

UNJUK KERJA PROSES PIROLISIS KATALITIK LIMBAH BAN BEKAS MENJADI BAHAN BAKAR CAIR DITINJAU DARI JUMLAH KATALIS, VARIASI TEMPERATUR, DAN WAKTU OPERASI

PERFORMANCE OF TIRES WASTE CATALYTIC PYROLYSIS INTO FUEL OIL OBSERVED BY THE NUMBER OF CATALYST, TEMPERATURE VARIATION, AND OPERATION TIME

Sahrul Effendy¹, Irawan Rusnadi¹, Fatria¹, Jaksen¹, *Nur Aina¹, *Briliantina Rossa¹, *Muhammad Waltin¹
Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jalan Sriwijaya Negara, Bukit Besar Palembang, telp 0711-353414 / fax 07111-355918
*e-mail : nurainaaa10@gmail.com, briliantarossa@gmail.com, mwaltin5@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia's domestic rubber consumption is largely absorbed by the manufacturing industry, especially the automotive industry. The more production of vehicle, the more people will produce tires. As a result, the waste of tires in the environment is increasing. One of the alternatives to reduce the amount of tires waste is produce it become liquid fuel by catalytic pyrolysis method. The purpose of this research is to analyze percent yield liquid product and to obtain characteristics of liquid fuel observed by the number of catalyst, variation of temperature, and operation time. The result shown that the optimum temperature is 400°C using 10% NZ catalyst with product yield of 13.0284%. The optimum NZ catalyst is 2% at 300°C with product yield of 5.7946%. Also the optimum time operation is 180 minutes using 10% NZ catalyst with product yield of 9.7965%. The liquid fuel oil specifications obtain diesel oil by testing density, viscosity, and flash point. The liquid fuel also analyzed by the GC-MS method, and it can be concluded that the liquid fuel of tires waste is mixture of gasoline (C₈-C₁₂) and diesel (C₁₃-C₂₀).

Keywords : Waste Tires, Pyrolysis, Natural Zeolite, Styrene

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen karet alam terbesar kedua di dunia. Pada tahun 2019, produksi karet alam di Indonesia mencapai 3,8 juta ton. Sumatera Selatan menempati urutan pertama produsen terbesar karet Indonesia dengan produksi mencapai 991 ribu ton Gapkindo (dalam Indonesia Invest, 2020). Konsumsi karet domestik di Indonesia kebanyakan diserap oleh industri-industri manufaktur Indonesia terutama sektor otomotif seperti kendaraan bermotor. Jika produksi kendaraan bermotor bertambah, maka produksi ban semakin meningkat. Seiring dengan itu, limbah ban-ban bekas yang tidak terpakai di lingkungan pun semakin meningkat.

Ban dalam kendaraan bermotor terbuat dari bahan baku utama berupa karet alam dan karet sintesis yang mengandung polimer isoprena serta stirena, dan butadien. Sedangkan bahan pendukung antara lain aktivator, antioksidan, *softeners*, dan *carbon black*. Bahan-bahan yang terkandung pada ban ini menjadikan limbah ban nantinya tidak akan mudah terurai secara biologis. Bila dimusnahkan dengan cara dibakar, limbah ban akan menyebabkan polusi udara dan menyebabkan pemanasan global. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk mengatasi limbah ban bekas adalah dengan mengkonversi ban bekas menjadi

sumber energi alternatif terbarukan (*renewable energy*) melalui proses pirolisis.

Saputra (2017) mendefinisikan pirolisis sebagai dekomposisi termal material organik pada suasana inert (tanpa kehadiran oksigen) pada suhu yang relatif tinggi yaitu 300-700°C dan terurai menjadi molekul yang lebih kecil. Produk pirolisis berupa gas, cair dan padat. Produk cair yang menguap mengandung tar dan *polyaromatic hydrocarbon*. Dalam proses pirolisis ban bekas perbandingan persentase ketiga produk tersebut sangat bergantung pada beberapa kondisi operasi, diantaranya adalah besarnya laju pemanasan, temperatur proses pirolisis, waktu tinggal proses, dan ada tidaknya katalis (Supriyanto, 2019).

