

KONVERSI LIMBAH PLASTIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) MENJADI BAHAN BAKAR CAIR (BBC) MENGGUNAKAN KATALIS GAMMA ALUMINA (γ -Al₂O₃) DAN ZEOLIT ALAM DALAM MULTISTAGE SEPARATOR

CONVERSION OF *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) PLASTIC WASTE TO LIQUID FUEL (BBC) USING ALUMINE GAMMA CATALYST (γ -Al₂O₃) AND NATURAL ZEOLIT IN MULTISTAGE SEPARATOR

Arizal Aswan¹, Fatria¹, Erlinawati¹, *Fathul Wahab¹, *Anindyta Manggarani¹

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139, telp +62711353414 / fax +62711355918

*e-mail : w.fathul190@gmail.com, anindytamaa@gmail.com

ABSTRACT

One of the dominant plastic waste in the world is plastic made from HDPE (High Density Polyethylene). HDPE plastic is often found in the form of plastic bags, food containers, pipe fittings, baby milk bottles, and others. This plastic is not biodegradable, so it can disturb the environment. If destroyed by burning, plastic waste will cause air pollution and cause global warming. One of alternative to reduce the number of this plastic waste is converting HDPE plastic into liquid fuel with a catalytic cracking process. This cracking process uses a Gamma Alumina (γ -Al₂O₃) and Natural Zeolite catalyst to speed up the reaction to save energy consumption and improve the quality of the product result. The research was conducted by analyzing the effect of temperature variations ranging from 300, 350, 400, 450, and 500 °C. The result shown that the optimum temperature of pyrolysis High Density Polyethylene (HDPE) using Gamma Alumina (γ -Al₂O₃) catalyst is 400°C with a density 0.7609 gr/cm³, viscosity 1.7760 mm²/s, and flash point 28.8°C. The optimum temperature of pyrolysis using Natural Zeolite catalyst is 450°C with a density 0.7282 gr/cm³, viscosity 2.8164 mm²/s, and flash point 30.9°C. The liquid fuel product from pyrolysis of HDPE plastic waste then analyzed by the GC-MS method, and it can be conclude that the liquid fuel product was a mixture of gasoline (C₇-C₁₂) and diesel (C₁₃-C₂₀)

Key words: Pyrolysis, Plastic, High density polyethylene, Natural Zeolite, Gamma Alumina

1. PENDAHULUAN

Peningkatan luar biasa dalam konsumsi plastik di seluruh dunia untuk berbagai macam produk menyebabkan pembuangan limbah yang serius dan masalah lingkungan. Salah satu sampah plastik yang cukup dominan adalah plastik berbahan dasar HDPE (*High Density Polyethylene*) merupakan salah satu bahan plastik yang aman digunakan oleh masyarakat dikarenakan plastik berbahan dasar ini memiliki sifat yang cenderung lebih keras dan tahan terhadap suhu yang cukup tinggi atau berkisar pada 120°C, sehingga banyak sekali digunakan sebagai bahan plastik yang umum seperti kantong plastik, kontainer makanan, fitting pipa, botol susu bayi, dan lain-lain. (Abdillah dan Hisbullah, 2017). Ini mengingatkan pentingnya daur ulang plastik dan teknologi pengolahan untuk menangani limbah bermasalah tersebut dengan cara yang ramah lingkungan (Demirbas dkk., 2015).

Pirolisis adalah teknologi yang digunakan untuk mengubah limbah plastik menjadi minyak cair dan produk sampingan berharga lainnya seperti arang dan gas dalam kondisi terkendali dan dianggap sebagai teknologi yang relatif lebih ramah lingkungan daripada

