

PENGARUH JUMLAH KATALIS DAN TEMPERATUR PADA PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR DARI BAN BEKAS DENGAN METODE PERENKAHAN KATALITIK

EFFECT OF THE AMOUNT OF CATALYST AND TEMPERATURE ON THE PRODUCTION OF LIQUID FUEL FROM USED TYRES USING CATALYTIC CRACKING METHOD

Kinia Eldwita^{*1}, Suci Dwi Lestari^{*1}, Sahrul Effendy A.¹, Fatria¹

¹Program Studi Teknik Energi Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Besar, Palembang 30139, Telp. 0711-353414

*email: eldwitakinia@rocketmail.com, lestarisucidwi62@gmail.com

ABSTRACT

Production of the domestic tyre industries in 2019 reached 150,2 million units. With a five-year lifespan for car tyre and two-year lifespan for motorcycle tyre, it is estimated that millions of used tyres are waste and have the potential to damage the environment. Therefore some effort is needed to recycle and convert used tyres to be more useful product. Pyrolysis (catalytic cracking), that is thermal treatment method, can degrade polystyrene which is the constituent material of tyres back into hydrocarbon compounds. This research was conducted to see the effect of temperature and catalyst percentage on liquid fuel that have obtained by using two type of catalysts. From this study it is known that entire samples meet SNI 8220:2017 for diesel fuel 48 where the sample with γ - Al_2O_3 catalyst at a temperature of 350 °C gives the best result with density of 0.83204 gram/cm³, viscosity of 3.41908 cSt, and flash point of 62 °C.

Keywords: catalytic cracking, used tyres, γ - Al_2O_3 catalyst, natural zeolite catalyst

1. PENDAHULUAN

Berkurangnya cadangan minyak bumi menjadi permasalahan yang sangat serius dihadapi oleh banyak negara, termasuk Indonesia. Di Indonesia, produksi minyak bumi hanya sebesar 283 juta barel di tahun 2018, sementara kebutuhan BBM dalam negeri pada tahun 2018 sebesar 465,7 juta barel (Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2018).

Beberapa upaya yang telah dilakukan oleh pemerintah untuk mengatasi ketergantungan terhadap energi tidak terbarukan tersebut di antaranya adalah dengan mengembangkan sumber energi alternatif, batubara, hidrogen, nuklir, dan lain-lain. Namun, penelitian dan pengembangan energi baru hanya berfokus pada pengembangan dari bahan nabati, tambang, dan nuklir. Padahal masih banyak sumber energi lain yang berpotensi cukup besar untuk dijadikan sumber energi alternatif (Nugraha dkk., 2013), salah satunya adalah limbah ban bekas.

Ban berbahan dasar karet merupakan polimer sintesis polistirena yang tidak bisa didaur ulang dengan mudah sehingga harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak merusak lingkungan. Ban bekas ini akan mencemari lingkungan karena tidak dapat terdekomposisi dengan mudah (memerlukan puluhan bahkan ratusan tahun) tanpa adanya perlakuan khusus. Ban bekas yang ada pada saat ini pada umumnya hanya dibuat kerajinan dan ditimbun, menghasilkan bahan bakar cair, karena ban karet merupakan polimer polistirena yang dapat menghasilkan hidrokarbon yang

merupakan bahan dasar energi dan kimia. *Polystyrene* yang merupakan senyawa petrokimia merupakan polimer termoplastik sehingga dapat terdegradasi dengan perlakuan termal. Metode perlakuan termal yang bisa digunakan salah satunya adalah pirolisis (Naimah dkk., 2012).

Pirolisis menguraikan bahan organik dan anorganik secara kimia melalui pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen (Saputra dkk., 2015). Proses ini melibatkan penguraian termal molekul kompleks hidrokarbon menjadi molekul hidrokarbon yang lebih sederhana (Budsareechai dkk., 2019). Proses pirolisis berlangsung pada temperatur 250-900 °C (Hanani dan Damayanti, 2015). Gas yang terbentuk melalui proses pemanasan kemudian dikondensasikan sehingga menghasilkan minyak (Sari, 2017). Minyak inilah yang nantinya akan diambil sebagai bahan bakar cair.