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengolah limbah ban bekas melalui proses pirolisis menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan jenis katalis zeolit alam, serta variabel bebas berupa variasi temperatur, jumlah katalis, dan waktu operasi.

Bagaimana pengaruh peningkatan temperatur, penambahan berat katalis zeolit, dan variasi waktu operasi dalam proses pirolisis karet ban bekas menjadi bahan bakar cair terhadap volume produk cair yang dihasilkan dan mendapatkan karakteristik dari produk cair merupakan permasalahan dalam penelitian ini.

Tabel 1 Kandungan Kimia Karet Ban Dalam Kendaraan Bermotor

No.	Kandungan	Hasil
1.	Kadar Karet Alam	25%
2.	Kadar Karet <i>Styren Butadien</i>	15%
3.	Kadar Butil Karet	5%
4.	Kadar Karbon Hitam	35%
5.	Kadar ZnO	4%
6.	Kadar Oil/Naften/Aromatik	4%
7.	Kadar Kotoran/Debu/Kaolin/Kalsium	12%

Arita dkk, 2015

Dengan potensi kandungan bahan-bahan kimia seperti yang tertera pada Tabel 1 maka ban dalam kendaraan bermotor dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair melalui proses pirolisis.

Komponen utama penyusun ban karet berupa karet alam dan karet sintetis. Karet alam merupakan senyawa hidrokarbon yang mengandung atom Carbon dan Hidrogen dan merupakan senyawa polimer dengan isoprena (C_5H_8) sebagai monomernya (Alam, 2007:1). Karet alam (*Natural Rubber*) paling banyak berasal dari getah pohon karet *Hevea brasiliensis* (*Euphorbiaceae*). Sedangkan karet sintesis (*Sintetic Rubber*) merupakan polimerisasi stirena (C_8H_8) yang berasal dari hasil samping pengolahan minyak bumi yang kemudian melalui reaksi polimerisasi menjadi suatu material baru yang sifatnya mendekati sifat karet alam.

Karet sintesis yang berupa polimerisasi stirena jika dikombinasikan dengan butadiena (C_4H_6) akan menghasilkan *Styrine Butadiena Rubber* (SBR). SBR merupakan karet sintetis paling banyak digunakan dalam pembuatan ban kendaraan bermotor. Stirena digunakan pada pembuatan karet sintetis dikarenakan memiliki struktur aromatik di dalam molekul monomer sehingga baik untuk meningkatkan sifat mekanik dan termal dari karet (Dung dkk., 2017).

Karet alam umumnya mempunyai sifat-sifat mekanik yang lebih baik yaitu memiliki ketahanan kikis yang tinggi dibandingkan dengan karet sintetis tetapi karet alam tidak tahan terhadap ozon dan panas. Sedangkan karet sintetis mempunyai sifat yang baik terhadap kondisi lingkungan seperti panas dan cuaca sehingga lebih tahan terhadap panas dan ozon (Nuyah, 2012; Susilawati, 2019)

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 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 (H_2SO_4), maupun larutan natrium hidroksida (NaOH) yang bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, menghilangkan senyawa pengotor

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah satu set alat reaktor pirolisis katalitik, *sieve shaker electric* (Ziaulhaq Solution), neraca analitik (Radwag AS110/C/2), *furnace* (Nabertherm), piknometer (Pyrex), viskometer Gilmond GV 2200 (Barnant Company, USA), *bomb calorimeter* (Parr 6200), *flash point* (Koehler Instrument Company), alat analisis GC-MS (ISQ 7000 Thermo Scientific), limbah ban dalam motor, katalis zeolit alam (BrataChem Distributor), HCL (Sumber Kimia Distributor), dan aquades.