pembakaran yang tidak terkontrol (Rehan dkk, 2017). Hasil pirolisis produk tergantung pada sejumlah parameter proses seperti suhu, laju pemanasan, kadar air, waktu retensi, jenis plastik dan ukuran partikel. Hasil hingga 80% dari minyak cair dari berat dapat dicapai dari limbah plastik (Wu dkk, 2014). Minyak cair yang dihasilkan memiliki karakteristik yang mirip dengan diesel konvensional termasuk, kepadatan (0,8 kg/m³), viskositas (hingga 2,96 mm²/s), titik nyala (30,5 °C) dan kandungan energi (41,58 MJ/kg), dan dapat digunakan sebagai sumber energi. Temperatur dan waktu retensi yang tinggi adalah keterbatasan utama pirolisis limbah plastik, yang perlu dioptimalkan untuk membuat proses lebih ekonomis dan ramah lingkungan (Syamsiro, 2014).

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengolah limbah plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) melalui proses pirolisis menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan katalis zeolit alam, gamma alumina (γ -Al₂O₃), serta variabel bebas berupa variasi temperatur.

Bagaimana pengaruh peningkatan temperatur dalam proses pirolisis terhadap karakteristik produk pirolisis limbah plastik High Density Polyethylene (HDPE)

yang dihasilkan dari masing-masing stage berupa densitas, viskositas, nilai kalor dan titik nyala dan analisis senyawa kimia bahan bakar cair menggunakan GC-MS untuk mengetahui apakah sesuai standar dan mutu Ditjen Migas No.0117.K/10/DJM.T/2018 merupakan permasalahan dalam penelitian ini

Katalis adalah suatu zat yang dapat mempercepat atau memperlambat reaksi. Katalis meningkatkan laju reaksi dengan cara mempengaruhi energi pengaktifan suatu reaksi kimia. Zeolit alam merupakan mineral yang jumlahnya banyak tetapi distribusinya tidak merata, seperti klinoptilolit, mordenit, phillipsit, chabazit dan laumontit. Zeolit alam digunakan sebagai katalis karena harganya jauh lebih murah daripada zeolit sintetis. Namun zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, di antaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit.

Karakter zeolit alam dapat diperbaiki dengan dilakukan proses aktivasi atau modifikasi terlebih dahulu sehingga zeolit alam dapat digunakan sebagai katalis, absorben, atau aplikasi lainnya. Selain untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang terdapat pada zeolit alam, proses aktivasi zeolit juga ditujukan untuk memodifikasi sifat-sifat dari zeolit, seperti luas permukaan, keasaman, dan merubah rasio Si/Al. Luas permukaan dan keasaman yang meningkat akan menyebabkan aktivitas katalitik dari zeolit meningkat.

Al Muttaqii, dkk (2019) menyatakan bahwa aktivasi katalis zeolit dapat dilakukan secara fisika yaitu dengan kalsinasi zeolit alam pada temperatur 500-600°C yang bertujuan untuk mengilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar ukuran pori, dan memperluas permukaan dan secara kimia dengan menggunakan larutan asam klorida (HCL) atau asam sulfat (H₂SO₄), maupun larutan natrium hidroksida (NaOH) yang bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, menghilangkan senyawa pengotor.

Gamma Alumina (γ -Al₂O₃) merupakan salah satu bentuk dari alumina metastabil atau alumina transisi yang didapat dari pemanasan boehmite dengan temperature di bawah 600°C (Harfani, 2009). Di antara alumina transisi, gamma alumina

(γ -Al₂O₃) merupakan suatu bahan yang penting digunakan dalam berbagai bidang, misalnya sebagai katalis katalisator substrat di dalam industri otomotif dan petroleum, komposisi struktural untuk pesawat ruang angkasa dan pakaian pelindung dari gesekan dan panas atau abrasi dan thermal).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah satu set reaktor pirolisis *multistage separator*, neraca analitik (Radwag AS110/C/2), *sieve shaker electric* (Ziaulhaq Solution), *furnace* (Nabatherm), *piknometer* (Pyrex), *bomb calorimeter* (Parr 6200), Viskometer (Thermo Scientific Haake 3560001), *flash point* (Koehler Instrument Company), alat analisis GC-MS (ISQ 7000 Thermo Scientific), limbah Plastik *High Density Polyethylene* (HDPE), Katalis Gamma Alumina (γ -Al₂O₃) (Merck), Katalis Zeolit Alam (BrataChem Distributor), HCL (Sumber Kimia Distributor), NaOH (Sumber Kimia Distributor) dan Aquadest.

