

## PENGARUH KATALIS ZEOLIT PADA LIMBAH PLASTIK *POLYSTYRENE* MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK MENGGUNAKAN REAKTOR PIROLISIS

### *THE EFFECT OF ZEOLITE CATALYSTS ON PLYSTYRENE PLASCTIC WASTE INTO FUEL OIL USING A PYROLYSIS REACTOR*

Umami Kalsum<sup>1)</sup>, Netty Herawaty<sup>2)</sup>, Novri Darmawati<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup> Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang, Palembang, Indonesia  
 Corresponding Author E-mail: *ummikalsum1207@gmail.com*

**Abstract:** The increasing amount of plastic waste is causing problems for the environment, the cause is none other than the nature of plastic which cannot be decomposed in the soil. An alternative that can help with handling plastic waste is a more profitable recycling process, one of which is converting plastic waste into fuel oil as an alternative energy source through pyrolysis. Pyrolysis is a form of recycling process by converting plastic into fuel. Besides being useful for reducing the amount of plastic waste, pyrolysis of plastic waste is also useful for providing fuel with a fairly high energy value. This study aims to determine the process of converting plastic waste into fuel oil by varying the zeolite catalyst and the effect of % zeolite catalyst on the physical properties of fuel oil specifications made from polystyrene plastic waste based on the American Standard Testing and Material (ASTM) method. This study used a catalytic cracking process with variations of the zeolite catalyst from 10%, 20%, 30%, 40% to 50% at 420°C for 2 hours to determine the physical characteristics of the pyrolysis oil produced such as: density, viscosity, specific gravity, flash point and water content. The higher the level of catalyst used, the thicker and more concentrated the resulting fuel oil will be, so that the best results are at a percentage of 10% and according to the specifications of diesel fuel type 48.

Keywords: Pyrolysis, Polystyrene, Catalytic Cracking, Fuel Oil.

**Abstrak:** Sampah plastik yang terus meningkat jumlahnya menimbulkan masalah bagi lingkungan, penyebabnya tak lain sifat plastik yang tidak dapat diuraikan dalam tanah. Alternatif yang bisa membantu penanganan sampah plastik adalah proses daur ulang yang lebih menguntungkan salah satunya adalah dengan mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak sebagai sumber energi alternatif melalui pirolisis. Pirolisis merupakan salah satu bentuk proses daur ulang dengan mengubah plastik menjadi bahan bakar. Selain bermanfaat untuk mengurangi jumlah sampah plastik, pirolisis sampah plastik juga bermanfaat untuk menyediakan bahan bakar dengan nilai energi yang cukup tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses konversi limbah plastik menjadi bahan bakar minyak dengan mengetahui pengaruh % katalis zeolit terhadap sifat fisika dari spesifikasi bahan bakar minyak yang berbasah baku dari limbah plastik polystyrene berdasarkan metode American Standard Testing and Material (ASTM). Penelitian ini menggunakan proses catalytic cracking yaitu dengan variasi katalis zeolit dari 10%, 20%, 30%, 40% sampai 50% pada temperatur 420 °C selama 2 jam untuk mengetahui karakteristik sifat fisika dari minyak pirolisis yang dihasilkan seperti: densitas, viskositas, specific gravity, flash point dan water content. Semakin tinggi kadar katalis yang digunakan maka bahan bakar minyak yang dihasilkan akan semakin kental dan pekat, sehingga hasil terbaik berada pada persentase sebesar 10% dan sesuai spesifikasi bahan bakar minyak jenis solar 48.

Kata kunci: Pirolisis, Polystyrene, Catalytic Cracking, Bahan Bakar Minyak.

## 1. PENDAHULUAN

Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) pada tahun 2022 mencatat volume sampah di Indonesia yang terdiri dari 164 kabupaten/kota se-Indonesia mencapai 19,4 juta ton/tahun. Sampah yang terkelola dengan baik hanya sebanyak 14,9 juta ton/tahun atau 76,87%. Ini terjadi karena masih terbatasnya daya tampung tempat pembuangan sampah baik Tempat Pemrosesan

Akhir (TPA) maupun Tempat Penampungan Sementara (TPS), hingga minimnya standar dalam pengelolaan sampah yang sudah diterapkan. Produksi sampah nasional menunjukkan tren yang terus meningkat seiring dengan terjadinya pertumbuhan ekonomi dan peningkatan jumlah penduduk. Salah satu jenis sampah yang menjadi perhatian adalah sampah plastik.

