Pengaruh Konsentrasi Zeolit Alam Terhadap Waktu Reaksi, Viskositas, Dan Nilai Kalor Minyak Pirolisis LDPE

Riandana Rachim, Mokh Hairul Bahri *, Rohimatush Shofiyah
Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember, Indonesia
*email: mhairulbahri@unmuhjmber.ac.id
DOI : 10.48144/suryateknika.v10i2.2591
Received: 12 Oktober 2026 Revised: 30 Oktober 2026 Accepted: 31 Oktober 2026

Abstract
Plastic waste has become a serious environmental issue due to its resistance to natural degradation and the continuous increase in its consumption. One promising method to address this problem is pyrolysis, a thermal decomposition process conducted in the absence of oxygen, which can convert plastic waste into liquid fuel. However, studies examining the effect of varying concentrations of local natural zeolite on the characteristics of LDPE pyrolysis oil under constant temperature conditions remain limited.This study aims to analyze the effect of varying additions of natural zeolite on the quality of liquid products derived from the pyrolysis of Low-Density Polyethylene (LDPE) plastic. The experiment was conducted using 3 kg of LDPE bubble wrap waste at a temperature of 400°C, with zeolite variations of 0%, 5%, 10%, and 15%. The parameters analyzed include reaction time, viscosity, and calorific value of the pyrolysis oil.The results show that the addition of natural zeolite accelerates the initial formation time of oil and increases the yield. The highest oil production was obtained at 15% zeolite variation, reaching 225 ml, with the fastest initial droplet time of 66 minutes. The viscosity increased with higher zeolite concentrations, with the highest value of 0.28 mm²/s. Meanwhile, the maximum calorific value was achieved at 5% zeolite variation, reaching 8062.24 cal/gram.Overall, the study indicates that variations in natural zeolite concentration have a measurable effect on the reaction time and product characteristics, and suggest the presence of an optimal concentration for producing higher-quality alternative fuel.

Keywords: *Pyrolysis; LDPE plastic; natural zeolite; viscosity; calorific value.*

Abstrak
Sampah plastik merupakan permasalahan lingkungan yang serius karena sulit terurai secara alami dan terus meningkat seiring dengan tingginya konsumsi plastik. Salah satu metode yang berpotensi dalam mengatasi permasalahan tersebut adalah pirolisis, yaitu proses dekomposisi termal tanpa oksigen yang mampu mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar cair. Namun, penelitian terkait pengaruh variasi konsentrasi zeolit alam lokal terhadap karakteristik minyak pirolisis LDPE pada temperatur konstan masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi penambahan zeolit alam terhadap kualitas minyak hasil pirolisis plastik Low-Density Polyethylene (LDPE). Penelitian dilakukan secara eksperimen menggunakan limbah plastik bubble wrap sebanyak 3 kg pada suhu 400°C dengan variasi zeolit 0%, 5%, 10%, dan 15%. Parameter yang dianalisis meliputi waktu reaksi, viskositas, dan nilai kalor minyak pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan zeolit alam mampu mempercepat waktu awal terbentuknya minyak dan meningkatkan volume hasil. Produksi minyak tertinggi diperoleh pada variasi 15% sebesar 225 ml dengan waktu awal tetesan tercepat 66 menit. Nilai viskositas meningkat seiring penambahan zeolit dengan nilai tertinggi 0,28 mm²/s. Sementara itu, nilai kalor maksimum diperoleh pada variasi 5% sebesar 8062,24 cal/gram. Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi zeolit alam menunjukkan pengaruh yang terukur terhadap waktu reaksi pembakaran, serta mengindikasikan adanya kondisi optimum pada konsentrasi tertentu untuk menghasilkan bahan bakar alternatif yang lebih berkualitas.

Kata kunci: *Pirolisis; plastik LDPE; zeolit alam; viskositas; nilai kalor*

1. Pendahuluan

Energi memegang peran krusial dalam kehidupan manusia karena menjadi penopang berbagai aktivitas sekaligus mempermudah kegiatan sehari-hari. Hingga saat ini, kebutuhan energi masih didominasi oleh bahan bakar fosil. Ketergantungan ini menjadi perhatian serius, mengingat ketersediaan sumber energi fosil yang sangat terbatas[1]. Peningkatan aktivitas transportasi dan industri mendorong konsumsi energi secara signifikan, yang pada akhirnya memperbesar ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Kondisi ini menuntut adanya upaya nyata untuk mengurangi penggunaan energi fosil melalui pengembangan dan penerapan energi terbarukan yang lebih ekonomis serta ramah lingkungan. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil adalah limbah padat perkotaa[2]. Secara umum, sampah diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu sampah yang dapat terurai (biodegradable) dan sampah yang tidak dapat terurai (non-biodegradable). Sampah biodegradable umumnya berasal dari bahan organik, seperti daun, kertas, dan ranting, yang dapat mengalami dekomposisi secara alami. Sebaliknya, sampah non-biodegradable mencakup material anorganik, salah satunya plastik, yang membutuhkan waktu sangat lama untuk terurai di lingkungan. Dalam praktiknya, penggunaan plastik dalam kehidupan sehari-hari hampir tidak terelakkan. Hal ini disebabkan oleh sifatnya yang ringan, kuat, dan fleksibel, sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai kebutuhan manusia[3].

