pelaksanaan penelitian agar proses penelitian serta pembuatan laporan dapat terlaksana secara sistematis. Berikut **Gambar 1** adalah kerangka dari penelitian ini.



Gambar 1: Kerangka Penelitian

Alat dan Bahan

a. Alat

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Rangkaian alat pirolisis skala laboratorium
2. Piknometer 10 ml
3. Viskometer Ostwald 50 ml
4. Gelas ukur 500 ml
5. Neraca Analitik
6. Botol kaca 250 ml
7. Corong pemisah 500 ml
8. Corong kaca 100 mm
9. Beaker glass 500 ml
10. Kertas saring 11 cm

b. Bahan

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Sampah plastik jenis PET sebanyak 100 gr
2. Sampah plastik jenis LDPE sebanyak 100 gr
3. Katalis jenis zeolit alami sebanyak 10 gr

Desain Reaktor dan Cara Kerja

a. Desain Reaktor



Gambar 2: Reaktor Pirolisis
Sumber: Hasil Survey, 2026

b. Cara Kerja

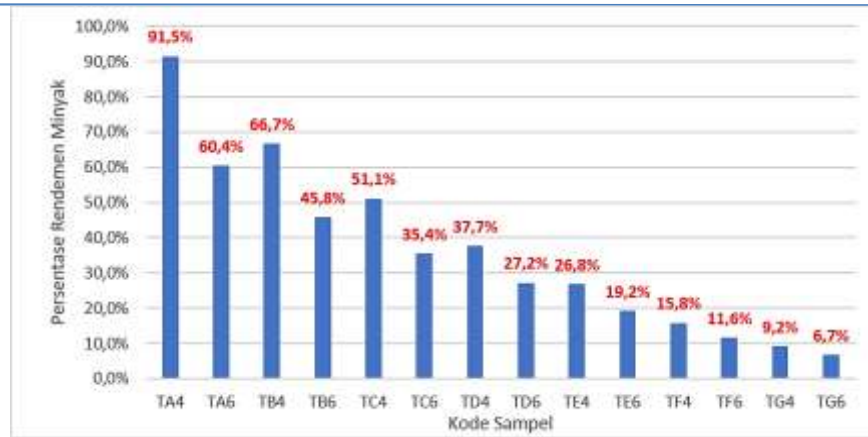
1. Sampah plastik PET dan LDPE terlebih dahulu dipotong atau dicacah menjadi bagian-bagian kecil
2. Sampah plastik PET dan LDPE yang telah dicacah kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan rancangan penelitian,
3. Selanjutnya, alat reaktor pirolisis serta sistem pengontrol suhu dipersiapkan dan dipastikan dalam kondisi siap digunakan
4. Temperatur pada reaktor pirolisis kemudian diatur menggunakan temperatur kontrol hingga mencapai suhu yang telah ditentukan, yaitu 400 °C untuk percobaan pertama dan 600 °C untuk percobaan kedua
5. Sampah plastik PET dan LDPE yang telah dipotong serta ditimbang sesuai komposisi selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung reaktor pirolisis
6. Katalis yang sebelumnya telah melalui proses ekstraksi atau aktivasi dengan metode perendaman kemudian dimasukkan ke dalam reaktor bersama bahan plastik untuk mendukung proses perengkahan termal selama pirolisis berlangsung.
7. Setelah seluruh bahan dan katalis dimasukkan, tabung reaktor ditutup secara rapat
8. Proses pirolisis kemudian dijalankan dengan waktu reaksi selama 60 menit pada suhu yang telah ditentukan
9. Minyak hasil proses pirolisis yang terkondensasi selanjutnya disaring menggunakan media penyaring untuk memisahkan kotoran, residu padat, maupun partikel yang masih menggumpal
10. Minyak hasil penyaringan kemudian dianalisis untuk mengetahui karakteristik bahan bakar alternatif yang dihasilkan, seperti densitas, viskositas, nilai kalor, serta parameter kualitas bahan bakar lainnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Perbandingan Suhu dalam Menghasilkan Produk Pirolisis

