



Terbit *online* pada laman:

SEMINAR NASIONAL INOVASI, RISET, DAN TEKNOLOGI (SINERGI)



Original/Literature Review

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH MASSA ZEOLIT PADA PIROLISIS PLASTIK PET SUHU RENDAH

*Nashrul Chanief Hidayat**, *Jalyiamsep Marbun*, *Waradzi Mustakim*

Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi : 18 September 2025

Revisi Akhir : 17 Oktober 2025

Diterbitkan Online : 4 Mei 2026

KATA KUNCI

Limbah plastik, Pirolisis katalitik, Zeolit, Low-density polyethylene (LDPE), Minyak pirolisis

*KORESPONDENSI

E-mail: nashrul.chanief@unj.ac.id

A B S T R A K

Limbah plastik menimbulkan permasalahan lingkungan serius karena membutuhkan waktu degradasi alami yang sangat lama. Salah satu solusi pemanfaatannya adalah konversi menjadi bahan bakar minyak melalui proses pirolisis. Penelitian ini menyajikan pirolisis katalitik berbasis zeolit terhadap limbah plastik *polyethylene terephthalate (PET)* pada suhu rendah (350 °C) dengan variasi ukuran zeolit 1, 2, dan 3 mm. Tujuan penelitian adalah mengevaluasi pengaruh ukuran zeolit terhadap karakteristik pirolisis *PET*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa zeolit berukuran lebih kecil meningkatkan laju perpindahan panas, suhu pirolisis, laju reaksi, dan perolehan minyak. Dari 200 g *PET*, volume minyak yang dihasilkan masing-masing sebesar 28, 24, dan 19 mL untuk zeolit berdiameter 1, 2, dan 3 mm.

No ISSN 3124-7539 © 2026 The Authors. Dipublikasi oleh Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>)