## 2. TEORI DASAR

Kontribusi sampah plastik terhadap total produksi sampah nasional mencapai 18,9% dengan pertumbuhan rata-rata mencapai 14,7% per tahun (Sumber; SIPSN) dan menempatkan sampah plastik sebagai kontributor terbesar kedua setelah sampah organik. Sampah plastik yang terus meningkat jumlahnya menimbulkan masalah bagi lingkungan. Penyebabnya tak lain sifat plastik yang tidak dapat diuraikan dalam tanah. Hal ini dikarenakan plastik yang beredar merupakan polimer sintetik yang terbuat dari minyak bumi, sehingga perlu waktu berpuluh-puluh tahun dalam tanah untuk menguraikan limbah-limbah dari bahan plastik tersebut. Pengelolaan sampah plastik lainnya adalah dengan mendaur ulang sampah plastik menjadi bentuk lain, namun proses daur ulang ini hanya akan merubah sampah plastik menjadi bentuk baru bukan menanggulangi volume sampah plastik sehingga ketika produk daur ulang plastik sudah kehilangan fungsinya, maka akan kembali menjadi sampah plastik. Oleh karena itu, diperlukan alternatif lain untuk menangani volume sampah plastik ini (Jatmiko Wahyudi, Hermain Teguh Prayitno dan Arieanti Dwi Astuti, 2018).

Alternatif lain penanganan sampah plastik, yaitu proses daur ulang yang lebih menguntungkan salah satunya adalah dengan mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak sebagai sumber energi alternatif melalui pirolisis (Nindita, 2015). Pirolisis sampah plastik merupakan salah satu bentuk proses daur ulang dengan mengubah plastik menjadi bahan bakar. Selain bermanfaat untuk mengurangi jumlah sampah plastik, pirolisis sampah plastik juga bermanfaat untuk menyediakan bahan bakar dengan nilai energi yang cukup tinggi. Secara umum, kurang lebih 950 ml minyak bakar bisa diperoleh dari pirolisis 1 kg plastik *polyolefin* misalnya *polypropylene*, *polyethylene* dan *polystyrene* (Thorat. dkk., 2013)..

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat pirolisis, neraca analitik, gelas ukur, *beaker glass*, pipet tetes, bola karet, mortar dan palu, termometer, *furnace*, ayakan, peralatan densitas, peralatan *specific gravity*, peralatan viskositas, peralatan *flash point*, peralatan *water content*.

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *styrofoam* dan katalis zeolit (klinoptilolit). Bahan baku pendukung yaitu es batu sebagai fluida pendingin.

### 3.2 Prosedur Penelitian

#### a. Pretreatment Bahan Baku

Tahap persiapan ini proses pirolisis berbahan baku limbah *polystyrene* yang masih layak digunakan. Selanjutnya proses pencacahan limbah plastik *polystyrene* digunakan untuk mempermudah bahan baku masuk ke dalam reaktor pembakaran dan memudahkan proses pada saat pembakaran. Setelah itu menghaluskan katalis zeolit klinoptilolit dan diaktivasi secara fisika dengan digerus dan diayak ukuran 100 *mesh*.