Pada penelitian ini sampah plastik yang digunakan adalah PET dan LDPE dengan berat sampah plastik sebesar 100 gr selama 60 menit pembakaran. Proses pirolisis dilakukan dengan menggunakan perbandingan suhu 400°C dan 600°C. Adapun parameter yang diukur, yaitu densitas, viskositas, nilai kalor, dan *cetane number*. Berikut merupakan hasil produk pirolisis yang dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Berdasarkan **Gambar 3** rendemen minyak pirolisis yang dihasilkan dari campuran sampah plastik PET dan LDPE sebanyak 100 g selama waktu pirolisis 60 menit menunjukkan perbedaan pada setiap perlakuan. Pada suhu 400°C (TA4, TB4, TC4, TD4, TE4, TF4, dan TG4), rendemen minyak yang diperoleh berturut-turut sebesar 91,5%; 66,7%; 51,1%; 37,7%; 26,8%; 15,8%; dan 9,2%. Sementara itu, pada suhu 600°C (TA6, TB6, TC6, TD6, TE6, TF6, dan TG6), rendemen minyak yang dihasilkan lebih rendah, yaitu sebesar 60,4%; 45,8%; 35,4%; 27,2%; 19,2%; 11,6%; dan 6,7%.



Gambar 3: Grafik Hasil Rendemen Minyak Pirolisis
 Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Secara umum, rendemen minyak mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya proporsi plastik PET dan meningkatnya suhu pirolisis dari 400°C menjadi 600°C. Rendemen minyak tertinggi diperoleh pada perlakuan TA4 sebesar 91,5%, sedangkan rendemen terendah diperoleh pada perlakuan TG6 sebesar 6,7%. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi bahan baku dan suhu pirolisis berpengaruh terhadap jumlah minyak yang dihasilkan. sebesar 91,5%, sedangkan rendemen terendah diperoleh pada perlakuan TG6 sebesar 6,7%. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi bahan baku dan suhu pirolisis berpengaruh terhadap jumlah minyak yang dihasilkan.

Penurunan rendemen pada suhu 600°C diduga disebabkan oleh terjadinya *secondary cracking*, yaitu perengkahan lanjutan senyawa hidrokarbon cair menjadi molekul yang lebih kecil dan bersifat non-kondensable sehingga produk yang terbentuk lebih banyak berupa gas dibandingkan minyak. Sebaliknya, pada suhu 400°C proses perengkahan rantai polimer berlangsung lebih optimal untuk menghasilkan fraksi cair sehingga rendemen minyak yang diperoleh lebih tinggi. Selain itu, semakin besar proporsi plastik PET dalam campuran, rendemen minyak yang dihasilkan cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena PET memiliki struktur polimer yang mengandung gugus ester dan atom oksigen sehingga selama proses pirolisis sebagian produk dekomposisinya lebih mudah membentuk gas dan residu padat (char) dibandingkan fraksi cair. Sebaliknya, LDPE merupakan polimer hidrokarbon dengan kandungan atom karbon dan hidrogen yang tinggi sehingga lebih mudah terdegradasi menjadi minyak pirolisis.

