

# Kajian Pemanfaatan Zeolit Alam Ende sebagai Katalis dalam Pirolisis Polietilena dari Sampah Plastik

Gregorio Antonny Bani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Aryasatya Deo Muri; [support@aryasatya.ac.id](mailto:support@aryasatya.ac.id), [greg.antonny@yahoo.com](mailto:greg.antonny@yahoo.com)

## ABSTRAK

Plastik merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan sehari-hari yang akhirnya berujung pada penumpukan sampah plastik di Tempat Pembuangan Akhir sampah. Untuk itu, metode pirolisis dapat dijadikan solusi untuk mengatasi permasalahan penumpukan sampah plastik. Permasalahan utama dalam menjalankan pirolisis adalah kebutuhan sumber energinya yang sangat besar. Oleh karena itu, penggunaan katalis sangat dibutuhkan, seperti *Zeolite Socony Mobile (ZSM)* yang berasal dari jenis sintesis yang memiliki harga yang tergolong mahal. Kabupaten Ende memiliki deposit zeolit alam yang cukup besar, sehingga dapat juga dimanfaatkan untuk dijadikan katalis murah dalam proses pirolisis sampah plastik. Tetapi, aktivitas katalitik zeolit alam sangat bergantung pada metode aktivasinya, jenis reaktan dan karakteristik alami dari zeolit tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan kajian mengenai karakteristik dan aktivitas katalitik dari zeolit alam Ende dalam pirolisis polietilena dari sampah plastik yang meliputi Energi aktivasi hingga kualitas minyak yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya, maka terdapat beberapa pokok penting yang disimpulkan dari penelitian ini, antara lain: (1) Proses aktivasi dapat merubah sifat kimia dan sifat fisika zeolit alam Ende meliputi kristalinitas, luas permukaan, volume pori dan jejari pori, serta keasamannya untuk dijadikan sebagai katalis. (2) Katalis zeolit alam aktif Ende pada proses pirolisis polietilena dari sampah plastik mampu menurunkan energi aktivasi hingga 4.371,1 cal/mol pada perlakuan komposisi katalis 0,10. (3) Suhu operasi pirolisis di atas 400 °C adalah perlakuan suhu terbaik yang sangat mempengaruhi waktu, volume dan kualitas cairan pirolisis polietilena dari sampah plastik. (4) Komposisi 0,10 merupakan komposisi terbaik dari penggunaan zeolit alam aktif Ende sebagai katalis dalam proses pirolisis polietilena dari sampah plastik. (5) Interaksi terbaik antara suhu dan katalis zeolit alam aktif Ende adalah pada perlakuan suhu 400 °C dan komposisi katalis 0,10.

**Kata kunci:** Katalis, Pirolisis, Polietilena, Zeolit.

## ABSTRACT

Plastic is one of the most widely used materials daily, which eventually leads to the accumulation of plastic waste in landfills. For this reason, the pyrolysis method can be used as a solution to overcome the problem of plastic waste accumulation. The main problem in running pyrolysis is the huge energy source requirement. Therefore, catalysts such as *Zeolite Socony Mobile (ZSM)* are needed, which comes from synthetic types that are relatively expensive. Ende Regency has a large enough natural zeolite deposit, so it can also be used as a cheap catalyst in the pyrolysis process of plastic waste. However, the catalytic activity of natural zeolites depends largely on the activation method, the type of reactants, and the natural characteristics of the zeolite. Therefore, studies are needed on the characteristics and catalytic activities of Ende natural zeolite in the pyrolysis of polyethylene from plastic waste, including activation energy to the quality of the oil produced. Based on the results of the research that has been described earlier, there are several important points concluded from this study, including: (1) The activation process can change the chemical properties and physical properties of Ende's natural zeolite, including crystallinity, surface area, pore volume, and pore radius, and acidity to be used as a catalyst; (2) Ende's active natural zeolite catalyst in the pyrolysis process of polyethylene from plastic waste reduced the activation energy up to 4,371.1 cal/mol in the treatment of 0.10 catalyst composition; (3) Pyrolysis operating temperature above 400 °C is the best temperature treatment that greatly affects the time, volume, and quality of polyethylene pyrolysis liquid from waste plastic; (4) The composition of 0.10 is the best composition of using Ende's active natural zeolite as a catalyst in the pyrolysis process of polyethylene from plastic waste; (5) The best interaction between temperature and Ende's active natural zeolite catalyst is at 400 °C temperature treatment and 0.10 catalyst composition.

