



Pengaruh Jenis Plastik dan Katalis terhadap Karakteristik Minyak Pirolisis: Tinjauan Literatur

Effect of Plastic Type and Catalyst on the Characteristics of Pyrolysis Oil: A Literature Review

Nisa Aina Fauziah^{1*}

¹ *Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UNIVAL, Jl. Kh. Enggus Arja No. 1, Cilegon, 42441, Indonesia

*Email: nisaaina21@gmail.com

Abstrak

Salah satu solusi untuk mengurangi pencemaran limbah plastik adalah melalui teknologi pirolisis, yang dapat mengubah limbah plastik menjadi minyak sebagai alternatif bahan bakar cair. Namun, kualitas minyak yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh jenis plastik dan katalis yang digunakan selama proses pirolisis. Tinjauan literatur ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis plastik dan katalis terhadap karakteristik minyak pirolisis, dengan fokus pada *yield*, densitas, dan viskositas. Berbagai penelitian melaporkan bahwa jenis limbah plastik PP, HDPE, LDPE, dan PET menghasilkan *yield* serta sifat fisikokimia yang berbeda akibat perbedaan struktur polimernya. Penggunaan katalis berbasis zeolite mampu menghasilkan minyak dengan hasil yang cukup baik. Secara keseluruhan, hasil tinjauan menunjukkan bahwa pemilihan jenis plastik dan katalis yang tepat berperan penting dalam mengendalikan karakteristik minyak pirolisis agar mendekati spesifikasi bahan bakar komersial. Namun demikian, proses purnanilaian lanjutan masih diperlukan untuk memenuhi standar mutu bahan bakar yang berlaku.

Kata kunci : Pirolisis, Limbah plastik, Minyak pirolisis, Jenis plastik, Katalis

Abstract

One of the solutions to reduce plastic waste pollution is through pyrolysis technology, which can convert plastic waste into oil as an alternative liquid fuel. However, the quality of the resulting oil is strongly influenced by the type of plastic and the catalyst used during the pyrolysis process. This literature review aims to analyze the effect of plastic type and catalyst on the characteristics of pyrolysis oil, with a focus on yield, density, and viscosity. Various studies report that plastic waste types such as PP, HDPE, LDPE, and PET produce different yields and physicochemical properties due to differences in their polymer structures. The use of zeolite-based catalysts has been shown to produce pyrolysis oil with relatively good performance. Overall, the reviewed studies indicate that appropriate selection of plastic type and catalyst plays an important role in controlling pyrolysis oil characteristics to approach commercial fuel specifications. Nevertheless, further upgrading processes are still required to meet applicable fuel quality standards.

Keywords *Pyrolysis, Plastic waste, Pyrolysis oil, Plastic type, Catalyst*

Pendahuluan

Limbah plastik telah menjadi salah satu isu lingkungan global yang paling menantang dalam dua dekade terakhir. Produksi plastik dunia mencapai lebih dari 400 juta ton per tahun dan diperkirakan akan terus meningkat seiring pertumbuhan sektor kemasan dan konsumsi rumah tangga [1]. Karakteristik plastik yang ringan, murah, dan tahan terhadap degradasi kimia menjadikannya material yang serbaguna, namun sifat ini juga menyebabkan akumulasi limbah jangka panjang di lingkungan. Sekitar 79% limbah plastik berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA)

atau perairan, sehingga menimbulkan berbagai masalah kesehatan dan lingkungan [2].

Pirolisis merupakan salah satu teknologi termokimia yang menarik perhatian banyak peneliti dan praktisi sebagai solusi untuk mengurangi limbah plastik sekaligus menghasilkan produk bernilai tambah seperti minyak pirolisis yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar cair. Proses pirolisis pada limbah plastik pada dasarnya adalah pemanasan polimer dalam kondisi tanpa oksigen untuk menguraikan rantai molekul menjadi fraksi yang lebih pendek sehingga menghasilkan produk berupa cairan (minyak), gas, dan residu padat (arang) yang dapat

dimanfaatkan lebih lanjut, khususnya sebagai sumber bahan bakar alternatif [3].

Salah satu alasan utama teknologi pirolisis dipandang sebagai teknologi yang menjanjikan adalah kemampuannya mengolah berbagai jenis limbah plastik tanpa memerlukan proses pemisahan yang kompleks. Limbah plastik seperti polipropilena (PP), polietilena densitas tinggi (HDPE), polietilena densitas rendah (LDPE) dan polietilena tereftalat (PET/PETE) sering ditemukan dalam sampah rumah tangga dan kemasan industri. Struktur molekul yang berbeda dari setiap jenis plastik ini menghasilkan perbedaan dalam perilaku termal selama pirolisis, sehingga berdampak pada rendemen (*yield*) minyak, densitas, dan viskositas [4], [5].