2.2 Preparasi Katalis Zeolit Alam dan Gamma Alumina (γ -Al₂O₃)

Zeolit alam yang masih berbentuk butiran besar dihaluskan dengan cara digerus, kemudian diayak dengan *sieve shaker* untuk mendapatkan ukuran 60 mesh. Zeolit alam berukuran 60 mesh direndam dalam larutan HCL 1M selama 24 jam pada suhu ruang. Zeolit Alam yang telah direndam kemudian disaring dan dicuci dengan aquadest kemudian dikeringkan dengan oven pada temperatur 130°C selama 3 jam dan kemudian didinginkan di desikator. Zeolit alam yang telah didinginkan selanjutnya direndam di dalam larutan NaOH 2M selama 24 jam, dicuci menggunakan aquadest dan kembali dikeringkan pada temperatur yang sama dan didinginkan kembali di dalam desikator. Untuk γ -Al₂O₃ dapat langsung digunakan sebagai katalis tanpa perlu melalui tahapan aktivasi

2.3 Proses Pirolisis Katalitik Plastik *High Density Polyethylene* (HDPE)

Plastik *High Density Polyethylene* bersama dengan katalis dimasukkan ke dalam reaktor dan dipanaskan pada temperatur tertentu. Plastik *High Density Polyethylene* yang dipanaskan akan terdekomposisi dan mengalami pemutusan ikatan pada temperatur tersebut sehingga plastik kehilangan massa yang disebabkan oleh putus ikatan-ikatan senyawa polimer yang terkandung dalam plastik *High Density Polyethylene*. Ikatan-ikatan tersebut putus sesuai titik lelehnya. Uap yang dihasilkan kemudian masuk ke *multistage*

separator kemudian keluar melalui masing-masing stage dan uap kemudian terkondensasi pada kondensor sehingga berubah fase uap menjadi fase cair akibat kontak dengan air pendingin sehingga menghasilkan produk cair yang siap diuji.

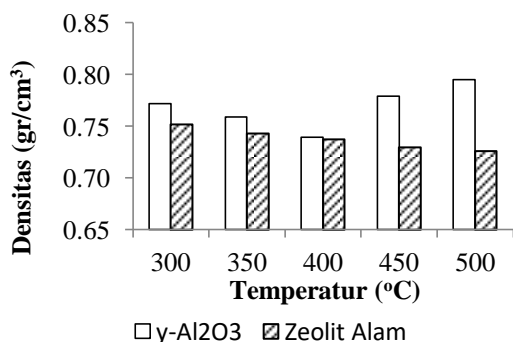
2.4. Karakterisasi

Analisis komposisi senyawa kimia produk bahan bakar cair ditentukan dengan menggunakan *analyzer GC-MS* (Merk Thermo Scientific ISQ 7000, *mass selective* (MS) *detector*, metode *acquisition-general*). Densitas produk bahan bakar cair ditentukan dengan metode ASTM D-1298, viskositas ditentukan dengan metode *falling ball*, titik nyala ditentukan dengan ASTM D-92 dan untuk nilai kalor ditentukan dengan ASTM D-5865-11a.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Temperatur Terhadap Densitas Produk

Densitas merupakan pengukuran antara berat suatu zat dengan volumenya. Semakin besar massa zat tersebut maka densitas nya akan semakin besar pula. Grafik hubungan temperatur dengan densitas dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini :



