



Uji Aktivitas Katalis Zeolit Alam Ende dalam Pirolisis Polietilena dari Sampah Plastik

Activity Test of Ende Natural Zeolite Catalyst as Internal Catalyst Pyrolysis of Polyethylene from Plastic Waste

Gregorio Antony Bani*

Universitas Aryasatya Deo Muri, Fakultas Sains dan Pertanian, Jl. Perintis Kemerdekaan 1, Nomor 09, Kelurahan Kayu Putih, Kota Kupang, Indonesia 85111

*Corresponding Author. Email: greg.antonny@yahoo.com

Received: 11th April 2023; Revised: 4th July 2023; Accepted: 24th July 2023

ABSTRAK

Pirolisis merupakan salah satu cara untuk meminimalisir sampah plastik, yaitu dengan mengubah plastik menjadi hidrokarbon cair. Permasalahan dalam pirolisis adalah terdapat kesulitan untuk mendistribusikan produknya, kebutuhan energi yang besar dengan kuantitas produk yang masih tergolong sedikit apabila dibandingkan dengan jumlah bahan bakunya. Salah satu katalis yang paling baik dalam pirolisis adalah zeolit. Oleh karena itu, apabila zeolit alam Ende hendak digunakan sebagai salah satu alternatif katalis dalam pirolisis polietilena dari sampah plastik, maka pengujian untuk mengetahui kemampuan zeolit alam Ende sebagai katalis dalam pirolisis sampah plastik perlu dilakukan. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa proses aktivasi dapat mengubah sifat kimia dan fisik zeolit alam Ende, meliputi kristalinitas, luas permukaan, volume pori dan pori, serta keasamannya untuk digunakan sebagai katalis. Katalis zeolit pada proses pirolisis limbah plastik polietilen polietilen dapat menurunkan energi aktivasi hingga 4371,1 kal/mol dengan perbandingan 100 gram katalis dan 1000 gram plastik.

Kata kunci: Zeolit, Pirolisis, Katalis, Polietilena

ABSTRACT

Pyrolysis is one way to minimize plastic waste by converting plastic into liquid hydrocarbons. The problem in pyrolysis is that there are difficulties in distributing the product; the energy requirement is significant with the quantity of product, which still needs to be bigger than the amount of raw material. One of the best catalysts in pyrolysis is zeolite. Therefore, if Ende's natural zeolite is to be used as an alternative catalyst in the pyrolysis of polyethylene from plastic waste, it is necessary to conduct tests to determine the ability of Ende's natural zeolite as a catalyst in the pyrolysis of plastic waste. Based on the research results, it is known that the activation process can change the chemical and physical properties of Ende's natural zeolite, including crystallinity, surface area, pore and pore volume, and its acidity to be used as a catalyst. The zeolite catalyst in the pyrolysis process of polyethylene plastic waste can reduce the activation energy up to 4371.1 cal/mol with a ratio of 100 grams of catalyst and 1000 grams of plastic.

Keywords: Zeolites, Pyrolysis, Catalysts, Polyethylene

Copyright © 2023 by Authors, Published by JITK. This is an open-access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).

How to cite: Bani, G. (2023). Pemanfaatan Zeolit Alam Ende Sebagai Katalis Pada Pirolisis Polietilena Dari Sampah Plastik. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 7(2), 46-55

Permalink/DOI: 10.32493/jitk.v7i2.29588



PENDAHULUAN

Dalam kehidupan manusia modern, plastik merupakan material yang paling banyak digunakan sehari-hari karena sifatnya yang kuat dan tidak mudah rusak. Hal tersebut mengakibatkan peningkatan jumlah sampah plastik yang menumpuk di Tempat Pembuangan Akhir sampah (TPA). Terdapat berbagai macam metode dalam menangani masalah sampah plastik, namun yang paling umum digunakan adalah melalui pembakaran langsung di TPA (Dan et al., 2023). Metode tersebut seharusnya tidak dilakukan untuk sampah plastik karena menimbulkan polutan (CO , CO_2 , NO_x dan SO_x) di udara, dan plastik tidak bisa diuraikan dalam tanah (Johnke et al., 2001). Pengembangan metode penanganan sampah plastik yang difokuskan pada metode daur ulang juga dianggap tidak terlalu efektif, karena hanya mampu memanfaatkan sedikit dari jumlah total sampah yang ada di TPA (Rajaeifar et al., 2017).

Pirolisis merupakan salah satu cara untuk meminimalisir sampah plastik, yaitu dengan mengubah plastik menjadi hidrokarbon cair yang dapat diubah lagi ke dalam fraksi minyak tanah, bensin dan bahan kimia lain sebagai sumber energi (Syamsiro, 2015). Keuntungan metode ini dapat mengurangi pencemaran udara akibat proses pembakaran sampah, dikarenakan asap hasil pembakaran sampah dikonversi menjadi asap cair (proses kondensasi) (Nasrun et al., 2017). Permasalahan dalam pirolisis adalah (1) sulit mendistribusikan produknya, (2) butuh temperatur yang tinggi ($500 - 900^\circ\text{C}$), (iii) waktu yang lama (1 – 7 jam) dan (iv) produk yang dihasilkan sedikit (Naimah et al., 2012), (Nugroho, 2020). Karena itu, dibutuhkan katalis untuk mengefisieni penggunaan energi dalam pirolisis. Adanya katalis mempengaruhi faktor-faktor kinetik suatu reaksi seperti laju reaksi, energi aktivasi, sifat dasar keadaan transisi dan lain-lain (Harlivia et al., 2022).

