

Konversi Limbah *High Density Polyethylene* dan *Polypropilene* Menjadi Bahan Bakar Cair Dengan Metode *Catalytic Cracking* Menggunakan Katalis *Magnesium Karbonat* dan *Fluid Catalytic Cracking*

Furqon Rizki¹, Nendi Zebra Penukal², Hady al Syahdy³, Arizal Aswan⁴, Robert Junaidi⁵, Zurohaina⁶, Idha Silviyati⁷

^{1,2,3}Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia
Email: ¹furqonriski@gmail.com, ²nendipenukalrs22@gmail.com, ³zurohaina@polsri.ac.id,
⁴idha.silviyati@polsri.ac.id

Abstrak

Peningkatan konsumsi energi dan peningkatan timbulan sampah plastik merupakan dua permasalahan besar yang muncul seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Jenis sampah *polypropylene*, *polystyrene*, dan *high density polyethylene* lebih dari 70% dari plastik bekas menduduki tempat pembuangan akhir. Salah satu cara untuk memanfaatkan limbah plastik tersebut adalah dengan memanfaatkan menjadi bahan bakar cair dengan proses pirolisis. Metode yang digunakan adalah pirolisis dengan teknologi yang menjanjikan yang digunakan untuk mengubah limbah plastik menjadi minyak cair dengan memanfaatkan bahan baku plastik jenis HDPE (*High Density Polyethylene*) dan PP (*Polypropilene*) untuk dikonversi menjadi bahan bakar cair yang siap dikomersilkan dengan proses perengkahan katalitik menggunakan katalis *Magnesium Karbonat* ($MgCO_3$) dan *Fluid Catalytic Cracking* (FCC) untuk mempercepat reaksi sehingga menghemat penggunaan energi dan meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan. Dengan temperatur operasi dimulai dari 181°C, 225°C, 234°C, 274°C, 304°C. Produk yang dihasilkan dianalisa kualitasnya menggunakan metode *ASTM*. Berdasarkan hasil analisa produk bahan bakar cair hasil pirolisis sampah plastik *high density polyethylene* dan *polypropylene* didapat nilai densitas, viskositas, dan nilai kalor masing-masing yaitu 0,739 gr/ml, 1,2838 cSt, dan 11259,9641 cal/gr.

Kata kunci: *Fcc, high density polyethylene, magnesium karbonat, pirolisis, polypropylene.*

Conversion of Waste High Density Polyethylene and Polypropilene Into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Method Using Magnesium Karbonat Catalyst

Abstract

The increase in energy consumption and the increase in the generation of plastic waste are two major problems that arise along with economic growth and population growth. Types of polypropylene, polystyrene, and polyethylene waste more than 70% of used plastic occupy landfills. One way to utilize the plastic waste is to use it as liquid fuel by the pyrolysis process. The method used is pyrolysis with promising technology that is used to convert plastic waste into liquid oil by utilizing plastic raw materials of HDPE (High Density Polyethylene) and PP (Polypropylene) to be converted into liquid fuel that is ready to be commercialized by catalytic cracking process using a catalyst. Magnesium Carbonate ($MgCO_3$) to speed up the reaction so as to save energy use and improve the quality of the resulting product. With operating temperature from 181°C, 225°C, 234°C, 274°C, 304°C. The resulting product was analyzed for quality using the ASTM method. Based on the analysis of liquid fuel products resulting from the pyrolysis of high-density polyethylene and polypropylene plastic waste, the density, viscosity, and calorific value values were 0.739 gr/ml, 1.2838 cSt, and 11259.9641 cal/gr.

Keywords: *Fcc, high density polyethylene, magnesium karbonat, pirolisis, polypropylene*

1. PENDAHULUAN

Dengan bertambahnya jumlah penduduk dunia, konsumsi barang-barang yang berbahan plastik semakin meningkat. Limbah plastik baik dari industri maupun rumah tangga semakin meningkat tajam menyebabkan bertambahnya volume sampah yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Indonesia masuk peringkat kedua dunia setelah China dalam menghasilkan sampah plastik di perairan mencapai 187,2 juta ton. Direktur Jenderal Pengelolaan Sampah, Sampah dan B3 KLHK, Tuti Hendrawati Mintarsih mengatakan bahwa jumlah total