Peer review under the responsibility of the scientific committee of the SINERGI

DOI: 10.21009/sinergi.v2i1.67680

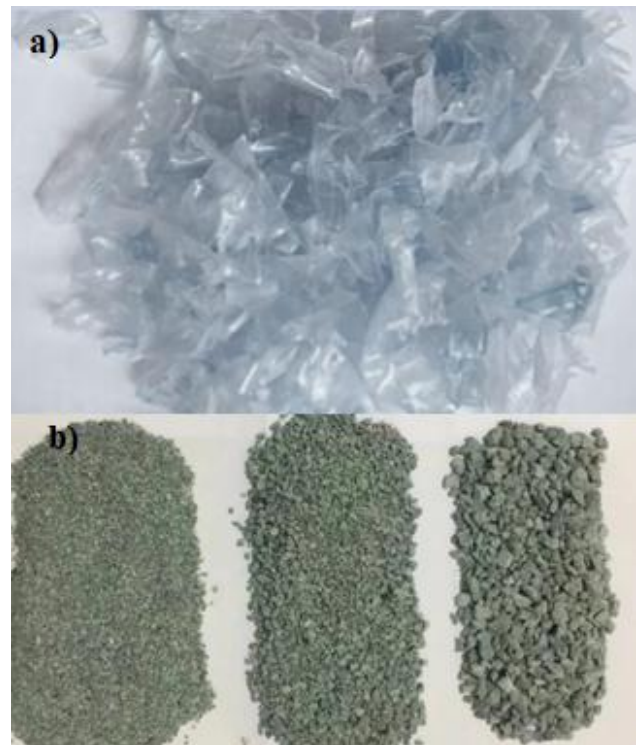
1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2024 [1], tercatat dari 323 kabupaten/kota se-Indonesia bahwa timbunan sampah nasional mencapai 35,3 juta ton. Dari jumlah tersebut, sebanyak 38,63% atau sekitar 13,6 juta ton telah terkelola, sedangkan 61,37% atau sekitar 21,6 juta ton masih belum tertangani. Sampah plastik menjadi masalah global karena sebagian besar sulit terurai secara alami [2]. Selama ini, pengelolaan sampah plastik umumnya dilakukan melalui penimbunan, pembakaran, atau daur ulang, namun metode tersebut belum efektif karena dapat melepaskan zat berbahaya ke lingkungan [3], seperti polikloro-dibenzodioksin dan polikloro-dibenzofuran [4]. Karena plastik merupakan polimer hidrokarbon, maka plastik berpotensi dikonversi menjadi bahan bakar minyak. Salah satu metode yang menjanjikan untuk memanfaatkan energi dari limbah plastik adalah proses pirolisis [5]. Pirolisis adalah proses konversi plastik menjadi bahan bakar padat, cair, atau gas melalui degradasi termal rantai polimer panjang menjadi molekul yang lebih sederhana tanpa oksigen [6]. Dalam proses pirolisis, limbah plastik diubah menjadi bahan bakar padat, cair, atau gas melalui degradasi termal rantai polimer panjang menjadi molekul yang lebih pendek dan sederhana tanpa adanya oksigen untuk menghasilkan produk utama meliputi gas yang mudah terbakar dengan nilai kalor tinggi, minyak pirolisis, serta arang terkarbonisasi [7]. Untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas pirolisis, digunakan katalis yang berperan dalam mempercepat laju reaksi, memperbaiki distribusi hidrokarbon pada produk cair, serta menurunkan suhu optimum proses. Salah satu katalis yang umum digunakan dalam pirolisis plastik adalah zeolit, seperti dilaporkan oleh Susastiawan dkk.[8]. Meskipun telah banyak dilakukan penelitian terkait pirolisis sampah plastik dengan katalis zeolit, penelitian yang secara khusus mengkaji pengaruh ukuran partikel zeolit terhadap perolehan masih terbatas. Penelitian ini menyajikan pirolisis katalitik berbasis zeolit terhadap limbah plastik PET pada suhu rendah dengan variasi ukuran partikel zeolit (1, 2, dan 3 mm). Analisis difokuskan pada pengaruh ukuran partikel terhadap karakteristik serta distribusi produk pirolisis yang dihasilkan.

2. METODE

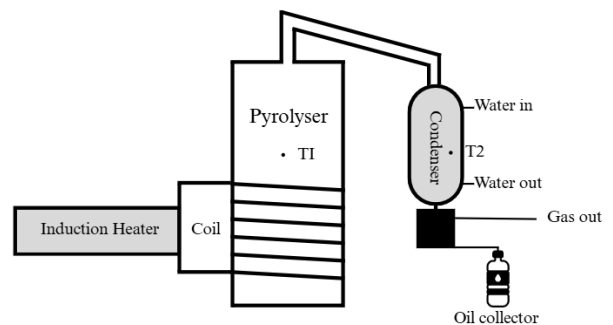
2.1. Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah plastik polyethylene terephthalate (PET) yang diperoleh dari botol minuman bekas rumah tangga. Pemilihan limbah PET sebagai bahan baku didasarkan pada ketersediaannya yang melimpah di lingkungan, sifat termoplastiknya yang memungkinkan diolah kembali, serta potensi konversinya menjadi produk bernilai tambah melalui proses pirolisis. Sebelum digunakan dalam proses penelitian, sampel PET melalui tahap persiapan awal untuk memastikan kebersihan, homogenitas, serta konsistensi sifat material. Gambar 1 menyajikan dokumentasi visual dari sampel plastik PET yang telah dicacah dan katalis zeolit alami yang digunakan dalam penelitian ini



Gambar 1. Foto sampah plastik dan katalis zeolit

Tahap persiapan meliputi pencucian botol plastik dengan air bersih untuk menghilangkan kotoran, residu minuman, serta kontaminan lain yang berpotensi mengganggu proses reaksi. Selanjutnya, sampel dikeringkan guna mengurangi kadar air yang dapat memengaruhi kestabilan proses termokimia. Botol plastik yang telah bersih kemudian dicacah menggunakan mesin pencacah hingga diperoleh partikel berukuran seragam, yaitu sekitar ± 5 mm. Pemilihan ukuran partikel ini bertujuan untuk memperbesar luas permukaan kontak, meningkatkan laju perpindahan panas selama proses pirolisis, serta menjaga konsistensi reaksi pada kondisi operasi yang ditentukan.