Salah satu katalis yang paling baik dalam pirolisis adalah zeolit (Rio Nazif et al., 2016). Salah satu daerah yang memiliki cadangan zeolit alam yang cukup besar adalah Pulau Flores di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), dengan jumlah deposit zeolit terbanyak berada di kabupaten Ende, yaitu sekitar 6.115.000 ton (Sukaesih, 2014), (Wolo, D., Ngapa Yulius Dala, 2019).

Zeolit alam di Indonesia umumnya memiliki kadar, ukuran pori dan luas permukaan yang sangat tidak seragam, aktivitas katalitiknya rendah, mengandung banyak pengotor, serta memiliki kristalinitas yang tidak terlalu tinggi, karena sangat bergantung pada lokasi pembentukannya. Oleh karena itu zeolit alam perlu diaktivasi terlebih dahulu agar memiliki sifat seperti zeolit sintesis ZSM-5 (*Zeolite Socony Mobile-5*) (Yulita et al., 2018), (Kurniawan & Adha Firdaus, 2019).

Pirolisis minyak kelapa sawit dengan menggunakan katalis zeolit menunjukkan bahwa zeolit yang diaktivasi dengan menggunakan larutan asam (HCl) memiliki ukuran pori yang lebih besar, sehingga menghasilkan minyak nabati dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi dengan menggunakan larutan basa (NaOH) (Abdullah et al., 2019). Pirolisis polistirena dari ban bekas menunjukkan bahwa zeolit mampu mengkonversi hingga 80% polistirena dari ban bekas menjadi hidrokarbon jenis premium (Arita et al., 2015). Uji aktifitas katalitik dari Zeolit alam Ende menunjukkan bahwa zeolit alam yang dikativasi asam mampu mengkonversi fruktosa menjadi HMF dengan rendemen hingga 74,84% (Faradika et al., 2019b).

Oleh karena itu, apabila zeolit alam Ende hendak digunakan sebagai salah satu alternatif katalis dalam pirolisis polietilena dari sampah plastik, maka pengujian untuk mengetahui kemampuan zeolit alam Ende sebagai katalis dalam pirolisis sampah plastik perlu dilakukan.



BAHAN DAN METODE

Alat

Peralatan gelas, Oven, Ayakan 100 mesh, pH Meter, Reaktor Pirolisis, *Stopwatch*, Desikator, *Thermocouple*, Viskometer, Pignometer, XRD (*X-Ray Diffractometer*) Shimadzu XRD-6000, GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectroscopy*) Shimadzu QP-2010s, SEM (*Scanning Electron Microscope*) JEOL JSM-6360 LA, *Gas Sorption Analyzer* NOVA 1200e.

Bahan

Zeolit alam Ende, Aquades, Asam Fluorida (HF), Asam Klorida (HCl) 6 N, Amonium Klorida (NH₄Cl) 0,1 M, Gas Nitrogen (N₂), Amonia (NH₃), Piridin (C₅H₅N), Polietilena dari Sampah Plastik.

Preparasi Zeolit Alam Ende

Sampel zeolit alam Ende (ZAE) digiling menjadi ukuran 100 mesh, kemudian dicuci dengan akuades dan dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven dengan suhu 200°C selama 2 jam. Sampel kemudian dikarakterisasi meliputi kristalinitas, morfologi, luas permukaan, ukuran pori, jari-jari pori dan keasamannya.

Preparasi Plastik

Plastik dipilih berdasarkan lambang yang bertuliskan PE (Polietilena) pada bagian bawah plastik tersebut, kemudian dipotong menjadi ukuran ±1 cm² sebanyak 1000 gram untuk setiap perlakuan pirolisis.

Aktivasi Zeolit Alam Ende

Proses selanjutnya adalah melakukan aktivasi terhadap zeolit alam Ende. Serbuk zeolit alam direndam ke dalam larutan HF 1 % dengan rasio 1: 2 selama 10 menit, kemudian dicuci lagi dengan akuades dan direndam lagi ke dalam larutan HCl 6 N dan direfluks selama 30 menit pada suhu 90 °C.

Setelah direfluks, rendaman dibiarkan semalam, kemudian dicuci dengan akuades. Berikutnya zeolit dikeringkan dalam oven pada suhu 130 °C selama 1 jam untuk menghilangkan air dan dilanjutkan dengan perendaman dalam larutan NH₄Cl 0,1 M dengan rasio 1: 2 pada suhu 90 °C selama 3 jam per hari sampai satu minggu. Serbuk zeolit kembali dikeringkan pada suhu 500 °C selama 4 jam di dalam oven dan kemudian dilanjutkan dengan kalsinasi dengan gas N₂ selama 4 jam pada suhu 500 °C (Nurizq Mauli Septiani, Supartono, 2019), (Fajriani et al., 2022), (Agus Saputro et al., 2015). Serbuk Zeolit Alam Aktif Ende (ZAAE) dikarakterisasi lagi meliputi kristalinitas, morfologi, luas permukaan, ukuran pori, jari-jari pori dan keasamannya.