Sampah plastik menjadi salah satu isu lingkungan yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya penggunaan plastik dalam aktivitas sehari-hari. Karakteristik plastik yang sulit terurai secara alami menyebabkan limbahnya cenderung menumpuk dan berpotensi mencemari lingkungan dalam jangka panjang. Secara umum, plastik memang termasuk jenis sampah yang sangat sukar diuraikan oleh proses alami. Di antara berbagai jenis plastik yang beredar, *Low-Density Polyethylene* (LDPE) merupakan salah satu yang cukup umum digunakan. Plastik dengan kode nomor 4 ini dikenal memiliki sifat yang lebih lunak dan fleksibel, sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai produk kebutuhan sehari-hari[4]. Untuk mengatasi permasalahan sampah plastik, diperlukan upaya pengelolaan yang efektif, salah satunya melalui proses daur ulang. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah pirolisis, yaitu teknik pengolahan plastik dengan cara memanaskannya pada kondisi tanpa oksigen untuk menguraikannya menjadi produk yang lebih bermanfaat[5].

Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia yang berlangsung melalui pemanasan pada kondisi tanpa atau dengan sangat sedikit oksigen, sehingga reaksi terjadi tanpa pembakaran sempurna. Dalam proses ini, bahan baku mengalami pemecahan struktur kimia menjadi senyawa yang lebih sederhana dalam fase gas. Gas yang terbentuk kemudian dialirkan melalui pipa dan didinginkan hingga mengalami kondensasi, sehingga berubah menjadi cairan yang dikenal sebagai minyak pirolisis[2]. Proses pirolisis umumnya menghasilkan tiga produk utama, yaitu arang, minyak, dan gas. Arang yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar atau diolah lebih lanjut menjadi karbon aktif. Minyak pirolisis memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran bahan bakar. Sementara itu, gas yang terbentuk dapat langsung dimanfaatkan sebagai sumber energi melalui proses pembakaran[6]. Laju proses pirolisis serta kualitas produk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter utama, seperti waktu reaksi, temperatur, massa bahan, dan ukuran partikel. Pengaturan parameter-parameter ini menentukan efektivitas proses serta karakteristik produk akhir. Selain itu, penggunaan katalis juga memiliki peran penting karena dapat memengaruhi komposisi kimia dan

meningkatkan kualitas minyak pirolisis yang dihasilkan.[7]. Katalis tidak hanya mempengaruhi hasil minyak pirolisis tetapi juga mempengaruhi terhadap waktu rekasi pembakaran pirolisis karena salah satu tantangan dari proses pirolisis adalah besarnya energi aktivasi yang diperlukan[8].

Penggunaan katalis pada proses pirolisis memberikan dampak positif karena mampu mengurangi kebutuhan energi dibandingkan dengan pirolisis tanpa katalis. Selain itu, katalis juga berperan dalam mempercepat waktu reaksi serta meningkatkan kualitas dan kuantitas produk yang dihasilkan[7]. Katalis zeolit secara umum dibedakan menjadi dua jenis, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis. Zeolit alam terbentuk secara alami tanpa penambahan bahan kimia, melalui proses fisika dan kimia yang berlangsung dalam jangka waktu panjang di lingkungan geologi. Sebaliknya, zeolit sintetis merupakan material buatan yang dirancang memiliki karakteristik fisika dan kimia menyerupai zeolit alam, namun diproduksi melalui proses sintesis dari bahan tertentu. Dalam aplikasi pirolisis, penggunaan katalis termasuk zeolit cenderung menggeser distribusi produk. Secara umum, keberadaan katalis dapat menurunkan fraksi minyak dan residu, sekaligus meningkatkan pembentukan gas dibandingkan dengan proses degradasi termal tanpa katalis[7].

Sejumlah penelitian telah membahas penggunaan zeolit sebagai katalis dalam proses pirolisis. Namun, sebagian besar kajian tersebut lebih menitikberatkan pada jenis plastik selain LDPE atau belum secara spesifik mengkaji pengaruh variasi konsentrasi zeolit terhadap karakteristik minyak pada kondisi temperatur yang dijaga konstan. Di sisi lain, pemanfaatan zeolit alam lokal sebagai katalis untuk meningkatkan kualitas bahan bakar hasil pirolisis juga masih belum banyak dieksplorasi.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menyajikan analisis eksperimental terkait pengaruh variasi konsentrasi zeolit alam lokal terhadap karakteristik minyak hasil pirolisis LDPE pada temperatur tetap 400°C. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis hubungan antara variasi konsentrasi zeolit alam lokal terhadap waktu reaksi pembakaran, viskositas, dan nilai kalor pada pirolisis LDPE pada temperatur konstan 400°C

2. Literatur Review

2.1. Pirolisis

Pirolisis merupakan proses penguraian material pada suhu tinggi yang berlangsung tanpa kehadiran udara, atau hanya dengan suplai oksigen yang sangat terbatas, sehingga reaksi terjadi tanpa pembakaran sempurna[6]. Proses pirolisis sering disebut juga sebagai proses perengkahan (cracking), yaitu tahapan penguraian rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Dalam proses ini, struktur molekul plastik yang semula panjang dan kompleks dipecah menjadi molekul yang lebih sederhana. Hasil perengkahan tersebut selanjutnya memiliki nilai guna, baik sebagai bahan kimia maupun sebagai bahan bakar alternatif[9]. Produk utama yang dihasilkan dari proses pirolisis meliputi tiga fraksi, yaitu arang (*char*), minyak, dan gas[10]. Proses ini umumnya berlangsung pada kisaran suhu 400–800 ℃, yang disesuaikan dengan jenis plastik serta produk akhir yang diinginkan. Pada rentang suhu tersebut, plastik terlebih dahulu mencair, kemudian berubah fase menjadi gas. Selama pemanasan, rantai hidrokarbon yang panjang mengalami pemutusan (cracking) menjadi molekul yang lebih sederhana. Gas hasil pemecahan ini selanjutnya didinginkan hingga mengalami kondensasi, sehingga menghasilkan cairan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar, seperti bensin maupun diesel[11]. Jumlah produk yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan naiknya suhu dan lamanya waktu proses. Sementara itu, jumlah arang yang tersisa di dalam reaktor akan