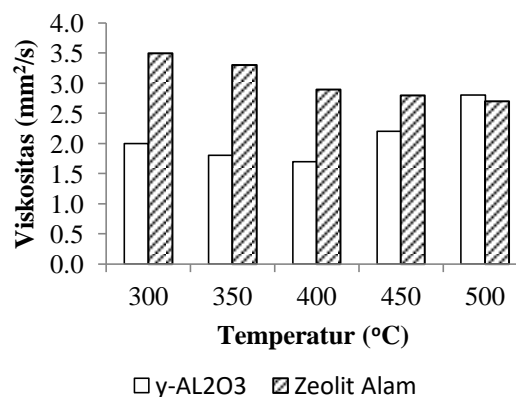
Gambar 1 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Densitas

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa densitas produk yang menggunakan katalis Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) pada suhu 300, 350 dan 400°C yaitu sebesar 0,771 gr/cm³; 0,739 gr/cm³; 0,739 gr/cm³ sedangkan untuk densitas produk yang menggunakan katalis zeolite alam yaitu 0,7520 gr/cm³; 0,7429 gr/cm³; 0,7372 gr/cm³; 0,7298 gr/cm³; 0,7262 gr/cm³, dapat dilihat grafik nilai densitas dari produk yang menggunakan katalis Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) itu lebih tinggi dibandingkan menggunakan katalis Zeolit Alam hal ini dikarenakan kekurangan dari Katalis zeolit Alam yaitu terdapat banyak zat pengotor yang dapat mempengaruhi

kualitas dari produk itu sendiri. Dari Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka densitas yang dihasilkan akan semakin rendah. Wanchai (dalam Priyatna, 2015) menjelaskan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan maka produk yang dihasilkan akan semakin ringan karena komponen hidrokarbon ringan yang dihasilkan akan semakin banyak. Pada prodk yang menggunakan katalis Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) terjadi peningkatan densitas pada temperatur pirolisis 450 dan 500°C semakin besar suhu, semakin berat kepadatan produk cairan disebabkan oleh molekul yang lebih berat yang terurai (Bow, 2019) dan dikarenakan terdapatnya *wax* pada minyak tersebut yang muncul ketika temperatur tinggi melewati suhu dekomposisi plastik HDPE.

3.2 Pengaruh Temperatur Terhadap Pengaruh Viskositas Produk

Viskositas dapat dinyatakan sebagai tahanan aliran fluida yang merupakan gesekan antara molekul-molekul cairan satu dengan yang lain. Grafik hubungan temperatur dengan viskositas dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini :



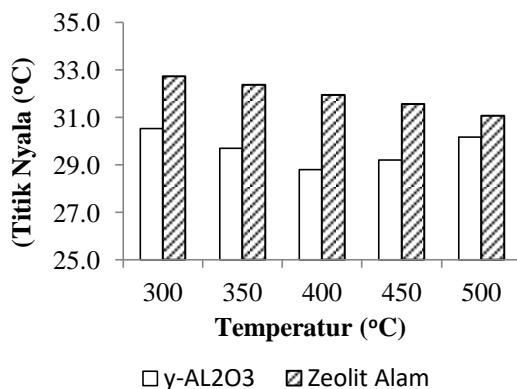
Gambar 2 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Viskositas

Pada Gambar 2 dapat terlihat bahwa nilai viskositas yang diperoleh dari produk yg menggunakan katalis Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) menurun mulai dari temperatur 300, 350, dan 400°C sebesar 2.0 mm²/s; 1.8 mm²/s dan 1.7 mm²/s. Sedangkan untuk produk yang menggunakan katalis Zeolit Alam yaitu 3,5 mm²/s; 3,3 mm²/s; 2,9 mm²/s; 2,8 mm²/s; 2,7 mm²/s. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka viskositas yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa produk pada temperatur 400°C lebih encer. Sejalan dengan hasil analisis pengaruh temperatur terhadap densitas 3.1, temperatur yang tinggi menyebabkan densitas produk semakin

menurun, sehingga viskositas produk juga semakin menurun seiring naiknya temperatur. Menurut Damayanti, dkk (2018), besarnya viskositas berbanding lurus dengan nilai densitas fluida. Peningkatan temperatur dan waktu menyebabkan semakin banyak hidrokarbon rantai panjang yang terengah menjadi rantai pendek. Terjadi peningkatan viskositas pada temperatur 450 dan 500°C sebesar 2.2 mm²/s dan 2.8 mm²/s untuk katalis Gamma Alumina (γ -Al₂O₃) karena kekentalan minyak yang mengandung *wax* yang terbentuk pada temperatur tinggi (Rachmawati, 2015).

