

Pengaruh Persen Katalis Zeolit Alam Terhadap *Yield* Bahan Bakar Cair Proses Pirolisis dari Limbah Plastik *Polypropylene*

Rara Harlivia*¹, Tahdid², Sahrul Effendy³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia
Email: ¹rarahlivia@gmail.com, ²tahdid@polsri.ac.id, ³sahrul_e@polsri.ac.id

Abstrak

Meningginya konsumsi energi tidak terbarukan tiap tahun terutama minyak bumi sedangkan cadangan minyak bumi di Indonesia semakin menipis dan meningkatnya penggunaan plastik yang tidak seimbang dengan pengolahan limbah merupakan masalah yang dihadapi saat ini. Salah satu upaya yang dapat menangani permasalahan tersebut adalah dengan metode pirolisis. Melalui pirolisis, plastik dapat diolah dengan aman menjadi produk cair yang bisa menjadi alternatif sumber bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh katalis zeolit alam terhadap *yield* yang dihasilkan dan karakteristik dari *yield* tersebut. Bahan baku yang digunakan berupa plastik jenis *polypropylene* dan katalis zeolit alam dengan variasi 0%, 2%, 4%, 6% dan 8%, pada penelitian ini dilakukan dengan menganalisis pengaruh variasi katalis zeolit dengan temperatur $200 \pm 10^\circ\text{C}$ dan waktu 180 menit. Berdasarkan penelitian yang dilakukan %*yield* terbanyak didapatkan pada persen katalis 8% sebanyak 88,93%. Katalis zeolit alam berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Semakin besar persen zeolit alam berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan dimana semakin besar persen zeolit alam maka nilai persen *yield*, densitas dan viskositas yang dihasilkan akan semakin naik, akan tetapi berbanding dengan nilai °API dan nilai kalor yang menurun seiring dengan bertambahnya persen zeolit alam. Nilai *yield* tertinggi didapatkan pada zeolit alam 8% sebesar 88,93% sedangkan terendah pada zeolit alam 0% dengan persentase *yield* sebesar 65,96%. Karakteristik produk yang dihasilkan mendekati standar bensin dengan nilai densitas 0,7889–0,7967 gr/ml, viskositas sebesar 0,9712–1,1126 cSt, °API sebesar 45,78–47,33°, nilai kalor sebesar 11.067,1–11.093,0 kal/gr dan titik nyala sebesar 23°C.

Kata kunci: *Pirolisis, Plastik, Polypropylene, Zeolit.*

The Effect of Percentage of Natural Zeolit Catalyst on Liquid Fuel Yield from Polypropylene Plastic Waste

Abstract

The increasing consumption of non-renewable energy every year, especially petroleum, while oil reserves in Indonesia are running low and the increasing use of plastics that is not balanced with waste treatment is a problem faced today. One of the efforts that can overcome these problems is the pyrolysis method. Through pyrolysis, plastic can be safely processed into a liquid product that can be an alternative fuel source. This study aims to determine the effect of natural zeolite catalyst on the yield produced and the characteristics of the yield plastic polypropylene and natural zeolite catalyst with variations of 0%, 2%, 4%, 6% and 8%, in this study, this study was carried out by analyzing the effect of variations in zeolite catalyst with a temperature of $200 \pm 10^\circ\text{C}$ and a time of 180 minutes. Based on the research conducted, the highest %yield was obtained at 8% catalyst percentage as much as 88.93%. Natural zeolite catalyst affects the resulting product. The greater the percentage of zeolite Natural zeolite has an effect on the resulting product where the greater the percent of natural zeolite, the value of the percent yield, density and viscosity produced will increase, but compared to the °API value and calorific value which decreases along with the increase in the percent of natural zeolite. The highest yield was found in 8% natural zeolite at 88.93% while the lowest was in 0% natural zeolite with a yield of 65.96%. The characteristics of the resulting product are close to the standard gasoline with a density value of 0.7889–0.7967 gr/ml, a viscosity of 0.9712–1.1126 cSt, °API are 45.78–47.33°, calorific value are 11.067,1–11.093.0 cal/gr and flash point is 23°C.