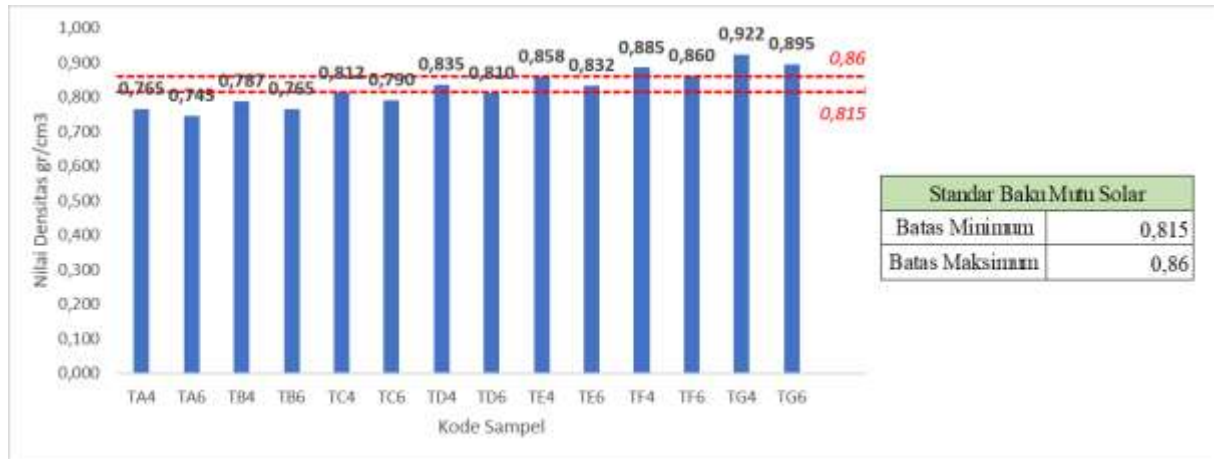
Perbandingan Kualitas Minyak Produk Pirolisis

Uji nilai densitas digunakan untuk menentukan kualitas bahan bakar, utamanya dalam menentukan adanya kontaminasi di dalam suatu bahan bakar. Berikut adalah **Tabel 1** hasil perbandingan uji nilai densitas terhadap hasil minyak pirolisis sampah plastik.

Kode Sampel	Densitas	Solar
TA4	0,765	
TA6	0,745	
TB4	0,787	
TB6	0,765	
TC4	0,812	
TC6	0,790	
TD4	0,835	0,815 - 0,860 g/cm ³ (Kementerian ESDM RI, 2023)
TD6	0,810	
TE4	0,858	
TE6	0,832	
TF4	0,885	
TF6	0,860	
TG4	0,922	
TG6	0,895	

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Berdasarkan **Gambar 4**, terlihat bahwa nilai densitas minyak pirolisis yang dihasilkan dari campuran sampah plastik PET dan LDPE berkisar antara 0,745–0,922 g/mL, dengan nilai rata-rata sebesar 0,815 g/mL. Pada suhu 400°C (TA4, TB4, TC4, TD4, TE4, TF4, dan TG4), nilai densitas yang diperoleh berturut-turut sebesar 0,765; 0,787; 0,812; 0,835; 0,858; 0,885; dan 0,922 g/mL. Sementara itu, pada suhu 600°C (TA6, TB6, TC6, TD6, TE6, TF6, dan TG6), nilai densitas yang dihasilkan berturut-turut sebesar 0,745; 0,765; 0,790; 0,810; 0,832; 0,860; dan 0,895 g/mL.



Gambar 4: Grafik Uji Nilai Densitas
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Secara umum, nilai densitas cenderung meningkat dari perlakuan TA hingga TG, namun pada suhu 600°C nilai densitas yang dihasilkan sedikit lebih rendah dibandingkan suhu 400°C. Nilai densitas tertinggi diperoleh pada perlakuan TG4 sebesar 0,922 g/mL, sedangkan nilai densitas terendah diperoleh pada perlakuan TA6 sebesar 0,745 g/mL. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu pirolisis dan komposisi campuran plastik memengaruhi karakteristik fisik minyak yang dihasilkan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Som *et al.* (2018) yang melaporkan bahwa minyak hasil pirolisis limbah plastik medis memiliki densitas sebesar 840 kg/m³ (0,840 g/mL) dan karakteristiknya mendekati bahan bakar komersial seperti diesel dan minyak tanah. Nilai densitas tersebut menunjukkan bahwa minyak pirolisis tersusun atas campuran senyawa hidrokarbon ringan dan menengah yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif.