sampah di Indonesia pada tahun 2019 mencapai 68 juta ton dan sampah plastik diperkirakan mencapai 9,52 juta ton atau 14% dari total sampah yang tersedia [1]. Faktor memicu dari meningkatnya sampah plastik di Indonesia adalah warga Indonesia yang mayoritas menggunakan plastik hampir setiap waktu dalam kehidupan sehari-hari. Sampah plastik tersebut apabila diabaikan maka akan semakin banyak jumlahnya, sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Mengingat bahwa sifat plastik akan terurai di tanah dalam waktu lebih dari 20 tahun bahkan dapat mencapai 100 tahun sehingga dapat menurunkan kesuburan tanah dan di perairan plastik akan sulit terurai. Salah satu cara untuk memanfaatkan limbah plastik tersebut adalah dengan memanfaatkannya menjadi bahan bakar cair melalui pirolisis, dan juga hal ini dapat menjadi sumber energi alternatif untuk menggantikan bahan bakar tidak terbarukan.

Pengolahan sampah merupakan hal yang menjadi bahasan utama beberapa tahun belakangan ini, contohnya seperti penimbunan dan pembakaran yang malah berdampak buruk bagi lingkungan dan juga manusia. Hal ini dikarenakan laju degradasi plastik memiliki yang lambat sehingga akan sulit terurai di dalam tanah dan akan menghasilkan polutan ke udara jika dibakar. Untuk mengurangi dampak buruk lingkungan, plastik harus diolah atau didaur-ulang untuk menghasilkan produk lain yang bernilai ekonomi. Sesuai dengan ASTM D5033-00, daur ulang jenis tersier dapat dijadikan pilihan untuk mengolah sampah plastik. Dalam daur ulang jenis ini, degradasi kimia mengarah pada produksi bahan bakar cair dan bahan kimia dengan nilai tambah tinggi dari pecahan limbah plastik [2].

Pirolisis atau pemecahan polimer pada plastik adalah salah satu metode untuk mendaur ulang limbah plastik menjadi bahan bakar melalui pemanasan tanpa oksigen yang melibatkan proses degradasi termal bahan-bahan polimer pada temperatur yang cukup tinggi tergantung dari jenis plastik dan target produk yang diinginkan [3]. Jika produk gas atau arang lebih disukai, disarankan temperatur yang lebih tinggi lebih dari 500°C. Jika cairan lebih disukai, direkomendasikan temperatur yang lebih rendah di kisaran 200-500°C dan kondisi ini berlaku untuk semua plastik [4]. Produk dari pirolisis umumnya menghasilkan cairan sebesar 70-80% dan gas sebesar 5-10%. Degradasi termal plastik memiliki kelemahan utama yaitu membutuhkan suhu tinggi yang sering menghasilkan produk dengan kualitas rendah [5]. Oleh karena itu, digunakan katalis pada proses perekahan karena dapat menurunkan suhu reaksi, menurunkan waktu reaksi, dan meningkatkan kualitas produk [6].

Katalis merupakan zat yang digunakan sebagai tambahan dalam sistem reaksi untuk mempercepat reaksi [7]. Proses penambahan katalis dalam pirolisis disebut dengan *Catalytic Thermal Cracking*. *Catalytic Thermal Cracking* merupakan reaksi perengkahan yang menggunakan bantuan katalis sebagai material yang berfungsi untuk mempercepat laju reaksi pada mekanisme pembentukan ion karbonium untuk mencapai kesetimbangan serta memperoleh produk akhir reaksi. *Catalytic Thermal Cracking* menghadirkan sejumlah keunggulan dibandingkan termal, seperti konsumsi energi yang lebih rendah dan pembentukan produk dengan distribusi jumlah atom karbon yang lebih sempit, yang dapat diarahkan ke hidrokarbon aromatik dengan nilai pasar yang ringan dan tinggi [8].

Pada penelitian ini akan dikaji bagaimana pengaruh temperatur terhadap degradasi limbah plastik jenis *High Density Polyethylene* dengan katalis *Fluid Catalytic Cracking* (FCC) dan *Polypropilene* dengan katalis *Magnesium Karbonat* ($MgCO_3$) menggunakan proses *Catalytic Thermal Cracking* (CTC) menjadi bahan bakar cair yang memiliki karakteristik sesuai Standar Mutu Minyak Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