**Keywords:** Catalysts, Polyethylene, Pyrolysis, Zeolites.

**Citation:** Bani, G. A. (2024). Kajian Pemanfaatan Zeolit Alam Ende sebagai Katalis dalam Pirolisis Polietilena dari Sampah Plastik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(2), 447-454, doi:10.14710/jil.22.2.447-454

## 1. Latar Belakang

Plastik merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan sehari-hari karena sifatnya yang kuat dan tidak mudah rusak (Karasik et al., 2023). Akibatnya, sampah plastik yang dihasilkan pun terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, yang akhirnya berujung pada penumpukan sampah plastik di Tempat Pembuangan Akhir sampah (TPA) (Sakti et al., 2021). Diketahui bahwa penumpukan sampah plastik dalam waktu yang lama dalam jumlah besar akan berakibat buruk terhadap ekosistem (Murtaza et al., 2016), sehingga untuk mengatasinya negara-negara besar di benua Eropa dan Amerika lebih mengutamakan sistem *landfill* (Kibria et al., 2023), sedangkan di Indonesia masih menggunakan metode pembakaran langsung di TPA (Wahyudi, 2019). Kedua metode tersebut seharusnya tidak dilakukan untuk sampah plastik, karena plastik merupakan polimer dengan ikatan karbon yang sangat kompleks sehingga sangat sulit diuraikan oleh mikroorganisme di dalam tanah (Bhandari et al., 2021), serta pembakaran plastik hanya akan melepaskan polutan ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  dan  $\text{SO}_x$ ) ke udara (Pathak et al., 2023).

Untuk itu, metode pirolisis dapat dijadikan solusi untuk mengatasi permasalahan penumpukan sampah plastik, yaitu dengan mengubah plastik menjadi hidrokarbon cair yang masih dapat dikonversikan lagi ke dalam fraksi minyak tanah, bensin dan bahan kimia lainnya 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), serta memanfaatkan sampah plastik yang sebelumnya telah dianggap tidak lagi berharga menjadi salah satu bahan baku energi alternatif yang cukup menjanjikan (Faisal et al., 2023). Permasalahan utama dalam menjalankan pirolisis adalah kebutuhan sumber energinya yang sangat besar (Naimah dkk., 2012; Nugroho, 2020). Oleh karena itu, penggunaan katalis sangat dibutuhkan untuk meminimalisir penggunaan energi dalam pirolisis (Harlivia dkk., 2022).

Salah satu katalis yang diketahui memiliki aktivitas paling baik dalam pirolisis adalah *Zeolite Socony Mobile (ZSM)* yang berasal dari jenis zeolit sintetis (Miskolczi et al., 2019). Zeolit sintetis diketahui memiliki harga yang relatif mahal, sehingga akan kembali menjadi salah satu faktor penghambat dalam mengembangkan penerapan metode pirolisis untuk mengatasi permasalahan sampah plastik. Wilayah Indonesia seperti Kabupaten Ende di Provinsi Nusa Tenggara Timur memiliki deposit zeolit alam yang cukup besar (Harahap et al., 2015), sehingga dapat juga dimanfaatkan untuk dijadikan katalis murah dalam proses pirolisis sampah plastik (Nizami et al., 2016). Kekurangan utama dari zeolit alam adalah karakteristiknya yang terlalu variatif bergantung pada lokasi pembentukannya (Velarde et

al., 2023), sehingga untuk mengatasinya maka zeolit alam perlu diaktivasi terlebih (Kurniawan dkk., 2019).

Aktivitas katalitik zeolit alam sangat bergantung pada metode aktivasinya, jenis reaktan dan karakteristik alami dari zeolit tersebut. Contohnya zeolit yang diaktivasi asam ( $\text{HCl}$ ) memiliki aktivitas yang lebih baik dari zeolit yang diaktivasi basa ( $\text{NaOH}$ ) dalam pirolisis minyak kelapa sawit (Abdullah et al., 2019). Pirolisis polistirena dengan katalis zeolit alam Aceh mampu menghasilkan hingga 80% hidrokarbon jenis premium (Arita dkk., 2015), sedangkan dengan pada pirolisis polipropilena menghasilkan 96,71% hidrokarbon jenis premium (Husin et al., 2023). Pirolisis polietilena dengan katalis zeolit alam Sukabumi menghasilkan 66,71% hidrokarbon jenis premium (Suhartono et al., 2018).

Untuk aktivitas katalitik dari Zeolit alam Ende sendiri baru diuji dalam mengkonversi fruktosa menjadi HMF dengan rendemen hingga 74.84% (Faradika & Sugita, 2019). Oleh karena itu, dibutuhkan kajian mengenai karakteristik dan aktivitas katalitik dari zeolit alam Ende dalam pirolisis polietilena dari sampah plastik yang meliputi Energi aktivasi hingga kualitas minyak yang dihasilkan.