2.2 Preparasi Katalis Zeolit Alam

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. Kemudian disaring dan dicuci dengan aquades hingga pH netral. Selanjutnya zeolit alam dikalsinasi di dalam *furnace* pada temperatur 500°C selama 1 jam.

2.3 Proses Pirolisis Katalitik Ban Bekas

Ban bekas bersama dengan katalis zeolit alam dimasukkan ke dalam reaktor dan dipanaskan pada temperatur tertentu. Ban bekas akan terdekomposisi pada temperatur tersebut sehingga ban akan kehilangan massa yang disebabkan oleh putusnya ikatan-ikatan senyawa polimer yang terkandung dalam ban karet. Ikatan-ikatan itu putus sesuai dengan titik leleh nya. Uap yang dihasilkan kemudian dikondensasi pada kondensor sehingga terjadi perubahan fase uap ke cairan akibat kontak

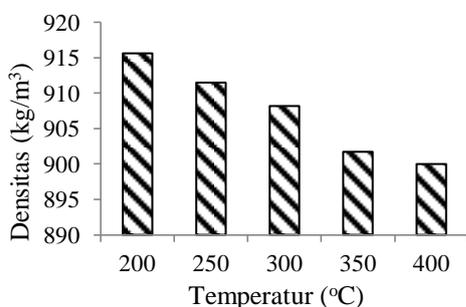
dengan air pendingin sehingga menghasilkan produk cair yang siap diuji.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Temperatur Terhadap Produk

3.1.1 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 :

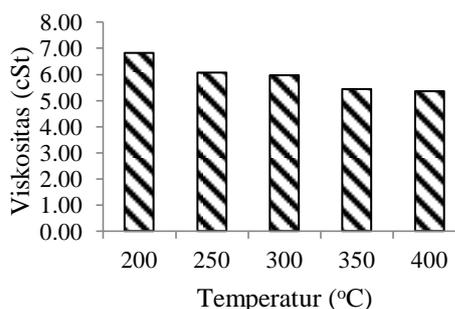


Gambar 1 Grafik Hubungan Variasi Temperatur Terhadap Densitas

Berdasarkan Gambar 1 dapat terlihat bahwa densitas tertinggi diperoleh pada suhu 200°C yaitu sebesar 915,6 kg/m³ dan densitas terendah diperoleh pada temperatur 400°C yaitu sebesar 900,0 kg/m³. Dari Gambar 1 tersebut menunjukkan semakin tinggi temperatur maka densitas yang dihasilkan akan semakin rendah. Priyatna (2015) menjelaskan bahwa semakin tinggi temperatur yang digunakan maka produk yang dihasilkan akan semakin ringan karena kandungan senyawa hidrokarbon rantai panjang yang terkandung pada ban akan terurai menjadi hidrokarbon rantai pendek (hidrokarbon ringan) sehingga menurunkan densitas produk.

3.1.2 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 :

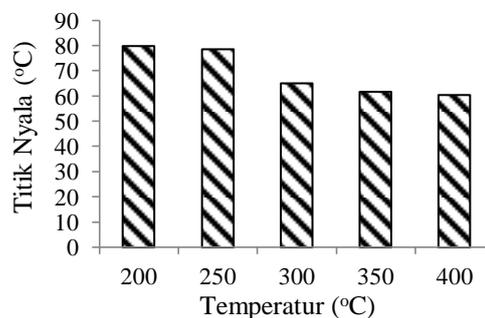


Gambar 2 Grafik Hubungan Variasi Temperatur Terhadap Viskositas

Pada Gambar 2 dapat terlihat bahwa viskositas tertinggi diperoleh pada suhu 200°C yaitu sebesar 6,8114 cSt dan viskositas terendah diperoleh pada temperatur 400°C yaitu sebesar 5,3502 cSt. Dari Gambar 2 tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka viskositas yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa produk pada temperatur 400°C lebih encer. Semakin tinggi temperatur menyebabkan rantai dari struktur kimia ban menjadi lebih pendek, sehingga berat jenis akan semakin menurun (Rahmat, 2007). Sejalan dengan hasil analisa densitas pada Gambar 1, temperatur yang tinggi menyebabkan densitas produk semakin menurun, sehingga viskositas produk juga semakin menurun seiring naiknya temperatur.