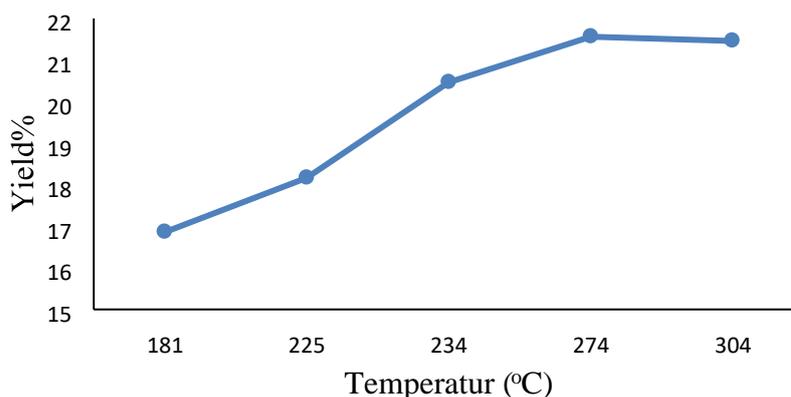
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya dan Laboratorium Pertamina RU 3 plaju pada tanggal 20 Juni - Juli 2022. Limbah plastik *High Density Polyethylene* dan *Polypropilene* pada penelitian ini diperoleh dari limbah plastik rumah tangga dan tempat pengolahan limbah plastik. Pada penelitian digunakan alat Reaktor *Catalytic Thermal Cracking* dengan Variabel tetap yaitu, Bahan Baku 2000 gr, Katalis $MgCO_3$ 10%, Katalis Fcc 10%, Waktu selama 50 menit dan tekanan operasi 2 bar. Serta variabel bebas yaitu Temperatur reaksi 181°C, 225°C, 234°C, 274°C dan 304°C.

Pada penelitian ini proses *Catalytic Thermal Cracking* limbah plastik *High Density Polyethylene* dan *Polypropilene* yang digunakan sebagai bahan baku masing-masing akan dilakukan preparasi bahan baku terlebih dahulu yaitu dengan mengecilkan ukuran bahan baku menjadi ukuran 1 x 1 cm. Bahan baku yang telah dipreparasi kemudian akan ditimbang sebanyak 2000 gr dan dimasukkan ke dalam reaktor *Catalytic Thermal Cracking* dengan jumlah katalis $MgCO_3$ 10% dari jumlah bahan baku. Proses *Catalytic Thermal Cracking* akan berlangsung pada waktu 30 menit dengan variasi Temperatur reaksi 181°C, 225°C, 234°C, 274°C dan 304°C. Bahan bakar cair yang dihasilkan kemudian dianalisis untuk mengetahui kualitas bahan bakar cair yang dihasilkan melalui sifat fisik dan komposisi senyawa bahan bakar cair yang diperoleh, Analisis yang dilakukan pada penelitian ini yaitu %yield, Distilasi (ASTM D-86), %yield Density (ASTM D-1298), Viscosity (ASTM D-445), *Calculated Cetane Index* (D4737) dan *Calorific Value*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Temperatur terhadap %Yield

Persen *yield* merupakan perbandingan antara jumlah massa produk cair yang dihasilkan per massa bahan baku. Tujuan analisis %*yield* adalah untuk mengetahui temperatur optimum yang digunakan dalam proses *Catalytic Thermal Cracking* [9]. Hubungan antara temperatur CTC terhadap % *yield* yang dihasilkan dari proses *Catalytic Thermal Cracking* dapat dilihat pada Gambar 1.