Selain itu, penelitian Kusrini *et al.* (2018) menyatakan bahwa komposisi bahan baku dan kondisi pirolisis berpengaruh terhadap kualitas minyak pirolisis, termasuk densitasnya. Penambahan fraksi plastik tertentu dapat mengubah komposisi hidrokarbon dan menurunkan kandungan senyawa beroksigen, sehingga memengaruhi nilai densitas minyak yang dihasilkan. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai densitas minyak pirolisis dipengaruhi oleh suhu pirolisis dan komposisi campuran PET dan LDPE. Nilai densitas rata-rata yang diperoleh, yaitu 0,815 g/mL, masih berada dalam kisaran densitas bahan bakar cair komersial sehingga minyak pirolisis yang dihasilkan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif.

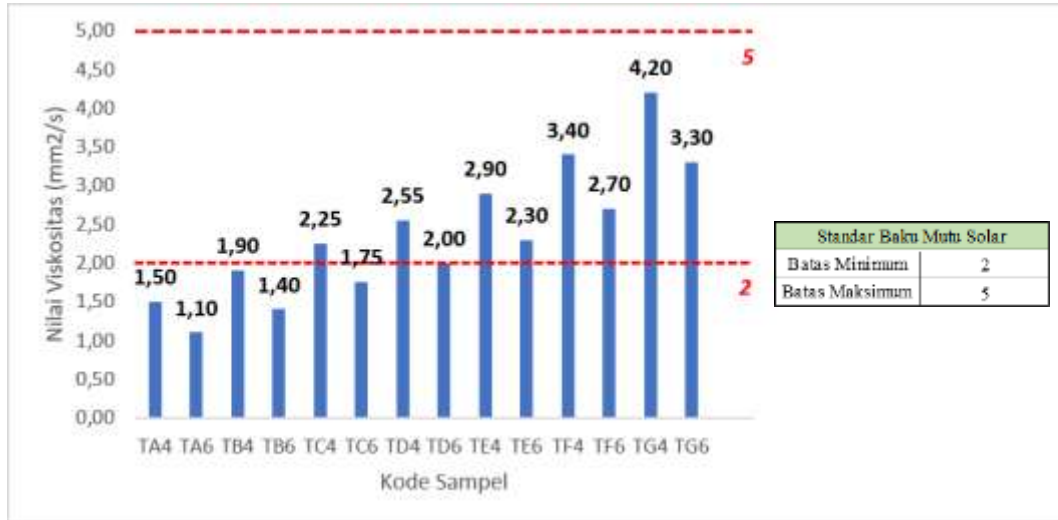
Uji nilai viskositas bertujuan untuk mengetahui tingkat kekentalan minyak pada suhu tertentu sehingga minyak dapat dialirkan pada suhu tersebut. Berikut adalah **Tabel 2** Perbandingan hasil uji nilai viskositas terhadap hasil minyak pirolisis sampah plastik.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Viskositas Hasil Minyak Pirolisis

Kode Sampel	Viskositas	Solar
TA4	1,50	
TA6	1,10	
TB4	1,90	
TB6	1,40	
TC4	2,25	
TC6	1,75	
TD4	2,55	2 - 5 mm ² /s
TD6	2,00	(Kementerian ESDM
TE4	2,90	RI, 2023)
TE6	2,30	