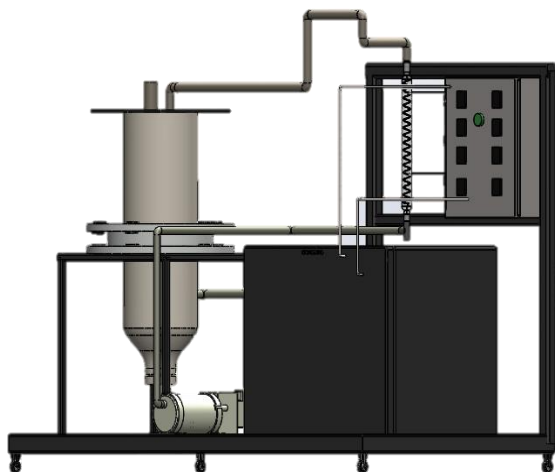
Pada penelitian ini digunakan katalis γ - Al_2O_3 dan zeolit alam sebagai katalis untuk menurunkan temperatur reaksi, mempercepat reaksi dekomposisi, dan memperbaiki kualitas produk

Gamma alumina adalah kelompok alumina aktif yang banyak digunakan sebagai katalis dan adsorben. γ - Al_2O_3 stabil dalam proses katalis dan pada suhu tinggi, mudah dibentuk dalam proses pembuatannya dan tidak mahal. Sebagai katalis gamma alumina (γ - Al_2O_3) memiliki karakteristik luas permukaan yang besar (50-300 m²/g), *mesopore size* (5-15 nm), *pore volume* (0,6 cm³/g), dan stabilitas termal tinggi (Samadhi. dkk., 2011).

Zeolit alam memiliki rumus kimia $M_{a/n}[(AlO_2)_a(SiO_2)_b].wH_2O$. Zeolit digunakan sebagai katalis memiliki aktivitas dan selektivitas yang tidak biasa untuk berbagai variasi reaksi katalis asam yang sebagian besar disebabkan sifat keasaman.

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ban bekas yang diambil dari beberapa bengkel yang ada di Kota Palembang. Sebelum digunakan, ban bekas dicuci terlebih dahulu kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari lalu dicacah ke dalam ukuran 1×1 cm. Katalis yang digunakan adalah γ - Al_2O_3 dan zeolit alam. Rancangan reaktor *catalytic cracking* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Reaktor *Catalytic Cracking*

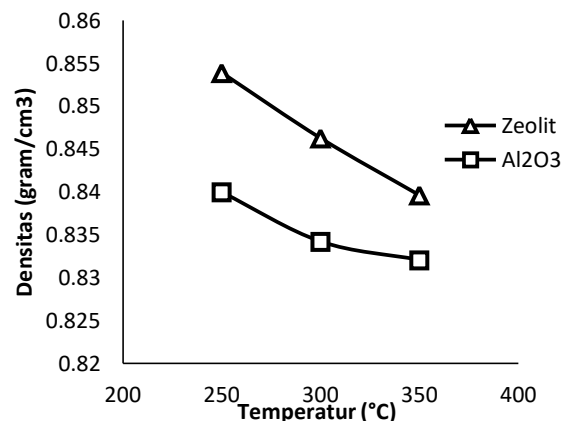
Ban bekas yang telah dipreparasi kemudian dimasukkan ke dalam reaktor sebanyak 500 gram. Kemudian menambahkan katalis zeolit / aluminium oksida sebanyak variasi yang digunakan. Setelah itu memanaskan limbah ban dan katalis di dalam reaktor dengan elemen pemanas *ceramic heater* dengan variasi temperatur yang akan digunakan dalam waktu 3 jam. Hasil pemanasan limbah ban dan katalis akan menghasilkan uap yang akan dialirkan menuju kondenser. Kemudian mendinginkan uap dengan menyuplai air pendingin, temperatur dijaga agar tetap berada di bawah $20^\circ C$. Terakhir tampung bahan bakar cair dari kondenser menggunakan wadah penampung.