## 2. Metode

### 2.1. Preparasi dan Aktivasi Zeolit Alam Ende

Sampel zeolit alam Ende digiling menjadi ukuran 100 mesh, kemudian dicuci dengan akuades dan dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven dengan suhu  $200^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Sampel kemudian dikarakterisasi meliputi kristalinitas, morfologi, luas permukaan, ukuran pori, jari-jari pori dan keasamannya.

Proses selanjutnya adalah melakukan aktivasi terhadap zeolite alam Ende. Serbuk zeolit alam direndam ke dalam larutan  $\text{HF}$  1% dengan rasio 1: 2 (b/v) selama 10 menit, kemudian dicuci lagi dengan akuades dan direndam lagi ke dalam larutan  $\text{HCl}$  6 N dan direfluks selama 30 menit pada suhu  $90^\circ\text{C}$ . Setelah direfluks, rendaman dibiarkan semalam, kemudian dicuci dengan akuades. Berikutnya zeolit dikeringkan dalam oven pada suhu  $130^\circ\text{C}$  selama 1 jam untuk menghilangkan air dan dilanjutkan dengan perendaman dalam larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,1 M dengan rasio 1: 2 (b/v) pada suhu  $90^\circ\text{C}$  selama 3 jam per hari sampai satu minggu. Serbuk zeolit kembali dikeringkan pada suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 4 jam di dalam oven dan kemudian dilanjutkan dengan kalsinasi dengan gas  $\text{N}_2$  selama 4 jam pada suhu  $500^\circ\text{C}$ . Serbuk zeolit aktif dikarakterisasi lagi meliputi kristalinitas, morfologi, luas permukaan, ukuran pori, jari-jari pori dan keasamannya (Donatus Setyawan Purwo Handoko, 2023).

### 2.2. Preparasi Polietilena dari Sampah Plastik

Proses lain yang dilakukan adalah mempersiapkan sampel plastik untuk percobaan. Plastik jenis polietilena dipilih karena menjadi sampah terbanyak yang dihasilkan saat ini dalam bentuk pembungkusan makanan dan botol air mineral (Guo et al., 2016).

Plastik dipilih berdasarkan lambang yang bertuliskan PE (Polietilena) pada bagian bawah plastik tersebut, kemudian dipotong menjadi ukuran  $\pm 1 \text{ cm}^2$ .

### 2.3. Proses Pirolisis

Plastik polietilena yang sudah disiapkan, dimasukkan ke dalam reactor sebanyak 1000 gram, lalu proses pirolisis dijalankan pada temperatur  $300^\circ\text{C}$  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 10 menit 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  $350^\circ\text{C}$ ,  $400^\circ\text{C}$  dan  $450^\circ\text{C}$ . 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 0,10 : 1 dan 0,15 : 1. Minyak hasil pirolisis dengan katalis dianalisis lagi meliputi viskositas, densitas dan komponen senyawa penyusunnya.

### 2.4. 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  $300^\circ\text{C}$ ;  $T_2$ : Suhu  $350^\circ\text{C}$ ;  $T_3$ : Suhu  $400^\circ\text{C}$ ;  $T_4$ : Suhu  $450^\circ\text{C}$ ;  $K_0$ : Tanpa Katalis;  $K_1$ : 0,05 katalis:1 kg plastik;  $K_2$ : 0,10 katalis:1 kg plastik;  $K_3$ : 0,15:1 kg plastik.

Data pengamatan waktu perengkahan dan volume cairan yang dihasilkan untuk masing-masing perlakuan diolah dengan menggunakan analisis regresi, lalu diterapkan ke dalam persamaan Arrhenius dengan cara membuat grafik hubungan antara  $\ln(k)$  dengan  $1/T$  solid untuk mengetahui besaran energi aktivasi dari setiap perlakuan katalis dan suhu operasi pirolisis, yaitu:

$$k = k_0 \cdot \exp - E/RT$$

dimana, k: konstanta laju reaksi;  $k_0$ : konstanta (tidak tergantung pada suhu); E: energi aktivasi; T: suhu mutlak (Kelvin) reactor; R: konstanta gas, 1,986 kal/mol.