Selain jenis plastik sebagai bahan baku, penggunaan katalis dalam proses pirolisis juga terbukti berpengaruh secara signifikan terhadap hasil dan karakteristik minyak pirolisis. Katalis bukan hanya mempercepat reaksi tetapi juga mengubah jalur reaksi termal sehingga dapat meningkatkan produksi minyak yang lebih ringan dan berkualitas lebih baik dibandingkan tanpa katalis. Katalis jenis zeolit bahkan dapat menghasilkan minyak pirolisis dengan komposisi hidrokarbon yang lebih homogen dan viskositas yang lebih rendah [4]. Meski demikian, tidak semua jenis katalis memberikan efek yang sama karena terdapat beberapa katalis dapat menurunkan efisiensi minyak jika kondisi operasinya tidak tepat [6].

Karena itu, kajian literatur yang komprehensif diperlukan untuk menelaah pengaruh berbagai jenis bahan baku plastik dan katalis terhadap rendemen, densitas, dan viskositas minyak pirolisis. Hal ini penting agar teknologi pirolisis tidak hanya menjadi solusi pengurangan limbah plastik, tetapi juga menjadi teknologi yang memberikan nilai tambah dalam bentuk bahan bakar alternatif yang potensial secara komersial. Selain itu, pemahaman yang lebih mendalam terhadap interaksi antara jenis plastik dan katalis dapat membantu pengembangan proses yang lebih efisien dan berkelanjutan di masa depan.

Teori

1. Pirolisis Limbah Plastik

Pirolisis limbah plastik merupakan salah satu metode konversi termokimia yang berkembang pesat sebagai alternatif pengolahan sampah plastik. Proses ini dilakukan dengan memanaskan material plastik pada suhu tinggi dalam kondisi minim atau tanpa oksigen sehingga rantai polimer terdegradasi menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Produk utama dari proses pirolisis meliputi fraksi cair (minyak pirolisis), fraksi gas, dan residu padat berupa char. Di antara ketiga produk tersebut, minyak pirolisis menjadi produk yang paling diminati karena berpotensi digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

Beberapa parameter proses yang dapat mempengaruhi kualitas minyak pirolisis salah satunya adalah suhu. Setiap jenis plastik memiliki stabilitas

termal yang berbeda, sehingga memerlukan rentang suhu pirolisis yang tidak sama. Adapun rentang suhu operasi pirolisis limbah plastik dapat dilihat pada Tabel 1.

Jenis plastik polipropilena (PP) memiliki struktur polimer rantai bercabang sehingga mudah untuk terdegradasi secara termal. Suhu proses pirolisis PP berada pada rentang 400 – 500 °C. Pada suhu tersebut, PP menghasilkan rendemen minyak yang cukup tinggi dengan viskositas yang relatif rendah dibandingkan plastik poliolefin lainnya. Peningkatan suhu di atas rentang tersebut cenderung meningkatkan pembentukan gas dan menurunkan fraksi minyak cair. Sedangkan jenis plastik polietilena densitas tinggi (HDPE) struktur rantai lurus dan ikatan antar molekul yang lebih kuat, sehingga memerlukan suhu pirolisis yang lebih tinggi dibandingkan PP dengan rentang suhu proses 400 – 550 °C. Suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan pirolisis tidak sempurna dan menghasilkan residu padat yang tinggi. Sementara itu, polietilena densitas rendah (LDPE) memiliki struktur rantai bercabang ringan, sehingga stabilitas termalnya berada di antara PP dan HDPE. Suhu proses pirolisis plastik LDPE berkisar 400 – 520 °C dengan yield cukup tinggi. Berbeda dengan plastik poliolefin, polyethylene terephthalate (PET) memiliki struktur aromatik dan mengandung gugus ester, sehingga memerlukan perlakuan termal yang berbeda. Pirolisis PET umumnya dilakukan pada suhu 450–600 °C, namun rendemen minyak yang dihasilkan relatif lebih rendah dibandingkan PP, HDPE, dan LDPE. Produk pirolisis PET juga sering mengandung senyawa oksigenat yang dapat menurunkan kualitas minyak sebagai bahan bakar, sehingga diperlukan proses pemurnian lanjutan [7].