3.3 Pengaruh Temperatur Terhadap Titik Nyala Produk

Titik nyala (*flash point*) adalah titik temperatur terendah dimana bahan bakar dapat menyala pada kondisi tertentu pada tekanan satu atmosfer. Grafik hubungan temperatur dengan titik nyala dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Titik Nyala

Pada Gambar 3 dapat dilihat pada produk yang menggunakan katalis Gamma Alumina (γ -Al₂O₃), bahwa titik nyala menurun diperoleh pada temperatur 300, 350 dan 400°C yaitu sebesar 30.4; 29.7 dan 28.8°C. Namun titik nyala mengalami kenaikan yang diperoleh pada temperatur 450 dan 500 °C yaitu sebesar 29.2 dan 30.2°C dikarenakan viskositasnya naik yang terdapat *wax* pada minyak sehingga titik nyala pada sampel tinggi. Sedangkan untuk produk yang menggunakan katalis Zeolit Alam didapatkan hasil 32,7 °C ; 32,3 °C ; 32 °C ; 31,5 °C ; 31 °C . Dari Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka titik nyala yang dihasilkan akan semakin kecil. Lamanya proses perengkahan pada suhu tinggi mengakibatkan semakin sedikitnya kandungan air dalam bahan bakar tersebut sehingga api cepat

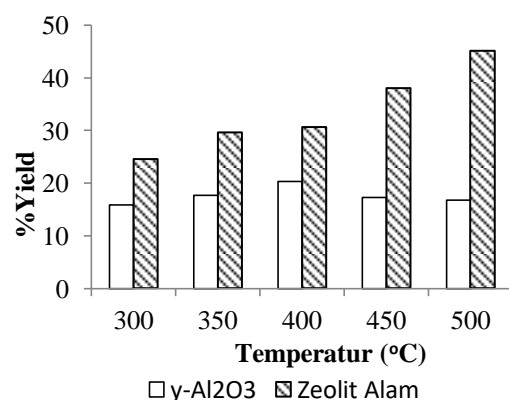
menyambar dan titik nyala yang diperoleh semakin kecil (Nasrun, dkk. 2017).

3.4 Analisis Nilai Kalor

Nilai kalor bahan bakar didefinisikan sebagai suatu besaran yang menunjukkan nilai energi kalor yang dihasilkan oleh suatu proses pembakaran setiap satuan massa bahan bakar. Pengukuran nilai kalor menggunakan metode ASTM D-5865-11a dilakukan pada sampel yield tertinggi pada temperatur 400°C sebesar 20,2652% untuk penggunaan katalis Gamma Alumina (γ -Al₂O₃) dan pada sampel yield tertinggi pada temperatur 500°C sebesar 45,08%. Nilai kalor yang didapatkan dari analisis yaitu sebesar 11175,808 cal/gr untuk produk yang menggunakan katalis Gamma Alumina (γ -Al₂O₃) dan 9832,20 cal/gr untuk produk yang menggunakan katalis Zeolite Alam. Nilai kalor bahan bakar cair menurut sesuai standar mutu. nilai kalor bahan bakar minyak pada umumnya yaitu 10.160 -11.000 kkal/kg (Nasrun, dkk. 2017).