Pirolisis Plastik Polietilena

Plastik polietilena yang sudah disiapkan, dimasukkan ke dalam reactor sebanyak 1000 gram, lalu proses pirolisis dijalankan pada temperatur 300°C sambil menyalakan *stopwatch*. Waktu yang dicatat sebagai waktu awal proses perengkahan ketika minyak pertama kali diteteskan dan penampung minyak diganti pada setiap interval waktu per 10menit dan volume minyaknya diukur. Proses pirolisis dihentikan saat minyak tidak lagi menetes, lalu waktunya dicatat sebagai akhir proses perengkahan. Proses di atas kembali diulang pada suhu 350 °C, 400 °C dan 450 °C. Minyak hasil pirolisis dianalisis meliputi viskositas, densitas dan komponen senyawa penyusunnya. Semua prosedur di atas diulangi lagi dengan menggunakan katalis dengan perbandingan komposisi katalis dan umpan 50 gram katalis : 1000 gram plastik (0,05:1), 100 gram katalis : 1000 gram plastik (0,10:1), dan 150 gram katalis : 1000 gram plastik (0,15:1). Minyak hasil pirolisis dengan katalis dianalisis lagi meliputi viskositas, densitas dan komponen senyawa penyusunnya (Adeo et al., 2016).

Karakterisasi Zeolit Alam Ende

Karakterisasi meliputi kristalinitas dan morologi mineral, luas permukaan dan



keasaman permukaan. Kristalinitas diukur dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffractometer*) Shimadzu XRD-6000 dengan panjang gelombang 1,50000 Å dari radiasi tabung target Cu dengan tegangan 30 kV dan arus 30 mA pada daerah pengamatan antara 10 – 90°. Analisis secara kualitatif dilakukan dengan membandingkan nilai d dari difraktogram sampel dengan difraktogram standar ICDF (*International Centre for Diffraction Data*) Zeolit, dimana selisih nilai d sampel dan data ICDF. Analisis kuantitatif diperoleh dengan membandingkan daerah difraktogram setiap sampel dengan data difraktogram zeolit standar, sehingga diperoleh nilai I/II (Sumari et al., 2020), (Hakiki et al., 2021). Morfologi diamati dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) JEOL JSM-6360 LA, Luas permukaan, jejari dan volume pori dengan menggunakan *Gas Sorption Analyzer* NOVA 1200e, dan keasaman katalis ditentukan dengan metode Gravimetri.

Karakterisasi Minyak Pirolisis

Karakterisasi cairan hasil pirolisis sangat penting untuk dilakukan agar dapat mengetahui kemampuan dan pengaruh katalis terhadap kualitas cairan yang dihasilkan. Karakterisasi meliputi uji viskositas dengan menggunakan viskometer, densitas dengan menggunakan pignometer dan identifikasi senyawa dalam cairan hasil pirolisis dengan menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectroscopy*) Shimadzu QP-2010s.

Analisis Data

Penelitian ini disusun dengan menggunakan 2 faktor, yaitu faktor pertama (T) = suhu pirolisis dengan 4 taraf T_1, T_2, T_3, T_4 ; faktor kedua (K) perbandingan katalis dan plastik dengan 4 taraf K_0, K_1, K_2, K_3 .

Kombinasi Perlakuan Penelitian adalah $T_1K_0, T_2K_0, T_3K_0, T_4K_0, T_1K_1, T_2K_1, T_3K_1, T_4K_1, T_1K_2, T_2K_2, T_3K_2, T_4K_2, T_1K_3, T_2K_3, T_3K_3, T_4K_3$.

Keterangan:

T_1 : Suhu 300 °C

T_2 : Suhu 350 °C

T_3 : Suhu 400 °C

T_4 : Suhu 450 °C

K_0 : Tanpa Katalis

K_1 : perbandingan katalis dan plastik 0,05 : 1

K_2 : perbandingan katalis dan plastik 0,10 : 1

K_3 : perbandingan katalis dan plastik 0,15 : 1

Data pengamatan waktu perengkahan dan volume cairan yang dihasilkan untuk masing-masing perlakuan diolah dengan menggunakan analisis regresi agar dapat diterapkan ke dalam persamaan Arrhenius untuk mengetahui besaran Energi aktivasi dari setiap peningkatan jumlah katalis. Nilai koefisien regresi dari persamaan regresi ini, dimasukkan ke dalam persamaan Arrhenius untuk dibuat grafik hubungan antara $\ln(k)$ dengan $1/T_{solid}$ melalui sebuah persamaan regresi, sehingga dapat diketahui besaran energi aktivasi adalah:

$$k = k_0 \cdot \exp^{-E/RT}$$

dimana,

k: konstanta laju reaksi;

k_0 : konstanta (tidak tergantung pada suhu);