Keywords: *Plastic, Polypropylene, Pyrolysis, Zeolite.*

1. PENDAHULUAN

Konsumsi energi dan limbah sampah plastik tidak terkelola yang mengalami peningkatan merupakan dua permasalahan yang muncul seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk. Pada 2020, sebesar 364,44 juta Barrels Oil Equivalent (BOE) konsumsi energi pada sektor transportasi dimana proporsinya mencapai 43,11% dari total konsumsi energi akhir di Indonesia yang sebesar 845,15 juta BOE [1]. Menipisnya cadangan energi tidak terbarukan, seperti gas bumi, batu bara, dan minyak bumi didukung dengan pernyataan dari Rencana Strategis (Renstra) Kementerian ESDM Tahun 2015–2019 yang memperkirakan dalam 13 tahun mendatang cadangan minyak bumi Indonesia akan habis dengan jumlah yang ada saat ini sebesar 3,6 miliar barel [2]. Transportasi merupakan kebutuhan yang tidak dapat dihindari, salah satunya dalam pemenuhan kebutuhan aktivitas ekonomi seperti pemindahan barang dan orang yang menimbulkan tingginya tingkat ketergantungan impor minyak dan bahan bakar. Upaya penggantian BBM (Bahan Bakar Minyak) dengan alternatif bahan bakar lainnya merupakan sesuatu hal yang penting untuk dilakukan apalagi di era transisi energi global saat ini. Selain itu, 6,8 juta ton sampah plastik per tahun dihasilkan di Indonesia dan 61% tidak terkelola. Jenis plastik yang paling banyak dijumpai mencemari lingkungan adalah kemasan makanan, minuman, dan berbagai jenis kantong plastik jenis *Polypropylene* sebesar 30,19% [3].

Pemanfaatan limbah plastik yang tidak terkelola tersebut dapat dilakukan dengan cara aman dan tepat, salah satunya dikonversikan menjadi bahan bakar cair melalui pirolisis. Pirolisis adalah proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Proses pirolisis sendiri mengubah senyawa hidrokarbon rantai panjang pada plastik menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih pendek dan dapat dijadikan bahan bakar alternatif [4]. Bahan bakar cair dari pirolisis plastik ini dapat menjadi jawaban dari menipisnya cadangan energi di Indonesia, disamping itu plastik yang dikelola melalui proses pirolisis ini dapat menjadi penyelesaian masalah dari banyaknya timbunan sampah plastik yang tidak terkelola. Parameter proses yang mempengaruhi hasil produk pirolisis adalah jenis plastik, laju pemanasan, ukuran partikel, waktu dan suhu pirolisis. Dalam proses pirolisis, penambahan katalis dibutuhkan karena katalis dapat meningkatkan hasil minyak pirolisis. Katalis berguna untuk menurunkan energi yang terjadi pada proses pembakaran [5]. Proses pirolisis dengan menggunakan katalis ini disebut dengan metode katalitik pirolisis.

Polypropylene sebanyak 100 gram dengan menggunakan persen katalis zeolit alam 0,5%, 1% dan 1,5% serta suhu 350°C, direaksikan dalam waktu 30 dan 60 menit. Didapatkan *yield* tertinggi pada waktu 60 menit yaitu 27,31%; 71,94%; dan 76,82% dengan temperatur proses berturut-turut 350 °C, 400 °C dan 450°C. Adanya hasil persen *yield* yang belum mencapai 50% tersebut dapat dikarenakan variasi waktu dan persen katalis yang singkat dan kecil [6]. Penelitian lainnya, menggunakan bahan baku berupa *Polypropylene* dengan variasi waktu 30 menit, 40 menit dan 50 menit didapatkan hasil % *yield* tertinggi pada menit ke-50 menit dengan 8,46% atau 33 ml *yield* dimana masih terbilang sedikit dikarenakan variasi waktunya yang singkat [7].