Karena reaksi pirolisis menggunakan mekanisme reaksi orde 1, maka persamaan di atas dapat diterapkan ke dalam persamaan regresi linear sederhana dengan cara menurunkannya ke dalam bentuk fungsi eksponensial, yaitu:

$$k = k_0 \cdot \exp - E/RT$$

$$\rightarrow \ln k = \ln k_0 - \left[ \frac{E}{RT} \right] \frac{1}{T} \quad (\text{Anshar et al., 2018})$$

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

$$\text{Dimana: } Y = \ln k; bX = -\left[ \frac{E}{RT} \right] \frac{1}{T}; a = \ln k_0; x = 1/T$$

Sehingga:  $b = (E/R)$ ;  $E = b \cdot R$ ;  $A = \exp(b)$  (Himawanto, 2013)

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Karakteristik Zeolit Alam Ende

#### 3.1.1. Kristalinitas Zeolit

Zeolit alam Ende (sampel) diidentifikasi kristalinitasnya dengan menggunakan difraksi sinar X dengan panjang gelombang  $1,50000 \text{ \AA}$  dan menggunakan radiasi dari tabung target Cu dengan tegangan 30 kV dan arus 30 mA pada daerah pengamatan antara  $2\theta 10 - 90^\circ$ . Hasil analisis zeolit alam Ende menunjukkan 38 puncak penyusun mineral zeolit alam Ende dengan kandungan Kuarsa  $\alpha$  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.

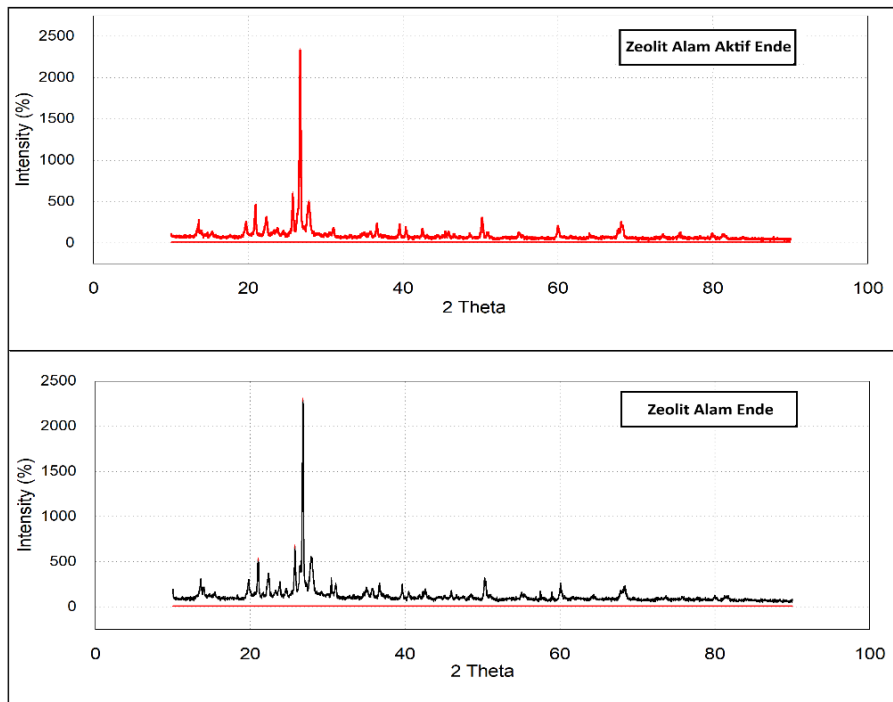
Zeolit alam yang didominasi oleh jenis mordenit dan klinoptilolit. Hasil analisis juga menunjukkan sampel zeolit alam Ende ini memiliki banyak fasa amorf yang ditandai dari *base line* yang membentuk bukit, sehingga dapat mengurangi daya katalitik dari zeolit ini (Ginting et al., 2022).

Difraktogram zeolit alam aktif pada Gambar 1, akhirnya menunjukkan pola yang sedikit berbeda dengan difraktogram zeolit alam Ende sebelumnya, yakni terdapat pengurangan jumlah puncak difraktogram dari 38 menjadi 34 puncak dengan perubahan komposisi senyawa penyusunnya menjadi Kuarsa  $\alpha$  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 *baseline* yang menunjukkan impuritas amorf. Proses aktivasi berhasil memperbaiki fasa kristalinitas zeolit (Afriansyah et al., 2022).

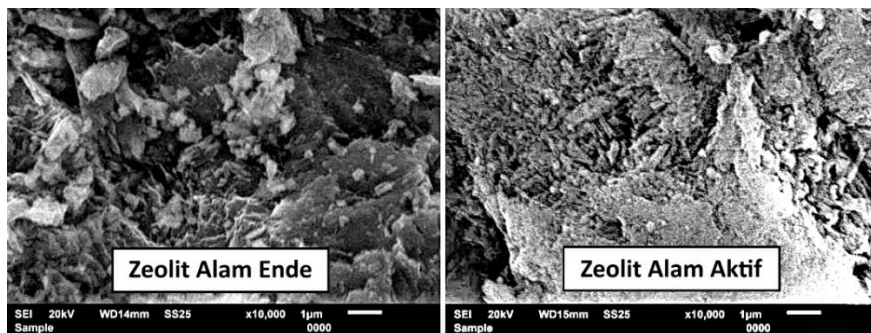
#### 3.1.2. Morfologi Zeolit Alam Ende

Berdasarkan hasil *scanning*, maka diperoleh gambaran mengenai morfologi dari zeolit alam Ende dengan perbesaran 10.000 kali pada Gambar 2.