berkurang apabila suhu dan durasi proses semakin tinggi[12]. Berbagai parameter yang berpengaruh dalam proses pirolisis antara lain adalah:

a. Waktu

Durasi proses pirolisis berpengaruh langsung terhadap jumlah dan jenis produk yang dihasilkan. Secara umum, semakin lama waktu reaksi berlangsung, maka produksi residu padat, tar, dan gas cenderung meningkat. Namun, jika waktu proses melebihi kondisi optimal, sebagian karbon dapat teroksidasi oleh oksigen dan berubah menjadi karbon dioksida serta abu. Oleh karena itu, penentuan waktu operasi yang tepat menjadi faktor kunci dalam mengoptimalkan hasil pirolisis.

b. Suhu

Suhu merupakan faktor kunci yang menentukan hasil pirolisis. Mengacu pada persamaan Arrhenius, peningkatan suhu akan memperbesar konstanta laju dekomposisi termal. Akibatnya, laju reaksi pirolisis meningkat dan konversi bahan menjadi produk juga menjadi lebih tinggi.

c. Ukuran Partikel

Ukuran partikel turut memengaruhi laju proses pirolisis. Partikel yang lebih besar memiliki luas permukaan per satuan massa yang lebih kecil, sehingga kontak reaksi menjadi terbatas dan proses berlangsung lebih lambat. Sebaliknya, ukuran partikel yang lebih kecil cenderung mempercepat reaksi karena menyediakan area kontak yang lebih luas.

d. Berat Partikel

Peningkatan jumlah bahan yang dimasukkan ke dalam proses akan berdampak langsung pada jumlah produk yang dihasilkan. Semakin besar massa bahan baku, maka produksi bahan bakar cair (*tar*) dan arang cenderung meningkat.

e. Penggunaan Katalis

Pemilihan jenis dan jumlah katalis sangat penting, karena memengaruhi hasil cairan dan pembentukan kokas (coke).

2.2. Zeolit Alam

Zeolit alam merupakan material yang banyak ditemukan di wilayah pegunungan berapi dan terbentuk dari proses transformasi abu vulkanik. Material ini memiliki beragam fungsi, antara lain sebagai adsorben, agen dehidrasi, media pemisah (separator), penukar ion, serta katalis dalam berbagai proses kimia[13]. Zeolit alam terbentuk sepenuhnya melalui proses alami tanpa intervensi atau penambahan zat dari luar. Keberadaannya merupakan hasil dari interaksi proses kimia dan fisika yang berlangsung kompleks dalam batuan, yang mengalami transformasi bertahap akibat kondisi lingkungan selama periode geologis yang panjang[7].

2.3. Plastik LDPE

Plastik LDPE *(Low-Density Polyethylene)* adalah polimer dengan struktur bercabang yang menyebabkan gaya antarmolekulnya relatif lemah. Dampaknya, material ini memiliki kekuatan tekan dan kekerasan yang lebih rendah dibandingkan HDPE. Meski begitu, LDPE tetap banyak digunakan karena sifatnya yang fleksibel, mudah dibentuk, dan tahan terhadap air. Berkat karakteristik tersebut, LDPE umum dimanfaatkan untuk kantong plastik, kemasan fleksibel seperti pembungkus, hingga kantong sampah. Tingginya tingkat penggunaan ini membuat limbah LDPE banyak ditemukan di tempat pembuangan akhir, bahkan menjadi salah satu penyumbang utama sampah padat setelah polipropilena.

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

2.4. Uji Viskositas

Viskositas merupakan ukuran tingkat kekentalan suatu fluida, yang berkaitan dengan besarnya gaya gesek internal di dalamnya. Semakin tinggi nilai viskositas, aliran fluida akan semakin terhambat, sehingga fluida menjadi lebih sulit mengalir. Kondisi ini juga menunjukkan bahwa pergerakan benda di dalam fluida tersebut akan semakin terhambat[14]. Pengukuran viskositas pada zat cair umumnya dilakukan menggunakan viskometer Ostwald. Alat ini termasuk dalam jenis viskometer kapiler yang bekerja berdasarkan prinsip laju alir fluida melalui pipa sempit. Nilai viskositas ditentukan dari waktu yang dibutuhkan sejumlah volume larutan untuk mengalir akibat gaya gravitasi. Semakin lama waktu alir yang tercatat, semakin tinggi viskositas fluida tersebut[15]

2.5. Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan besaran yang menunjukkan jumlah energi panas yang dilepaskan saat suatu zat seperti bahan bakar atau makanan mengalami proses pembakaran. Secara sederhana, nilai ini menggambarkan seberapa besar energi (dalam bentuk kalor) yang dihasilkan ketika sejumlah bahan dibakar sempurna dengan udara atau oksigen[16].