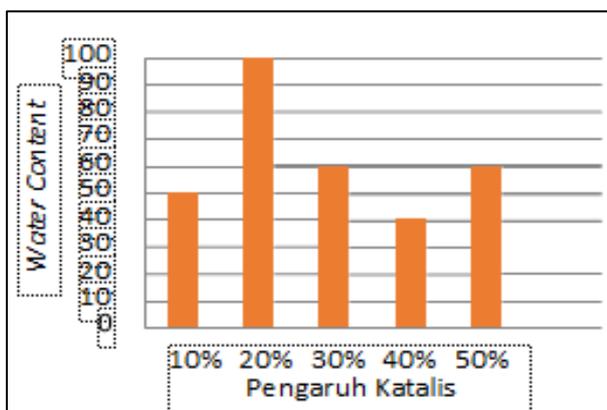
#### b. Proses Pirolisis

Memasukkan limbah plastik *polystyrene* ke dalam reaktor pembakaran. Limbah plastik *polystyrene* yang telah ditimbang seberat 200 gram dan katalis zeolit sebanyak 10% dari berat sampel (diulangi percobaan dengan kadar katalis 20%, 30%, 40% dan 50%) lalu dimasukkan ke dalam reaktor pembakaran. Kemudian menyalakan pemanas setelah semua persiapan siap, maka pemanas dinyalakan dan diatur suhunya 420°C. Selanjutnya membuka penampung hasil pirolisis secara berkala selama proses pirolisis berlangsung, *valve* hasil pirolisis harus dibuka secara berkala, tujuannya agar hasil pirolisis tidak menghambat jalannya asap ke kondensor. Menampung asap cair hasil pirolisis, asap cair sebagai produk proses pirolisis ditampung di dalam *beaker glass*. Setelah asap cair sudah tidak menetes, maka pemanas dimatikan.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pirolisis Terhadap Pengaruh % Katalis Zeolit

Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan adalah plastik jenis *polystyrene* yang berupa limbah styrofoam. Proses pirolisis limbah *styrofoam* dilakukan di dalam reaktor jenis *fixed bed* yang dioperasikan pada suhu  $420^{\circ}\text{C}$  selama 120 menit. Limbah *styrofoam* sebelum diproses dibersihkan terlebih dahulu. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang ada pada limbah *styrofoam*. Selanjutnya *styrofoam* dikecilkan ukurannya untuk mempermudah proses pelelehan dan proses pirolisis limbah *styrofoam*. Proses pirolisis dilakukan dengan memasukkan limbah *styrofoam* sebanyak 200 gram ke dalam wadah dan dicampur dengan katalis zeolit klinoptilolit, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor. Proses pirolisis masing-masing dilakukan dengan menggunakan katalis zeolit teraktivasi secara fisika dengan persentase. Pemakaian 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari total bahan baku. Selanjutnya pemanas dinyalakan, kemudian suhu pemanas diatur sesuai variabel penelitian. Pada suhu tertentu limbah *Styrofoam* akan berubah fase menjadi cair, karena telah mencapai titik lelehnya. Selanjutnya setelah berubah menjadi cair, limbah *styrofoam* berubah fase menjadi fase gas akibat proses pemanasan yang terjadi. Gas akan naik melalui aliran pipa yang ada dibagian atas reaktor menuju ke kondensor. Fungsi kondensor sebagai alat pendingin untuk merubah fase gas menjadi cair. Cairan inilah yang akan menjadi bahan bakar minyak hasil pirolisis dari limbah *styrofoam*.



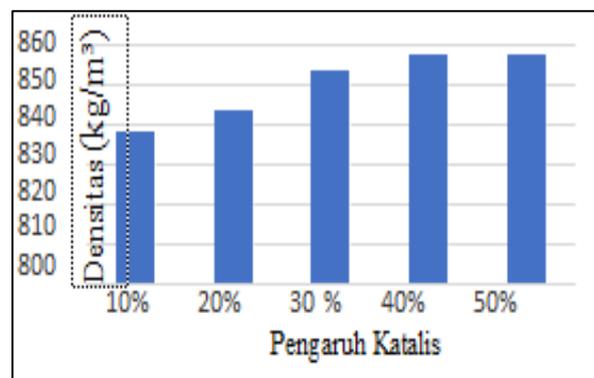
**Gambar 4.1** Hasil Pirolisis Terhadap Pengaruh Kadar Katalis

Berdasarkan dari beberapa rangkaian proses pengambilan data yang telah dilakukan, sampel yang berbahan baku dari plastik *Polystyrene* dapat dilakukan analisa dari karakteristik maupun pengaruh yang terjadi dari kinerja aktivitas katalis tersebut di dalam sampel yang sudah dipanaskan.

Berdasarkan dari grafik di atas didapatkan hasil setiap % katalis itu berbeda-beda, dapat dilihat bahwa di 20% katalis mendapatkan hasil yang paling banyak diantara yang lainnya. Dapat disimpulkan bahwa % katalis itu berpengaruh tetapi tidak bisa dikatakan bahwa semakin banyak menggunakan % katalis, maka semakin banyak bahan bakar yang didapatkan, terbukti dengan grafik di atas untuk hasil yang didapatkan pun berbeda-beda. Tetapi dalam pengujian ini dapat dikatakan bahwa semakin banyak % katalis yang digunakan maka bahan bakar yang didapatkan akan semakin kental.