Gambar 3. Setup alat penelitian

Selain bahan utama berupa PET, penelitian ini juga menggunakan katalis zeolit alami yang diperoleh dari pasar lokal. Zeolit tersebut dipersiapkan melalui proses penghancuran hingga diperoleh ukuran butir yang bervariasi, yaitu 1 mm, 2 mm, dan 3 mm. Variasi ukuran ini dirancang untuk mengkaji pengaruh ukuran partikel katalis terhadap efektivitas laju reaksi pirolisis serta kualitas produk yang dihasilkan. Zeolit dipilih karena memiliki sifat porositas tinggi, luas permukaan besar, serta kemampuan sebagai katalis asam padat yang dapat meningkatkan

perengkahan rantai polimer PET menjadi fraksi hidrokarbon yang lebih sederhana.

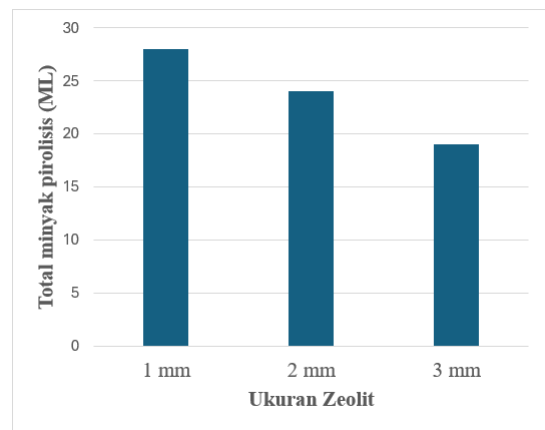
2.2. Prosedur Penelitian

Gambar 3 memperlihatkan rancangan dan susunan peralatan penelitian yang digunakan. Sistem utama terdiri atas piroliser, kondensor, tangki air pendingin, pemanas induksi, termokopel tipe-K, serta data logger “GRAPHTEC GL240” untuk pencatatan data temperatur secara kontinu. Piroliser, kondensor, dan tangki air dirancang dan difabrikasi secara manual menggunakan pelat baja nirkarat setebal 3 mm guna memastikan ketahanan terhadap temperatur tinggi dan korosi selama proses pirolisis. Pemanas induksi dengan kapasitas daya 3 kW digunakan sebagai sumber panas utama untuk memanaskan reaktor. Proses pirolisis dilakukan dengan sistem batch, di mana pada setiap satu kali operasi dengan durasi 180 menit, sebanyak 200 g plastik PET dan 100 g katalis zeolit dimasukkan ke dalam piroliser. Temperatur piroliser dikendalikan pada kondisi konstan 350 °C, yang merujuk pada literatur sebagai temperatur optimum dalam menghasilkan minyak pirolisis dengan rendemen yang tinggi [9], [10]. Selama proses berlangsung, temperatur bagian atas piroliser (T1) dan temperatur kondensor (T2) dimonitor menggunakan termokopel tipe-K yang terhubung ke data logger untuk memastikan kestabilan operasi. Produk cair hasil pirolisis dikumpulkan melalui kondensor setiap interval 15 menit, kemudian ditimbang untuk menentukan laju produksi minyak. Minyak pirolisis yang dihasilkan dari penggunaan katalis zeolit dengan variasi ukuran partikel 1, 2, dan 3 mm selanjutnya dianalisis karakteristiknya. Salah satu parameter utama yang diuji adalah nilai kalor atas (Higher Heating Value/HHV), yang ditentukan menggunakan Bomb Calorimeter sebagai indikator kualitas energi dari minyak pirolisis yang diperoleh.

