

Pengaruh katalis bentonit terhadap produksi minyak pada pirolisis sampah plastik *low density polyethylene* (LDPE)

Syahdi Fahala Banjarnahor^a, Azridjal Aziz^a, Rahmat Iman Mainil^{*a},

^aLaboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,

Jl. HR. Subrantas Km. 12,5, Pekanbaru 28293, Riau

*Email korespondensi: rahmat.iman@lecturer.unri.ac.id

Abstract. Pyrolysis is the heating of plastic waste at high temperatures with or without oxygen, producing oil, gas, and carbon residue. The use of catalysts in the pyrolysis process can accelerate the conversion of plastics, yielding higher-quality oil. This study aims to examine the potential of oil produced by pyrolysis of Low-Density Polyethylene (LDPE) plastic, with the addition of bentonite clay as a catalyst, as an alternative fuel. The pyrolysis process was carried out experimentally at 450°C with a residence time of 60 minutes, and catalyst compositions of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% were tested to determine the optimum condition. The composition that produced the highest oil yield was then tested at 350°C and 400°C, with the same residence time. The optimum bentonite clay catalyst composition was 15% at 450°C. Without the catalyst (0% composition), the oil yield was 54.2% from a total feedstock of 500 g; when compared to the plastic mass of 425 g, the oil yield reached 82.5%. The oil density was 0.766 g/mL, the viscosity was 1.53 cP, and the calorific value was 11302.33 cal/g. LDPE pyrolysis oil with bentonite clay catalyst showed characteristics closer to diesel fuel and kerosene. Thus, LDPE pyrolysis oil has the potential to serve as an alternative to diesel fuel in energy applications.

Keywords: Low-Density Polyethylene, Bentonite Clay, Pyrolysis, Fuel Oil, Renewable Energy

Received: 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/hn999r48>

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk di Indonesia menyebabkan produksi barang-barang yang berbahan plastik di masyarakat meningkat, sehingga sebaran sampah plastik semakin tinggi [1]. Pada tahun 2016 hingga 2019, Indonesia menempati peringkat kedua sebagai negara penghasil sampah plastik terbesar di dunia, berada tepat di bawah China. Produksi sampah plastik yang tinggi ini disebabkan oleh meningkatnya konsumsi produk berbahan plastik sekali pakai serta kurangnya sistem pengelolaan limbah yang efektif [2].

Sembilan jenis utama sampah yang tersebar di lingkungan, yaitu sisa makanan, kayu/ranting, kertas/karton, logam, plastik, kain, karet/kulit, kaca, dan jenis sampah lainnya. Dari berbagai jenis sampah tersebut, sisa makanan memiliki persentase tertinggi, yakni 39,43%, dan sampah plastik berada di peringkat kedua, dengan jumlah yang signifikan, yaitu 19,54%. Persentase yang tinggi ini menunjukkan bahwa plastik masih menjadi masalah utama dalam pencemaran lingkungan, terutama karena sifatnya yang sulit terurai secara alami. Sampah plastik dapat terurai dalam rentang waktu 450 tahun. Penumpukan sampah yang semakin krusial akan memberikan dampak yang negatif sehingga perlu diatasi dengan solusi yang tepat. Sampah dapat berupa barang cacat dalam proses manufaktur, sisa produksi yang berlebihan, atau material yang ditolak dan dibuang. Selain itu, sampah juga mencakup bahan sisa dari aktivitas manusia dan

proses alam yang belum memiliki nilai guna ekonomi [3].

Seiring berjalannya waktu, produksi sampah meningkat, berbanding lurus dengan kebutuhan energi Bahan Bakar Minyak (BBM) di Indonesia. Sa'adah et al [4] meneliti mengenai peramalan penyediaan dan konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia dengan menggunakan model sistem dinamik. Analisis menunjukkan seiring berjalannya waktu, ketersediaan sumber energi fosil akan semakin menipis, sehingga diperlukan upaya transisi menuju sumber energi terbarukan sebagai solusi yang berkelanjutan. Melihat hubungan kebutuhan bahan bakar minyak dan peningkatan sampah plastik, maka salah satu strategi yang digunakan adalah dengan mengolahnya menjadi bahan bakar minyak menggunakan metode pirolisis [5]. Salah satu jenis *thermoplastic* yang sering kita jumpai dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama pembuatan bahan bakar minyak adalah *Low Density Polyethylene* (LDPE) [1].