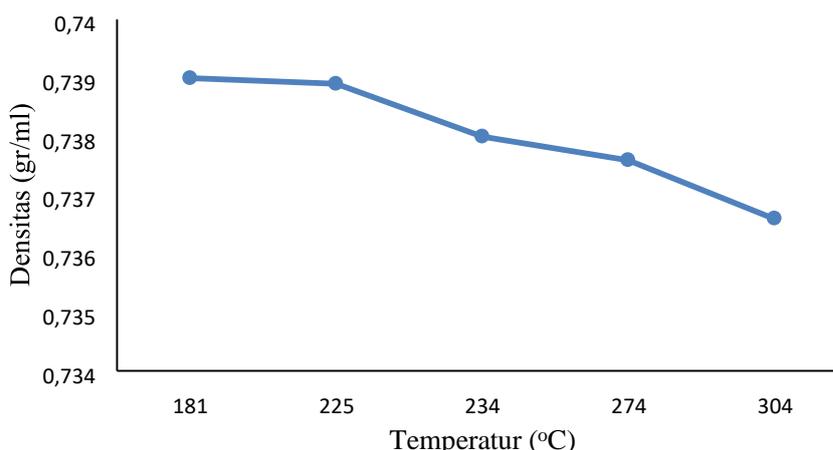


Gambar 1. Pengaruh Temperatur terhadap %Yield

Gambar 1 menunjukkan bahwa %*yield* bahan bakar cair cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya suhu pirolisis. Peningkatan temperatur akan menyebabkan molekul bergerak lebih cepat sehingga akan memperbesar peluang tumbukan antar molekul sehingga mempercepat proses *cracking* [10]. Hal ini disebabkan pada suhu yang tinggi dekomposisi bahan baku akan lebih sempurna sehingga menghasilkan %*yield* bahan bakar cair yang lebih tinggi. Namun, pada penelitian ini juga terjadi penurunan *yield* seiring bertambahnya temperatur yaitu pada temperatur 274°C dan suhu 304°C, penurunan %*yield* ini terjadi karena pada suhu tinggi akan mengakibatkan kehilangan bobot (*loss*) yang semakin besar.

3.2. Pengaruh Temperatur Terhadap Density

Densitas adalah salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas bahan bakar. Massa jenis atau densitas merupakan suatu indikator banyaknya zat-zat pengotor hasil reaksi.



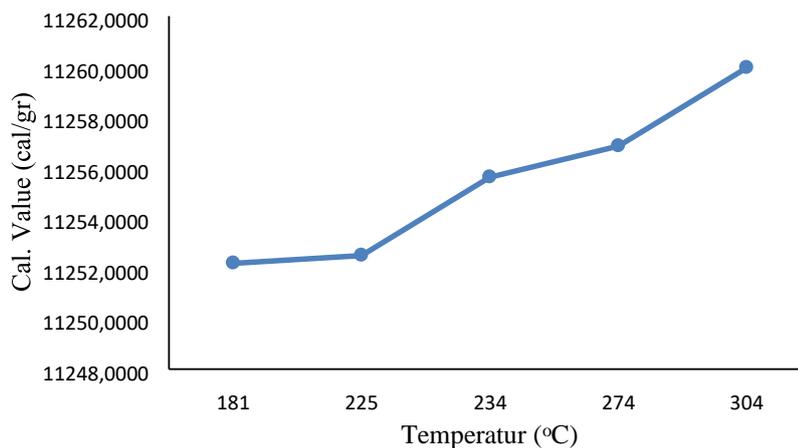
Gambar 2. Pengaruh Temperatur terhadap Density

Berdasarkan Gambar 2 diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur maka densitas yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan kenaikan temperatur menyebabkan tingkat pemutusan rantai karbon panjang semakin tinggi sehingga semakin banyak karbon rantai panjang yang terengah menjadi karbon rantai pendek. Densitas adalah salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas bahan bakar. Jika massa suatu bahan bakar melebihi standar batasnya, maka akan meningkatkan keausan mesin dan menyebabkan kerusakan 3

mesin. Densitas bahan bakar berbanding terbalik dengan temperatur. Pada umumnya semakin rendah densitas maka bahan bakar akan semakin baik karena densitas yang rendah akan mudah menguap dan mudah terbakar oleh mesin [11].

3.3. Pengaruh Temperatur terhadap Calorie Value

Calorie Value atau nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah panas yang dihasilkan dari proses pembakaran suatu bahan bakar dengan udara [12]. Pada penelitian ini, penentuan nilai kalor dilakukan dengan cara perhitungan yang melibatkan variabel densitas, API Gravity dan Specific Gravity.