3.1.3 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 :

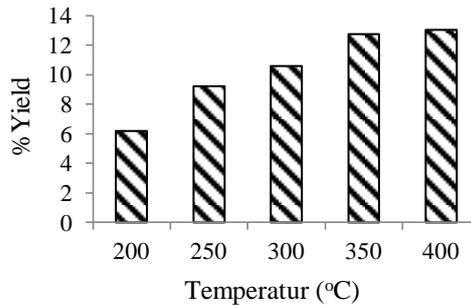


Gambar 3 Grafik Hubungan Variasi Temperatur Terhadap Titik Nyala

Pada Gambar 3 dapat terlihat bahwa titik nyala tertinggi diperoleh pada temperatur 200°C yaitu sebesar 79,9°C dan titik nyala terendah diperoleh pada temperatur 400°C yaitu sebesar 60,4°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka titik nyala yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini berhubungan dengan kandungan produk cair yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur pirolisis, maka semakin cepat pula timbul nyala ketika disulut karena kandungan air yang sedikit dalam produk cair. Nasrun, dkk. (2015) menyatakan bahwa semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin sedikit kandungan air dalam minyak tersebut sehingga api cepat menyambar dan titik nyala yang diperoleh semakin kecil.

3.1.4 Persen Yield yang Dihasilkan

Persentase yield merupakan perbandingan antara massa produk cair yang dihasilkan dengan massa bahan baku ban bekas yang diumpankan. Grafik hubungan temperatur dengan persen yield dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini :



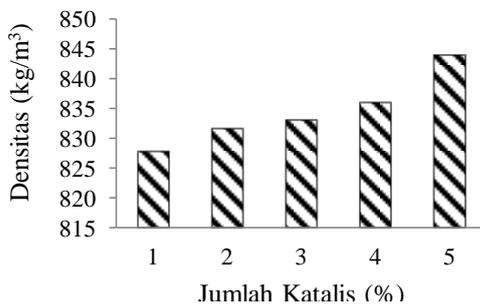
Gambar 4 Grafik Hubungan Variasi Temperatur Terhadap Porsen Yield

Dari Gambar 4 terlihat bahwa yield produk terendah diperoleh pada temperatur 200°C yaitu sebesar 6,2083% dan yield tertinggi diperoleh pada temperatur 400°C sebesar 13,0284%. Pada temperatur yang lebih tinggi persentase yield produk cair akan meningkat yang menunjukkan bahwa komponen-komponen penyusun ban karet paling banyak terdekomposisi pada temperatur tersebut. Hal ini dikarenakan selama proses pirolisis ikatan-ikatan senyawa hidrokarbon rantai panjang yang terkandung dalam ban karet akan terputus sehingga ban karet akan kehilangan massanya (Rahmat, 2007). Ikatan hidrokarbon rantai panjang tersebut akan putus sesuai dengan titik lelehnya sehingga akan terjadi peningkatan persentase yield produk cair pada temperatur tinggi.