Penggunaan katalis dalam proses pirolisis dapat mempercepat konversi plastik yang menghasilkan minyak dengan kualitas lebih baik [6]. Katalis merupakan zat yang berperan dalam mempercepat laju reaksi kimia tanpa mengalami perubahan permanen atau terkonsumsi selama proses berlangsung [7]. Abidin et al meneliti proses pirolisis plastik LDPE dengan menggunakan katalis *bleaching earth* untuk menghasilkan bahan bakar minyak. Sebelum menggunakan katalis, hasil pirolisis fraksi cair 13,06%, arang 44% dan gas 42,94%. Sedangkan pada

campuran *bleaching earth* didapatkan hasil fraksi cair yang menurun menjadi 12,86%, fraksi padat 68% dan fraksi gas 19,14%. Anggono et al [9] melakukan penelitian pirolisis plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Polypropylene* (PP) menggunakan katalis zionit alam. Sebelum menggunakan katalis pada plastik PET, fraksi cair 51,70 g, arang 91 g dan gas 157 g. Sedangkan pada campuran zionit alam terdapat penurunan hasil minyak pirolisis menjadi 26,834 gr, arang 89 gr, dan nilai gas sebesar 184,17 gr. Sebelum menggunakan katalis, pada plastik PP diperoleh hasil pirolisis fraksi cair 57,79 g dan gas 140 g. Sedangkan pada campuran zionit alam juga terdapat penurunan fraksi cair, mendapatkan hasil dengan nilai kuantitas fraksi cair sebesar 25,39 gr.

Kamal [10] mengkaji dampak penambahan katalis berupa *active carbon* dan *bentonite clay* terhadap proses pirolisis sampah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET). Sebelum menggunakan katalis pada plastik PET, fraksi cair 15,81%. Sedangkan pada campuran katalis *active carbon* 16,75% dan pada campuran katalis *bentonite clay* 21,74%. Sebelum menggunakan katalis pada plastik PET, nilai kalor adalah 10849 cal/g. Sedangkan pada campuran katalis *active carbon* 10572 cal/gr dan pada campuran katalis *bentonite clay* 10860 cal/gr. Penelitian ini menyatakan bahwa katalis *bentonit* mampu meningkatkan fraksi cair dan kualitas minyak pirolisis dibandingkan dengan katalis aktif karbon. Riandis et al [11] melakukan pirolisis plastik LDPE dengan perbandingan temperatur 350°C, 400°C, dan 450°C. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa 450°C merupakan pengujian terbaik terhadap *yield* minyak yang dihasilkan dan densitas pada plastik LDPE. Rahmadanty [12] mengkaji pirolisis sampah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) dengan penambahan katalis pasir merapi guna memperoleh produk sebagai alternatif bahan bakar minyak (BBM). Penelitian ini menyatakan performa terbaik pada temperatur 500 °C yaitu dengan hasil fraksi cair 69,235%, arang 27,78%, dan gas 2,99% dengan nilai kalor fraksi cair 9341,88 cal/gr. Katalis pasir merapi menaikkan *yield* fraksi cair, namun tidak dengan selisih yang signifikan dan nilai kalor yang kurang baik untuk bahan bakar komersial.

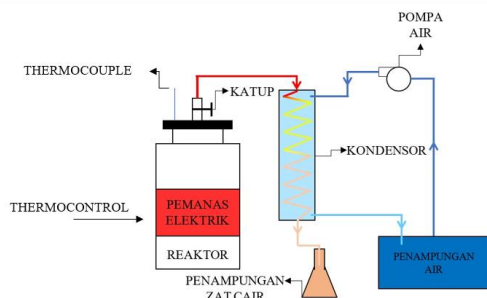
Erawati dan Huda [13] melakukan penelitian pirolisis campuran limbah plastik jenis *polietilena* berdensitas tinggi (HDPE) dan *polipropilena* (PP) dengan *bentonite* sebagai katalis dengan komposisi 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Penelitian ini kembali menyatakan bahwa *bentonite* merupakan katalis yang efektif dalam proses pirolisis dikarenakan terdapat peningkatan *yield* fraksi cair yang signifikan, yaitu dari 49,6% menjadi 73,26%. Firdausy et al [1] melakukan pirolisis sampah plastik tanpa katalis pada jenis *Polypropylene* (PP), *High-density Polyethylene*