Kode Sampel	Viskositas	Solar
TF4	3,40	
TF6	2,70	
TG4	4,20	
TG6	3,30	

Sumber: Hasil Penelitian, 2026



Gambar 5: Grafik Uji Nilai Viskositas

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Berdasarkan **Gambar 5**, terlihat bahwa nilai viskositas minyak pirolisis yang dihasilkan dari campuran sampah plastik PET dan LDPE berkisar antara 1,10–4,20 cP, dengan nilai rata-rata sebesar 2 cP. Pada suhu 400°C (TA4, TB4, TC4, TD4, TE4, TF4, dan TG4), nilai viskositas yang diperoleh berturut-turut sebesar 1,50; 1,90; 2,25; 2,55; 2,90; 3,40; dan 4,20 cP. Sementara itu, pada suhu 600°C (TA6, TB6, TC6, TD6, TE6, TF6, dan TG6), nilai viskositas yang dihasilkan berturut-turut sebesar 1,10; 1,40; 1,75; 2,00; 2,30; 2,70; dan 3,30 cP.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai viskositas cenderung meningkat dari perlakuan TA hingga TG. Selain itu, nilai viskositas pada suhu 600°C cenderung lebih rendah dibandingkan pada suhu 400°C untuk setiap perlakuan. Nilai viskositas tertinggi diperoleh pada perlakuan TG4 sebesar 4,20 cP, sedangkan nilai viskositas terendah diperoleh pada perlakuan TA6 sebesar 1,10 cP. Hal ini menunjukkan bahwa suhu pirolisis dan komposisi bahan baku berpengaruh terhadap tingkat kekentalan minyak pirolisis yang dihasilkan.

Penurunan nilai viskositas pada suhu 600°C diduga disebabkan oleh terjadinya secondary cracking, yaitu perengkahan lanjutan senyawa hidrokarbon berat menjadi molekul yang lebih kecil dan ringan. Semakin banyak fraksi hidrokarbon ringan yang terbentuk, maka minyak yang dihasilkan akan semakin encer sehingga nilai viskositasnya menurun. Sebaliknya, nilai viskositas yang tinggi menunjukkan bahwa minyak pirolisis masih mengandung fraksi hidrokarbon dengan massa molekul yang lebih besar dan lebih kompleks.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Rehan *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa kondisi pirolisis berpengaruh terhadap distribusi senyawa hidrokarbon yang terbentuk pada minyak pirolisis. Pembentukan fraksi hidrokarbon ringan yang lebih dominan dapat meningkatkan sifat alir minyak dan menurunkan viskositasnya. Oleh karena itu, penurunan viskositas pada suhu 600°C dalam penelitian ini diduga terjadi karena peningkatan proses perengkahan termal yang menghasilkan lebih banyak senyawa hidrokarbon rantai pendek.

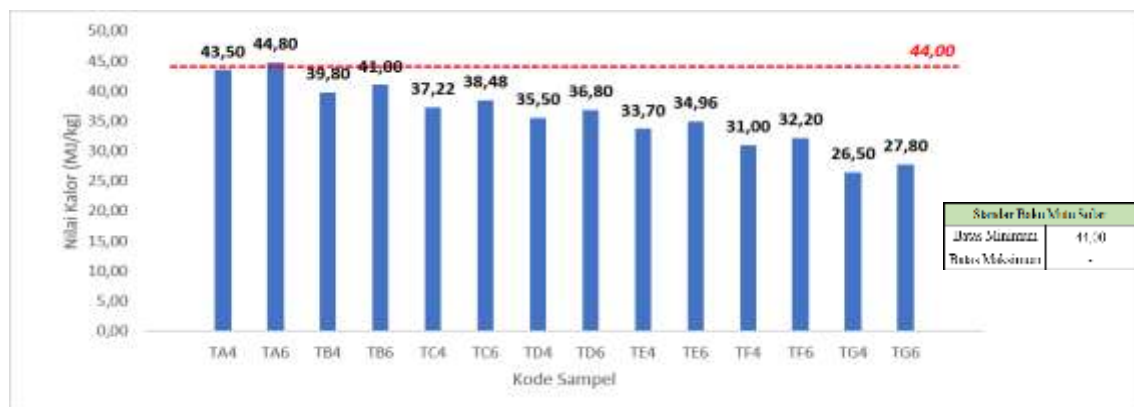
Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suhu pirolisis dan komposisi campuran PET dan LDPE berpengaruh terhadap nilai viskositas minyak yang dihasilkan. Nilai viskositas rata-rata sebesar 2 cP menunjukkan bahwa minyak pirolisis yang diperoleh memiliki karakteristik yang mendekati bahan bakar cair komersial sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif.