#### 4.2 Pengaruh % Katalis Zeolit Terhadap Sifat Uji Fisika

- a. Pengaruh % Katalis Zeolit Terhadap Densitas

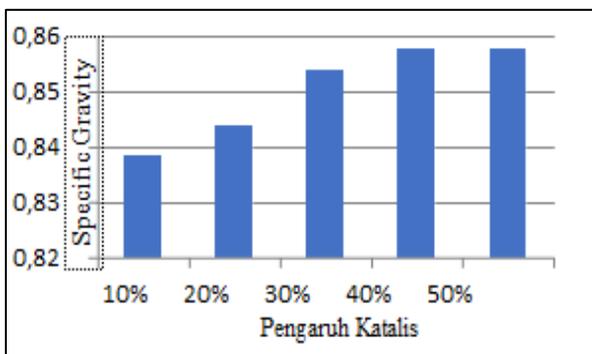


**Gambar 4.2** Hubungan Pengaruh % Katalis Terhadap Densitas

Berdasarkan Gambar 4.2, diketahui bahwa nilai densitas terbesar dicapai oleh variasi katalis zeolit 40% dan 50%, yaitu  $857 \text{ kg/m}^3$ , sedangkan nilai densitas terkecil adalah pengaruh katalis 10% dengan densitas  $832 \text{ kg/m}^3$ . Dapat dikatakan bahwa semakin banyak jumlah katalis yang digunakan pada pembuatan pirolisis, maka akan semakin tinggi nilai densitas dari produk yang dihasilkan. Banyaknya pemakaian katalis sebanding

dengan kenaikan densitas produk. Seperti yang diketahui, bahwa semakin banyak pemakaian katalis maka akan terbentuk residu coke pada sisi aktif katalis, adanya residu mempengaruhi berat jenis dari produk (Isalmi, dkk., 2019). Densitas adalah salah satu sifat fisik yang dapat dijadikan indikasi dalam mengetahui jenis produk atau senyawa tertentu, densitas merupakan salah satu karakteristik yang penting baik dari aspek perhitungankandungan energi maupun faktor konversi satuan dalam jualbeli. Begitupun sama halnya dengan *specific gravity* yang mencerminkan sebagai konversi untuk nilai jual beli suatu produk yang diperoleh dari pengujian densitas yang akan memberikan tingkat gambaran fraksi yang dihasilkan oleh proses pirolisis. Densitas bahan bakar cair dari jenis katalis klinoptilolit telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) Solar sesuai SNI 8220:2017, yaitu berkisar 815 - 860 kg/cm<sup>3</sup>

b. Pengaruh % Katalis Zeolit Terhadap *Specific Gravity*

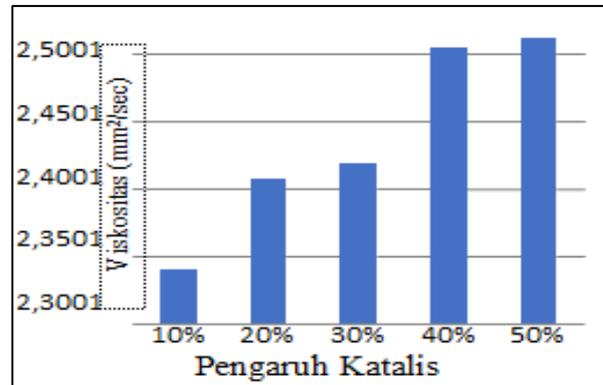


**Gambar 4.3** Hubungan Pengaruh % Katalis Terhadap *Specific Gravity*

Berdasarkan Gambar 4.3, diketahui bahwa nilai *specific gravity* terbesar dicapai oleh pengaruh katalis zeolit 40% dan 50%, yaitu 0,8577, sedangkan nilai densitas terkecil adalah variasi katalis 10% dengan *specific gravity* 0,8383. Semakin banyak jumlah katalis yang digunakan pada pembuatan pirolisis, maka akan semakin tinggi nilai *specific gravity* dari produk yang dihasilkan. Seperti yang diketahui, bahwa semakin banyak pemakaian katalis maka akan terbentuk residu coke pada sisi aktif katalis, adanya residu