(HDPE), *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Low-density Polyethylene* (LDPE). Pada penelitian ini menggunakan bahan baku 500 gr, temperatur 400 °C dan waktu tahan 60 menit. *Low-density Polyethylene* (LDPE) merupakan plastik dengan hasil minyak tertinggi, yaitu sebesar 62%. Melihat efektivitas *bentonite clay* yang meningkatkan fraksi cair hasil pirolisis, pada penelitian ini akan dilakukan pirolisis sampah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) dengan memvariasikan komposisi katalis *bentonite clay*. Hasil yang disajikan dalam penelitian ini meliputi *yield* hasil pirolisis, densitas, viskositas dan nilai kalor.

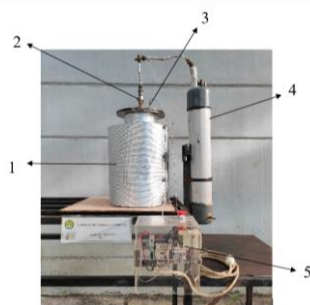
METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengkaji pengaruh variasi komposisi katalis *bentonite clay* pada sampah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE). Pengujian dilakukan dengan menggunakan reaktor pirolisis di Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau. Pengujian dilakukan dengan total bahan bakar 500 gr dan komposisi katalis yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Ketika sampel telah dimasukkan pada reaktor maka penutup dikunci rapat. Katup kemudian dibuka dan masukkan nitrogen ke dalam reaktor, lalu diamkan beberapa saat. Lalu buka kembali katup untuk mengeluarkan oksigen yang terperangkap dalam reaktor ketika memasukkan sampel. Proses pirolisis menggunakan temperatur 450°C dan waktu tahan 60 menit. Kemudian hasil pirolisis ditimbang dan pengujian dengan komposisi minyak tertinggi akan dilakukan variasi temperatur 350°C dan 400°C untuk mengetahui bagaimana katalis *bentonite clay* mereduksi temperatur. Hasil minyak kemudian diuji densitas, viskositas, dan nilai kalor, kemudian dibandingkan dengan spesifikasi bahan bakar minyak komersial.

Pada **Error! Reference source not found.** (a) terlihat diagram skematik pengujian pirolisis yang energi yang digunakan bersumber dari energi listrik. *Thermocontrol* terhubung langsung pada *heater* dan *thercouple*. Ketika waktu tahan tercapai, maka katup dibuka perlahan dan minyak pirolisis akan keluar melalui kondensor yang terhubung pada reaktor. Kondenser dialiri air oleh pompa untuk meningkatkan efek kondensasi. **Error! Reference source not found.** (b) terlihat alat pirolisis yang digunakan dalam pengambilan data. Adapun komponen utama dari alatpirolisis tersebut yaitu (1) Reaktor; (2) Katup; (3) *Thermocouple*; (4) Kondensor; (5) *Thermocontrol*.



Gambar 1 Diagram Skematik Pengujian Pirolisis



Gambar 2 Alat Pengujian Pirolisis

Parameter keberhasilan pengujian ini adalah adanya hasil pirolisis berupa padatan (*char*), cairan (minyak), dan gas yang dinyatakan sebagai *yield*. Kemudian spesifikasi bahan bakar yang dapat ditinjau dari densitas, viskositas dan nilai kalor

Yield adalah perolehan hasil dari proses pirolisis yang dinyatakan sebagai persentase massa produk tertentu dibandingkan massa bahan baku awal.

$$Y = \frac{\text{massa produk dihasilkan}}{\text{massa plastik awal}} \quad (1)$$