2.6. StandarAcuan Bahan Bakar

Data dibawah ini merupakan beberapa acuan dari Energi dan Sumber Daya Mineral ESDM (2017), Direktorat Jenderal Minyak dan Gas DJM (2020), Direktorat Jenderal Minyak dan Gas DJM (2020).

Tabel 1. Standar Acuan Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	Karateristik	
	Viskositas (mm^2)	Nilai Kalor (cal/g)
Pertalite	0,8	10994
Minyak Tanah	2,0	9000
Solar	5,0	10348

2.7. Perbandingan Penelitian

Peneliti	Material	Katalis	Hasil Utama	Gap
Bahri (2021)	Biomassa	Zeolit	Meningkatkan yield	Tidak menguji LDPE
Hermanto (2022)	PP	Zeolit	Mempercepat cracking	Tidak analisis nilai kalor
Penelitian ini	LDPE	Zeolit alam	Analisis viskositas & kalor	Fokus kualitas minyak

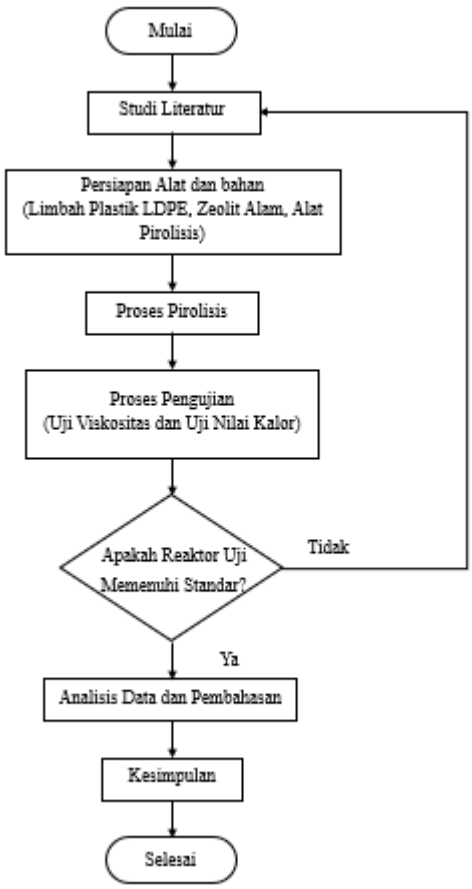
3. Metode

3.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif secara eksperimental, di mana peneliti mengatur serta mengendalikan variabel penelitian berdasarkan acuan dan referensi literatur yang relevan. Metodologi penelitian berfungsi sebagai pedoman dalam memecahkan

masalah, dengan menjelaskan secara ringkas langkah-langkah yang dilakukan beserta penjelasannya. Secara keseluruhan, metode ini diterapkan untuk mencapai tujuan yang telah dirumuskan di dalam penelitian.

3.2. Diagram Alir



3.3. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

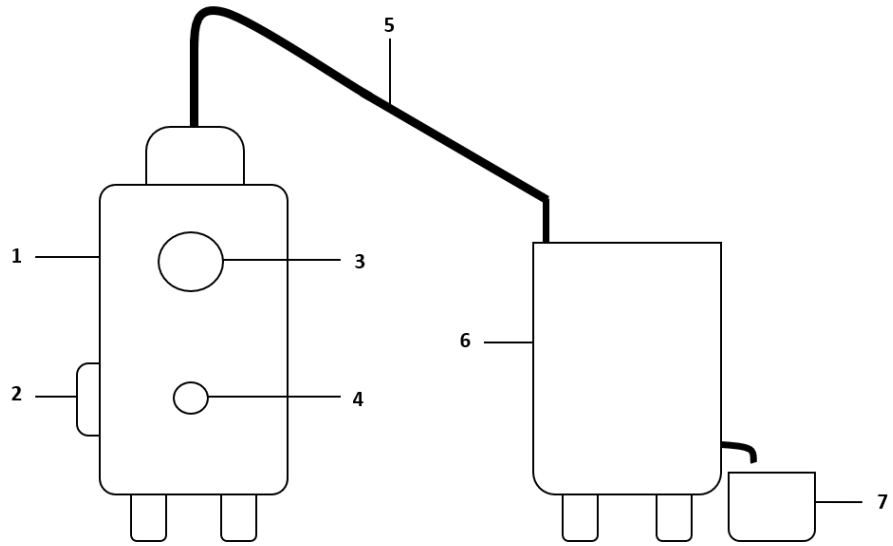
a. Gelas beaker
b. Pemantik api
c. Kompor gas
d. Regulator dan selang
e. Rangkaian reaktor pirolisis
f. Stopwatch
g. Gunting
h. Sarung tangan
i. Timbangan digital
j. Viskometer Ostwald
k. Pipet Filler
l. Bom Calorimeter

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Sampah plastik bubble wrap
b. Air
c. Zeolit alam clinoptilolite
d. Tabung Gas

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

3.4. Rangkaian Alat Pirolisis



Keterangan Gambar:

1. Reaktor

Berfungsi sebagai wadah utama tempat bahan diproses dengan pemanasan tanpa adanya oksigen hingga terdekomposisi menjadi gas, minyak, dan arang.

2. Lubang 1

Berfungsi untuk mengeluarkan arang atau sisa pembakaran.

3. Lubang 2

Berfungsi untuk memasukkan bahan yang akan di proses pirolisis.