3.2 Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Produk

3.2.1 Densitas Produk

Hubungan jumlah katalis dengan densitas dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini :



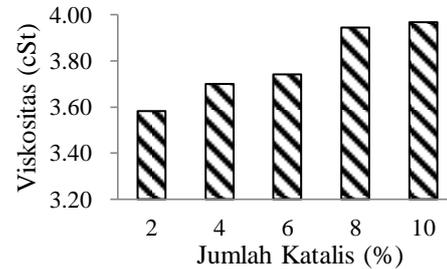
Gambar 5 Grafik Hubungan Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Densitas

Pada Gambar 5 dapat dilihat adanya peningkatan densitas bahan bakar cair seiring dengan pertambahan jumlah katalis zeolit. Menurut Maftuchah (2013), semakin banyak jumlah katalis yang digunakan pada pembuatan Bahan Bakar Cair, maka akan semakin tinggi nilai densitas dari produk yang dihasilkan. Banyaknya pemakaian zeolit 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 (Aziz, dkk., 2019).

3.2.2 Viskositas Produk

Hubungan jumlah katalis dengan viskositas dapat dilihat pada Gambar 3.6 di bawah ini :



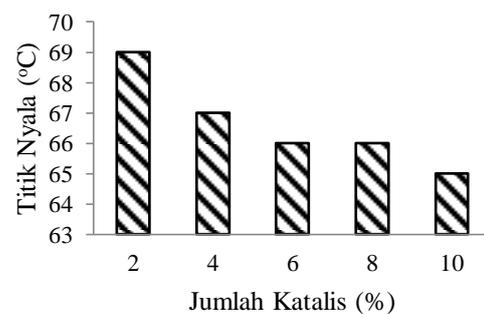
Gambar 6 Grafik Hubungan Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Viskositas

Pada Gambar 6 dapat dilihat adanya peningkatan viskositas bahan bakar cair seiring dengan pertambahan jumlah katalis zeolit. Hasil pengukuran viskositas dari kelima sampel tersebut memiliki nilai yang tidak beda nyata. Berdasarkan Gambar 6 tersebut diketahui bahwa nilai viskositas terbesar dicapai oleh katalis 10% yaitu 3,97 cSt, sedangkan nilai viskositas terkecil adalah variasi katalis 2% dengan densitas 3,58 cSt.

Dari Gambar diatas dapat dilihat bahwa semakin banyak katalis yang digunakan maka semakin tinggi nilai kekentalan produk yang dihasilkan, kekentalan ini dikarenakan tertutupnya pori – pori katalis akibat penggunaan katalis berlebih. Kekentalan viskositas juga dipengaruhi oleh nilai densitas, semakin tinggi nilai densitas maka semakin tinggi nilai kekentalan produk yang dihasilkan. Seperti hasil penelitian Aziz dkk., (2019) dimana penggunaan katalis pada proses pirolisis menghasilkan fraksi ringan setara *gasoline*.

3.2.3 Titik Nyala Produk

Hubungan jumlah katalis dengan titik nyala dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini :

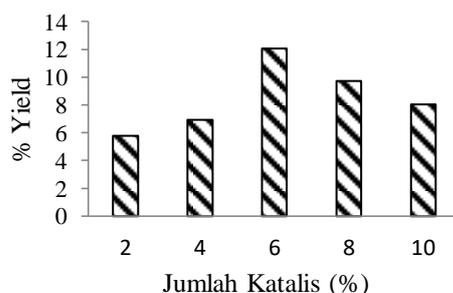


Gambar 7 Grafik Hubungan Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Titik Nyala

Pada Gambar 7 di atas, menunjukkan bahwa nilai titik nyala tertinggi didapatkan pada variasi katalis 2% yaitu 69 °C, sedangkan nilai titik nyala terendah didapatkan di variasi katalis 10% yaitu 65°C. Busyairi, dkk. (2020) menyatakan bahwa faktor yang mempengaruhi nilai titik nyala adalah jumlah penambahan katalis,. Hal ini karena semakin banyak katalis yang digunakan maka proses pirolisis katalitik akan semakin baik sehingga titik nyala bahan bakar cair tersebut semakin baik juga.