mempengaruhi berat jenis dari produk (Isalmi dkk., 2019)

c. Pengaruh % Katalis Zeolit Terhadap Viskositas Kinematik



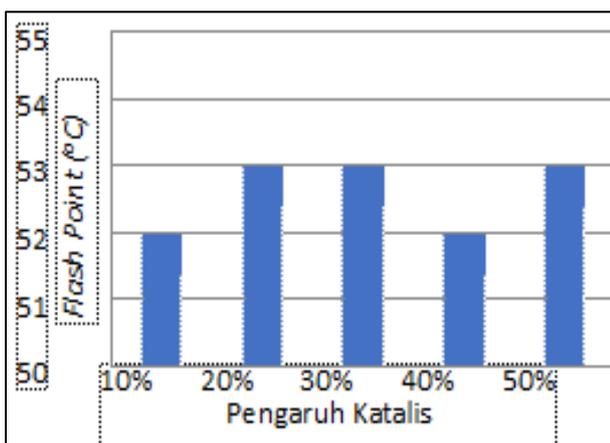
**Gambar 4.4** Hubungan Pengaruh % Katalis Terhadap Viskositas

Berdasarkan Gambar 4.4 diketahui bahwa nilai viskositas terbesar pada katalis zeolit klinoptilolit dengan pengaruh katalis 50%, yaitu 2,5114 mm<sup>2</sup>/sec, sedangkan nilai viskositas terkecil adalah variasi katalis 10%, yaitu 2,3401 mm<sup>2</sup>/sec. Viskositas merupakan kekentalan dari suatu fluida. Viskositas yang diamati merupakan viskositas kinematik, yaitu perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas bahan bakar cair. Viskositas memberikan gambaran sistem pengabutan produk didalam ruang pembakaran. Syarat terbakarnya bahan bakar seperti solar berupa pengabutan karena sangat mempengaruhi nilai viskositas. Pada dasarnya solar terbakar dalam keadaan kabut karena merupakan fraksi berat sedangkan pada *gasoline* terbakar dalam bentuk uap di dalam ruang pembakaran. Dari beberapa sampel variasi katalis klinoptilolit tersebut bahwa telah memenuhi standar viskositas dari bahan bakar cair Standar Nasional Indonesia (SNI) Solar sesuai SNI 8220:2017, yaitu 2,0–4,5 mm<sup>2</sup>/sec. Semakin tinggi viskositas maka akan semakin lama mengalirkan cairan tersebut. Peningkatan dari nilai viskositas ini dipengaruhi dengan waktu yang diperlukan saat pengukuran, dimana semakin banyak persentase katalis yang digunakan, maka waktu yang diperlukan untuk pengukuran viskositas bola jatuh juga

semakin bertambah. Hal ini dikarenakan konsentrasi katalis menyatakan banyaknya partikel zat yang terlarut, sehingga semakin banyak partikel yang terlarut, gesekan antar partikel semakin tinggi dan nilai viskositas akan meningkat. Semakin banyak persentase katalis yang digunakan maka semakin kental produk yang dihasilkan, semakin kecil viskositas maka semakin ringan fraksi yang terkandung di dalam produk. Kenaikan viskositas juga dipengaruhi oleh nilai densitas, semakin tinggi nilai densitas maka semakin kental produk yang dihasilkan. (Isalmi dkk., 2019).

Dalam pengaplikasiannya terhadap bahan bakar diesel, penggunaan viskositas perlu dibatasi. Viskositas yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar, sedangkan viskositas yang terlalu tinggi dapat mempengaruhi kerja cepat alat injeksi bahan bakar dan mempersulit pengabutan bahan bakar minyak serta dapat menyebabkan tetes-tetes minyak akan menumbuk dinding dan membentuk karbon atau mengalir menuju ke karter dan mengencerkan minyak karter.