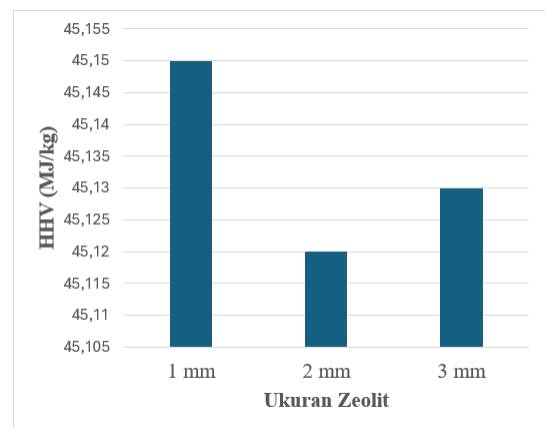
3. HASIL dan PEMBAHASAN

Gambar 8 menunjukkan total hasil minyak setelah pirolisis selama 30 menit. Dari Gambar 8, diperoleh hasil minyak sebesar 28, 24, dan 19 mL masing-masing untuk penggunaan zeolit berukuran 1, 2, dan 3 mm. Hasil minyak tertinggi diperoleh dengan penggunaan zeolit 1 mm. Tren yang sama juga ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Susastiawan, dkk [11]. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh semakin kecilnya ukuran partikel zeolit yang meningkatkan laju perpindahan panas, sehingga reaksi pirolisis pada menit-menit awal berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan penggunaan partikel zeolit berukuran lebih besar. Untuk memperoleh perbandingan hasil minyak, gas, dan char, sebaiknya dilakukan penimbangan dengan timbangan digital analitis agar dapat mengetahui perbandingan masing-masing produk pirolisis.

Sementara itu, Gambar 9 menunjukkan nilai kalor (Higher Heating Value/HHV) dari minyak plastik. Penggunaan zeolit berukuran 1 mm menghasilkan minyak plastik dengan HHV tertinggi. Nilai HHV minyak yang dihasilkan dengan penggunaan zeolit berukuran 1, 2, dan 3 mm masing-masing adalah 45,15; 45,12; dan 45,12 MJ/kg.



Gambar 8. Hasil minyak pirolisis



Gambar 9. HHV minyak pirolisis

Nilai HHV minyak hasil pirolisis menunjukkan kesetaraan dengan HHV bensin maupun solar. Dari sisi densitas, karakteristik minyak pirolisis PET juga menunjukkan kemiripan dengan standar densitas bahan bakar komersial tersebut [9]. Penelitian Anggono dkk. [12] melaporkan bahwa minyak hasil pirolisis LDPE memiliki densitas sebesar 0,79 g/cm³, yang relatif mendekati nilai densitas bensin [13]. Pada penelitian ini, hasil pengukuran volume dan massa minyak menunjukkan densitas sebesar 0,75 g/cm³, yang juga berada dalam kisaran densitas bensin. Kesamaan nilai HHV dan densitas tersebut menegaskan bahwa minyak hasil pirolisis LDPE memiliki sifat fisis dan energi yang mendekati bensin. Dengan demikian, minyak ini berpotensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif pada mesin pembakaran dalam dengan sistem pengapian busi (spark ignition engine). Selain itu, karakteristik tersebut membuka peluang untuk mengembangkan minyak pirolisis sebagai substitusi parsial atau bahkan penuh terhadap bensin, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil konvensional.