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. Tidak tampaknya pori pada permukaan zeolit juga dapat mengindikasikan bahwa jenis zeolit tersebut masih ditutupi oleh pengotor sebagaimana pada hasil analisis XRD sebelumnya.



Gambar 1. Difraktogram zeolit alam Ende



Gambar 2. Mikrograf zeolit alam Ende

Setelah proses aktivasi zeolit dilakukan, maka 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 dekationisasi 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, 2017). 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. Berdasarkan hal ini, maka dikhawatirkan akan berakibat pada aktivitas katalitik zeolit dalam

mendistribusikan produk tidak optimal (Kuldeyev et al., 2023).

### 3.1.3 Luas Permukaan, Volume Pori dan Jejari Pori Zeolit Alam Ende

Data hasil analisis BET zeolit alam Ende, diketahui pengecilan ukuran zeolit alam Ende mencapai  $\pm 100$  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) (Narayanan et al., 2020).

### 3.1.4 Keasaman Total

Hasil analisis keasaman zeolit alam Ende, diketahui 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.

### 3.2. Energi Aktivasi

#### 3.2.1. Pirolisis Polietilena dari Sampah Plastik Tanpa Katalis

Berdasarkan data pengamatan, maka hasil analisis korelasi dan regresi waktu dan volume cairan dari setiap perlakuan suhu, maka didapatkan grafik hubungan  $\ln k$  dan  $1/T$  untuk pirolisis plastik pada Gambar 3a.

Besar energi aktivasi ( $E_a$ ) pirolisis polietilena dari sampah plastik sebesar 14.827,08 cal/mol. Konstanta laju reaksi pirolisis tanpa katalis dimulai pada waktu 2,44 menit pada setiap perlakuan suhu. Data percobaan ini dijadikan kontrol untuk mengetahui pengaruh katalis terhadap energi aktivasi pirolisis polietilena dari sampah plastik.

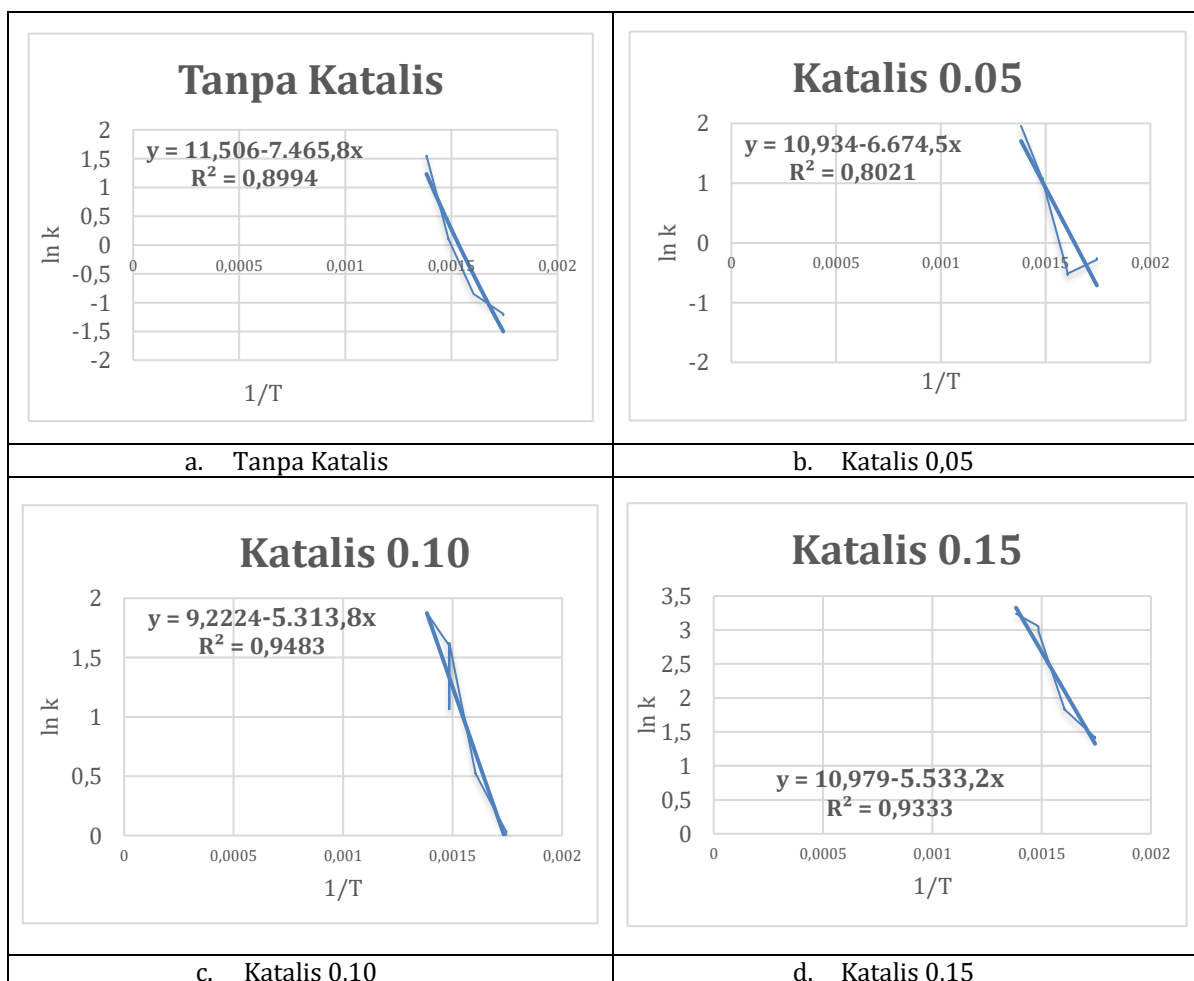
#### 3.1.2. Energi Aktivasi dengan Katalis 0,05