Dari permasalahan di atas, maka lingkup penelitian ini adalah untuk mengembangkan proses konversi limbah kantong plastik jenis *Polypropylene* (PP) menjadi bahan bakar cair yang dilakukan dengan menggunakan berbagai kajian terhadap variasi persen katalis sebesar 0, 2, 4, 6 dan 8% dengan waktu pirolisis 180 menit dan temperatur pirolisis sebesar 200±10°C untuk mengetahui pengaruh persen zeolit alam terhadap *yield* yang dihasilkan dan menganalisis karakteristik *yield* bahan bakar cair dengan spesifikasi yang lebih mendekati bensin, *kerosene* atau solar.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian adalah satu unit alat Reaktor Pirolisis (terdiri dari 2 separator berjenis *flash drum vertical separator*, 1 reaktor pirolisis, 1 blower, 1 kondenser, 1 tangki produk 1, 1 tangki produk 2 dan 1 tangki air pendingin), piknometer, gelas ukur, viskometer, corong pisah, gelas kimia, *bomb calorimeter*, pipet tetes, *flash point* dan gelas kimia.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari plastik *polypropylene*, tempurung kelapa dan katalis zeolit alam.

2.2. Preparasi Bahan Baku dan Bahan Bakar

Bahan baku limbah plastik jenis *Polypropylene* (PP) diperoleh dari tempat pembuangan akhir di kota Palembang, lingkungan kampus ataupun rumah sebanyak ± 35 kg. Sebelum digunakan dilakukan preparasi dimulai dengan membersihkan sampah plastik dari kotoran lalu kemudian dikeringkan dengan cara dijemur. Setelah kering, limbah kantong plastik digulung dengan cara diremas agar volume plastik tidak berubah. Total massa bahan baku sampah kantong limbah plastik yang digunakan sebanyak 7 kg, limbah ini akan dimasukkan kedalam Unit Reaktor Pirolisis dan selanjutnya akan dilakukan proses pirolisis dengan cara memanaskan reaktor di furnace dengan menggunakan bahan bakar tempurung kelapa.

Bahan bakar yang akan digunakan adalah tempurung kelapa yang didapatkan dari penjual kelapa. Tempurung kelapa yang akan digunakan sebagai bahan bakar harus dijemur terlebih dahulu agar mudah, serta diperkecil ukurannya menjadi ± 5 cm agar bisa dimasukkan ke dalam ruang bakar (*furnance*). Tempurung kelapa dimasukkan secara bertahap sebanyak 13kg/menit hingga mencapai nyala api yang optimal.

2.3. Preparasi Katalis Zeolit Alam

Melakukan aktivasi dengan merendam zeolit ke dalam larutan HCl konsentrasi 37 % sebanyak 10 % selama 24 jam. Zeolit yang telah dilakukan proses perendaman dengan menggunakan HCl selama 24 jam, selanjutnya dicuci dengan menggunakan aquades hingga pH netral kemudian disaring. Selanjutnya mengeringkan zeolit menggunakan oven pada temperatur 300 °C selama 2 jam.