Tabel 1. Suhu Proses Pirolisis Plastik

Jenis Plastik	Suhu (°C)
PP	400 - 500
HDPE	450 - 550
LDPE	400 - 520
PET	450 - 600

2. Peran Katalis pada Pirolisis

Penggunaan katalis dalam proses pirolisis limbah plastik seperti HDPE, LDPE, PP, dan PET bertujuan untuk meningkatkan laju *cracking* rantai polimer, menurunkan suhu reaksi, serta memperbaiki kualitas minyak pirolisis.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan zeolit pada pirolisis plastik PP dan HDPE mampu meningkatkan rendemen minyak serta menurunkan viskositas produk dibandingkan proses tanpa katalis, sehingga minyak yang dihasilkan lebih mendekati karakteristik bahan bakar cair. Katalis lain seperti alumunium silika dan alumina (aluminium oksida) umumnya digunakan sebagai bahan pendukung katalis atau sebagai bagian dari katalis silika-alumina. Material ini berperan dalam meningkatkan stabilitas termal dan selektivitas reaksi

pirolisis, terutama dalam menghasilkan fraksi bahan bakar pada rentang hidrokarbon tertentu. Meskipun penggunaannya pada penelitian skala nasional masih terbatas, silika dan alumina dilaporkan mampu memperbaiki distribusi produk pirolisis plastik poliolefin dan meningkatkan kualitas minyak hasil pirolisis bila dikombinasikan dengan katalis asam seperti zeolite [8], [9].

Selain zeolit, katalis karbon aktif dan bentonit juga banyak diteliti, khususnya pada pirolisis plastik PET dan LDPE. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar sehingga mampu meningkatkan kontak antara uap pirolisis dan permukaan katalis, yang berdampak pada peningkatan pembentukan fraksi hidrokarbon ringan. Sementara itu, bentonit yang memiliki keasaman lebih rendah cenderung menghasilkan fraksi cair yang lebih tinggi dengan densitas dan viskositas yang relatif lebih besar. Penelitian pirolisis PET menunjukkan bahwa penggunaan bentonit menghasilkan yield minyak lebih tinggi dibandingkan karbon aktif, meskipun fraksi yang dihasilkan masih memerlukan pemurnian lanjutan [10].

Hasil

1. Pengaruh Katalis dan jenis Plastik terhadap Yield Minyak Pirolisis

Hasil pirolisis limbah plastik sangat dipengaruhi oleh jenis plastik dan katalis yang digunakan. Berdasarkan Table 2. terlihat variasi yang sangat signifikan antara berbagai jenis polimer dan katalis. Plastik seperti HDPE dan PP cenderung memberikan yield minyak yang lebih tinggi dibandingkan LDPE atau PET ketika diproses dengan katalis tertentu. Hal ini dikarenakan struktur polimer HDPE dan PP yang lebih stabil dengan rantai karbon panjang, sehingga lebih efisien terurai menjadi fraksi minyak melalui reaksi pirolisis. Sebaliknya, PET menunjukkan yield yang relatif rendah, berkisar antara 16,75 - 21,74%, karena adanya gugus ester dan struktur aromatik yang membutuhkan energi lebih tinggi untuk terdekomposisi.

Penggunaan katalis seperti zeolit atau bentonit terbukti meningkatkan yield minyak secara signifikan dibandingkan katalis lainnya. Sebagai contoh, HDPE dan PP yang diproses dengan zeolit alam menghasilkan yield antara 38,4 - 63,6%, jauh lebih tinggi dibandingkan PET dengan katalis karbon aktif. Katalis bekerja dengan mempercepat reaksi dekomposisi polimer dan memecah rantai panjang menjadi molekul yang lebih pendek, sehingga terbentuk minyak, gas, dan sedikit residu padat. Zeolit terlihat lebih efektif karena struktur porinya yang memungkinkan terjadinya *cracking* secara selektif, sehingga meningkatkan efisiensi produksi minyak. Oleh karena itu, kombinasi plastik dengan struktur rantai yang sesuai dan penggunaan katalis yang tepat akan menghasilkan yield pirolisis yang lebih tinggi.

2.