Densitas adalah besaran fisika yang menyatakan berat jenis atau perbandingan massa suatu zat dengan volumenya [14].

$$\rho = \frac{\text{massa minyak}}{\text{volume minyak}} \quad (2)$$

Viskositas merupakan ukuran kekentalan atau hambatan internal suatu fluida terhadap aliran atau deformasi [15].

$$\mu_{\text{minyak}} = \mu_{\text{air}} \frac{t_{\text{minyak}} \times \rho_{\text{minyak}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \quad (3)$$

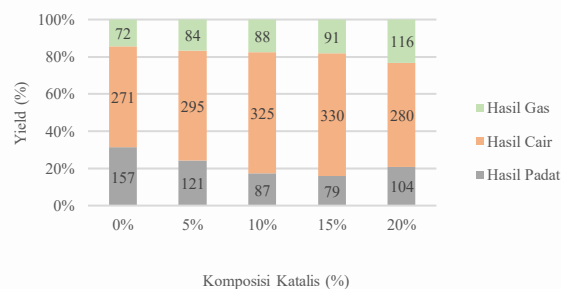
Nilai kalor merupakan jumlah energi panas yang dilepaskan per satuan massa atau volume suatu bahan bakar ketika dibakar sempurna [16].

$$Q_s = \frac{E\Delta T - Q_2 M_2}{G} \quad (4)$$

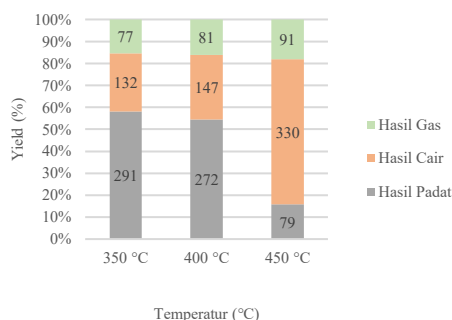
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 3 dapat dilihat hasil minyak pirolisis yang semakin meningkat seiring bertambahnya komposisi

katalis hingga 15%. Pada komposisi 0% katalis atau 100% *Low Density Polyethylene* (LDPE) hasil minyak pirolisis adalah 271 gr. *Yield* minyak pirolisis pada komposisi 20% *yield* minyak telah menurun. *Yield* minyak pirolisis secara berurutan adalah 271 gr, 295 gr, 325 gr, 330 gr, dan 280 gr. Kemudian sama halnya dengan *char* atau hasil padat yang didapatkan pada pengujian ini adalah seiring bertambahnya komposisi katalis hingga 15% maka *char* yang dihasilkan semakin menurun. Pada komposisi 20% katalis *char* yang dihasilkan kemudian meningkat sama halnya dengan gas yang dihasilkan. Fraksi gas menunjukkan tren yang berbeda dengan hasil cair dan padat, fraksi gas pada pengujian ini semakin bertambah seiring meningkatnya komposisi katalis yang digunakan. Berbeda halnya dengan pengujian Erawati dan Huda [13] yang melakukan penelitian pirolisis campuran limbah plastik HDPE dan PP menggunakan *bentonite* sebagai katalis. Komposisi 20% adalah pengujian paling optimal yang dimana terdapat peningkatan *yield* fraksi cair yang signifikan yaitu dari 49,6% menjadi 73,26%. Sedangkan pada pengujian ini 15% merupakan variasi terbaik dikarenakan pada komposisi ini didapatkan bahwa fraksi cair atau minyak pirolisis meningkat secara signifikan dan fraksi padat menurun. Pengujian ini membuktikan *bentonite* dengan komposisi hingga 15% dapat meningkatkan laju pemutusan ikatan rantai karbon (*thermal cracking*) dalam struktur LDPE. Sedangkan pada komposisi 20% peningkatan laju *cracking* telah berlebih, sehingga sebagian besar senyawa cair terurai menjadi fraksi gas. Sebelum menggunakan katalis hasil cair adalah 54,2% dan hasil padat 31,4%. Setelah menggunakan katalis pada komposisi 15% hasil cair menjadi 66% hasil padat menjadi 15,8% pada total bahan baku 500 gr. Apabila dibandingkan dengan massa plastik awal 425 gr maka *yield* minyak adalah 77,6% dan *char* 0,8%. Hal ini dikarenakan secara otomatis *bentonite clay* akan menjadi fraksi padat pada proses pirolisis sesuai dengan nilai komposisi. Sehingga pada variasi komposisi 15% akan dilakukan pengujian variasi temperatur yang lebih rendah.