E: energi aktivasi

T: suhu mutlak (K) reaktor

R: konstanta gas, 1,986 kal/mol

Kemudian dengan mengubah persamaan di atas menjadi:

$$\ln k = \ln k_0 - \left[\frac{E}{RT} \right] \frac{1}{T}$$

Sehingga $Y = a + bX$ berubah menjadi $Y = a -$

$$bX \text{ atau } Y = \ln k_0 - \left[\frac{E}{RT} \right] \frac{1}{T}$$

Dimana:

$$Y = \ln k$$

$$bX = - \left[\frac{E}{RT} \right] \frac{1}{T}$$

$$a = \ln k_0$$

$$x = 1/T$$

Sehingga:

$$b = (E/R)$$

$$E = b \cdot R$$

$$A = \exp(b) \text{ (Himawanto, 2013)}$$

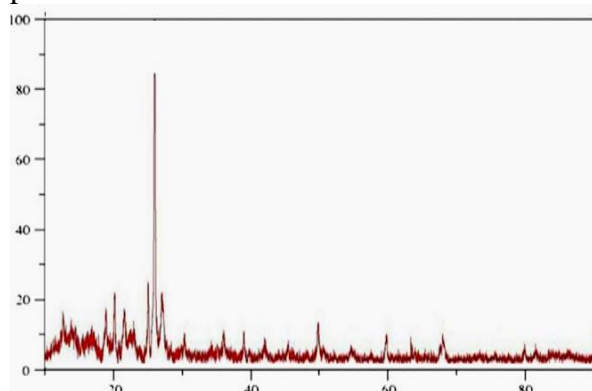


HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Karakteristik Zeolit Alam Ende

1.1. Kristalinitas Zeolit

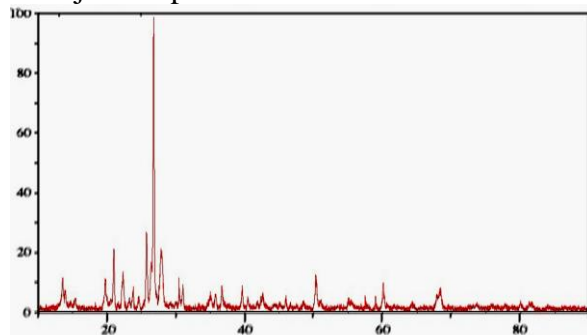
Hasil analisis zeolit alam Ende menunjukkan 38 puncak penyusun mineral zeolit alam Ende dengan kandungan Kuarsa α 49,30%, Mordenite 13,24%, Klinoptilolit 17,74 %, Skolecit 9,57 %, Laumontit 3,94 %, Erionit 2,53%, Natrolit 2,53% dan Heulandit 1,13 %. Secara singkat hasil analisis difraktogram zeolit alam Ende ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Difraktogram zeolit alam Ende

Zeolit alam yang didominasi oleh jenis mordenit dan klinoptilolit. Hasil analisis juga menunjukkan sampel zeolit alam Ende ini memiliki banyak fasa amorf yang ditandai dari *base line* yang membentuk bukit, sehingga dapat mengurangi daya katalitik dari zeolit ini (Reka Oktaviani, Noor Hindryawati, 2019).

Kristalinitas zeolit alam aktif Ende ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Difraktogram ZAA Ende

Difraktogram zeolit alam aktif pada Gambar 2, menunjukkan pola yang sedikit berbeda dengan difraktogram zeolit alam Ende

sebelumnya, yakni terdapat pengurangan jumlah puncak difaktogram dari 38 menjadi 34 puncak dengan perubahan komposisi penyusunnya menjadi Kuarsa α 25,85%, Mordenite 41,76%, Klinoptilolit 17,90%, Skolecit 2,55 %, Laumontit 4,83%, Erionit 2,27% dan Natrolit 1,98%, serta tidak terlihat lagi *base line* yang menunjukkan impuritas amorf (Reka Oktaviani, Noor Hindryawati, 2019). Proses aktivasi berhasil memperbaiki fasa kristalinitas zeolit (Reka Oktaviani, Noor Hindryawati, 2019), (Husin et al., 2023).

1.2. Morfologi Zeolit Alam Ende

Berdasarkan hasil SEM, maka diperoleh Gambaran mengenai morfologi dari zeolit alam Ende dengan pembesaran 10.000 kali sebagai berikut:



Gambar 3. Mikrograf zeolit alam Ende

Mikrograf permukaan zeolit alam Ende menunjukkan morfologi permukaan zeolit alam yang tidak seragam dengan karakter rapuh dan amorf, serta permukaan porinya masih tertutup oleh pengotor berupa gumpalan-gumpalan kecil berwarna kelabu (Reka Oktaviani, Noor Hindryawati, 2019). Tidak tampaknya pori pada permukaan zeolit juga dapat mengindikasikan bahwa jenis zeolit tersebut masih ditutupi oleh pengotor



sebagaimana pada hasil analisis XRD sebelumnya.

Setelah proses aktivasi zeolit dilakukan, maka penampakan morfologi zeolit alam aktif menunjukkan penampakan pori yang telah terbuka. Penampakan morfologi yang lebih kasar ini, juga dapat menandakan secara kualitatif bahwa aktivasi memodifikasi ukuran pori zeolit alam Ende.