Berdasarkan hasil korelasi dan regresi waktu dan volume untuk pirolisis dengan perlakuan komposisi katalis dan plastik 0,05 : 1, maka didapatkan grafik hubungan  $\ln k$  dan  $1/T$  untuk pirolisis plastik pada Gambar 3b. Besar energi aktivasi ( $E_a$ ) pirolisis polietilena pada perbandingan 0,5 : 1 katalis dan

plastik sebesar 13.255,56 cal/mol. Sehingga penggunaan katalis pada perbandingan 0,5 : 1 dapat menurunkan 1.571,52 cal/mol energi aktivasi pada pirolisis polietilena dari sampah plastik. Konstanta laju reaksi pirolisis katalitik pada perbandingan 0,05 dimulai pada waktu 2,33 menit pada setiap perlakuan suhu, maka diketahui pula bahwa perbandingan katalis 0,05 mempercepat waktu reaksi sebesar 0,11 menit.

#### 3.2.3. Energi Aktivasi dengan Katalis 0,10

Berdasarkan hasil korelasi dan regresi waktu dan volume cairan untuk perlakuan komposisi katalis dan plastik 0,10 : 1, maka didapatkan grafik hubungan  $\ln k$  dan  $1/T$  untuk pirolisis plastik pada Gambar 3c. Energi aktivasi pirolisis polietilena pada perbandingan 0,10 : 1 katalis dan plastik sebesar 10.455,98 cal/mol. Sehingga penggunaan katalis pada perbandingan 0,10 : 1 dapat menurunkan 4.371,1 cal/mol energi aktivasi pirolisis polietilena dari sampah plastik. Konstanta laju reaksi pirolisis katalitik pada perbandingan 0,10 dimulai pada waktu 2,22 menit pada setiap perlakuan suhu, maka diketahui pula bahwa perbandingan katalis 0,10 mempercepat waktu reaksi sebesar 0,22 menit.



Gambar 3. Grafik hubungan  $\ln k$  vs  $1/T$  pada setiap perlakuan katalis

**Tabel 1.** Hasil Analisis Uji Viskositas Minyak Pirolisis

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

**Tabel 2.** Hasil Analisis Uji Densitas Minyak Pirolisis

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

**Tabel 3.** Hasil Analisis Kromatografi Minyak Pirolisis

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

### 3.2.4. Energi Aktivasi dengan Katalis 0,15

Berdasarkan hasil korelasi dan regresi waktu dan volume cairan untuk perlakuan komposisi katalis dan plastik 0,15 : 1, maka didapatkan grafik hubungan ln k dan 1/T untuk pirolisis plastik pada Gambar 3d. Melalui persamaan regresi ln k dan 1/T di atas, maka energi aktivasi (E<sub>a</sub>) pirolisis polietilena pada perbandingan 0,15 : 1 katalis dan plastik sebesar 10.889,34 cal/mol. Sehingga penggunaan katalis pada perbandingan 0,15 : 1 dapat menurunkan 3.197,74 cal/mol energi aktivasi pada pirolisis polietilena dari sampah plastik. Konstanta laju reaksi pirolisis katalitik pada perbandingan 0,15 dimulai pada waktu 2,39 menit pada setiap perlakuan suhu, maka diketahui pula bahwa perbandingan katalis 0,15 mempercepat waktu reaksi sebesar 0,05 menit.