4. Termokopel

Perangkat yang digunakan untuk mengukur serta memonitor suhu di dalam reaktor selama proses pirolisis terjadi.

5. Pipa penghubung

Berfungsi untuk Mengalirkan gas hasil proses pirolisis dari reaktor ke bagian kondensor

3.5. Variabel Penelitian

a. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah plastik bubble wrap yang berjenis LDPE, 3kg plastik bubble wrap, dan menggunakan tekanan suhu 400ºC.
b. Variabel bebas pada penelitian ini adalah volume variasi campuran zeolit alam dengan konsentrasi tanpa zeolit alam (non ZA), 5%,10%, dan 15%.
c. Variabel terikat pada penelitian ini adalah hasil waktu proses pembakaran pada pirolisis, nilai uji viskositas, dan uji nilai kalor.

3.6. Prosedur Proses Pirolisis

Pertama persiapan alat rangkaian alat pirolisis dan bahan yaitu plastik bubble wrap yang berjenis LDPE di potong kecil-kecil berukuran 2-3 cm. Selanjutnya potongan plastik LDPE dicampur zeolit alam dengan mesh 100 sesuai variasi penambahaan zeolite alam yang digunakan. Setelah bahan disiapkan Selanjutnya, buka penutup bagian atas reaktor sebagai saluran masuk plastik, lalu masukkan potongan-potongan plastik yang sudah dicampur dengan zeolit alam yang sudah disiapkan dan pasang kembali penutupnya dengan rapat. Nyalakan kompor gas untuk memulai proses pirolisis dan sesuaikan suhu dan waktu

yang sudah ditentukan. Dan yang terakhir siapkan wadah untuk menampung minyak hasil pirolisis.

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi penambahan zeolit alam pada proses pirolisis dengan bahan plastik bubble wrap yang berjenis LDPE. Berikut merupakan hasil dan pembahasan sebagai berikut:

Data Waktu Proses Pembakaran Pada Proses Pirolisis LDPE

Berikut merupakan tabel hasil waktu proses pembakaran dari proses pirolisis:

Tabel 2. Data Hasil Proses Pirolisis

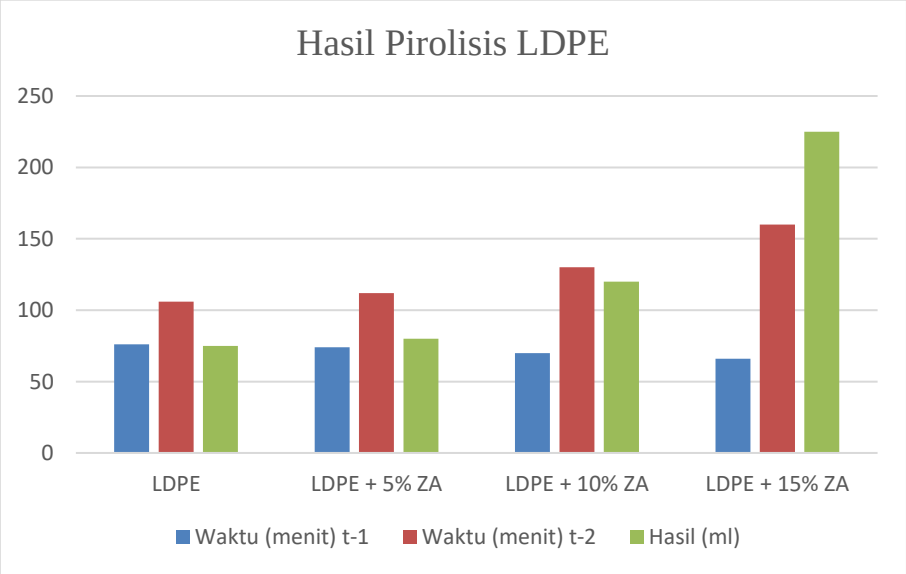
Jenis Sampel	Massa (kg)	Suhu (°C)	Waktu (menit)		Hasil (ml)
			t-1	t-2	
LDPE	3 kg	400 °C	76	106	75
LDPE + 5% ZA	3 kg	400 °C	74	112	80
LDPE + 10% ZA	3 kg	400 °C	70	130	120
LDPE + 15% ZA	3 kg	400 °C	66	160	225

Keterangan:

Massa (kg) : Menunjukkan jumlah massa sampah plastik yang akan digunakan.
Jenis Sampel : Menunjukkan variasi zeolit alam yang akan digunakan.
Suhu (°C) : Menunjukkan tekanan suhu pada tabung reaktor.
t-1 (menit) : Mulai menetesnya minyak dari tabung kondensor.
t-2 (menit) : Berhentinya minyak yang menetes.
Hasil (ml) : Menunjukkan minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis.