2.4. Proses Pirolisis Plastik *Polypropylene*

Bahan baku limbah kantong plastik jenis PP yang sudah melalui proses preparasi, dimasukkan ke dalam Reaktor pirolisis sebanyak 7 kg, lalu memasukkan katalis zeolit alam yang sudah diaktivasi ke dalam reaktor sebanyak masing-masing 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% per percobaan lalu menutup reaktor dengan rapat agar tidak terjadi kebocoran. Setelah api menyala optimal stopwatch mulai dihidupkan dan pada proses tersebut pembakaran dilakukan selama 180 menit dengan temperatur $200\pm 10^{\circ}\text{C}$. Tempurung kelapa yang digunakan sebagai bahan bakar sebanyak 40 kg yang telah dilakukan preparasi dimasukkan ke ruang bakar sebanyak 3-4kg/15 menit sampai api menyala optimal. Proses konversi limbah plastik dimulai dengan bahan bakar cair yang mengalir ke tangki *separator* 1 berjenis *flash drum vertical separator* untuk dilakukan proses pemisahan antara fraksi cair dan gas. Terdapat 2 produk berupa bahan bakar cair dan gas yang keluar dari separator 1 ini. Produk akan mengalir menuju tangki produk 1 dan dinamakan bahan bakar cair 1 (BBC1) yang juga terdapat lilin pada *yield* yang dihasilkan. Sedangkan gas akan mengalir menuju separator 2 yang juga berjenis *flash drum vertical separator*, dimana gas tersebut akan diseparasi lagi antara gas $\text{C}_1\text{-C}_4$ dan komponen C_5 ke atas yang belum terseparasi sempurna pada separator 1 dengan gas yang tidak bisa dikondensasi dan akan menjadi *gas loses*. Pada kondensor, komponen tersebut dikondensasi menghasilkan produk 2 berupa bahan bakar cair 2 (BBC2) dan terdapat residu. Lilin dan residu yang tercampur pada BBC 1 dan BBC 2 dipisahkan menggunakan corong pemisah. Setelah terpisah, BBC1 dan BBC2 akan dilakukan analisa hasil *yield*-nya.

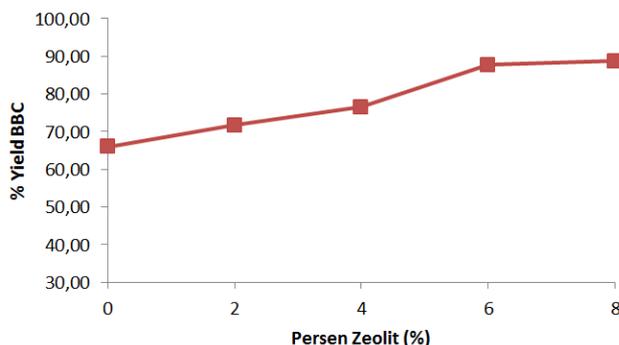
2.5. Karakterisasi

Analisa yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisa *yield*, densitas dengan metode ASTM D-1298, API *Gravity* dengan metode ASTM D-287-12b, viskositas dengan metode ASTM D-445, nilai kalor dengan metode perhitungan menggunakan rumus pada buku *Handbook of Refinery Desulfurization 2022* dan titik nyala dengan metode ASTM D-93.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Porsen Katalis Zeolit Alam Terhadap Porsen *Yield*

Hubungan antara porsen katalis zeolit alam terhadap porsen *yield* BBC yang dihasilkan dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



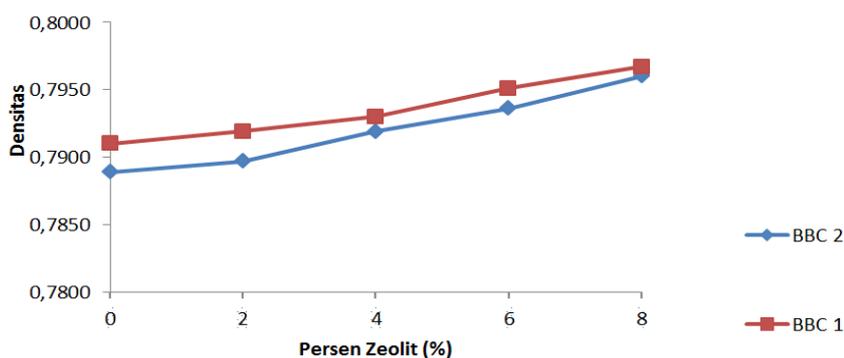
Gambar 1. Grafik Pengaruh Porsen Katalis Zeolit Alam Terhadap Porsen *Yield*