Penampakan permukaan yang terdispersi cahaya berwarna putih menunjukkan ion Hidrogen (H^+) yang berasal dari proses dekontaminasi oleh Amonium (NH_4^+), namun morfologi permukaan tidak seragam dengan penyebaran pori yang tidak merata dan penyebaran ion H^+ yang bertitik pada daerah tertentu saja. Pola permukaan zeolit yang tidak seragam dapat dipahami karena zeolit alam Ende merupakan mineral poli kristal yang mempunyai orientasi yang acak dengan kemungkinan munculnya bidang yang sama pada satu arah kristal tertentu, sehingga lapisan kristal menjadi saling tumpang tindih secara acak (Ngapa & Wolo, 2019). Penyebaran dispersi ion H^+ yang tidak merata diperkirakan karena penerapan waktu refluks dan konsentrasi larutan prekursor (NH_4Cl) yang belum sesuai dengan karakteristik zeolit alam Ende (Faradika et al., 2019a). Berdasarkan hal ini, maka dikhawatirkan akan berakibat pada aktivitas katalitik zeolit dalam mendistribusikan produk tidak optimal (Reka Oktaviani, Noor Hindryawati, 2019).

1.3 Luas Permukaan, Volume Pori dan Jejari Pori Zeolit Alam Ende

Data hasil analisis BET zeolit alam Ende, diketahui pengecilan ukuran zeolit alam Ende mencapai ± 100 mesh menghasilkan luas permukaan sebesar $53,17 \text{ m}^2/\text{g}$, jejari rata-rata $19,96 \text{ \AA}$ dan volume pori $52 \text{ cm}^3/\text{g}$. Untuk zeolit alam aktif Ende menunjukkan bahwa luas permukaan berubah menjadi $74,57 \text{ m}^2/\text{g}$, jejari rata-rata $20,21 \text{ \AA}$ dan volume pori $72,34 \text{ cc/g}$. Berdasarkan hasil analisis BET, juga diketahui secara kuantitatif aktivasi berhasil

merubah zeolit menjadi zeolit mesopori (ukuran pori 2 – 50 nm).

1.4 Keasaman Total

Hasil analisis keasaman zeolit alam Ende menunjukkan jumlah situs asam total yang berada dalam mineral zeolit alam Ende berkisar $\pm 1,456 \text{ NH}_3/\text{g}$ zeolit. Hasil analisis keasaman zeolit alam aktif Ende menunjukkan bahwa jumlah situs asam total yang berada dalam zeolit adalah $\pm 4,342 \text{ NH}_3/\text{g}$ zeolit. Peningkatan keasaman zeolit ini diharapkan dapat menambah kereaktifan dari zeolit.

2. Energi Aktivasi

Berdasarkan data pengamatan, maka grafik hubungan $\ln k$ dan $1/T$ untuk pirolisis plastik disajikan pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Grafik Hubungan $\ln k$ dan $1/T$ untuk setiap perlakuan katalis

Perbandingan Katalis:Plastik (kg)	Energi Aktivasi ($Y = \ln k_0 - \left[\frac{E_a}{R}\right] \frac{1}{T}$)	Konstanta (k)
0:1	14.827,08 cal/mol	2,44 menit
0,05:1	13.255,56 cal/mol	2,33 menit
0,10:1	10.455,98 cal/mol	2,22 menit
0,15:1	10.889,34 cal/mol	2,39 menit

Berdasarkan Tabel 1 di atas, maka reaksi pirolisis tanpa katalis dimulai pada waktu 2,44 menit pada setiap perlakuan suhu, perlakuan pada perbandingan 0,5:1 dapat menurunkan $1.571,52 \text{ cal/mol}$ energi aktivasi dan mempercepat waktu reaksi sebesar 0,11 menit, perlakuan perbandingan 0,10:1 dapat menurunkan $4.371,1 \text{ cal/mol}$ energi aktivasi dan mempercepat waktu reaksi sebesar 0,22 menit, serta perlakuan perbandingan 0,15:1 hanya dapat menurunkan $3.197,74 \text{ cal/mol}$ energi aktivasi dan mempercepat waktu reaksi sebesar 0,05 menit. Berdasarkan hal tersebut, maka perlakuan perbandingan 0,15:1 sudah menunjukkan gejala sebagai inhibitor atau menurunkan laju reaksi perengkahan, apabila dibandingkan dengan analisis pada



perbandingan 0,05 dan 0,10. Energi aktivasi merupakan salah satu parameter dalam menentukan kebutuhan energi untuk memperloeh kecepatan maksimum kebutuhan waktu dalam melangsungkan reaksi pirolisis, dimana diketahui bahwa semakin tinggi suhu maka akan energi aktivasi akan semakin kecil (Hermaw et al., 2019). Diketahui juga dalam proses pirolisis polietilena dibutuhkan suhu di atas 500 °C dan penggunaan zeolit alam Ende yang dikativasi asam berhasil meminimalisir hal tersebut (Hermaw et al., 2019).