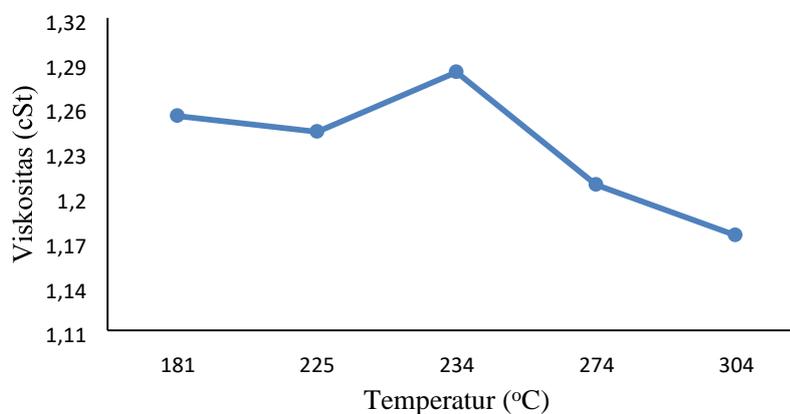


Gambar 3. Pengaruh Temperatur terhadap Clorie Value

Gambar 4.3 menunjukkan nilai kalor yang dihasilkan pada temperatur 181⁰C, 225⁰C, 234⁰C, 274⁰C dan 304⁰C yaitu 11252,2146 cal/gr, 11252,5251 cal/gr, 11255,6276 cal/gr, 11256,8674 cal/gr dan 11259,9641 cal/gr. Nilai kalor berbanding terbalik dengan densitas. Jika nilai densitasnya rendah maka nilai kalor yang dihasilkan tinggi, hal ini karena sumbangan komposisi fraksi hidrokarbon rantai pendek lebih banyak daripada fraksi hidrokarbon rantai panjang yang ada pada minyak pirolisis [13]. Pada hasil pengujian minyak pirolisis ini semakin tinggi temperatur reaktor nilai kalor yang dihasilkan semakin tinggi pula.

3.4. Pengaruh Temperatur terhadap Viskositas

Nilai viskositas adalah sebuah nilai dimana hambatan mempengaruhi zat cair untuk mengalir. Semakin tinggi nilai viskositasnya akan semakin kental zat cair tersebut. Pada sisi lain semakin rendah nilai viskositasnya maka akan semakin encer zat tersebut.



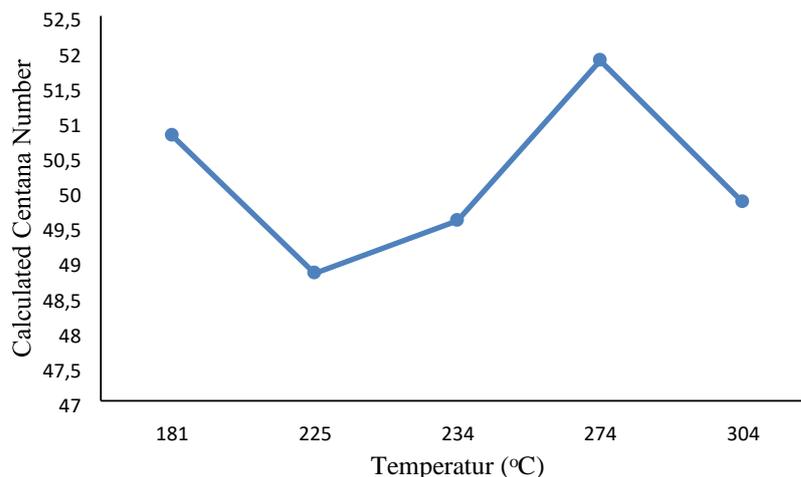
Gambar 4. Pengaruh Temperatur terhadap Viskositas

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa viskositas tertinggi diperoleh pada temperatur 234⁰C yaitu sebesar 1,2675 cSt. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka nilai viskositas yang dihasilkan akan

semakin kecil, dikarenakan nilai viskositas berkaitan erat dengan nilai densitas [14]. Besarnya viskositas berbanding lurus dengan nilai densitas fluida. Peningkatan temperature dan waktu menyebabkan semakin banyak karbon rantai panjang yang terengah mejadi rantai pendek. Hal tersebut menyebabkan massa jenis produk menjadi semakin rendah.

3.5. Pengaruh Temperatur terhadap *Calculated Centana Index (CCI)*

Dari hasil uji laboratorium yang dilakukan menunjukkan bahwa bilangan cetana mengalami naik turun yang seharusnya bertambahnya temperature reaktor, bilangan cetana juga bertambah.



Gambar 5. Pengaruh Temperatur terhadap *Calculated Centana Index (CCI)*

Tetapi pada penelitian ini mengalami naik turun dimana bilangan cetana terendah pada temperatur 225°C bernilai 48,83 dan bilangan cetana tertinggi pada suhu 274°C bernilai 51,87. Bilangan Cetana pada minyak pirolisis dipengaruhi oleh adanya hidrokarbon paraffin linear (gugus alkana) dan α olefin (gugus alkena) [15]. Hasil pengujian ini semakin mengindikasikan bahwa minyak pirolisis berbahan baku plastik polypropylene termasuk kategori minyak diesel dikarenakan bilangan cetane yang masuk ke dalam kategori solar berdasarkan standar dan mutu bahan bakar jenis solar nomor 28.K/10/DJ.M.T/2016 menyatakan bahwa standar minimal bilangan cetane pada solar yaitu 48.