Data pada tabel 2 menunjukkan bahwa pada proses pirolisis plastik LDPE dengan variasi penambahan zeolit alam memiliki pengaruh pada proses pembakaran pirolisis berlangsung. Pada proses pirolisis yang pertama dengan massa bahan baku plastik LDPE 3 kg tanpa penambahan zeolit alam membutuhkan waktu 76 menit untuk minyak menetes dan berhenti menetes pada menit 106 dengan menggunakan tekanan suhu 400 °C yang menghasilkan 75 ml minyak pirolisis. Pada proses pirolisis yang kedua dengan massa bahan baku plastik LDPE 3 kg penambahan 5% zeolit alam membutuhkan waktu 74 menit untuk minyak menetes dan berhenti menetes pada menit 112 dengan menggunakan tekanan suhu 400 °C yang menghasilkan 80 ml minyak pirolisis. Pada proses pirolisis yang ketiga dengan massa bahan baku plastik LDPE 3 kg penambahan 10% zeolit alam membutuhkan waktu 70 menit untuk minyak menetes dan berhenti menetes pada menit 130 dengan menggunakan tekanan suhu 400 °C yang menghasilkan 120 ml minyak pirolisis. Pada proses pirolisis yang keempat dengan massa bahan baku plastik LDPE 3 kg penambahan 15% zeolit alam membutuhkan waktu 66 menit untuk minyak menetes dan berhenti menetes pada menit 160 dengan menggunakan tekanan suhu 400 °C yang menghasilkan 225 ml minyak pirolisis.

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198



Gambar 1. Hasil Pirolisis LDPE

Gambar 1 menunjukkan perbedaan hasil dari ke empat sampel tersebut. Berdasarkan hasilnya sampel plastik LDPE dengan penambahan 15% zeolit alam memiliki waktu reaksi pembakaran atau keluarnya minyak tercepat pada waktu ke 66 menit dan menghasilkan 225 ml minyak pirolisis. Sebaliknya, pada proses pirolisis plastik LDPE tanpa penambahan zeolit alam memiliki waktu reaksi pembakaran atau waktu keluarnya minyak terlama pada waktu ke 76 menit dan menghasilkan 75 ml minyak pirolisis. Dalam proses pirolisis, penggunaan katalis memberikan dampak yang signifikan. Katalis berperan dalam mempercepat reaksi dengan menurunkan waktu proses, sekaligus meningkatkan kualitas dan jumlah produk yang dihasilkan [7].

Viskositas

Viskositas merupakan parameter yang menggambarkan tingkat kekentalan suatu fluida, yang berkaitan dengan besarnya gaya gesek di dalamnya. Semakin tinggi nilai viskositas, semakin besar hambatan aliran yang terjadi, sehingga fluida menjadi lebih sulit mengalir. Kondisi ini juga menunjukkan bahwa pergerakan benda di dalam fluida tersebut akan semakin terhambat. Berikut hasil perhitungan viskositas ostwald minyak pirolisis pada tabel 3.

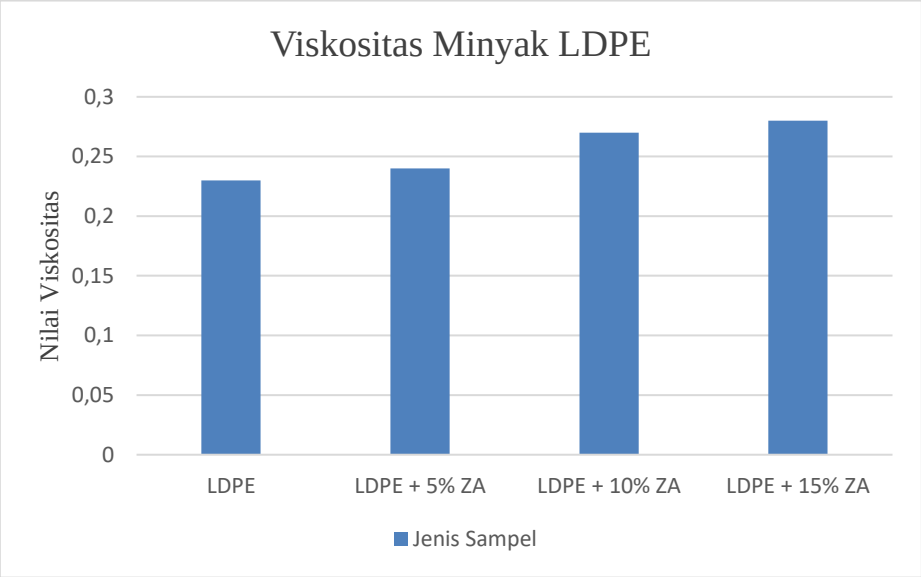
Tabel 3. Hasil Pengujian Viskositas Ostwald

Jenis Sampel	Viskositas (mm^2/s)
LDPE	0,23
LDPE + 5% ZA	0,24
LDPE + 10% ZA	0,27
LDPE + 15% ZA	0,28

Berdasarkan data hasil pengujian viskositas ostwald dari beberapa sampel yang sudah dilakukan, yang pertama sampel minyak pirolisis LDPE tanpa Zeolit Alam didapatkan hasil dengan nilai 0,23 mm^2/s. Sampel yang kedua minyak pirolisis LDPE dengan penambahan 5% Zeolit Alam didapatkan hasil dengan nilai 0,24 mm^2/s. Sampel yang ketiga minyak pirolisis LDPE dengan penambahan 10% Zeolit Alam didapatkan hasil dengan nilai 0,27 mm^2/s. Sedangkan sampel yang keempat minyak pirolisis LDPE dengan penambahan 15% Zeolit Alam didapatkan hasil dengan nilai 0,28 mm^2/s. Semakin banyak

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

volume penambahan zeolit alam maka semakin besar juga nilai viskositasnya. Perbedaan nilai viskositas ini menunjukkan semakin besar nilai viskositasnya maka semakin besar juga hambatan alir pada permukaan yang ada[17]. Dari semua data sampel yang paling mendekati pada acuan standar adalah sampel plastik LDPE dengan penambahan 15% Zeolit Alam yang memiliki nilai 0,28 mm^2/s sebagai bahan bakar pertalite. Berikut merupakan hasil dari uji viskositas minyak LDPE pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil Uji Viskositas Minyak LDPE

Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor dilakukan menggunakan Bomb Calorimeter Type XRY-1A, yaitu alat yang digunakan untuk mengukur jumlah energi yang dilepaskan saat sampel minyak pirolisis mengalami pembakaran. Hasil pengukuran ini dinyatakan dalam satuan kalori per gram (Cal/gram). Adapun hasil pengujian nilai kalor untuk masing-masing sampel minyak pirolisis disajikan pada Tabel 4.