Pada Gambar 1. menunjukkan bahwa porsen *yield* bahan bakar cair cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya porsen zeolit yang digunakan. Porsen *yield* dari jumlah BBC1 dan BBC2 tertinggi

didapati pada zeolit alam 8% dengan persentase *yield* sebesar 88,93% sedangkan terendah pada zeolit alam 0% dengan persentase *yield* sebesar 65,96%. Hal ini dikarenakan energi aktivasi yang diturunkan melalui percepatan laju reaksi oleh katalis zeolit alam. Sesuai dengan teori Arrhenius, meningkatnya laju reaksi pembentukan produk yang terjadi karena energi aktivasi diturunkan. Dengan kata lain, energi aktivasi sendiri berbanding terbalik dengan laju reaksi, sehingga jika ingin meningkatkan persen *yield* produk maka kecepatan reaksi juga harus ditingkatkan dengan penambahan penggunaan katalis. Katalis zeolit alam mempunyai rasio Silika-Alumina yang tinggi dan ukuran pori yang kecil, hal ini menyebabkan katalis zeolit alam memberikan hasil gas yang lebih banyak sehingga perolehan *yield* yang dihasilkan semakin meningkat [8].

3.2. Pengaruh Persen Katalis Zeolit Alam Terhadap Densitas

Hubungan antara persen katalis zeolit alam terhadap densitas BBC1 dan BBC2 yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

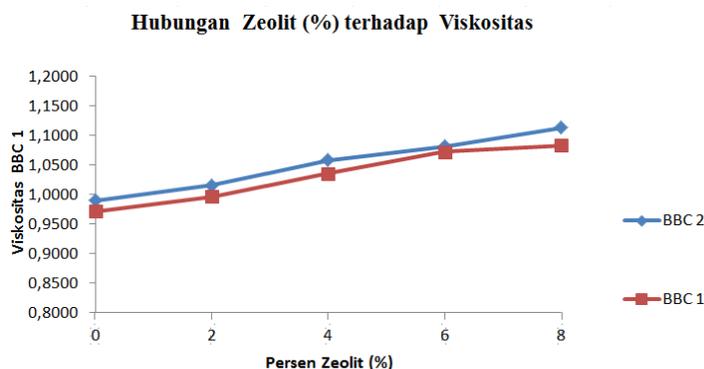


Gambar 2. Grafik Pengaruh Persen Katalis Zeolit Alam Terhadap Densitas

Pada Gambar 2. menunjukkan bahwa semakin besar persen zeolit, maka nilai densitasnya akan naik. Nilai densitas BBC1 dan BBC2 tertinggi didapati pada zeolit alam 8% dengan nilai densitas berturut-turut sebesar 0,7967 gr/ml dan 0,7960 gr/ml, sedangkan terendah pada zeolit alam 0% dengan nilai densitas berturut-turut sebesar 0,7910 gr/ml dan 0,7889 gr/ml. Hal ini dikarenakan adanya residu yang mempengaruhi berat jenis dari produk, di mana residu *coke* tersebut terbentuk pada sisi aktif katalis yang disebabkan banyaknya pemakaian katalis pada proses pirolisis [9]. Katalis zeolit alam mempunyai banyak zat pengotor yang dapat mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Menurut Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 0177 K/10/DJM.T/2018, densitas bensin yaitu sebesar 0,715-0,770 gr/ml [10]. Nilai-nilai densitas yang didapatkan pada penelitian ini, sedikit melebihi dari standar densitas bensin namun tidak jauh dari standar yang ditentukan.