3.5 Pengaruh Temperatur Terhadap Perolehan %Yield

Persentase yield merupakan perbandingan massa produk dengan massa bahan baku. Analisis %yield dilakukan untuk melihat banyaknya bahan bakar cair yang dihasilkan selama proses pirolisis per massa bahan baku plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) yang digunakan. Hubungan pengaruh temperatur terhadap perolehan %yield dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini :



Gambar 4 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Perolehan % Yield

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara temperatur dengan persen yield. Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa

untuk penggunaan katalis Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) pada temperatur 300, 350, dan 400°C mengalami kenaikan temperatur. Semakin tinggi temperatur maka %yield yang dihasilkan semakin tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa produk cair yang dihasilkan semakin banyak. Pada suhu yang tinggi dekomposisi bahan baku akan lebih sempurna sehingga menghasilkan %yield bahan bakar cair yang lebih tinggi pula (Maulina dan Putri, 2017). Namun terjadi penurunan %yield pada temperatur 450 dan 500°C. Hal ini disebabkan pada peningkatan suhu pirolisis lebih lanjut dan melebihi batas akan memecah ikatan karbon semakin kuat sehingga menghasilkan ikatan-ikatan yang lebih kecil, sehingga produk yang dihasilkan lebih banyak dalam bentuk gas yang sulit terkondensasi dan menurunkan yield produk cair (Rachmawati, 2015). Pada Penggunaan katalis Zeolit Alam dari Gambar 3.4 dapat diamati bahwa Persentase *yield* yang diperoleh naik berbanding lurus dengan temperatur. Hal ini dikarenakan pada suhu tinggi rantai karbon akan lebih mudah terengkah dibandingkan pada suhu rendah (Priyatna dkk, 2015).

3.6 Analisis Senyawa Kimia dan Komposisi Produk Menggunakan GC-MS

Tabel 1 Komposisi Senyawa Produk

Fraksi	Komponen	Komposisi Senyawa (%)	
		Katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	Katalis Zeolit Alam
C ₇ -C ₁₂	Gasoline	53,94	39,64
C ₁₃ -C ₂₀	Diesel	27,13	37,17
>C ₂₀	Minyak Berat	4,12	8,67
	Senyawa Lainnya	14,81	15,95
Total		100	

Berdasarkan hasil analisis GC-MS pada Tabel 1, sebaran atom karbon yang diperoleh mulai dari C₇ sampai C₃₄. Senyawa yang paling banyak terdapat adalah senyawa (C₇-C₁₂) yang merupakan fraksi gasoline yaitu dengan persen komposisi sebesar 53,94%, kemudian terdapat (C₁₃-C₂₀) sebesar 27,13% yang merupakan fraksi diesel, >C₂₀ sebesar 4,12% yang merupakan fraksi berat, serta terdapat senyawa lainnya sebesar 14,81% untuk produk yang menggunakan Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$). Untuk produk yang menggunakan katalis Zeolit Alam didapatkan persen komposisi terbanyak yaitu senyawa (C₇-C₁₂) yang merupakan fraksi gasoline sebesar 39,64 % , (C₁₃-C₂₀) sebesar 37,17 % , >C₂₀. Sebesar 8,76 % , dan fraksi lain

sebesar 15,95 %. Dari hasil analisis GC-MS ini dapat disimpulkan bahwa bahan bakar cair yang dihasilkan dari pirolisis plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) mengandung campuran fraksi ringan hingga fraksi berat namun kandungan yang terbanyak yang didapatkan adalah fraksi ringan setara gasoline.

3.7 Produk Optimum Pada Setiap Penggunaan Katalis

3.7.1 Produk Optimum Pada Penggunaan katalis Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

Tabel 2 Karakteristik Produk menggunakan Katalis Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

Karakteristik	Unit	Standar*	Penelitian
Densitas (15°C)	kg/m ³	715-770	760
Viskositas Kinematik 40°C	mm ² /s	-	1,7
Titik Nyala	°C	-	32

*Standar Gasoline Ditjen Migas No. 0177K/10/DJM.T/2018

Produk optimum bahan bakar cair pirolisis plastik *High Density Polyethylene* diperoleh pada kondisi operasi dengan temperatur 400°C. Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa bahan bakar cair prduk pirolisis plastik *High Density Polyethylene* masuk dalam rentang pada standar minyak *gasoline*.