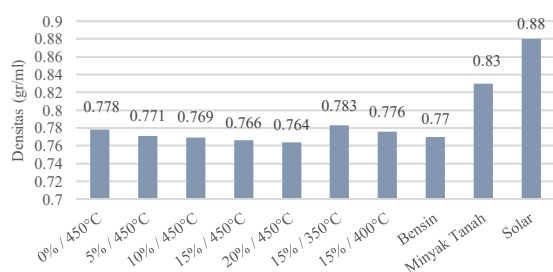


Gambar 3. Grafik Perbandingan Hasil Pirolisis Pada Variasi Komposisi Katalis *Bentonite Clay*



Gambar 4. Grafik Perbandingan Hasil Pirolisis Pada Variasi Temperatur Dengan Komposisi 15%

Gambar 5 merupakan hasil pirolisis pada komposisi 15% yang telah divariasikan temperaturnya. Variasi temperatur pirolisis pada komposisi katalis 15% memperlihatkan perbedaan yang cukup signifikan terhadap distribusi fraksi yang dihasilkan. Pada temperatur 350°C, fraksi padat masih mendominasi dengan massa mencapai 291 gr, diikuti oleh fraksi cair sebesar 132 gr dan fraksi gas sebesar 77 gr. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada temperatur yang relatif rendah, proses dekomposisi polimer belum berlangsung secara maksimal, sehingga sebagian besar material tetap berada dalam bentuk residu padat. Ketika temperatur dinaikkan menjadi 400°C, terjadi perubahan komposisi produk yang cukup signifikan. Massa fraksi padat menurun menjadi 272 gr, sedangkan fraksi cair meningkat menjadi 147 gr dan fraksi gas naik menjadi 81 gr. Sehingga dapat disimpulkan bahwa temperatur optimal pada 450°C. Sama halnya dengan penelitian Riandis et al [11] pada temperatur 450°C merupakan variasi terbaik dikarenakan *yield* minyak yang dihasilkan lebih tinggi. Peningkatan temperatur memberikan suplai energi panas yang lebih besar, sehingga laju pemutusan ikatan rantai karbon (*thermal cracking*) dalam struktur LDPE menjadi lebih cepat.

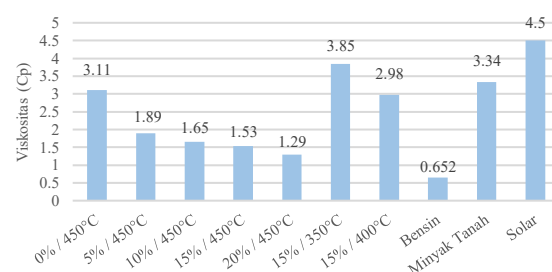


Gambar 5 Grafik Perbandingan Densitas Minyak Pirolisis Dengan BBM Komersial

Pada Gambar 6 diketahui perbandingan densitas minyak hasil pirolisis dengan bahan bakar konvensional menunjukkan bahwa nilai densitas minyak pirolisis berada pada rentang 0,764–0,783 gr/ml. Pada kondisi tanpa katalis di 450 °C, densitas

minyak tercatat 0,778 gr/ml, dan cenderung menurun hingga 0,764 gr/ml pada komposisi katalis 20%. Pada variasi temperatur dengan katalis 15%, densitas mencapai 0,783 gr/ml pada 350°C dan turun menjadi 0,776 gr/ml pada 400 °C.

Jika dibandingkan dengan bahan bakar komersial, densitas minyak pirolisis berada lebih tinggi daripada bensin (0,77 gr/ml), relatif mendekati minyak tanah (0,83 gr/ml), namun masih lebih rendah daripada solar (0,88 gr/ml). Hal ini mengindikasikan bahwa minyak pirolisis LDPE memiliki karakteristik densitas yang menempatkannya di antara bensin dan minyak tanah [17]. Dengan demikian, minyak pirolisis berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif, terutama setelah melalui proses pemurnian lebih lanjut untuk menyesuaikan spesifikasinya dengan standar bahan bakar cair yang ada [18].