3. Kualitas Cairan Pirolisis

3.1. Viskositas Cairan Pirolisis

Hasil uji terhadap nilai viskositas dari cairan hasil pirolisis disajikan pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Hasil Analisis Uji Viskositas Minyak Pirolisis

Sampel	Viskositas (cP)	Sampel	Viskositas (cP)
T ₁ K ₀	2,3316	T ₁ K ₂	0,9678
T ₂ K ₀	2,0112	T ₂ K ₂	0,8222
T ₃ K ₀	1,8232	T ₃ K ₂	0,6111
T ₄ K ₀	1,2112	T ₄ K ₂	0,4721
T ₁ K ₁	1,0345	T ₁ K ₃	0,8126
T ₂ K ₁	0,9222	T ₂ K ₃	0,8142
T ₃ K ₁	0,7214	T ₃ K ₃	0,6821
T ₄ K ₁	0,6321	T ₄ K ₃	0,4622

Berdasarkan data viskositas pada Tabel 2 di atas, diketahui bahwa penggunaan katalis zeolit alam Ende mampu menurunkan viskositas 2,3316 – 1,2212cP menjadi 1,0345 – 0,6321cP di perbandingan 0,5 : 1, 0,9678 – 0,4721cP di perbandingan 0,10 : 1, 0,8126 – 0,4622cP di perbandingan 0,15 : 1 katalis dan plastik pada perlakuan suhu 300° – 450°C. Sehingga disimpulkan bahwa angka viskositas cairan pirolisis polietilena semakin baik seiring dengan peningkatan jumlah katalis dan kenaikan suhu (Ariyanti, 2015).

3.2. Densitas Cairan Pirolisis

Nilai densitas merupakan indikator banyaknya zat-zat pengotor seperti sabun dan gliserol hasil reaksi penyabunan, air dan

asam lemak yang tidak terkonversi dalam proses perengkahan plastik. Hasil pengamatan densitas untuk cairan dari masing-masing perlakuan sampel disajikan pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Hasil Analisis Uji Densitas Minyak Pirolisis

Sampel	Densitas (g/ml)	Sampel	Densitas (g/ml)
T ₁ K ₀	0,79267	T ₁ K ₂	0,78660
T ₂ K ₀	0,77061	T ₂ K ₂	0,76211
T ₃ K ₀	0,75621	T ₃ K ₂	0,70001
T ₄ K ₀	0,75201	T ₄ K ₂	0,60601
T ₁ K ₁	0,79083	T ₁ K ₃	0,78201
T ₂ K ₁	0,76607	T ₂ K ₃	0,75801
T ₃ K ₁	0,73201	T ₃ K ₃	0,67531
T ₄ K ₁	0,70201	T ₄ K ₃	0,60404

Nilai densitas berbanding lurus dengan nilai viskositas, yang di mana nilai densitas juga akan menurun apabila nilai viskositas menurun (Adeo et al., 2016). Penggunaan katalis zeolit alam Ende menurunkan nilai densitas dari 0,79267 – 0,75201g/ml menjadi 0,79083 – 0,70201g/ml di perbandingan 0,5 : 1, 0,78660 – 0,60601g/ml di perbandingan 0,10 : 1, 0,78201 – 0,60404g/ml di perbandingan 0,15 : 1 katalis dan plastik pada perlakuan suhu 300° – 450°C.

3.3. Komponen Senyawa

Identifikasi kandungan senyawa dalam minyak pirolisis dilakukan dengan analisis GC-MS untuk mengetahui komponen utama penyusun senyawa dari masing-masing sampel percobaan. Kromatogram GC-MS mengenai jenis senyawa utama dari cairan pirolisis pada masing-masing perlakuan sampel dirangkum pada Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4. Hasil Analisis Kromatografi Minyak Pirolisis

Sampel	C ₅ – C ₇ (%)	C ₉ – C ₁₄ (%)	Sampel	C ₅ – C ₇ (%)	C ₉ – C ₁₄ (%)
T ₁ K ₀	0,55	72,81	T ₃ K ₀	1,88	81,96
T ₁ K ₁	12,56	74,95	T ₃ K ₁	13,70	81,50
T ₁ K ₂	7,32	72,51	T ₃ K ₂	9,45	80,06
T ₁ K ₃	7,38	89,34	T ₃ K ₃	9,08	81,64
T ₂ K ₀	1,66	77,57	T ₄ K ₀	3,57	74,09
T ₂ K ₁	11,45	74,95	T ₄ K ₁	6,68	84,47
T ₂ K ₂	9,40	74,38	T ₄ K ₂	6,65	89,42
T ₂ K ₃	7,95	74,87	T ₄ K ₃	6,34	89,61