Analisis karakteristik bahan bakar cair yang diuji adalah analisis densitas (ASTM D-1298), titik nyala (ASTM D-93), dan viskositas (ASTM D445).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Temperatur terhadap Densitas

Densitas atau massa jenis merupakan jumlah massa per jumlah volume dari suatu cairan. Densitas merupakan indikator banyaknya zat pengotor hasil reaksi. Jika massa jenis suatu bahan bakar melebihi ketentuan, maka akan meningkatkan keausan mesin dan menyebabkan kerusakan mesin.

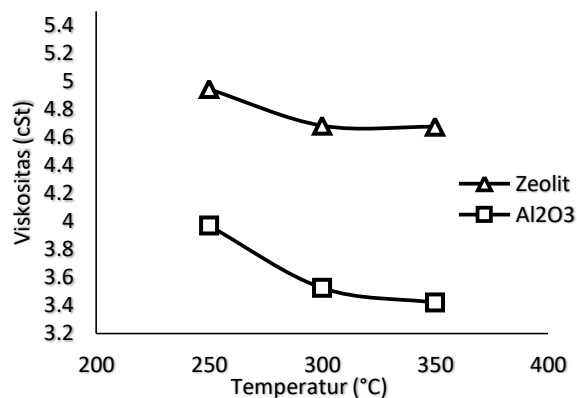


Gambar 2 Pengaruh Temperatur terhadap Densitas

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada katalis zeolit, densitas terendah dihasilkan pada temperatur $250^\circ C$ sebesar $0,83962 \text{ gram/cm}^3$ sedangkan densitas tertinggi dihasilkan pada temperatur $350^\circ C$ sebesar $0,85388 \text{ gram/cm}^3$. Dan pada katalis γ - Al_2O_3 , densitas terendah dihasilkan pada temperatur $250^\circ C$ sebesar $0,83204 \text{ gram/cm}^3$ sedangkan densitas tertinggi dihasilkan pada temperatur $350^\circ C$ sebesar $0,83998 \text{ gram/cm}^3$. Menurut Endang dkk. (2016) hal ini disebabkan karena pada temperatur rendah minyak pirolisis yang dihasilkan cenderung membentuk lilin, sehingga semakin tinggi temperatur operasi pirolisis maka lilin yang terkandung di dalam minyak pirolisis akan berkurang sehingga massa bahan bakar cair semakin rendah. Densitas bahan bakar cair yang diperoleh, baik dengan katalis zeolit maupun γ - Al_2O_3 termasuk dalam densitas diesel (solar 48) yang sesuai dengan standar SNI 8220:2017, yaitu $0,815$ - $0,870 \text{ gram/cm}^3$.

3.2 Pengaruh Temperatur terhadap Viskositas

Viskositas merupakan kekentalan dari suatu fluida. Viskositas berhubungan dengan gaya gesek antar lapisan fluida ketika satu lapisan bergerak ke lapisan yang lain. Viskositas yang diamati merupakan viskositas kinematik, yaitu perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas BBC.



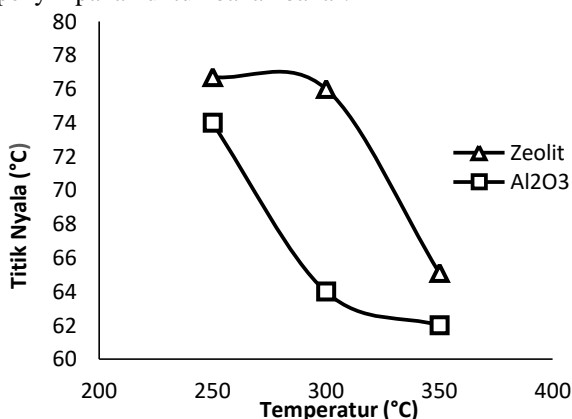
Gambar 3 Pengaruh Temperatur terhadap Viskositas

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada katalis zeolit, viskositas terendah dihasilkan pada temperatur