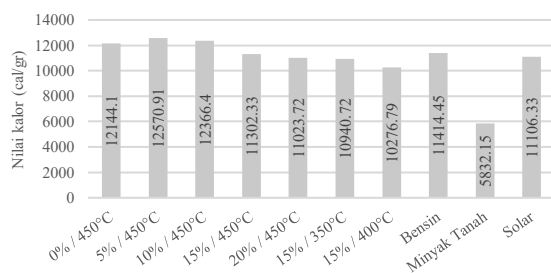


Gambar 7 Grafik Perbandingan Viskositas Minyak Pirolisis Dengan BBM Komersial

Gambar 8 merupakan viskositas minyak hasil pirolisis LDPE yang menunjukkan variasi terhadap komposisi katalis dan temperatur operasi. Pada kondisi tanpa katalis di 450°C, viskositas tercatat sebesar 3,11 cP. Nilai ini cenderung menurun dengan penambahan katalis, hingga mencapai 1,29 cP pada komposisi 20% katalis. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan katalis mampu memecah rantai polimer menjadi fraksi yang lebih ringan sehingga menurunkan viskositas [19].

Pada kondisi 15% katalis dengan variasi temperatur, viskositas berbeda cukup signifikan. Pada 350 °C, viskositas mencapai 3,85 cP, sedangkan pada 400 °C turun menjadi 2,98 cP. Perbedaan ini memperlihatkan bahwa temperatur rendah cenderung menghasilkan fraksi berat dengan viskositas lebih tinggi, sementara temperatur lebih tinggi menghasilkan fraksi yang lebih ringan dengan viskositas lebih rendah. Apabila dibandingkan dengan bahan bakar komersial, nilai viskositas minyak pirolisis lebih tinggi daripada bensin (0,652 cP) dan lebih rendah daripada solar (4,5 cP). Nilai tersebut berada mendekati minyak tanah (3,34 cP), sehingga menunjukkan bahwa minyak pirolisis LDPE berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar

cair alternatif setelah melalui proses pemurnian atau *upgrading* lebih lanjut [20].



Gambar 9 Grafik Perbandingan Nilai Kalor Minyak Pirolisis Dengan BBM Komersial

Nilai kalor minyak hasil pirolisis LDPE berada pada kisaran 10624–12576 cal/g. Pada kondisi tanpa katalis di 450 °C, nilai kalor tercatat sebesar 12141 cal/gr. Penambahan katalis sebesar 5% meningkatkan nilai kalor hingga 12576 cal/g, yang merupakan nilai tertinggi pada percobaan. Namun, dengan peningkatan komposisi katalis hingga 20%, nilai kalor cenderung menurun, yaitu mencapai 11023 cal/gr. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan katalis berlebih dapat menghasilkan fraksi yang lebih ringan, tetapi dengan kandungan energi yang sedikit menurun.

Pada variasi temperatur dengan 15% katalis, terlihat bahwa pada 350 °C nilai kalor hanya 10624 cal/gr, kemudian meningkat pada 400 °C menjadi 11246 cal/gr. Pola ini menandakan bahwa temperatur yang lebih tinggi menghasilkan fraksi minyak dengan energi yang lebih baik dibandingkan dengan temperatur lebih rendah. Jika dibandingkan dengan bahan bakar komersial, nilai kalor minyak pirolisis LDPE masih lebih tinggi daripada minyak tanah (5832 cal/gr), cukup dekat dengan solar (11106 cal/gr), namun masih sedikit lebih rendah daripada bensin (11414 cal/gr). Dengan demikian, minyak hasil pirolisis LDPE

memiliki potensi besar sebagai bahan bakar alternatif karena karakteristik nilai kalornya sudah berada pada rentang bahan bakar komersial [21].