#### d. Pengaruh % Katalis Zeolit Terhadap *Flash Point*



**Gambar 4.5** Hubungan Pengaruh % Katalis Terhadap *Flash Point*

Dari Gambar 4.4 menunjukkan bahwa ada tiga variasi persentase, yaitu 20%, 30% dan 50% katalis dengan nilai *flash point* tertinggi yang sama, yaitu 53°C, sedangkan nilai *flash point* paling rendah didapatkan di

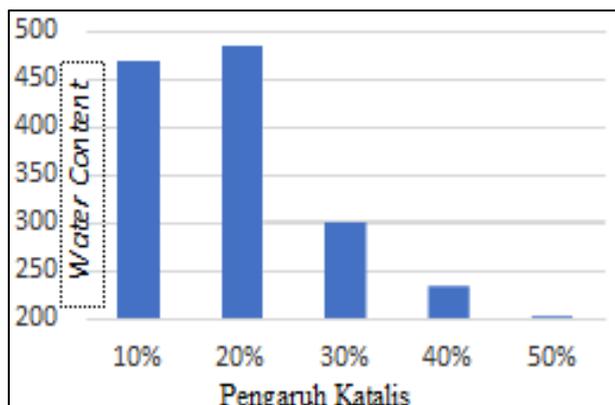
variasi katalis 10% dan 40%, yaitu 52°C. Hal ini sesuai dengan pernyataan Busyairi, dkk. (2020) dimana penambahan katalis menyebabkan titik nyala menjadi lebih kecil sehingga bahan bakar menjadi lebih mudah terbakar dan perambatan api menjadi lebih cepat. *Flash point* atau titik nyala merupakan suhu terendah di mana minyak akan menyala apabila terkena percikan api. Semakin tinggi *flash point* suatu bahan bakar maka akan semakin sulit terbakar. *Flash point* berfungsi sebagai pertimbangan keamanan, penanganan maupun penyimpanan suatu produk.

Selain itu, berkurangnya nilai titik nyala diduga karena komposisi senyawa bahan bakar minyak masih berupa campuran antara fraksi bensin, kerosin, biodiesel, dan senyawa lainnya di mana banyak senyawa hidrokarbon rantai pendek, serta seiring dengan bertambahnya persentase katalis, maka semakin banyak pula sisa katalis dan zat pengotor yang terdapat pada bahan bakar minyak. Variasi katalis tersebut termasuk dalam *flash point* solar 48 yang sesuai dengan standar SNI 8220:2017, yaitu min. 52 °C. (Eldwita et.al., 2020).

*Flash Point* atau titik nyala merupakan suhu terendah di mana minyak akan menyala apabila terkena percikan api. Semakin tinggi *flash point* suatu bahan bakar maka akan semakin sulit terbakar. *Flash point* berfungsi sebagai pertimbangan keamanan, penanganan maupun penyimpanan suatu produk. Dari Gambar 4.4 menunjukkan bahwa ada tiga variasi persentase, yaitu 20%, 30% dan 50% katalis dengan nilai *flash point* tertinggi yang sama yaitu 53°C, sedangkan nilai *flash point* paling rendah didapatkan pada variasi katalis 10% dan 40%, yaitu 52°C. Hal ini sesuai dengan pernyataan Busyairi, dkk. (2020) dimana penambahan katalis menyebabkan titik nyala menjadi lebih kecil sehingga bahan bakar menjadi lebih mudah terbakar dan perambatan api menjadi lebih cepat. Selain itu, berkurangnya nilai titik nyala diduga karena komposisi senyawa bahan bakar minyak masih berupa campuran antara fraksi bensin, kerosin, biodiesel, dan senyawa lainnya dimana banyak senyawa hidrokarbon rantai pendek,

serta seiring dengan bertambahnya persentase katalis, maka semakin banyak pula sisa katalis dan zat pengotor yang terdapat pada bahan bakar minyak. Variasi katalis tersebut termasuk dalam *flash point* solar 48 yang sesuai dengan standar SNI 8220:2017, yaitu min. 52 °C. (Eldwita et.al., 2020).