3.3. Pengaruh Persen Katalis Zeolit Alam Terhadap Viskositas

Hubungan antara persen katalis zeolit alam terhadap viskositas BBC1 dan BBC2 yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



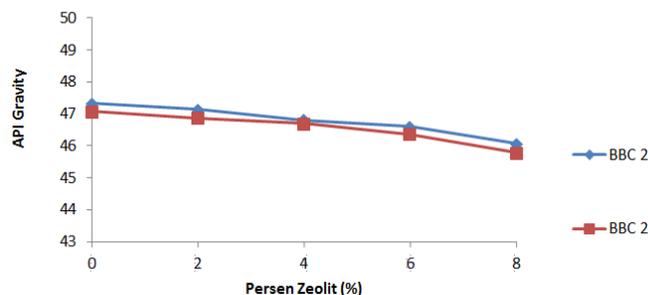
Gambar 3. Grafik Pengaruh Persen Katalis Zeolit Alam Terhadap Viskositas

Pada Gambar 3. menunjukkan bahwa semakin besar persen zeolit, maka nilai viskositasnya akan naik. Jarak waktu bola jatuh pada pengukuran viskositas semakin bertambah seiring dengan banyaknya persentase

katalis yang digunakan, dimana hal tersebut mempengaruhi pengukuran nilai viskositas. Hal ini dikarenakan banyaknya partikel zat yang terlarut dinyatakan melalui konsentrasi katalis, sehingga gesekan antar partikel semakin tinggi seiring dengan banyaknya partikel terlarut dan nilai viskositas akan semakin meningkat. Persentase katalis yang semakin banyak berbanding lurus dengan semakin kentalnya produk yang dihasilkan, semakin kecil viskositas berbanding lurus dengan semakin ringannya fraksi yang terdapat pada produk [11]. Viskositas turut di pengaruhi juga oleh densitas, dimana viskositas berbanding lurus dengan densitas. Viskositas akan semakin tinggi jika semakin berat massa jenis cairannya, karena semakin berat massa jenis maka semakin banyak partikel yang terkandung di dalamnya yang menghambat aliran fluida karena partikelnya bergesekan [12]. Nilai viskositas BBC1 dan BBC2 tertinggi didapati pada zeolit alam 8% dengan nilai densitas berturut-turut sebesar 1,0827 cSt dan 1,1126 cSt, sedangkan terendah pada zeolit alam 0% dengan nilai densitas berturut-turut sebesar 0,9712 cSt dan 0,9902 cSt. Standar nilai viskositas untuk bahan bakar cair jenis bensin sesuai dengan mutu internasional yang dikeluarkan oleh *Shell Petroleum Canada* tahun 1999 adalah <1 cSt.

3.4. Pengaruh Persen Katalis Zeolit Alam Terhadap API Gravity (°API)

Hubungan antara persen katalis zeolit alam terhadap API Gravity dari BBC1 dan BBC2 pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.