3.2.4 Persen Yield yang Dihasilkan

Hubungan jumlah katalis dengan persen yield dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini :



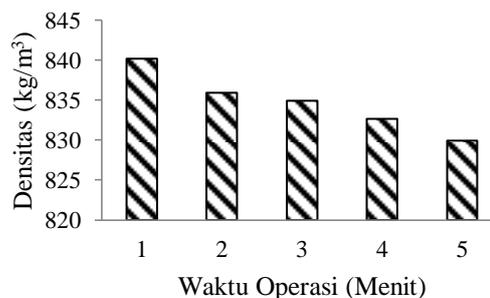
Gambar 8 Grafik Hubungan Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Persen Yield

Pada Gambar 8 dapat diamati bahwa % yield cenderung meningkat hingga titik ke-3 dengan jumlah katalis 6%, sedangkan, pada variasi 8% dan 10%, % yield mengalami penurunan secara bertahap. Menurut Aziz dkk, (2019) banyaknya produk yang dihasilkan dari perengkahan katalitik dipengaruhi secara langsung oleh keaktifan dari katalis yang digunakan. Semakin banyak katalis yang digunakan, maka semakin banyak situs aktif yang tersedia untuk reaksi perengkahan. Situs aktif akan mengadsorpsi komponen hidrokarbon rantai panjang pada ban sehingga akan terjadi reaksi perengkahan pada sisi aktif tersebut yang kemudian menghasilkan produk. Namun, peningkatan hasil produk akan menurun bahkan tidak terjadi peningkatan sama sekali pada saat penambahan jumlah katalis 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.

3.3 Pengaruh Waktu Operasi Terhadap Produk

3.3.1 Densitas Produk

Hubungan waktu operasi dengan densitas dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini :

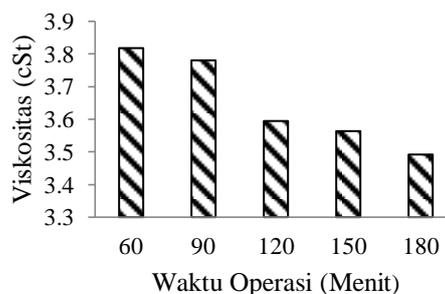


Gambar 9 Grafik Hubungan Pengaruh Waktu Terhadap Densitas

Pada Gambar 9 menunjukkan pengaruh waktu perengkahan terhadap densitas bahan bakar cair yang dihasilkan. Menurut Handono (2017), semakin lama waktu operasi yang digunakan pada pembuatan Bahan Bakar Cair, maka akan semakin rendah nilai densitas dari produk yang dihasilkan. Lamanya waktu operasi sebanding dengan turunnya densitas produk. Seperti yang diketahui, bahwa semakin lama waktu operasi maka adanya residu mempengaruhi berat jenis dari produk (Nasrun dkk., 2016).

3.3.2 Viskositas Produk

Hubungan waktu operasi dengan viskositas dapat dilihat pada Gambar 10 di bawah ini :

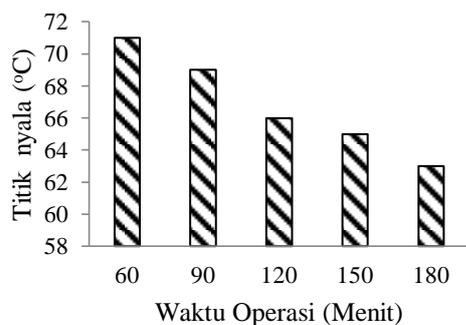


Gambar 10 Grafik Hubungan Pengaruh Waktu Terhadap Viskositas

Pada Gambar 10 menyatakan grafik dari pengaruh waktu reaksi terhadap viskositas kinematik bahan bakar cair yang dihasilkan. Penurunan nilai viskositas dipengaruhi dengan waktu operasi yang digunakan serta di pengaruhi juga dari katalis yang digunakan. Semakin lama waktu operasi atau waktu reaksi nilai viskositas semakin rendah dikarenakan rantai hidrokarbon semakin pendek dan Bahan bakar cair semakin berkurang kekentalannya.