4. KESIMPULAN

Bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki karakteristik densitas, *API gravity*, *calorific value*, fraksi destilasi, dan *octane number/Centane number* yang memenuhi standard Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi Nomor 3674.K/10/DJM.S/2006. Temperatur dan katalis berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur yang digunakan maka akan semakin banyak yield yang dihasilkan, akan tetapi berbanding terbalik dengan nilai densitas. Dan semakin kecil nilai densitas, maka *API gravity* semakin tinggi. Produk bahan bakar cair yang dihasilkan didapatkan nilai %yield 16,8681-21,5748%, densitas 0,7366-0,739 gr/ml, *API gravity* 59,9260,55, *calorific value* 11252,2146-11259,9641 cal/gr. Berdasarkan Karakteristik produk bahan bakar cair yang didapat, maka produk ini setara dengan *Gasoline (and Diesel Fuel)*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Wahyuni, "Indonesia Penyumbang Sampah Plastik Terbesar Ke2 Dunia," CNN Indonesia. 2016
- [2] M. A. Rajab, S. Y. Shaban, and L. J. Hussien, "Recycling And Improving The Environmental Impact Of Plastic Waste American Journal of Engineering Research (AJER)," *Am. J. Eng. Res.*, vol. 7, no. 11, pp. 131–134, 2018.
- [3] M. Syamsiro, A. N. Hadiyanto, and Z. Mufrodi, "Rancang Bangun Mesin Pencacah Plastik Sebagai Bahan Baku Mesin Pirolisis Skala Komunal," *J. Mek. dan Sist. Termal*, vol. 1, no. 2, pp. 43–48, 2016.
- [4] S. D. Anuar Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. Wan Daud, and M. K. Aroua, "A review on pyrolysis of plastic wastes," *Energy Convers. Manag.*, vol. 115, pp. 308–326, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.02.037.

-
- [5] M. Syamsiro et al., "Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors," *Energy Procedia*, vol. 47, pp. 180–188, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.212.
- [6] D. Almeida and M. de F. Marque, "Thermal and Catalytic Pyrolysis of Polyethylene Plastic Waste in Semi," *Polimeros*, vol. 26, no. 1, pp. 1–8, 2015.
- [7] D. Y. Lestari, "Pemilihan Katalis Yang Ideal," *Pros. Semin. Nas. Penelitian, Pendidik. dan Penerapan MIPA*, pp. 1–6, 2012.
- [8] A. Riyadhi and Syahrullah, "Rancang bangun mini reaktor dan uji reaktor pada perengkahan katalitik lemak sapi menjadi bahan bakar cair menggunakan katalis MgO dan zeolit," *Integr. Lab J.*, vol. 04, no. 02, pp. 125–138, 2016.
- [9] Kholidah, N. Pengaruh Temperatur terhadap Persentase Yield pada Proses Perengkahan Katalitik Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Cair. *Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, Vol.2(1) 28-33. 2018.
- [10] I. H. Berlian, Sapriil, Aldy Try Kusuma, Arizal Aswan, Ahmad Zikri, "PYROLISIS OF PLASTIC TO LIQUID FUEL USING ACTIVATED," vol. 5, no. 1, 2022.
- [11] I. Qurratul'uyun, "PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR HIDROKARBON (C8- C13) DARI LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA HASIL KONVERSI KATALITIK DENGAN VARIASI JUMLAH KATALIS Al-MCM-41," 2017.
- [12] M Jahiding, dkk. "Analisis Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Kualitas Bahan Bakar Minyak dari Limbah Plastik Polipropilena," *Gravitasi*. pp. 19-1. 2020.
- [13] A. Syamsiro, M., Saptoadi, H., Norsujianto, T., Noviasri, P., Cheng, S., Alimuddin, Z., & Yoshikawa, K. Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors. *Energy Procedia*, 47, pp. 180–188. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.212>
- [14] A F. E. Aswan, F. Wahab, A. Manggarani, "Konversi Limbah Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Menjadi Bahan Bakar Cair (BBC) Menggunakan Katalis Gamma Alumina (γ -Al₂O₃) dan Zeolit Alam Dalam Multistage Separator," *Jurnal Kinetika*, Vol. 11, no. 03, 2020.
- [15] H. A. Azis and H. B. Rante, "Produksi bahan bakar cair dari limbah plastik polypropylene (PP) metode pirolisis," *Journal of Chemical Process Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 18–23, Sep. 2021, doi: 10.33536/jcpe.v6i1.689.