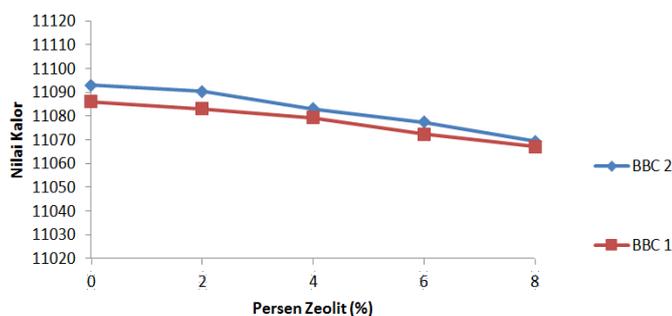


Gambar 4. Grafik Pengaruh Persen Katalis Zeolit Alam Terhadap API Gravity

Pada Gambar 4. menunjukkan bahwa semakin besar persen zeolit, maka nilai API Gravity-nya akan turun. API Gravity berbanding terbalik dari nilai densitas. Nilai API Gravity BBC1 dan BBC2 tertinggi didapati pada zeolit alam 0% dengan nilai densitas berturut-turut sebesar 47,08° dan 47,33°, sedangkan terendah pada zeolit alam 8% dengan nilai densitas berturut-turut sebesar 45,78° dan 46,07°. Hal ini menunjukkan bahwa nilai °API sesuai dengan teori, yaitu nilai °API minyak bumi lebih besar dari °API air yaitu 10. Pada penelitian kali ini, nilai °API tergolong kedalam *lights oil* atau minyak mentah ringan karena >30. Minyak ringan merupakan minyak bumi cair yang memiliki kepadatan rendah dimana minyak tersebut memiliki viskositas yang rendah dan °API yang tinggi.

3.5. Pengaruh Persen Katalis Zeolit Alam Terhadap Nilai Kalor

Hubungan antara persen katalis zeolit alam terhadap nilai kalor dari BBC1 dan BBC2 yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Persen Katalis Zeolit Alam Terhadap Nilai Kalor

Pada Gambar 5. menunjukkan bahwa semakin besar %zeolit, maka nilai kalornya akan rendah. Pada penelitan kali ini, dapat dilihat bahwa nilai kalor berbanding terbalik dengan nilai densitas produk yang

dihasilkan. Nilai kalor BBC1 dan BBC2 tertinggi didapati pada zeolit alam 0% dengan nilai densitas berturut-turut sebesar 11.086,1 kal/gr dan 11.093,0 kal/gr, sedangkan terendah pada zeolit alam 8% dengan nilai densitas berturut-turut sebesar 11.067,1 kal/gr dan 11.069,4 kal/gr. Nilai kalor yang rendah dikarenakan produk gas *non condensable* semakin banyak dengan bertambahnya persen katalis zeolit alam sehingga terjadi penurunan pada nilai kalor produk. Menurut standar pada *Handbook of Refinery Desulfurization 2022*, nilai kalor bensin berkisar antara 11.000-11.500 kal/gr [13]. Dari hasil yang didapatkan pada penelitian ini, produk yang didapatkan sudah masuk standar bensin.

3.6. Analisa Titik Nyala

Pada penelitian ini, analisis titik nyala diambil dari sampel dengan % *yield* terbanyak yaitu sampel dengan persen katalis 8% dan didapatkan nilai titik nyala sebesar 23°C. Titik nyala tersebut masih terbilang rendah jika dibandingkan dengan titik nyala solar, yaitu 52°C menurut Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi No: 28.K/10/DJM.T/2016 namun lebih tinggi jika dibandingkan dengan standar titik nyala bensin dari *Engineering Tool Box* sebesar -43°C [14],[15]. Tingginya nilai titik nyala dapat dikarenakan masih adanya campuran antara fraksi biodiesel, bensin, kerosin dan senyawa lainnya di dalam komposisi senyawa produk, dimana banyak senyawa hidrokarbon rantai panjang, serta banyaknya sisa katalis dan zat pengotor yang terdapat pada produk bahan bakar cair dengan seiring ditambahkan persentase katalis [16].