350 °C sebesar 4,67453 cSt sedangkan viskositas tetinggi dihasilkan pada temperatur 250 °C sebesar 4,94414 cSt. Dan pada katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, viskositas terendah dihasilkan pada temperatur 350 °C sebesar 3,41908 cSt sedangkan viskositas tetinggi dihasilkan pada temperatur 250 °C sebesar 3,96982 cSt. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin rendah viskositas bahan bakar cair. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur pirolisis, maka densitas bahan bakar cair semakin berkurang yang artinya bahan bakar cair semakin encer sehingga nilai viskositas akan semakin rendah. Hasil yang sama juga ditemukan pada penelitian Lumbantoruan dan Yulianti (2016) di mana semakin tinggi temperatur operasi maka semakin rendah viskositas sampel. Viskositas bahan bakar cair yang diperoleh, baik dengan katalis zeolit maupun $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ termasuk dalam viskositas diesel (solar 48) yang sesuai dengan standar SNI 8220:2017, yaitu 2-4,5 cSt.

3.3 Pengaruh Temperatur terhadap Titik Nyala

Titik nyala merupakan suhu terendah dimana minyak akan menyala apabila terkena percikan api. Semakin tinggi titik nyala, akan semakin mudah proses penyimpanan untuk bahan bakar.

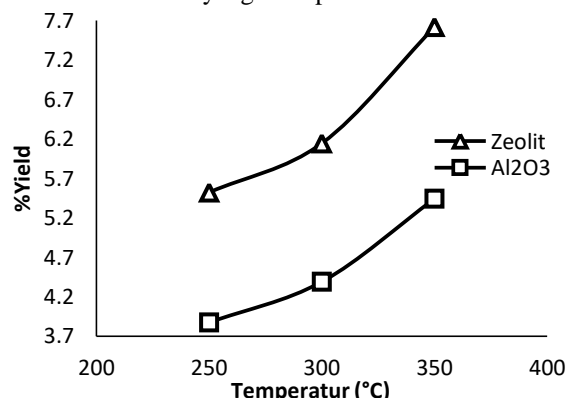


Gambar 4 Pengaruh Temperatur terhadap Titik Nyala

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada katalis zeolit, titik nyala terendah dihasilkan pada temperatur 350 °C sebesar 65,1 °C sedangkan titik nyala tetinggi dihasilkan pada temperatur 250 °C sebesar 76,7 °C. Dan pada katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, titik nyala terendah dihasilkan pada temperatur 350 °C sebesar 62 °C sedangkan titik nyala tetinggi dihasilkan pada temperatur 250 °C sebesar 74 °C. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin rendah titik nyala bahan bakar cair. Menurut Nasrun dkk. (2016) hal ini disebabkan oleh semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin sedikit kandungan air dalam minyak sehingga api semakin cepat menyambar dan titik nyala yang diperoleh semakin kecil. Titik nyala bahan bakar cair yang diperoleh, baik dengan katalis zeolit maupun $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ termasuk dalam titik nyala diesel (solar 48) yang sesuai dengan standar SNI 8220:2017, yaitu min. 52 °C.

3.4 Pengaruh Temperatur terhadap %Yield

Persentase *yield* merupakan sebuah persentase yang menyatakan jumlah produk (BBC) yang dihasilkan dari jumlah bahan baku yang diumpangkan.