Pengaruh Katalis dan jenis Plastik terhadap Densitas Minyak Pirolisis

Densitas minyak pirolisis juga sangat dipengaruhi oleh jenis plastik dan katalis yang digunakan dalam proses pirolisis. Plastik PET misalnya, ketika diproses menggunakan katalis karbon aktif, menghasilkan minyak dengan densitas 0,77 g/cm³, sedangkan bentonit menghasilkan sedikit lebih rendah, yaitu 0,75 g/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa sifat permukaan dan keasaman katalis dapat memengaruhi komposisi fraksi hidrokarbon yang terbentuk, sehingga berpengaruh terhadap densitas akhir minyak. Untuk campuran HDPE:PP, penggunaan zeolit alam sebagai katalis pada 350°C selama 5 jam menghasilkan rentang densitas antara 0,745-0,763 g/cm³, lebih rendah dibandingkan densitas minyak dari LDPE dan PP murni, yang masing-masing berkisar 0,735–0,737 g/cm³. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh perbedaan struktur molekul plastik; plastik dengan rantai linear panjang seperti HDPE cenderung menghasilkan fraksi hidrokarbon yang lebih ringan, sedangkan plastik bercabang seperti LDPE menghasilkan fraksi yang lebih berat dan padat. Selain itu, katalis berbasis alumina dan zeolit dapat mempercepat pemutusan rantai panjang menjadi molekul yang lebih kecil, sehingga densitas minyak menurun. Sebagai contoh, LDPE yang diproses dengan alumina pada 350°C menghasilkan densitas 0,746 g/cm³, sedangkan peningkatan suhu hingga 500°C menurunkan densitas menjadi 0,72 g/cm³, menunjukkan bahwa suhu juga berperan dalam interaksi antara katalis dan plastik.

3. Pengaruh Katalis dan jenis Plastik terhadap Viskositas Minyak Pirolisis

Nilai viskositas minyak pirolisis menunjukkan variasi yang cukup lebar, bergantung pada jenis plastik dan katalis yang digunakan. Dari data table 1, produk pirolisis PP dengan katalis zeolit alam memiliki viskositas paling rendah, yaitu sekitar 0,114 cSt, yang mengindikasikan dominasi fraksi hidrokarbon ringan hasil perengkahan rantai bercabang PP. LDPE dengan katalis zeolit alam juga menghasilkan viskositas rendah, sekitar 0,248 cSt, sejalan dengan tingginya yield dan efektivitas zeolit dalam memutus rantai polimer menjadi molekul yang lebih pendek. Sebaliknya, penggunaan katalis aluminium oksida dan silika pada LDPE dan HDPE cenderung menghasilkan viskositas lebih tinggi, berkisar antara 2,1–2,8 cSt, yang menunjukkan terbentuknya fraksi hidrokarbon menengah akibat *cracking* yang kurang selektif. Pada HDPE dengan katalis aluminium silika, viskositas yang relatif tinggi (~2,8 cSt) berkaitan dengan struktur HDPE yang linier dan stabil, sehingga degradasinya menghasilkan molekul rantai lebih panjang dibandingkan PP. Jika dibandingkan dengan bahan bakar komersial, nilai viskositas minyak pirolisis ini berada pada kisaran yang mendekati bensin (±0,4–0,8 cSt) hingga solar (±2–4 cSt). Produk dengan viskositas sangat rendah

lebih menyerupai bensin, sementara produk dengan viskositas di atas 2 cSt mendekati karakteristik solar ringan. Hal ini menunjukkan bahwa melalui pemilihan jenis plastik dan katalis yang tepat, sifat viskositas minyak pirolisis dapat diarahkan agar

mendekati spesifikasi bahan bakar komersial tertentu, meskipun masih diperlukan proses pemurnian lanjutan agar memenuhi standar penggunaan langsung.

Tabel 2. Karakteristik Minyak Pirolisis Berdasarkan Katalis dan Jenis Plastik

Jenis Plastik	Jenis Katalis	Parameter	%Yield	Densitas (g/mL)	Viskositas (cSt)	Ref
PET	Karbon aktif	300°C	16,75	0,77	0,39	[10]
	Bentonite	300°C	21,74	0,75	~0,5	
HDPE:PP	Zeolit alam bayah	350°C, 5 jam	38,4 – 63,60	0,763 – 0,745	0,92 – 1,05	[4]
LDPE	Zeolit alam	-	80	0,735	0,248	[11]
PP		-	68	0,737	0,114	
LDPE	Alumunium Oksida	350°C	8,34	0,746	2,143	[12]
	Zeolit	500°C	~11	0,72	2,88	
HDPE	Alumunium Silika	480°C, 1 jam	29,2	0,803	~2,8	[6]
LDPE		400°C, 1 jam	12,05	~0,9	2,768	

Meskipun secara viskositas sudah dianggap layak, penggunaan minyak ini sebagai bahan bakar tetap perlu mempertimbangkan parameter lain seperti densitas. Nilai densitas yang berada di kisaran 0,72-0,80 g/mL menunjukkan bahwa minyak pirolisis cukup ringan dan memiliki densitas yang serupa dengan bahan bakar minyak bumi. Secara teknis, kombinasi viskositas dan densitas yang rendah ini menjamin bahwa minyak pirolisis tersebut mampu mengalir dengan lancar dalam sistem bahan bakar tanpa membebani kerja pompa.