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dalam penelitian ini berupa, katalis zeolit alam berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan dimana semakin besar persen zeolit alam maka nilai persen *yield*, densitas dan viskositas yang dihasilkan akan semakin naik, akan tetapi berbanding dengan nilai °API dan nilai kalor yang menurun seiring dengan bertambahnya persen zeolit alam. Nilai *yield* tertinggi didapatkan pada zeolit alam 8% sebesar 88,93% sedangkan terendah pada zeolit alam 0% dengan persentase *yield* sebesar 65,96%. Karakteristik produk yang dihasilkan mendekati standar bensin dengan nilai densitas 0,7889–0,7967 gr/ml, viskositas sebesar 0,9712–1,1126 cSt, °API sebesar 45,78–47,33°, nilai kalor sebesar 11.067,1–11.093,0 kal/gr dan titik nyala sebesar 23°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. A. Dihni, "Sektor Transportasi, Pengguna Energi Terbesar di Indonesia pada 2020," 2021. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/12/02/sektor-transportasi-pengguna-energi-terbesar-di-indonesia-pada-2020> (accessed Aug. 26, 2022).
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Resntra KESDM 2015-2019," 2015. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/Resntra_KESDM.pdf (accessed Aug. 21, 2022).
- [3] P. Purwaningrum, "Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik Di Lingkungan," *Indones. J. Urban Environ. Technol.*, vol. 8, no. 2, pp. 141, 2016, doi: 10.25105/urbanenvirotech.v8i2.1421.
- [4] K. Endang, G. Mukhtar, A. Nego, and F. A. Sugiyana, "Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metoda Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak," *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*, ISSN 1693-439, pp.1–7, 2016.
- [5] Ermawati and Rahyani, "Konversi Limbah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif," *Jurnal Riset Industri.*, vol.3, pp. 257-263, 2011.
- [6] A. O. Priyatna, Zuktiniar, dan E. Saputra, "Perengkahan Katalitik Limbah Plastik Jenis *Polypropylene* (PP) Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Katalis Zeolit Alam," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 13, no.1, pp. 11-17, 2014.
- [7] Y. P. Anggono, N. Ilminnafik, dan A. A. Rosyadi, "Pengaruh Katalis Zeolit Alam Pada Pirolisis Plastik *Polyethylene Terephthalate* dan *Polypropylene*," *Jurnal Energi dan Manufaktur*, vol. 13, no. 1, pp. 22-27, 2020.
- [8] M. T. A. Rahman, S. Daud, and M. Reza, "Pengaruh Suhu dan Persen Katalis Zeolit Terhadap Yield Pirolisis Limbah Plastik *Polypropylene* (PP)," *JOM FTEKNIK*, vol. 4, no. 2, pp. 1-7, 2017.
- [9] Isalmi, Aziz, M. A. Tafdila, S. Nurbayti, L. Adhani, and W. Permata, "Upgrading Crude Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas menggunakan Katalis Zeolit," *Jurnal Kimia Valensi*, vol. 5, no. 1, pp. 79-86, 2019.
- [10] Kepdirjen Migas. *Standar dan Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin RON 98 (Pertamax Turbo) yang Dipasarkan di dalam Negeri*. Indonesia, 2018.

- [11] K. Eldwita, S. D. Lestari, S. A. Effendy, and Fatria, "Pengaruh Jumlah Katalis dan Temperatur Pada Produksi Bahan Bakar Cair Ban Bekas Dengan Metode Perengkahan Katalitik," *Jurnal Kinetika*, vol. 11, no. 2, pp.19-25, 2020.
- [12] G. H. D Adoe, W. Bunganaen, I. F. Krisnawi, and F. A. Soekwanto, "Pirolisis Sampah Plastik PP (Polypropylene) menjadi Minyak Pirolisis sebagai Bahan Bakar Primer," *Lontar Jurnal Teknik Mesin Udana*, vol. 3, no. 1, pp.17-26, 2016.
- [13] N. S. El-Gendy, E. G. James, *Handbook of Refinery Desulfurization*. London SWIP 1WG UK, 2020.
- [14] Kepdirjen Migas. *Perubahan Kedua Atas Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 3675.K/24/DJM/2006. Tentang Standar Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Solar yang dipasarkan dalam Negeri*. Indonesia, 2016
- [15] The Engineering Tool Box, "Flash Points," 2005. https://www.engineeringtoolbox.com/flash-point-d_924.html (accessed Aug. 12, 2022).
- [16] Busyairi, Muhammad, A. Z. Muttaqin, I. Meicahyanti, and Saryadi, "Potensi Minyak Jelantah sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis serta Waktu Reaksi terhadap Kualitas Biodiesel melalui Proses Transesterifikasi," *Serambi Engineering*, vol. 5, no. 2, 2020.