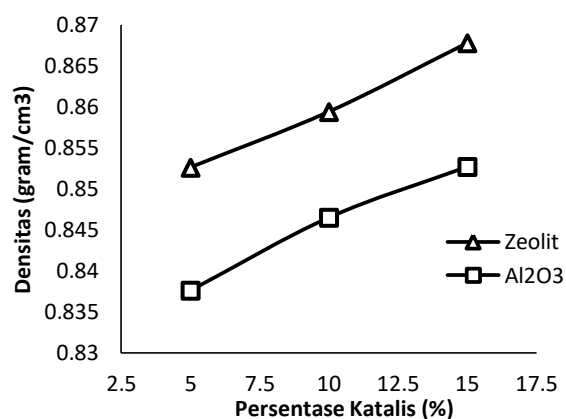


Gambar 5 Pengaruh Temperatur terhadap %Yield

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada katalis zeolit, %yield terendah dihasilkan pada temperatur 250 °C sebesar 5,2268 % sedangkan %yield tetinggi dihasilkan pada temperatur 350 °C sebesar 7,61992 %. Dan pada katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, %yield terendah dihasilkan pada temperatur 250 °C sebesar 3,87698 % sedangkan %yield tetinggi dihasilkan pada temperatur 350 °C sebesar 5,44498 %. Semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin tinggi persentase yield produk yang diperoleh. Dikarenakan pirolisis pada polimer hidrokarbon berlangsung pada temperatur tinggi. Temperatur sangat mempengaruhi jumlah produk yang dihasilkan. Sesuai dengan persamaan Arrhenius, semakin tinggi suhu maka nilai konstanta dekomposisi termal semakin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi akan meningkat (Arita dkk., 2015). Hal yang sama juga diungkapkan oleh Kholidah (2018) bahwa semakin tinggi temperatur maka yield bahan bakar cair yang dihasilkan semakin banyak. Hal ini dikarenakan, pada temperatur tinggi rantai karbon yang panjang akan semakin banyak yang terengah menjadi rantai karbon yang lebih pendek.

3.5 Pengaruh Persentase Katalis terhadap Densitas

Densitas atau massa jenis merupakan jumlah massa per jumlah volume dari suatu cairan. Densitas merupakan salah satu sifat fisik yang dapat dijadikan indikasi dalam mengetahui jenis produk atau senyawa tertentu.

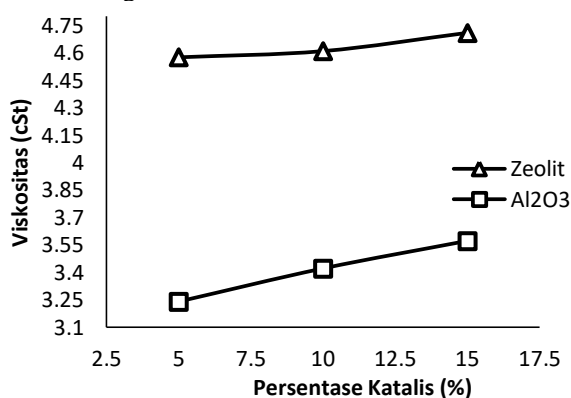


Gambar 6 Pengaruh Jumlah Katalis terhadap Densitas

Berdasarkan Gambar 6, diketahui bahwa nilai densitas terbesar dicapai oleh variasi katalis zeolit 15% yaitu 0,8678 gr/cm³, sedangkan nilai densitas terkecil adalah variasi katalis 5% dengan densitas 0,8526 gr/cm³ pada katalis γ -Al₂O₃ nilai densitas terbesar dicapai oleh variasi katalis 15% yaitu sebesar 0,8527 gr/cm³ sedangkan nilai densitas terkecil adalah variasi katalis 5% yaitu sebesar 0,8376 gr/cm³. 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 bahan bakar cair dari kedua jenis katalis telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) Solar sesuai SNI 8220:2017 yaitu berkisar 0,815–0,870 gr/cm³.

3.6 Pengaruh Persentase Katalis terhadap Viskositas

Viskositas merupakan kekentalan dari suatu fluida. Viskositas yang diamati merupakan viskositas kinematik, yaitu perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas BBC.



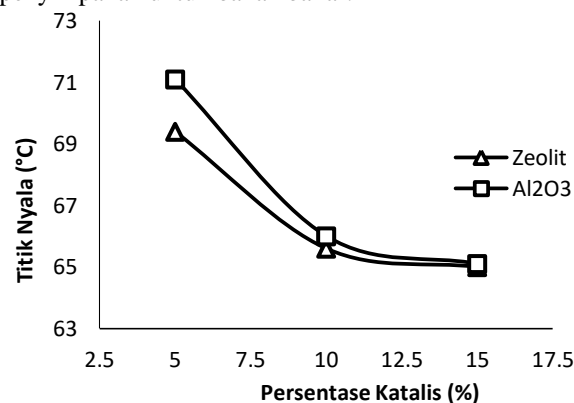
Gambar 7 Pengaruh Persentase Katalis terhadap Viskositas

Berdasarkan Gambar 7 diketahui bahwa nilai viskositas terbesar pada katalis zeolit dengan variasi

katalis 15% yaitu 4,7089 cSt sedangkan nilai viskositas terkecil adalah variasi katalis 5% yaitu 4,5764 cSt pada katalis γ -Al₂O₃ nilai viskositas terbesar pada variasi katalis 15% yaitu 3,5706 cSt dan nilai variasi katalis terkecil 5% yaitu 3,2387 cSt. Ketiga sampel variasi katalis γ -Al₂O₃ dan satu sampel katalis zeolit 5% telah memenuhi standar viskositas dari bahan bakar cair Standar Nasional Indonesia (SNI) Solar sesuai SNI 8220:2017 yaitu 2,0–4,5 cSt. 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).