KESIMPULAN

Komposisi katalis *bentonite clay* yang lebih optimal adalah 15% dengan temperatur 450°C. Sebelum menggunakan katalis atau komposisi 0%, hasil minyak meningkat dari 54,2% menjadi 66% pada total bahan baku 500 g, dan apabila dibandingkan dengan massa plastik 425 g, maka *yield* minyak adalah 82,5%. Berdasarkan hasil karakterisasi, minyak hasil pirolisis LDPE dengan penambahan *bentonit clay* menunjukkan sifat fisik dan energi yang cukup menjanjikan sebagai kandidat bahan bakar alternatif. Nilai densitas berada pada rentang 0,764–0,783 g/ml, relatif mendekati bensin 0,77 g/ml dan minyak tanah 0,77 g/ml, meskipun masih lebih rendah dari solar 0,88 g/ml, yang menandakan sifat kerapatan minyak pirolisis cenderung ringan. Viskositas yang diperoleh berkisar 1,29–3,85 cP, jauh lebih rendah dibandingkan dengan solar 4,5 cP dan mendekati bensin 0,65 cP, sehingga minyak pirolisis memiliki sifat alir yang baik serta lebih mudah terbakar. Dari sisi energi, nilai kalor minyak pirolisis tercatat antara 10.624–12.576 cal/gr, dengan angka tertinggi melebihi bensin 11.445 cal/gr maupun solar 11.106 cal/gr, yang menunjukkan bahwa minyak hasil pirolisis mampu menghasilkan energi panas yang kompetitif. Minyak pirolisis LDPE dengan katalis *bentonite clay* menunjukkan karakteristik yang lebih mendekati minyak tanah dan solar, ditinjau dari densitas, viskositas, maupun nilai kalornya. Dengan kombinasi sifat densitas, viskositas, dan nilai kalor tersebut, minyak pirolisis LDPE berpotensi besar dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti sebagian bahan bakar fosil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Firdausy, N. Safitri, W. Listiara, And A. Mizwar, "Utilization Of Plastic Waste Of Polypropylene (PP), High-Density Polyethylene (HDPE), Polyethylene Terephthalate (PET) Dan Low-Density Polyethylene (LDPE) Into Alternatif Fuel Oil By Pyrolysis Proses In An Effort To Reduce Inorganic Waste," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 2, pp. 83–90, 2023.
- [2] S. P. Cahyati, "Indonesia's National Plan Of Action For Marine Plastic Debris As A Form Of Implementation Sdgs 14: Life Below Water," 2020.
- [3] R. Fermat Silolongan, T. Apriyono, A. Program Studi Ekonomi Pembangunan, S. Jambatan Bulan, And D. Program Studi Ekonomi Pembangunan, "Analisis Faktor Penghambat Efektivitas Pengelolaan Sampah Di Kabupaten Mimika," *Jurnal Kritis*, vol. 3, pp. 17–39.
- [4] A. F. Sa'adah, A. Fauzi, and B. Juanda, "Peramalan Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia dengan Model Sistem Dinamik," *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, vol. 17, no. 2, pp. 118–137, Jan. 2017, doi: 10.21002/jepi.v17i2.02.
- [5] E. H. Istoto and P. Puspitasari, "Produksi Bahan Bakar dari Limbah Plastik HDPE dan LDPE Menggunakan Metode Pirolisis," *journal Syntax Admiration*, vol. 5, pp. 1–9, 2024.
- [6] 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.