3.7.2 Produk Optimum Pada Penggunaan katalis Zeolit Alam

Tabel 3 Karakteristik Produk menggunakan Zeolit Alam

Karakteristik	Unit	Standar*	Penelitian
Densitas (15°C)	kg/m ³	715-770	728
Viskositas Kinematik 40°C	mm ² /s	-	2,8
Titik Nyala	°C	-	30,9

*Standar Gasoline Ditjen Migas No. 0177K/10/DJM.T/2018

Produk optimum bahan bakar cair pirolisis plastik *High Density Polyethylene* diperoleh pada kondisi operasi dengan temperatur 500°C. Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa bahan bakar cair prduk pirolisis plastik *High Density Polyethylene* masuk dalam rentang pada standar minyak *gasoline*.

3.8 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Pembuatan bahan bakar cair dari limbah plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dilakukan melalui proses pirolisis *catalytic cracking* menggunakan katalis gamma alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) dan katalis zeolit alam di dalam sebuah reaktor dengan *multistage separator*. Hasil penelitian pembuatan bahan bakar cair dari limbah plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) ini dan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini :

Tabel 4 Perbandingan Hasil produk dengan penelitian terdahulu

Metode Pirolisis	Yield (%)	Hasil GC-MS Gasolin Diesel		Referensi
Pirolisis Termal	59.4	54,61	-	Kurniawan, 2014
Pirolisis Microwave	61.07	TD	TD	Abdillah, 2017
Pirolisis Katalitik (Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$))	20.26	53.94	27.13	Penelitian Saat ini
Pirolisis Katalitik (Zeolit Alam)	45,5	39.64	37.17	Penelitian saat ini

*TD : Tidak ada data

Pada Tabel 4. dapat dilihat bahwa konversi plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) menjadi bahan bakar cair dengan metode pirolisis microwave diteliti oleh Abdillah (2017) menghasilkan persen yield sebesar 61.07% lebih besar dari penelitian-penelitian sebelumnya. Hal ini dikarenakan penggunaan gelombang microwave lebih efisiensi terhadap panas yang tinggi dan waktu reaksi yang lebih singkat karena mendistribusikan temperatur merambat dari inti bahan baku ke luar bahan baku sehingga plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) lebih mudah teruapkan dan membentuk produk cair yang lebih banyak.

4. SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan :

1. Kondisi operasi optimum dari proses pirolisis limbah plastik *High Density Polyethylene* dengan menggunakan katalis Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) yaitu pada temperatur 400°C dengan perolehan yield

sebesar 20.26% dengan karakteristik densitas 0.7609 gr/cm^3 , viskositas kinematik 1.7760 mm^2/s , dan titik nyala 28.8 °C. Untuk produk dengan menggunakan katalis Zeolit Alam yaitu pada temperatur 500 °C dengan perolehan yield sebesar 45.08% dengan karakteristik densitas 0.7262 gr/cm^3 , viskositas kinematik 2.7339 mm^2/s dan titik nyala 30.9°C.