3.7 Pengaruh Persentase Katalis terhadap Titik Nyala

Titik nyala merupakan suhu terendah di mana minyak akan menyala apabila terkena percikan api. Semakin tinggi titik nyala, akan semakin mudah proses penyimpanan untuk bahan bakar.



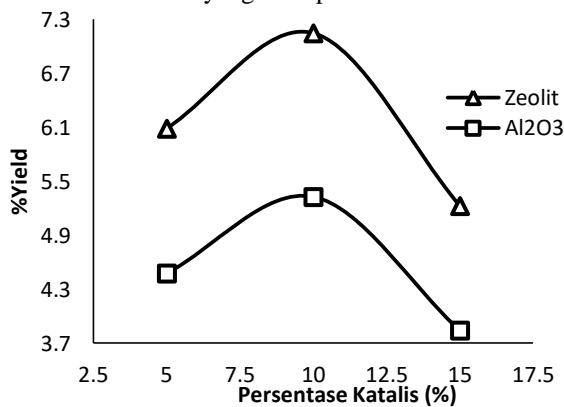
Gambar 8 Pengaruh Persentase Katalis terhadap Titik Nyala

Dari Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai *flash point* tertinggi pada katalis zeolit didapatkan pada variasi katalis 5% yaitu 69,4°C, sedangkan nilai *flash point* paling rendah didapatkan di variasi katalis 15% yaitu 65 °C dan pada katalis γ -Al₂O₃ nilai *flash point* tertinggi pada variasi katalis 5% yaitu 71,1 °C sedangkan nilai *flash point* paling rendah didapatkan di variasi katalis 15% yaitu 65,1 °C. Hal ini sesuai dengan pernyataan Busyairi dkk. (2020) di mana 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 cair 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 cair. Kedua variasi jenis katalis, baik dengan katalis zeolit maupun $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ termasuk dalam titik nyala diesel (solar 48) yang sesuai dengan standar SNI 8220:2017, yaitu min. 52 °C.

3.8 Pengaruh Persentase Katalis terhadap %Yield

Persentase *yield* merupakan sebuah persentase yang menyatakan jumlah produk (BBC) yang dihasilkan dari jumlah bahan baku yang diumpungkan.



Gambar 9 Pengaruh Persentase Katalis terhadap %Yield

Dari Gambar 9 dapat diamati bahwa pada konsentrasi katalis 10% dan 15% terjadi peningkatan *yield* sebesar 1,0604% (katalis zeolit alam) dan 0,8497% (katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) sedangkan pada konsentrasi 20% terjadi penurunan %*yield*, pada katalis zeolit alam terjadi penurunan sebesar 1,8895% dan pada katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ terjadi penurunan sebesar 1,484%. Menurut Isalmi dkk. (2019) penurunan %*yield* setelah mengalami kenaikan disebabkan banyaknya produk yang dihasilkan dari *catalytic cracking* dipengaruhi secara langsung oleh keaktifan dari katalis yang digunakan. Semakin banyak katalis yang digunakan, maka semakin banyak situs aktif yang tersedia untuk reaksi. Namun, peningkatan hasil produk akan menurun bahkan tidak terjadi peningkatan sama sekali pada saat penambahan katalis pada jumlah tertentu. Sehingga apabila terlalu banyak katalis yang digunakan, dapat mengurangi hasil dari bahan bakar cair, karena proses perengkahan semakin efektif dan menghasilkan fraksi-fraksi ringan yang dapat membentuk gas sehingga tidak dapat dikondensasi.