3.3.3 Titik Nyala Produk

Hubungan waktu operasi dengan titik nyala dapat dilihat pada Gambar 11 di bawah ini :

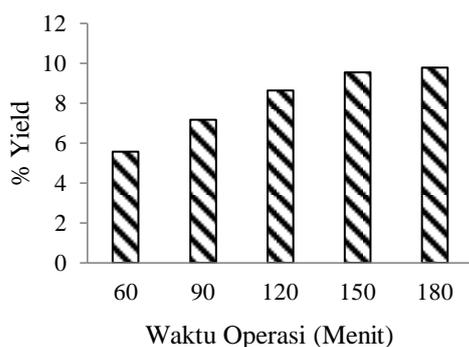


Gambar 11 Grafik Hubungan Pengaruh Waktu Terhadap Titik Nyala

Berdasarkan Gambar 11 di atas, menunjukkan bahwa nilai titik nyala tertinggi didapatkan pada variasi waktu 60 menit yaitu 71°C, sedangkan nilai titik nyala paling rendah didapatkan di variasi waktu operasi 180 menit yaitu 63°C. Hal ini diduga karena komposisi senyawa bahan bakar cair masih berupa campuran antara fraksi bensin, kerosin, dan biodiesel dimana banyak senyawa hidrokarbon rantai pendek, serta seiring dengan bertambahnya waktu, maka semakin banyak pula sisa katalis dan residu yang terbawa pada bahan bakar cair.

3.3.4 Persen Yield yang Dihasilkan

Hubungan waktu operasi dengan persen yield dapat dilihat pada Gambar 12 di bawah ini :



Gambar 12 Grafik Hubungan Pengaruh Waktu Terhadap Persen Yield

Pada Gambar 12 di atas menunjukkan bahwa bertambahnya waktu reaksi dapat mempengaruhi banyaknya produk bahan bakar cair yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena dengan lamanya waktu reaksi, kesempatan molekul untuk bereaksi akan semakin banyak sehingga produk yang dihasilkan akan bertambah, Handono (2017). Semakin lama waktu pirolisis terjadi maka semakin banyak pula bahan bakar cair yang akan di dapat.

3.4 Produk Optimum Pada Setiap Variabel

3.4.1 Produk Optimum Pada Temperatur 400°C

Berikut ini tabel karakteristik produk optimum yang dihasilkan dari variabel bebas temperatur, jumlah katalis, dan waktu operasi.

Tabel 2 Karakteristik Produk 400°C

Karakteristik	Unit	Standar*	Penelitian
Densitas (15°C)	kg/m ³	900-920	900
Viskositas Kinematik 40°C	cSt	2,5-11,0	5,35
Titik Nyala	°C	min 60	60,4

*Standar Minyak Diesel Ditjen Migas No. 14499K/14/DJM/2008

Produk optimum bahan bakar cair pirolisis ban bekas diperoleh pada kondisi operasi temperatur 400°C. Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa bahan bakar cair produk pirolisis ban bekas masuk dalam rentang pada standar minyak diesel.

3.4.2 Produk Optimum Pada Jumlah Katalis 2 %

Tabel 3 Karakteristik Produk 2% Katalis

Karakteristik	Unit	Standar*	Penelitian
Densitas (15°C)	kg/m ³	815-870	827
Viskositas Kinematik 40°C	cSt	2,0-4,5	3,58
Titik Nyala	°C	min 52	69

*Badan Standarisasi Nasional

Produk optimum bahan bakar cair pirolisis ban bekas diperoleh pada kondisi operasi dengan jumlah katalis 2%. Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa bahan bakar cair produk pirolisis ban bekas masuk dalam rentang pada standar minyak solar.