Pirolisis pada suhu 300°C katalis zeolit alam Ende mampu mengubah 0,55% fraksi bensin dan 72,81% fraksi paraffin dari pirolisis tanpa katalis menjadi 12,56% fraksi bensin dan 74,95% fraksi paraffin di perbandingan 0,5 : 1; 7,32% fraksi bensin dan 72,51% fraksi paraffin di perbandingan 0,10 : 1; dan 7,38% fraksi bensin dan 89,34% di perbandingan 0,15 : 1 katalis dan plastik. Pada suhu 350°C katalis zeolit alam Ende mengubah 1,66% fraksi bensin dan 77,57% fraksi paraffin dari pirolisis tanpa katalis menjadi 11,45% fraksi bensin dan 74,95% fraksi paraffin di perbandingan 0,5 : 1; 9,40% fraksi bensin dan 74,28% fraksi paraffin di perbandingan 0,10: 1; dan 7,95% fraksi bensin dan 74,87% fraksi paraffin pada perbandingan 0,15 : 1 katalis dan plastik. Pada suhu 400°C katalis zeolit alam Ende mampu mengubah 1,88% fraksi bensin dan 81,96% fraksi paraffin dari pirolisis tanpa katalis menjadi 13,70% fraksi bensin dan 81,50% fraksi paraffin di perbandingan 0,5 : 1; 9,45% fraksi bensin dan 80,06% fraksi paraffin di perbandingan 0,10 : 1; dan 9,08% fraksi bensin dan 81,64% fraksi paraffin di perbandingan 0,15 : 1 katalis dan plastik. Pada suhu 450°C katalis zeolit alam Ende mampu mengubah 3,57% fraksi bensin dan 74,09% fraksi paraffin dari pirolisis tanpa katalis menjadi 6,68% fraksi bensin dan 84,47% fraksi paraffin di perbandingan 0,5 : 1, 6,65% fraksi bensin dan 89,42% fraksi paraffin di perbandingan 0,10: 1 dan 6,34% fraksi bensin dan 89,61% fraksi paraffin pada perbandingan 0,15 : 1 katalis dan plastik. Pirolisis tanpa katalis hanya menghasilkan sedikit senyawa hidrokarbon dan penggunaan katalis zeolit menjadikan reaksi pemotongan rantai molekul plastik terjadi secara acak, sehingga menghasilkan fraksi-fraksi molekul dengan aneka berat molekul (distribusi variasi molekul yang lebar) yang tidak tetap (Saprill Berlian, Aldi Try Kusuma, Arizal Aswan, Ahmad Zikri, 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah

dipaparkan sebelumnya, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah zeolit alam Ende dapat dijadikan katalis dalam pirolisis polietilena dari sampah plastik dan mampu menurunkan energi aktivasi hingga 4.371,1 cal/mol pada perlakuan komposisi katalis 100 gram katalis dan 1000 gram plastik pada suhu operasi pirolisis 400 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Apriyanti, M., Sunardi, Santoso, U. T., Junaidi, A. B., Aditiya, D., & Irawati, U. (2019). Pyrolysis of palm oil using zeolite catalyst and characterization of the boil-oil. *Green Processing and Synthesis*, 8(1), 649–658. <https://doi.org/10.1515/gps-2019-0035>
- Adoe, D. G. H., Bunganaen, W., Krisnawi, I. F., & Soekwanto, F. A. (2016). Pirolisis Sampah Plastik PP (Polypropylene) menjadi Minyak Pirolisis sebagai Bahan Bakar Primer. *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*, 3(1), 17–26.
- Agus Saputro, S., Merizki br Ginting, E., & Sudharto Tembalang, J. S. (2015). UJI KARAKTERISTIK PADA PREPARASI KATALIS Zn/ZEOLIT. *Prosiding SNST Ke-6*, 32–35.
- Arita, S., Assalami, A., & Naibaho, D. I. (2015). Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair Dengan Menggunakan Katalis Zeolit. *Teknik Kimia*, 21(2), 8–14.
- Ariyanti, D. (2015). OPTIMASI TEMPERATUR PADA PROSES PERENGGAHAN KATALITIK POLIETILEN MENJADI GASOLIN MENGGUNAKAN KATALIS Mo-Ni/ZA. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 4(2252).
- Dan, Z., Che, Y., Wang, X., Zhou, P., Han, Z., Bu, D., Lu, X., Ma, W., & Chen, G. (2023). Environmental, economic, and energy analysis of municipal solid waste incineration under anoxic environment in Tibet Plateau. *Environmental Research*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114681>
- Fajriani, I. Y., Syaiful, A. Z., & Ariani, F.