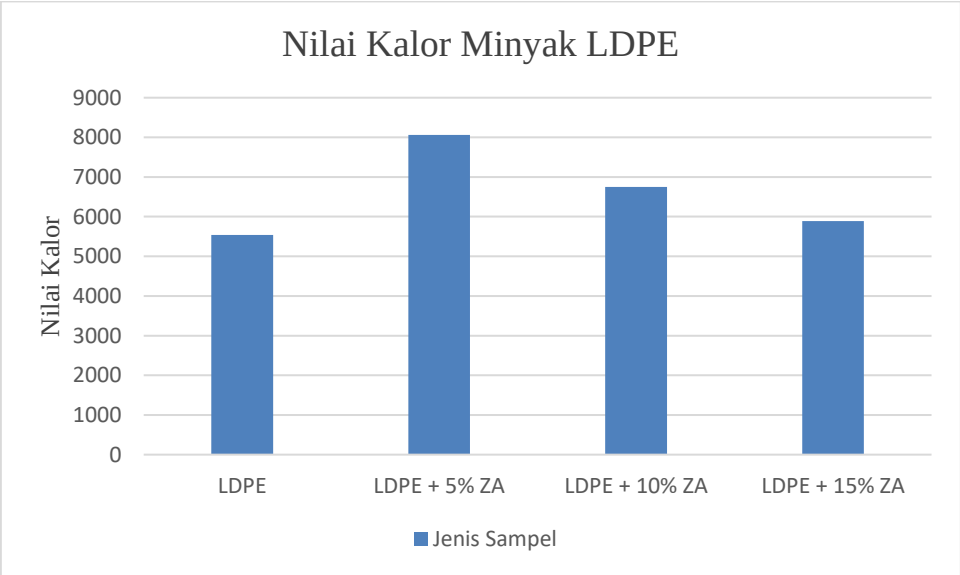
Tabel 4. Hasil Pengujian Nilai Kalor

Jenis Sampel	Nilai Kalor (Cal/gram)
LDPE	5538,73
LDPE + 5% ZA	8062,24
LDPE + 10% ZA	6746,70
LDPE + 15% ZA	5889,98

Berdasarkan data yang didapatkan dari pengujian nilai kalor pada tabel 4.4 didapatkan bahwa sampel murni LDPE memiliki nilai kalor sebesar 5538,73 cal/gram dan penambahan zeolit alam meningkatkan nilai kalor pada minyak LDPE pada sampel LDPE + 5% ZA dengan nilai 8062,24 cal/gram dikarenakan zeolit alam berperan sebagai katalis yang mempercepat proses cracking, sehingga menghasilkan senyawa hidrokarbon yang lebih ringan dan memiliki kandungan energi lebih tinggi. Sedangkan pada sampel LDPE + 10% ZA dengan nilai 6746,70 cal/gram dan sampel LDPE + 15% ZA dengan nilai 5889,98 cal/gram mengalami penurunan nilai kalor disebabkan oleh fenomena over-cracking, di mana senyawa hidrokarbon tidak hanya terurai menjadi fraksi cair, tetapi juga berubah menjadi gas yang tidak dapat terkondensasi. Akibatnya, kandungan senyawa berenergi

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

tinggi dalam minyak berkurang sehingga nilai kalor menurun. Over-cracking disebabkan terlalu lama reaksi pembakaran mulai dari keluarnya minyak sampai berhentinya keluar minyak yang membuat zeolit alam kurang efektif menjadi terbentuknya coke atau residu, sehingga kualitas minyak semakin menurun. Semakin besar nilai kalor suatu bahan bakar minyak, maka semakin baik kualitasnya karena menunjukkan bahan bakar tersebut dalam menghasilkan panas yang tinggi[18]. Dari semua data yang dihasilkan nilai kalor yang mendekati standar acuan adalah sampel pirolisis plastik LDPE dengan penambahan 5% zeolit alam yang memiliki nilai tertinggi 8062,24 cal/gram sebagai bahan bakar minyak tanah. Berikut merupakan grafik dari hasil uji nilai kalor minyak LDPE pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Uji Nilai Kalor Minyak LDPE

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi penambahan zeolit alam berpengaruh terhadap kinerja proses pirolisis dan karakteristik minyak yang dihasilkan. Penambahan zeolit terbukti mampu mempercepat waktu awal terbentuknya minyak serta meningkatkan volume hasil pirolisis, dengan hasil tertinggi diperoleh pada variasi 15%. Nilai viskositas minyak meningkat secara konsisten seiring bertambahnya konsentrasi zeolit, yang menunjukkan adanya perubahan sifat fisik bahan bakar. Sementara itu, nilai kalor optimum diperoleh pada variasi 5% zeolit sebesar 8062,24 cal/gram, yang menunjukkan bahwa konsentrasi katalis yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan kualitas akibat over-cracking. Dengan demikian, penggunaan zeolit alam sebagai katalis dalam pirolisis LDPE memiliki potensi dalam meningkatkan kualitas bahan bakar alternatif, dengan konsentrasi optimum berada pada kondisi tertentu. Penelitian lanjutan diperlukan untuk analisis komposisi kimia minyak pirolisis menggunakan GC-MS dan pengujian performa pembakaran secara langsung pada mesin