- [7] M. Rahman, B. K. Mondal, N. Ahmed, And M. D. Hossain, "Catalytic Pyrolysis Of Waste High-Density (Hdpe) And Low-Density Polyethylene (Ldpe) To Produce Liquid Hydrocarbon Using Silica-Alumina Catalyst," *Journal Of Bangladesh Academy Of Sciences*, Vol. 47, No. 2, Pp. 195–203, Dec. 2023, Doi: 10.3329/Jbas.V47i2.67950.
- [8] M. F. Abidin, B. Suhendra, And Aripin, "Analisis Lift Performance Sayap Pesawat Terhadap Penambahan," 2024.
- [9] Y. P. Anggono, N. Ilminnafik, A. Adib Rosyadi, And G. Jatisukamto, "Pengaruh Katalis Zeolit Alam Pada Pirolisis Plastik Polyethylene Terephthalate Dan Polypropylene," *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, Vol. 13, No. 1, P. 22, Apr. 2020, Doi: 10.24843/Jem.2020.V13.I01.P04.
- [10] D. M. Kamal, "Penambahan Katalis Karbon Aktif Dan Tanah Liat Bentonit Pada Pirolisis Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET)," *Journal Energi Dan Teknologi Manufaktur*, Vol. 05, No. 01, Pp. 23–28, 2022, [Online]. Available: [Http://Jtm.Polinema.Ac.Id/](http://Jtm.Polinema.Ac.Id/)
- [11] J. A. Riandis, A. R. Setyawati, And A. S. Sanjaya, "Plastic Waste Processing Using Pyrolysis Method Into Fuel Oil," *Journal Chemurgy*, Vol. 5, Pp. 8–14, 2021.
- [12] N. Rahmadanty, "Pirolisis Sampah Plastik Jenis Low Density Polyethylene (Ldpe) Menggunakan Katalis Pasir Merapi Sebagai Alternatif Bahan Bakar Minyak (Bbm)," Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, Yogyakarta, 2022.
- [13] E. Erawati And F. N. Huda, "Jurnal Integrasi Proses Website: [Http://Jurnal.Untirta.Ac.Id/Index.Php/Jip](http://Jurnal.Untirta.Ac.Id/Index.Php/Jip) Pirolisis Campuran Limbah Plastik Jenis Polietilena Berdensitas Tinggi (Hdpe) Dan Polipropilena (Pp) Dengan Bentonit Sebagai Katalis," 2023.
- [14] L. O. A. D. Asidu, M. Hasbi, And P. Aksar, "Pemanfaatan Minyak Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dengan Pencampuran Minyak Pirolisis," *Journal Mahasiswa Teknik Mesin*, Vol. 2, No. 2, Pp. 1–7, 2017.
- [15] Ridwan, E. Wiseno, And P. Gangsar Suwargo, "Pembuatan Dan Pengujian Viskometer Tabung," Jawa Barat, 2021.
- [16] U. R. Pratama, Suwandi, And A. Qurthoby, "Pengaruh Suhu Sintesis Terhadap Nilai Kalor Briket Ampas Kopi The Effect Of Synthesis Temperature On The Heating Value Of Coffee Grounds Briquettes," *Journal Engineering*, vol. 8, pp. 1–8, 2021.
- [17] M. B. Masgode, "Pengujian Akarakteristik Pasir Pantai Kabupaten Kolaka Sebagai Material Alternatif Pembuatan Beton (Pasir Pantai Kec. Tanggetada, Kec. Watubangga dan Kec. Toari)," *Journal of Sustainable Civil Engineering (JOSCE)*, vol. 6, no. 01, pp. 34–43, May 2024.
- [18] M. Ibrahim, Irfan, and Y. Aisyah, "Optimization Of Virgin Coconut Oil (Vco) Production By Fermentation: Effect Of Inoculum Combination And Concentration On Yield And Quality," *Journal SNBP-THP*, vol. 4, pp. 98–105, 2024.
- [19] O. Regina, H. Sudrajad, D. Syaflita, P. Fisika, and U. Riau, "Measurement Of Viscosity Uses An Alternative Viscometer Pengukuran Viskositas Menggunakan Viskometer Alternatif," *Jurnal Geliga Sains*, vol. 6, no. 2, pp. 127–132, 2018.
- [20] D. G. H. Adoe, D. Yola Satria, and A. Sanusi, "Karakterisasi Minyak Hasil Pirolisis Berbahan Dasar Limbah Plastik Jenis Polypropylene (PP)," *Lontar Jurnal Teknik Mesin UNDANA*, vol. 10, no. 02, pp. 15–22, 2023, [Online]. Available: <http://ejurnal.undana.ac.id/index.php/LJTMU>
- [21] R. N. Gunawan *et al.*, "The Influence Of Additive Materials Towards Heat From Waste Briquettes," *Journal Engineering*, vol. 5, pp. 47–57, 2018.