4. KESIMPULAN

Eksperimen pirolisis katalitik limbah plastik PET telah dilakukan menggunakan piroliser tipe batch dengan variasi ukuran partikel zeolit, yaitu 1 mm, 2 mm, dan 3 mm pada kondisi suhu rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran zeolit merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi mekanisme perpindahan panas, jalannya reaksi pirolisis, serta distribusi produk akhir. Zeolit dengan ukuran partikel yang lebih kecil

memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga mampu meningkatkan efisiensi perpindahan panas ke dalam material plastik. Kondisi ini mempercepat pencapaian temperatur pirolisis yang diinginkan, meningkatkan laju reaksi termokatalitik, serta mendorong terbentuknya fraksi cair dalam jumlah yang lebih tinggi. Dengan demikian, minyak pirolisis yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan ketika digunakan zeolit dengan ukuran partikel yang lebih besar. Selain itu, temperatur pirolisis terbukti berperan krusial dalam menentukan kuantitas dan kualitas minyak. Temperatur yang lebih tinggi memungkinkan terjadinya pemutusan rantai polimer LDPE secara lebih intensif, sehingga memperbesar peluang konversi menjadi fraksi hidrokarbon cair. Hal ini menegaskan bahwa optimasi ukuran zeolit dan pengendalian temperatur operasi merupakan kunci dalam memperoleh hasil minyak pirolisis yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ministry of Environmental and Forestry of Republic of Indonesia, "Information system of waste management (Sistem informasi pengelolaan sampah)," Jakarta, 2024.
- [2] P. G. C. Nayanathara Thathsarani Pilapitiya and A. S. Ratnayake, "The world of plastic waste: A review," *Cleaner Materials*, vol. 11, p. 100220, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.clema.2024.100220.
- [3] Asiandu Angga Puja, Wahyudi Agus, and Sari Septi Widiya, "A Review: Plastics Waste Biodegradation Using Plastics-Degrading Bacteria," *Journal of Environmental Treatment Techniques*, vol. 9, no. 1, pp. 148–157, Oct. 2020, doi: 10.47277/JETT/9(1)157.
- [4] W. Ferdous *et al.*, "Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities," *Resour Conserv Recycl*, vol. 173, p. 105745, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105745.
- [5] F. Paradela, F. Pinto, A. M. Ramos, I. Gulyurtlu, and I. Cabrita, "Study of the slow batch pyrolysis of mixtures of plastics, tyres and forestry biomass wastes," *J Anal Appl Pyrolysis*, vol. 85, no. 1–2, pp. 392–398, May 2009, doi: 10.1016/j.jaap.2008.09.003.
- [6] 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.
- [7] A. Olufemi and S. Olagboye, "Thermal conversion of waste plastics into fuel oil," *International Journal Of Petrochemical Science & Engineering*, vol. 2, no. 8, Nov. 2017, doi: 10.15406/ipcse.2017.02.00064.
- [8] A. A. P. Susastriawan, Purnomo, and A. Sandria, "Experimental study the influence of zeolite size on low-temperature pyrolysis of low-density polyethylene plastic waste," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 17, p. 100497, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.tsep.2020.100497.
- [9] S. D. Anuar Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. Wan Daud, and M. K. Aroua, "A review on pyrolysis of plastic wastes," *Energy Convers Manag*, vol. 115, pp. 308–326, May 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.02.037.
- [10] F. Abnisa, S. Dayana, and W. Daud, "Optimizing the use of biomass waste through co-pyrolysis," *INFORM International News on Fats, Oils, and Related Materials*, vol. 28, no. 2, pp. 16–19, Feb. 2017, doi: 10.21748/inform.02.2017.16.
- [11] A. A. P. Susastriawan, Purnomo, and A. Sandria, "Experimental study the influence of zeolite size on low-temperature pyrolysis of low-density polyethylene plastic waste," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 17, p. 100497, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.tsep.2020.100497.
- [12] Y. P. Anggono, N. Ilminnafik, A. Adib Rosyadi, and G. Jatisukanto, "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.
- [13] I. Ahmad *et al.*, "Pyrolysis Study of Polypropylene and Polyethylene Into Premium Oil Products," *Int J Green Energy*, vol. 12, no. 7, pp. 663–671, Jul. 2015, doi: 10.1080/15435075.2014.880146.