Referensi

[1] R. Russiadi, H. Saputro, dan H. Bugis, “Pengaruh Pre-Heating pada Pirolisis Biomassa Limbah Aren terhadap Char pada Reaktor Horizontal Model Continuous,” *NOZEL: Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, vol. 4, no. 1, hlm. 65, 2023, doi: 10.20961/nozel.v4i1.72188.

[2] A. Rafi, P. Hartono, dan Margianto, "Analisis Energi Terbarukan pada Proses Pirolisis dengan Memanfaatkan Sampah Plastik," *Jurnal Teknik Energi*, vol. 12, hlm. 1–8, 2019.

[3] S. Suhartoyo, "Pemanfaatan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar," *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, hlm. 90, 2021, doi: 10.32832/ame.v7i2.4872.

[4] E. F. Hartono dan N. Rachmat, "Klasifikasi Jenis Plastik HDPE, LDPE, dan PS Berdasarkan Tekstur Menggunakan Metode Support Vector Machine," *JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*, vol. 9, no. 2, hlm. 1403–1412, 2022, doi: 10.35957/jatisi.v9i2.2470.

[5] M. N. Reza, M. H. Bahri, dan A. Abidin, "Konversi Energi Limbah Plastik PET Menggunakan Katalis Zeolit Alam Menjadi Bahan Bakar Minyak," *Jurnal Teknik Energi*, vol. 6, no. 2, hlm. 183–190, 2025.

[6] D. Iswadi et al., "Pemanfaatan Sampah Plastik LDPE dan PET Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis," *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, vol. 1, no. 2, hlm. 1–9, 2017.

[7] Y. P. Anggono, N. Ilminnafik, A. A. Rosyadi, dan G. Jatisukamto, "Pengaruh Katalis Zeolit Alam pada Pirolisis Plastik Polyethylene Terephthalate dan Polypropylene," *Jurnal Energi dan Manufaktur*, vol. 13, no. 1, hlm. 22–27, 2020, doi: 10.24843/jem.2020.v13.i01.p04.

[8] M. H. Bahri, "Effect of Natural Zeolite on Biomass Pyrolysis," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1034, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1034/1/012082.

[9] Hermanto, M. H. Bahri, dan A. Fatonisyam, "Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene dengan Tambahan Zeolit Alam," *Jurnal Teknik Energi*, vol. 3, no. 2, hlm. 216–223, 2022.

[10] K. Ridhuan, D. Irawan, Y. Zanaria, dan F. Firmansyah, "Pengaruh Jenis Biomassa pada Pembakaran Pirolisis terhadap Karakteristik dan Efisiensi Bioarang-Asap Cair yang Dihasilkan," *Media Mesin*, vol. 20, no. 1, hlm. 18–27, 2019, doi: 10.23917/mesin.v20i1.7976.

[11] A. V. Dwicaksono, M. H. Bahri, dan A. Abidin, "Pengaruh Zeolit terhadap Waktu Kondensasi Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene," *Jurnal Teknik Energi*, vol. 5, no. 6, hlm. 750–756, 2024.

[12] Sumarni dan A. Purwanti, "Kinetika Reaksi Pirolisis Plastik Low Density Polyethylene (LDPE)," *Jurnal Teknologi*, vol. 1, no. 2, hlm. 135–140, 2008.

[13] R. I. Kusuma, J. P. Hadinoto, A. Ayucitra, dan S. Ismadji, "Pemanfaatan Zeolit Alam sebagai Katalis Murah dalam Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit," *Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, hlm. 1–7, 2011.

[14] E. S. A. Mulyono, "Otomatisasi Pengukuran Koefisien Viskositas Zat Cair Menggunakan Gelombang Ultrasonik," *Jurnal Neutrino*, vol. 2, no. 2, hlm. 183–192, 2012, doi: 10.18860/neu.v0i0.1640.

[15] H. Katsiro, N. A. Mufarida, dan B. S. Rintiyarna, "Pengaruh Suhu terhadap Karakteristik dan Nilai Kalor," *JURITEK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro dan Komputer*, vol. 5, no. 1, hlm. 1–11, 2025.

[16] U. Z. Hamdani et al., "Pengembangan dan Uji Coba Digester Kompos Kulit Buah Kakao dengan Produk Samping Biogas Berskala Rumah Tangga," *Wanatani*, vol. 3, no. 1, hlm. 1–10, 2023, doi: 10.51574/jip.v3i1.87.

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

[17] A. B. Pamungkas dan A. S. Cahyana, "Uji Viskositas Penanganan Limbah B3 Liquid pada Oli Bekas Menggunakan Metode Taguchi," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 9, no. 1, hlm. 144–154, 2023.

[18] B. Sugiarto, J. R. Arfianto, dan K. Monika, "Pembuatan Bahan Bakar Minyak (BBM) dari Sampah Plastik Menggunakan Proses Pirolisis," *Jurnal Teknik Energi*, hlm. 14–15, 2020.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License