Berdasarkan hasil perhitungan energi aktivasi pada perbandingan katalis 0,15, diketahui bahwa katalis pada perbandingan 0,15 sudah menunjukkan gejala sebagai inhibitor atau menurunkan laju reaksi perengkahan (Daligaux et al., 2021).

## 3.3. Kualitas Cairan Pirolisis

### 3.3.1. Viskositas Cairan Pirolisis

Hasil uji terhadap nilai viskositas dari cairan hasil pirolisis disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan data viskositas pada Tabel 1 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 452

perlakuan suhu 300° - 450°C. Sehingga disimpulkan bahwa angka viskositas cairan pirolisis polietilena semakin baik seiring dengan peningkatan jumlah katalis dan kenaikan suhu.

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

### 3.3.3. 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 3. 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 (M. Rehan, R. Miandad, 2017).

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya, maka terdapat beberapa pokok penting yang disimpulkan dari penelitian ini, antara lain: (1) Proses aktivasi dapat merubah sifat kimia dan sifat fisika zeolit alam Ende meliputi kristalinitas, luas permukaan, volume pori dan jejari pori, serta keasamannya untuk dijadikan sebagai katalis. (2) Katalis zeolit alam aktif Ende pada proses pirolisis polietilena dari sampah plastik mampu menurunkan energi aktivasi hingga 4.371,1 cal/mol pada perlakuan komposisi katalis 0,10. (3) Suhu operasi pirolisis di atas 400 °C adalah perlakuan suhu terbaik yang sangat mempengaruhi waktu, volume dan kualitas cairan pirolisis polietilena dari sampah plastik. (4) Komposisi 0,10 merupakan komposisi terbaik dari penggunaan zeolit alam aktif Ende sebagai katalis dalam proses pirolisis polietilena dari sampah plastik. (5) Interaksi terbaik antara suhu dan katalis zeolit alam aktif Ende adalah pada perlakuan suhu 400 °C dan komposisi katalis 0,10.