2. Analisis senyawa yang terkandung dalam produk menggunakan GC-MS adalah sebagai berikut :
 - Gasoline : 53.94% dan 39.64%
 - Diesel : 27.13% dan 37.17%
 - Minyak Berat : 4.12% dan 8.67%
 - Senyawa Lainnya : 14.8% dan 15.95%
3. Dari proses pirolisis plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dengan menggunakan multistage separator menghasilkan bahan bakar cair yang memiliki karakteristik *Gasoline* mendekati standar baku dan mutu Ditjen Migas No. 0177 K/10/DJM.T/2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M. dan Hisbullah, M. I. (2017). *Pengolahan Limbah Plastik High Density Polyethylene Dengan Metode Pirolisis Microwave Dan Menggunakan Katalis Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Untuk Menghasilkan Bahan Bakar Alternatif* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Al Muttaqii, M., Birawidha, D.C., Isnugroho, C., Amin, M., Hendronursito, Y., Istiqomah, A.D., dan Dewangga, D.P. 2019. The Effect of Chemical Activation by Using Acid and Base Solution on Natural Zeolite Characteristics. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 13(2): 266-271
- Bow, Y., dan Pujiastuti, L. S. (2019). Pyrolysis of Polypropylene Plastic Waste into Liquid Fuel. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 347, No. 1, p. 012128). IOP Publishing.
- Damayanti, Y., Lesmono, A. D., dan Prihandono, T. (2018). Kajian Pengaruh Suhu terhadap Viskositas Minyak Goreng sebagai Rancangan Bahan Ajar Petunjuk Praktikum Fisika. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 7(3), 307-314.
- Demirbas, A., Al-Sasi, B.O. dan Nizami, A.S., (2015). Conversion of waste tires to liquid products via sodium carbonate catalytic pyrolysis. *Energy Source Part A* 38, 2487–2493
- Giat, S. G. S., Sudirman, S., Anwar, D. I., Lukitowati, F., dan Abbas, B. (2015). Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit High Density Polyethylene (HDPE)–Hydroxyapatite (HAp) Dengan Teknik Iradiasi Gamma. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 37(1), 53-60
- Harfani, R. (2009). Sintesis katalis Padatan Asam Gamma Alumina Terfosfat ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{PO}_4$) dan

- digunakan untuk Sintesis Senyawa Metil Ester Asam lemak dari Limbah Produksi Margarin. *Skripsi*. Depok: Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan IPA Universitas Indonesia.
- Kepdirjen Migas (2018). *Standar dan Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin RON 98 (Pertamax Turbo) yang Dipasarkan di dalam Negeri*. Surat Keputusan Dirjen Migas No: 0177.K/10/DJM.S/2018 diunduh pada 28 Agustus 2020.
- Kurniawan, E., & Nasrun, N. (2014). Karakterisasi Bahan Bakar Dari Sampah Plastik Jenis High Density Polyethelene (HDPE) Dan Low Density Polyethelene (LDPE). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 3(2), 41-52.
- Maulina, S., dan Putri F.N., (2017). Pengaruh suhu, Waktu, dan Kadar Air bahan Baku terhadap Pirolisis Serbuk Pelelepah Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU, Vol 6. No.2*
- Nasrun, N., Kurniawan, E., dan Sari, I. (2017). Studi Awal Produksi Bahan Bakar Dari Proses Pirolisis Kantong Plastik Bekas. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 5(1), 30-44.
- Priyatna, A. O., Zultiniar, Z., dan Saputra, E. (2015). Perengkahan Katalitik Limbah Plastik Jenis Polypropylene (Pp) Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Katalis Zeolit A. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 13(1).
- Rachmawati, Q. (2015). *Pengolahan sampah secara pirolisis dengan variasi rasio komposisi sampah dan jenis plastik* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Rehan, M., Nizami, A.S., Shahzad, K., Ouda, O.K.M., Ismail, I.M.I., Almeelbi, T., Iqbal, T., dan Demirbas, A., 2016. Pyrolytic liquid fuel: a source of renewable electricity generation in Makkah. *Energy Sources Part A*. 38, 2598–2603.
- Syamsiro M, Saptoadi H, Norsujianto T, Noviasri Cheng S, Alimuddin Z, dan Yoshikawa K. (2014). Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors. *Energy Procedia* 47:180–188
- Syamsiro, M. (2015). Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik. *Jurnal Teknik*, 5(1), 47-56.
- Udyani, K., Ningsih, E., dan Arif, M. (2018). Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Yield Dan Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Dari Bahan Limbah Kantong Plastik. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* (pp. 389-394).
- Wu, J., Chen, T., Luo, X., Han, D., Wang, Z., dan Wu, J. (2014). TG/FTIR analysis on co-pyrolysis behavior of PE, PVC and PS. *Waste management*, 34(3), 676-682.