Kesimpulan dan Rekomendasi

Berdasarkan hasil tinjauan literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa teknologi pirolisis memiliki potensi yang besar dalam pengolahan limbah plastik menjadi minyak pirolisis sebagai bahan bakar alternatif. Karakteristik minyak yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh jenis plastik, kondisi operasi, serta penggunaan katalis. Plastik jenis poliolefin seperti PP, HDPE, dan LDPE cenderung menghasilkan rendemen minyak yang lebih tinggi dibandingkan plastik PET karena struktur molekulnya lebih mudah terurai secara termal. Selain itu,

pemanfaatan katalis seperti zeolit alam, karbon aktif, dan bentonit terbukti mampu meningkatkan efisiensi proses pirolisis serta memperbaiki kualitas minyak, terutama dari segi densitas dan viskositas. Meskipun demikian, minyak pirolisis yang dihasilkan umumnya masih belum sepenuhnya memenuhi spesifikasi bahan bakar komersial, sehingga diperlukan proses lanjutan sebelum dapat diaplikasikan secara langsung.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Al-Khairiyah atas dukungan, penyediaan tempat dan juga kerjasamanya sehingga tinjauan literatur ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Plastic Europe, "Plasticsthefastfacts2023-1," 2023, Accessed: Jan. 20, 2026. [Online]. Available: <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2023/10/Plasticsthefastfacts2023-1.pdf>
- [2] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, "Production, use, and fate of all plastics ever made," 2017. [Online]. Available:

- [3] L. Firmansyah, Z. Mufrodi, and D. Maryudi, "Review: Potensi Pemanfaatan Sampah Plastik dan Biomassa melalui Proses Pirolisis sebagai Solusi Energi Alternatif dan Pengelolaan Sampah," *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, vol. 24, no. 02, pp. 126–136, 2025, [Online]. Available: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- [4] H. Heriyanto, E. Suhendi, M. Yusril Nasheh, M. Fathi Rizqillah, and H. Pujiastuti, "The Influence of Natural Bayah Zeolite on the Pyrolysis Process of Liquid Fuel Based on HDPE and PP Plastic Waste WORLD CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL," 2024. [Online]. Available: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/WCEJ>
- [5] M. Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan, E. Meilia Mayora, P. Widha Nugraheni, and H. H. Jl Profesor Dokter Hadari Nawawi, "Jurnal Presipitasi Zeolites Effects in Physical Characteristics of Low-Density Polyethylene (LDPE) and Polypropylene (PP) Pyrolysis into Liquid Fuel," *Original Research Article*, vol. 21, no. 1, pp. 90–102, 2024.
- [6] M. Arjuansyah, M. Aditya Saputra, K. Ridwan, and A. Zikri, "Pengaruh Jumlah Katalis Alumina Silika pada Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair Limbah Plastik HDPE dan LDPE," *Jurnal Kinetika*, vol. 12, no. 03, pp. 6–12, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index6>
- [7] M. M. Hasan, R. Haque, M. I. Jahirul, and M. G. Rasul, "Pyrolysis of plastic waste for sustainable energy Recovery: Technological advancements and environmental impacts," Feb. 15, 2025, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.enconman.2025.119511.
- [8] A. J. Tampubolon, A. Gamayel, and M. Zaenudin, "The Effect of ZSM-5 Zeolite and Dolomite Catalysts on the Performance of Plastic Waste Pyrolysis," *Journal of Global Engineering Research and Science*, vol. 2, no. 2, pp. 67–71, Dec. 2023, doi: 10.56904/j-gers.v2i2.72.
- [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. M. Kamal, "Penambahan Katalis Karbon Aktif dan Tanah Liat Bentonit pada Pirolisis Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate (PETE)," vol. 05, no. 01, pp. 23–28, 2022, [Online]. Available: <http://jetm.polinema.ac.id/>
- [11] E. Meilia Mayora and dan Putranty Widha Nugraheni, "Pirolisis Limbah Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE) dan Polypropylene (PP) Menggunakan Katalis Zeolit Alam," 2023.
- [12] A. Aswan *et al.*, "konversi Limbah Plastik LDPE menjadi Bahan Bakar Cair (BBC) Menggunakan Katalis Alumunium Oksida dan Zeolit pada Multistage Separator," *Jurnal Kinetika*, vol. 12, no. 02, pp. 51–57, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>