#### 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>
- Afriansyah, H., Ramlan, M. R., Roulina T, M., Bow, Y., & Fatria. (2022). Pyrolysis of Lubricant Waste into Liquid Fuel using Zeolite Catalyst. *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, 1(4), 26–31. <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v1i4.72>
- Anshar, M., Tahir, D., Makhrani, & Nasir Ani, F. (2018). Pyrolysis characteristic of rice husk with plastic bag as fuel for power generation by using a thermogravimetric analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1), 0–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012034>
- Arita, S., Assalami, A., & Naibaho, D. I. (2015). Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair Dengan Menggunakan Katalis Zeolit. *Teknik Kimia*, 21(2), 8–14.
- Bhandari, N. L., Bhandari, G., Bista, S., Pokhrel, B., Bist, K., & Dhakal, K. N. (2021). Degradation of fundamental polymers/plastics used in daily life: a review. *Bibechana*, 18(1), 240–253. <https://doi.org/10.3126/bibechana.v18i1.29619>
- Daligaux, V., Richard, R., & Manero, M. H. (2021). Deactivation and regeneration of zeolite catalysts used in pyrolysis of plastic wastes—a process and analytical review. *Catalysts*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/catal11070770>
- Donatus Setyawan Purwo Handoko. (2023). Effect of Acid Treatment on the Opening of Catalyst Pores. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 3(3), 576–590. <https://doi.org/10.55927/mudima.v3i3.2453>
- Faisal, F., Rasul, M. G., Jahiril, M. I., & Ahmed, A. (2023). Science of the Total Environment Waste plastics pyrolytic oil is a source of diesel fuel: A recent review on diesel engine performance, emissions, and combustion characteristics. *Science of the Total Environment*, 886(December 2022), 163756. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163756>
- Faradika, M., Sugiarti, S., & Sugita, P. (2019). 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>
- Ginting, S. B., Islamia, U., & Wardono, H. (2022). *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan Characterization and Application of HCl-Activated LTA Zeolite*. 17(2), 152–162.
- Guo, J., Li, X., Guo, Y., Ruan, J., Qiao, Q., Zhang, J., Bi, Y., & Li, F. (2016). Research on Flotation Technique of Separating PET from Plastic Packaging Wastes. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.024>
- Harahap, B. H., Abidin, H. Z., Utoyo, H., Djumhana, D., & Yuniarni, R. (2015). Prospect of Mineral Deposits in the Central Flores Island, Eastern Indonesia Prospek Cebakan Mineral Di Pulau Flores Bagian Tengah, Indonesia Timur. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 16(1), 1–13.
- Harlivia, R., Tahdid, T., & A., S. E. (2022). Pengaruh Persen 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>
- 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>
- Karasik, R., Lauer, N. E., Baker, A. E., Lisi, N. E., Somarelli, J. A., Eward, W. C., Fürst, K., & Dunphy-Daly, M. M. (2023). Inequitable distribution of plastic benefits and burdens on economies and public health. *Frontiers in Marine Science*, 9(January), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1017247>
- Kibria, M. G., Masuk, N. I., Safayet, R., Nguyen, H. Q., & Mourshed, M. (2023). Plastic Waste: Challenges and Opportunities to Mitigate Pollution and Effective Management. In *International Journal of Environmental Research* (Vol. 17, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s41742-023-00507-z>
- Kuldeyev, E., Seitzhanova, M., Tanirbergenova, S., Tazhu, K., Doszhanov, E., Mansurov, Z., Azat, S., Nurlybaev, R., & Berndtsson, R. (2023). Modifying Natural Zeolites to Improve Heavy Metal Adsorption. *Water*, 15(12), 2215. <https://doi.org/10.3390/w15122215>
- 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.
- M. Rehan, R. Miandad, M. A. B. et al. (2017). Effect of Zeolite Catalysts on Pyrolysis Liquid Oil. *BMC Public Health*, 5(1), 1-8. <https://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/siklus/article/view/298%0Ahttp://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jana.2015.10.005%0Ahttp://www.biomedcentral.com/1471-2458/12/58%0Ahttp://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&P>
- Miskolczi, N., Juzsakova, T., & Sója, J. (2019). Preparation and application of metal loaded ZSM-5 and  $\gamma$ -zeolite catalysts for thermo-catalytic pyrolysis of real end of life vehicle plastics waste. *Journal of the Energy Institute*, 92(1), 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2017.10.017>
- Murtaza, G., Habib, R., Nawaz, R., Javed, T., Sardar, K., Rasool, F., Shahzad, M., & Rasool, A. (2016). A Review Study of Waste-Plastic and Its Deadly Effects on Eco-System. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2(12), 1330-1339.
- 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.
- Narayanan, S., Tamizhdurai, P., Mangesh, V. L., Ragupathi, C., Santhana krishnan, P., & Ramesh, A. (2020). Recent advances in the synthesis and applications of mordenite zeolite - review. *RSC Advances*, 11(1), 250-267. <https://doi.org/10.1039/d0ra09434j>
- 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. (2017). Study of The Acid-Base Effect on Zeolite Activation and Its Characterization as Adsorbent of Methylene Blue Dye. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 2(2), 90. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v2i2.11904>
- Nizami, A. S., Ouda, O. K. M., Rehan, M., El-Maghraby, A. M. O., Gardy, J., Hassanpour, A., Kumar, S., & Ismail, I. M. I. (2016). The potential of Saudi Arabian natural zeolites in energy recovery technologies. *Energy*, 108, 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.030>
- 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>
- Pathak, G., Nichter, M., Hardon, A., Moyer, E., Latkar, A., Simbaya, J., Pakasi, D., Taqueban, E., & Love, J. (2023). Plastic pollution and the open burning of plastic wastes. *Global Environmental Change*, 80(March), 102648. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102648>
- Sakti, A. D., Rinasti, A. N., Agustina, E., Diastomo, H., Muhammad, F., Anna, Z., & Wikantika, K. (2021). Multi-scenario model of plastic waste accumulation potential in indonesia using integrated remote sensing, statistic and socio-demographic data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/ijgi10070481>
- Suhartono, Kusumo, P., Romli, A., Aulia, M. I., & Yanuar, E. M. (2018). Fuel Oil from Municipal Plastic Waste through Pyrolysis with and without Natural Zeolite as Catalysts. *E3S Web of Conferences*, 73. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187301021>
- Syamsiro, M. (2015). Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk. *Teknik*, 5(1), 1-85.
- Velarde, L., Sadegh, M., Escalera, E., Antti, M., & Akhtar, F. (2023). Adsorption of heavy metals on natural zeolites: A review. *Chemosphere*, 328(February), 138508. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138508>
- Wahyudi, J. (2019). Emisi gas rumah kaca (grk) dari pembakaran terbuka sampah rumah tangga menggunakan model ipcc greenhouse gases emissions from municipal solid waste burning using ipcc model. *Jurnal Litbang*, XV(1), 65-76.