Uji nilai kalor bertujuan untuk memperoleh data tentang energi kalor yang dapat dibebaskan oleh suatu bahan bakar dengan terjadinya reaksi atau proses pembakaran. Berikut adalah **Tabel 3** Hasil uji nilai kalor terhadap hasil minyak pirolisis sampah plastik.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Kalor Hasil Minyak Pirolisis

Kode Sampel	Nilai Kalor	Solar
TA4	43,50	
TA6	44,80	
TB4	39,80	
TB6	41,00	
TC4	37,22	
TC6	38,48	
TD4	35,50	44,00 MJ/kg
TD6	36,80	(Kementerian ESDM
TE4	33,70	RI, 2023)
TE6	34,96	
TF4	31,00	
TF6	32,20	
TG4	26,50	
TG6	27,80	

Sumber: Hasil Penelitian, 2026



Gambar 6: Grafik Uji Nilai Kalor

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Berdasarkan **Gambar 6**, menunjukkan bahwa nilai kalor minyak pirolisis yang dihasilkan dari campuran sampah plastik PET dan LDPE berkisar antara 26,50 - 44,80 MJ/kg, dengan nilai rata-rata sebesar 35,90 MJ/kg. Pada suhu 400°C (TA4, TB4, TC4, TD4, TE4, TF4, dan TG4), nilai kalor yang diperoleh berturut-turut sebesar 43,50; 39,80; 37,22; 35,50; 33,70; 31,00; dan 26,50 MJ/kg. Sementara itu, pada suhu 600°C (TA6, TB6, TC6, TD6, TE6, TF6, dan TG6), nilai kalor yang dihasilkan berturut-turut sebesar 44,80; 41,00; 38,48; 36,80; 34,96; 32,20; dan 27,80 MJ/kg.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai kalor cenderung menurun dari perlakuan TA hingga TG. Nilai kalor tertinggi diperoleh pada perlakuan TA6 sebesar 44,80 MJ/kg, sedangkan nilai kalor terendah diperoleh pada perlakuan TG4 sebesar 26,50 MJ/kg. Selain itu, pada setiap perlakuan, suhu 600°C menghasilkan nilai kalor yang sedikit lebih tinggi dibandingkan suhu 400°C.

Peningkatan nilai kalor pada suhu yang lebih tinggi diduga disebabkan oleh proses perengkahan termal yang lebih sempurna sehingga menghasilkan fraksi hidrokarbon yang lebih mudah terbakar dan memiliki kandungan energi yang lebih tinggi. Sebaliknya, penurunan nilai kalor menunjukkan berkurangnya kandungan hidrokarbon berenergi tinggi pada minyak pirolisis yang dihasilkan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Rangkuti dan Rijani (2019) yang menyatakan bahwa kondisi operasi pirolisis, terutama temperatur, berpengaruh terhadap kualitas minyak pirolisis yang dihasilkan. Selain itu, Islami *et al.* (2020) melaporkan bahwa minyak hasil pirolisis plastik memiliki nilai kalor yang tinggi, yaitu sebesar 46,19 MJ/kg, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suhu pirolisis dan komposisi campuran PET dan LDPE berpengaruh terhadap nilai kalor minyak yang dihasilkan. Semakin tinggi kandungan hidrokarbon yang mudah terbakar dalam minyak pirolisis, maka semakin tinggi pula nilai kalor yang diperoleh sehingga potensi penggunaannya sebagai bahan bakar alternatif menjadi lebih baik.