e. Pengaruh % Katalis Zeolit Terhadap



Water Content

**Gambar 4.6** Hubungan Pengaruh % Katalis Terhadap Water Content

Berdasarkan gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai *water content* terbesar berada pada persentase katalis 20% dengan nilai 484 mg/kg sedangkan nilai *water content* terkecil berada pada persentase katalis 50% yang senilai 202 mg/kg. *Water content* atau kandungan air merupakan sejumlah air yang terkandung di dalam sampel bahan bakar minyak yang biasa digunakan sebagai perencanaan proses pengolahan dan penentuan transaksi nilai jual crude. Suatu produk bahan bakar diesel harus bebas dari kotoran seperti pasir dan air. Kandungan air dapat menyebabkan turunya panas pembakaran sehingga mengganggu pembakaran didalam ruang bakar yang dapat mengurangi energi panas yang dibutuhkan serta dapat meningkatkan korosifitas pada peralatan. Dapat dikatakan juga bahwa semakin banyak katalis yang digunakan maka hasil *water content* juga sedikit seperti pada grafik, dan dapat dikatakan juga jika bahan bakar ini memenuhi kriteria spesifikasi bahan bakar solar 48 dimana maksimal *water content* pada bahan bakar solar 48 adalah 500 mg/kg yang sesuai dengan standar SNI 8220:2017.

## 5. KESIMPULAN

Dari pembahasan tersebut, maka dapat disimpulkan:

1. Limbah plastik seperti *styrofoam* dapat dijadikan bahan bakar minyak dengan proses pirolisis dan didapatkan jenis bahan bakar tersebut adalah solar.
2. Hasil uji sifat fisika dari spesifikasi bahan bakar minyak yang berbahan baku dari limbah plastik *polystyrene* berdasarkan metode *American Standard Testing and Material (ASTM)* sudah sesuai dengan standar dan mutu bahan bakar minyak jenis minyak solar 48 yang dipasarkan di dalam negeri berdasarkan standar SNI 8220:2017.

## DAFTAR PUSTAKA

Apriyanti, M. 2018. *Pirolisis Minyak Sawit Menggunakan Katalis Zeolit dan Karakterisasi Bio Oil yang Dihasilkan*. Skripsi Program Studi Kimia, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.

Hidayat, F. F. D., & Siregar, I. H. 2022. *Uji Karakteristik Minyak Pirolisis Berbahan Baku Limbah Plastik Polypropylene*. *Jtm*, 10(01), 13–20.

<https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/43904>.

Liestiono, R.P., M.S. Cahyono, W. Widyawidura, A. Prasetya, & M. Syamsiro. 2017. *Karakteristik Minyak dan Gas Hasil Proses Dekomposisi Termal Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE)*. *Jurnal OFFSHORE*. 1(2): 1-9.

Lin, Y.H. & H.Y. Yen. 2005. *Fluidised Bed Pyrolysis of Polypropylene Over Cracking Catalysts for Producing Hydrocarbons*. *Polym Degrad Stab*. 89: 101-8.

Nasrun, E. Kurniawan, & I. Sari. 2015. *Pengolahan Limbah Kantong Plastik Jenis Kresek menjadi Bahan Bakar Menggunakan Proses Pirolisis*. *Jurnal Energi Elektrik*. 4(1): 1-5.

Nindita, Velma. 2015. *Studi Berbagai Metode Pembuatan BBM dari Sampah Plastik Jenis LDPE dan PVC dengan Metode Thermal dan Catalytic Cracking (Ni- Cr/Zeolite)*. Semarang: Universitas PGRI Semarang.

Ramadhani, Y., & Kholidah, N. 2019. *Pengaruh Aktivasi Katalis Zeolit terhadap Hasil Pirolisis Limbah Styrofoam*. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, 2(1), 1–11.

Sari, G.L. 2017. *Kajian Potensi Pemanfaatan Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Cair*. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 3(1): 6-13.

Sharuddin, S.D.A., F. Abnisa, W.M.A.W. Daud, & M.K. Aroua. 2016. *A Review on Pyrolysis of Plastic Wastes. Energy Conversion and Management*. 115: 308–326.

Surono. 2013. *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. *Jurnal Teknik*, Vol. 3, No. 1, pp. 32-40.

Surono, U.B. & Ismanto. 2016. *Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET dan PE menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya*. *J. Mek. Sist. Termal*. 1(1): 32-37.

Taufik, I., Sinar, Anggraini, S. P. A., & Melinda. 2021. *Pembuatan Bahan Bakar Diesel dari Limbah Plastik HDPE dengan Proses Pirolisis*. *Jurnal Ilmiah: Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 6(1), 23 – 29.