- (2022). Pemanfaatan Zeolit Yang Teraktivasi Asam Klorida (HCl) Sebagai Adsorben Logam Berat Timbal (Pb). *Saintis*, 3(1), 58–69.
- Faradika, M., Sugiarti, S., & Sugita, P. (2019a). Potensi Zeolit Alam Ende-NTT sebagai Katalis Transformasi Senyawa Gula Menjadi 5-Hidroksimetilfurfural (HMF) The potency of Ende-NTT Natural Zeolite as a Catalyst for Transforming Sugar Compounds into 5-Hydroxymethylfurfural (HMF). *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), 15–22. <https://doi.org/10.15408/jkv.v1i1.8174>
- Faradika, M., Sugiarti, S., & Sugita, P. (2019b). Potensi Zeolit Alam Ende-NTT sebagai Katalis Transformasi Senyawa Gula Menjadi 5-Hidroksimetilfurfural (HMF). *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), 15–22. <https://doi.org/10.15408/jkv.v1i1.8174>
- Hakiki, M., Makiyi, M., Nuryoto, Rahmayetty, Kustiningsih, I., & Kurniawan, T. (2021). The Effect of Mine Locations of Bayah Natural Zeolites on Ammonium Adsorption: A Kinetic and Equilibrium Study. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(1), 18–28.
- Harlivia, R., Tahdid, T., & A., S. E. (2022). Pengaruh Porsen Katalis Zeolit Alam Terhadap Yield Bahan Bakar Cair Proses Pirolisis dari Limbah Plastik Polypropylene. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 2(11), 453–459. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.241>
- Hermaw, D., Hardianto, A., Suwandon, P., & Rahmadiano, F. (2019). Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Energi Aktivasi Pada Tar Limbah Plastik. *Prosiding SENIATI*, 5(4), 354–360.
- Himawanto, D. A. (2013). Penentuan Energi Aktivasi Pembakaran Briket Char Sampah Kota Dengan Menggunakan Metoda Thermogravimetry Dan Isothermal Furnace. *Rotasi*, 15(3), 35. <https://doi.org/10.14710/rotasi.15.3.35-42>
- Husin, H., Mahidin, M., Marwan, M., & Nasution, F. (2023). Conversion of polypropylene-derived crude pyrolytic oils using hydrothermal autoclave reactor and Ni / aceh natural zeolite as catalysts. *Heliyon*, 9(4), e14880. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14880>
- Johnke, B., Hoppaus, R., Lee, E., Irving, B., Martinsen, T., & Mareckova, K. (2001). Emissions from Waste Incineration: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. *IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change*, 455–468.
- Kurniawan, T., & Adha Firdaus, M. (2019). Zeolite for Agriculture Intensification and Catalyst in Agroindustry ARTICLE HISTORY ABSTRACT. *World Chemical Engineering Journal*, 3(1), 14–23.
- Naimah, S., Nuraeni, C., Rumondang, I., Jati, B. N., Rahyani, D., Balai, E., Kimia, B., & Kemasan, D. (2012). Dekomposisi Limbah Plastik Polypropylene Dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Sains Materi Indonesia Indonesian Journal of Materials Science*, 13(3), 226–229.
- Nasrun, N., Kurniawan, E., & Sari, I. (2017). Studi Awal Produksi Bahan Bakar Dari Proses Pirolisis Kantong Plastik Bekas. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 5(1), 30. <https://doi.org/10.29103/jtku.v5i1.77>
- Ngapa, Y. D., & Wolo, D. (2019). POTENSI ZEOLIT ALAM ENDE SEBAGAI ADSORBEN PADA PEMURNIAN BIOETANOL DENGAN METODE ADSORPSI. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 10(2), 71–76.
- Nugroho, A. S. (2020). Pengolahan Limbah Plastik Ldpe Dan Pp Untuk Bahan Bakar Dengan Cara Pirolisis. *Jurnal Litbang Sukowati : Media Penelitian Dan Pengembangan*, 4(1), 10. <https://doi.org/10.32630/sukowati.v4i1.166>
- Nurizq Mauli Septiani, Supartono, K. S. (2019). SINTESIS SENYAWA ANTIMIKROBA DIHIDROPIRIMIDINON MELALUI REAKSI SIKLOKONDENSASI BIGINELLI MENGGUNAKAN



- KATALIS ZEOLIT ALAM. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(1), 83–90.
- Rajaeifar, M. A., Ghanavati, H., Dashti, B. B., Heijungs, R., Aghbashlo, M., & Tabatabaei, M. (2017). Electricity generation and GHG emission reduction potentials through different municipal solid waste management technologies: A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 414–439. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.04.109>
- Reka Oktaviani, Noor Hindryawati, A. S. P. (2019). MODIFIKASI DAN KARAKTERISASI ZEOLIT ALAM TASIKMALAYA DENGAN Fe₂O₃ MODIFICATION AND CHARACTERIZATION OF TASIKMALAYA NATURAL ZEOLITES. *Jurnal Atomik*, 04(1), 30–35.
- Rio Nazif, Erlangga Wicaksana, & Halimatuddahlia. (2016). Pengaruh Suhu Pirolisis Dan Jumlah Katalis Karbon Aktif Terhadap Yield Dan Kualitas Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Jenis Polipropilena. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(3), 49–55. <https://doi.org/10.32734/jtk.v5i3.1545>
- Saprill Berlian, Aldi Try Kusuma, Arizal Aswan, Ahmad Zikri, I. H. (2022). PYROLISIS OF PLASTIC TO LIQUID FUEL USING ACTIVATED. *PUBLIKASI PENELITIAN TERAPAN DAN KEBIJAKAN*, 5(1), 9–18.
- Sukaesih. (2014). ANALISIS FASIES DAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN Seminar Nasional Fakultas Teknik Geologi, Bandung 24 Mei 201. *Seminar Nasional Fakultas Teknik Geologi, Bandung 24 Mei 2014*, 2(May), 374–387.
- Sumari, S., Permatasari, S. I., Ilmiyah, L., Fajaroh, F., Yahmin, Y., & Suryadharma, I. B. (2020). Pengaruh Komposisi SiO₂/Al₂O₃ dalam Sintesis ZSM-5 (Zeolite Socony Mobile-5) Bersumber Silika Pasir Pantai Lokal. *JC-T (Journal Cis-Trans): Jurnal Kimia Dan Terapannya*, 6573(Vol 4, No 2 (2020)), 27–32. <https://doi.org/10.17977/um0260v4i22020p027>
- Syamsiro, M. (2015). Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk. *Teknik*, 5(1), 1–85.
- Wolo, D., Ngapa Yulius Dala, . Carvallo Ludovicus. (2019). Potensi Zeolit Alam Ende Sebagai Bahan Aditif Semen Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 3(Vol. 3 No. 1 (2019): Jurnal Dinamika Sains), 34–41.
- Yulita, M. F., Yaumawulida, N., & Adyarini, P. U. (2018). Kristalinitas dan Morfologi dari Zeolit ZS-5: Pengaruh Modifikasi Template pada Sintesis. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember, August*.