Analisa Kelayakan Ekonomi Menggunakan Cost Benefit Analysis

Interpretasi kelayakan ekonomi dilakukan berdasarkan hasil perhitungan Total Cost, Total Benefit, dan Net Benefit yang diperoleh dari setiap perlakuan. Suatu proses pirolisis dinyatakan layak secara ekonomi apabila nilai Net Benefit lebih besar dari nol ($\text{Net Benefit} > 0$), yang menunjukkan bahwa manfaat yang diperoleh lebih besar daripada biaya yang dikeluarkan. Sebaliknya, apabila nilai Net Benefit lebih kecil dari nol ($\text{Net Benefit} < 0$), maka proses tersebut belum layak secara ekonomi karena biaya produksi masih lebih tinggi dibandingkan nilai manfaat yang dihasilkan. Berikut hasil perhitungan yang diperoleh:

Tabel 4. Nilai Net Benefit

Parameter	Nilai
Total Cost	Rp 13,800
Total Benefit	Rp 1,365
Net Benefit	Rp 12,435

Nilai *Net Benefit* yang bernilai negatif menunjukkan bahwa proses pirolisis plastik PET dan LDPE pada skala laboratorium belum layak secara ekonomi. Hal ini disebabkan oleh kapasitas produksi yang masih sangat kecil, yaitu hanya 100 gram bahan baku per proses, sehingga volume minyak yang dihasilkan belum mampu menutupi biaya operasional dan penyusutan alat.

Meskipun demikian, hasil penelitian ini tetap menunjukkan potensi pengembangan teknologi pirolisis sebagai bagian dari konsep circular economy. Apabila teknologi ini diterapkan pada skala yang lebih besar dengan kapasitas bahan baku beberapa kilogram hingga per ton per hari, biaya produksi per liter minyak dapat ditekan sehingga nilai Net Benefit berpotensi menjadi positif. Dengan demikian, teknologi pirolisis PET-LDPE masih memiliki peluang untuk dikembangkan sebagai alternatif pengolahan sampah plastik yang bernilai ekonomi dan ramah lingkungan.

4. Kesimpulan

Variasi komposisi campuran bahan baku dan suhu operasi terbukti berpengaruh signifikan terhadap kuantitas produk minyak pirolisis. Rendemen minyak tertinggi sukses didapatkan dari plastic murni LDPE pada suhu 400°C (TA4) sebesar 91,5%. Semakin banyak proporsi PET dalam campuran dan semakin tinggi suhu operasi (600°C), rendemen minyak akan mengalami penurunan drastic hingga titik terendah 6,7% (TG6). Hal ini dipicu oleh fenomena secondary cracking yang mengubah fraksi cair menjadi gas serta struktur polimer PET yang mengandung gugus ester dan oksigen yang lebih mudah terdekomposisi menjadi gas dan residu padat.

Kualitas fisik minyak pirolisis yang dihasilkan memiliki rentang nilai densitas 0,745 – 0,922 g/mL, viskositas 1,10 – 4,20 cP, dan nilai kalor 26,50 – 44,80 MJ/kg. Penambahan fraksi plastik PET meningkatkan nilai densitas dan kekentalan (viskositas) minyak. Sebaliknya, penggunaan suhu tinggi (600°C) menghasilkan karakteristik minyak yang lebih tinggi karena pemecahan rantai hidrokarbon polimer yang terjadi lebih sempurna. Secara keseluruhan, sifat fisik minyak pirolisis ini sudah mendekati karakteristik bahan bakar minyak komersial cair (seperti bensin, minyak tanah, dan solar).

Berdasarkan analisis kelayakan finansial menggunakan *Cost Benefit Analysis* (CBA) pada skala reactor laboratorium, diperoleh total biaya produksi (*Total Cost*) Rp 13.800 dan total manfaat (*Total Benefit*) Rp 1,365, sehingga menghasilkan nilai *Net Benefit negative* sebesar -Rp 12.435. angka negatif ini menunjukkan bahwa proses pirolisis skala laboratorium dengan umpan kecil (100 gram) belum layak secara ekonomi. Namun, program konversi limbah PET-LDPE ini tetap memiliki prospek keberlanjutan yang sangat besar dalam skema circular economy jika kapasitas produksinya ditingkatkan (upscaling) ke skala industry agar ongkos operasional per liternya dapat ditekan.