4. PERBANDINGAN DENGAN PENELITIAN SEBELUMNYA

Untuk perbandingan penelitian yang telah dilakukan dengan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya menggunakan Bahan Baku Ban Bekas

Massa (gram)	Metode	Katalis (w/w)	Temperatur (°C)	Volume (mL)	Densitas (gram/cm ³)	Viskositas (cSt)	Titik Nyala (°C)	Produk Utama	Referensi
500	Catalytic cracking	Zeolit 80 %	200	73,5	-	-	-	-	Arita dkk. (2015)
500	Catalytic cracking	Spent RCC 80 %	200	71	0,778	-	27	-	Handono (2017)
250	Catalytic cracking	Al ₂ O ₃ 6 %	250	40,25	0,763	-	-	-	Kholidah (2018)
500	Catalytic cracking	Zeolit 10 %	250	150	0,78	2,9	29	-	Mahmudi dan Mukharomah (2018)
500	Catalytic cracking	$\Gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 10 %	350	32,72	0,83204	3,41	62	Kerosene/ Diesel 38,47 % Gasoline 24,84 %	Penelitian sekarang
500	Catalytic cracking	Zeolit alam 10 %	350	23,08	0,83962	4,67	65,1	Kerosene/ Diesel 41,02 % Gasoline 29,67 %	Penelitian sekarang

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa konversi ban bekas menjadi bahan bakar cair yang dilakukan oleh Handono dan Mukharomah (2018) menghasilkan volume bahan bakar cair terbanyak dengan

karakteristik bahan bakar cair termasuk golongan diesel, yaitu memiliki densitas 0,78 gram/cm³, viskositas 2,9 cSt, dan titik nyala 29 °C.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Bahan bakar cair yang diperoleh dari variasi temperatur dan jenis katalis memiliki sifat fisik:
 - Densitas: 0,83204–0,85388 gram/cm³
 - Viskositas: 3,41908–4,94414 cSt
 - Titik nyala: 62–76,7 °C
2. Bahan bakar cair yang diperoleh dari variasi persentase katalis dan jenis katalis memiliki sifat fisik:
 - Densitas: 0,8376–0,8678 gram/cm³
 - Viskositas: 3,2387–4,7089 cSt
 - Titik nyala: 65–71,1 °C
3. Bahan bakar cair yang diperoleh dari proses *catalytic cracking* memiliki karakteristik densitas, titik nyala, dan viskositas yang sesuai dengan SNI 8220:2017 untuk solar 48.