5. Singkatan

PET	Polyethylene Terephthalate
LDPE	Low Density Polyethylene
TA4	Kombinasi Komposisi antara PET 0% LDPE 100% di suhu 400 °C
TA6	Kombinasi Komposisi antara PET 0% LDPE 100% di suhu 600 °C
TB4	Kombinasi Komposisi antara PET 25% LDPE 75% di suhu 400 °C
TB6	Kombinasi Komposisi antara PET 25% LDPE 75% di suhu 600 °C
TC4	Kombinasi Komposisi antara PET 40% LDPE 60% di suhu 400 °C
TC6	Kombinasi Komposisi antara PET 40% LDPE 60% di suhu 600 °C
TD4	Kombinasi Komposisi antara PET 50% LDPE 50% di suhu 400 °C

<i>TD6</i>	Kombinasi Komposisi antara PET 50% LDPE 50% di suhu 600 °C
<i>TE4</i>	Kombinasi Komposisi antara PET 60% LDPE 40% di suhu 400 °C
<i>TE6</i>	Kombinasi Komposisi antara PET 60% LDPE 40% di suhu 600 °C
<i>TF4</i>	Kombinasi Komposisi antara PET 75% LDPE 25% di suhu 400 °C
<i>TF6</i>	Kombinasi Komposisi antara PET 75% LDPE 25% di suhu 600 °C
<i>TG4</i>	Kombinasi Komposisi antara PET 100% LDPE 0% di suhu 400 °C
<i>TG6</i>	Kombinasi Komposisi antara PET 100% LDPE 0% di suhu 600 °C

6. Referensi

- [1] Novia T. Pengolahan Limbah Sampah Plastik Polythylene. 2021;(4):33–41.
- [2] Hopewell J, Dvorak R, Kosior E. Plastics recycling: challenges and opportunities. 2009;2007:2115–2126. doi:10.1098/rstb.2008.0311.
- [3] Gandhi N, Farfaras N, Wang NL, Chen WT. Life Cycle Assessment of Recycling High-Density Polyethylene Plastic Waste. 2021. doi:10.32604/jrm.2021.015529.
- [4] Ramadhan A, Munawar P. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis. 2012:44–53.
- [5] Riesco-Avila JM, Vera-Rozo JR, Rodr DA, Pardo-Cely DM, Ram B. Effects of Heating Rate and Temperature on the Yield of Thermal Pyrolysis of a Random Waste Plastic Mixture. 2022.
- [6] Aryan M. Dialogue Social Science Review (DSSR) Harnessing Pyrolysis for Circular Economy: Bio-Oil Production from Post-Consumer Plastic Waste. 2025;3(1):1326–1334.
- [7] Okonsky ST, Hogan NR. Effect of pyrolysis operating conditions on the catalytic co-pyrolysis of low-density polyethylene and polyethylene terephthalate with zeolite catalysts. 2024;(July):1–15. doi:10.1002/aic.18548.
- [8] Sivagami K, Kumar KV, Tamizhdurai P. Conversion of plastic waste into fuel oil using zeolite catalysts in a bench-scale pyrolysis reactor. RSC Advances. 2022;12:7612–7620. doi:10.1039/D1RA08673A.
- [9] Nau NR, Som U, Rahman F, Hossain S. Recovery of Pyrolytic Oil from Thermal Pyrolysis of Medical Waste 1 Introduction 2 Research Methodology. 2018;5(2):5–8. doi:10.21272/jes.2018.5(2).h2.
- [10] Rangkuti C. Pengaruh Suhu Gas-Plastik dan Air-Pendingin Kondensator. 2019;10(April):1–4.
- [11] Islami AP. Pirolisis Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) menjadi Bahan Bakar. 2020;3(2):1–6. doi:10.17977/um0260v3i22019p001.
- [12] Kusri E, Supramono D, Degirmenci V, Pranata S, Agraning Bawono A, Ani FN. Improving the quality of pyrolysis oil from co-firing high-density polyethylene plastic waste and palm empty fruit bunches. 2018:1498–1508.