DAFTAR PUSTAKA

- Arita, Susila, Abrar Assalami, dan Dina Irawaty Naibaho. 2015. *Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas menggunakan Katalis Zeolit*. Jurnal Teknik Kimia No. 2, Vol. 21. Prabumulih.
- Budsareechai, Supattra, Andrew J. Hunt, dan Yuvarat Ngernyen. 2019. *Catalytic Pyrolysis of Plastic Waste for The Production of Liquid Fuels for Engines*. Royal Society of Chemistry Advances Issues 9: 5844-5857. Thailand.
- Busyairi, Muhammad, Aufar Zai'im Muttaqin, Ika Meicahyanti, dan Saryadi. 2020. *Potensi Minyak Jelantah sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis serta Waktu Reaksi terhadap Kualitas Biodiesel melalui Proses Transesterifikasi*. Serambi Engineering Volume V No. 2. Samarinda.
- Hanani, Kurniansyah Rizki dan Alia Damayanti. 2015. *Kajian Pirolisis Plastik Low Density Poly Ethilene dan Poly Propilene sebagai Bahan Bakar*. Jurnal Teknik ITS Vol. 4 No. 1. Surabaya.
- Handono, Muhammad Roy Tri 2017. *Pembuatan Bahan Bakar Cair dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas menggunakan Katalis dari Limbah Bekas Perengkahan Minyak Bumi PT. Pertamina RU III dengan Metode Pirolisis*. Palembang: Universitas Muhammadiyah Palembang.
- Isalmi, Aziz, Muhamad Akbar Tafdila, Siti Nurbayti, Lisa Adhani, dan Wahyu Permata. 2019. *Upgrading Crude Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas menggunakan Katalis H-Zeolit*. Jurnal Kimia Valensi Vol 5 (1): 79-86. Banten.
- K., Endang, Mukhtar G., Abed Nego, dan FX Angga Sugiyana. 2016. *Pengolahan Sampah Plastik dengan Metode Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan". Bandung.
- Kholidah, Nurul. 2018. *Pengaruh Temperatur terhadap Persentase Yield pada Proses Perengkahan Katalitik Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair*. ALKIMIA: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan Vol. 2 No. 1. Palembang.
- Lumbantoruan, Parmin dan Erislah Yulianti. 2016. *Pengaruh Suhu terhadap Viskositas Minyak Pelumas (Oli)*. Sainmatika Volume 13 No. 2. Palembang.
- Mahmudi, Haris dan Lia Fatul Mukharomah. 2018. *Pengaruh Temperatur terhadap Hasil Proses Pirolisis pada Ban Bekas Pakai*. Jurnal Mesin Nusantara Vol. 1 No. 1. Kediri.
- Mustahiroh, Siti. 2020. *Pengaruh Penambahan Zeolit ZSM-5, HZSM-5, dan HZSM-48 sebagai Aditif terhadap Sifat Fisika Kimia Katalis CoMo/ γ -Al₂O₃*. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Naimah, Siti, Chicha Nuraeni, Irma Rumondang, Bumiarto Nugroho Jati, dan Rahyani Ermawati. 2012. *Dekomposisi Limbah Plastik Polypropylene dengan Metode Pirolisis*. Jurnal Sains Materi Indonesia Vol. 13 No. 3. Jakarta Timur.
- Nasrun, Eddy Kurniawan, dan Inggit Sari. 2016. *Studi Awal Produksi Bahan Bakar dari Proses Pirolisis Kantong Plastik Bekas*. Jurnal Teknologi Kimia Unimal 5:1: 30-44. Lhokseumawe.
- Nugraha, Fajri Mahendra, Ariffudin Wahyudi, dan Ignatius Gunardi. 2013. *Pembuatan Fuel dari Liquid Hasil Pirolisis Polipropilen melalui Proses Reforming dengan Katalis NiO/ γ -Al₂O₃*. Jurnal Teknik POMITS Vol. 2 No. 2. Surabaya.
- Reza, Mukhamad Afif Deny dan Teresia Dyah Novenia. 2017. *Pembuatan Dietil Eter dengan Katalis Berbasis γ -Al₂O₃ Dipromote dengan Logam Cr dan Co dalam Reaktor Fixed Bed*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Samadhi, Tjokorde Walmiki, Subagjo, Kevin R. Lismana, dan Khasin Fuadi. 2011. *Synthesis of γ -Al₂O₃ Catalyst Support from Kaolin of Indonesian Origin*. ITB J. Eng. Sci. Vol. 43 No. 2: 113-126. Bandung.
- Saputra, Adika, Sayiful Bahri, dan Amun Amri. 2015. *Pirolisis Kayu Akasia menjadi Bio-Oil menggunakan Katalis NiMo/NZA dengan Variabel Persentase Pengemban Logam dan Rasio Berat Katalis terhadap Biomassa*. JOM FTEKNIK Volume 2 No. 2. Pekanbaru.
- Sari, Gina Lova. 2017. *Kajian Potensi Pemanfaatan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair*. Al-

Ard: Jurnal Teknik Lingkungan Vol. 3 No. 1: 06-13. Karawang.

Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional. 2019. *Outlook Energi Indonesia*. Jakarta: Dewan Energi Nasional.

Syamsiro, M., Y. Sulistiawati, M. Ridwan, M. Sutan Dwicahyo, dan N. Citrasari. 2019. *Development of Rotary Kiln Reactor for Pyrolytic Oil Production*

from Waste Tire in Indonesia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science: 245. IOP Publishing.

Yanti, Sari Rahma, Syaiful Bahri, dan Amun Amri. 2015. *Pirolisis Kayu Akasia (Acacia Mangium) menjadi Bio-Oil menggunakan Katalis Ni/NZA dengan Variasi Pengemban Logam dan Rasio Katalis*. JOM FTEKNIK Volume 2 No. 1. Riau.