3.4.3 Produk Optimum Pada Waktu Operasi 180 menit

Tabel 4 Karakteristik Produk Pada Waktu 180 Menit

Karakteristik	Unit	Standar*	Penelitian
Densitas (15°C)	kg/m ³	815-870	829
Viskositas Kinematik 40°C	cSt	2,0-4,5	3,49
Titik Nyala	°C	min 52	63

*Badan Standarisasi Nasional

Produk optimum bahan bakar cair pirolisis ban bekas diperoleh pada kondisi operasi dengan waktu operasi 180 menit. Dari Tabel 4 dapat diketahui bahwa bahan bakar cair produk pirolisis ban bekas masuk dalam rentang pada standar minyak solar.

3.5 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Pembuatan bahan bakar cair dari ban bekas dilakukan melalui proses pirolisis menggunakan

katalis zeolit alam di dalam sebuah reaktor. Hasil penelitian pembuatan bahan bakar cair dari ban bekas ini dan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini :

Tabel 5 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Metode Pirolisis	Yield (%)	Hasil GC-MS		Referensi
		Gasolin	Diesel	
Pirolisis Termal (Vakum)	42,662	TD	TD	Rahmat, 2007
Pirolisis Katalitik (CaO dan Zeolit Alam)	40	18%	70%	Ayanoglu, 2016
Pirolisis Katalitik (Y dan ZSM-5)	TD	30,93	47,64	Damayanthi, 2009
Pirolisis Hidrogenasi	12,956	TD	TD	Hasan, 2009
Pirolisis Katalitik (Zeolit Alam)	13,028	38,56	34,74	Penelitian saat ini

*TD : Tidak ada data

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa konversi ban bekas menjadi bahan bakar cair dengan metode pirolisis termal (kondisi vakum) menghasilkan persen yield terbesar. Bahan bakar cair dari ban bekas yang dihasilkan yaitu sebesar 42,662%, lebih besar dibandingkan penelitian-penelitian yang lainnya. Hal ini terjadi karena kondisi vakum membuat tekanan pada reaktor menjadi rendah, sehingga ban karet lebih mudah teruapkan dan akhirnya membentuk produk cair yang lebih banyak (Rahmat, 2007). Pada pirolisis termal (kondisi vakum) tidak ada data mengenai hasil GC-MS.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kondisi operasi optimum dari pirolisis katalitik menggunakan katalis zeolit alam yang menghasilkan sifat fisik terbaik untuk pengaruh temperatur adalah pada 400°C, 10% katalis, dan waktu 180 menit dengan densitas 900 kg/m³, viskositas kinematik 5,35 cSt, dan titik nyala 60,4°C. Kondisi operasi optimum untuk pengaruh jumlah katalis adalah pada 2% katalis, temperatur 300°C, dan waktu 180 menit yaitu dengan densitas 827 kg/m³, viskositas kinematik 3,58 cSt, dan titik nyala 69°C. Sedangkan kondisi optimum untuk pengaruh

waktu operasi adalah pada 180 menit, 10% katalis, dan pada temperatur 300°C dengan densitas 829 kg/m³, viskositas kinematik 3,49 cSt, dan titik nyala 63°C.

2. Persen yield yang didapatkan pada kondisi operasi optimum temperatur 400°C, 10% katalis, dan waktu 180 menit yaitu sebesar 13,0284%. Pada jumlah katalis 2%, temperatur 300°C, dan waktu 180 menit sebesar 5,7946%. Sedangkan kondisi operasi optimum waktu operasi 180 menit dengan 10% katalis, dan temperatur 300°C sebesar 9,7965%.

DAFTAR PUSTAKA

- 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
- Arita, S., Assalami, A., dan Naibaho, D.I. 2015. Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas Menggunakan Katalis Zeolit. *Jurnal Teknik Kimia*. 21(2):8-14
- Aziz, I., Tafdila, M. A., Nurbayti, S., Adhani, L., dan Permata, W. 2019. Upgrading Crude Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas menggunakan Katalis H-Zeolit. *Jurnal Kimia Valensi*. 5(1): 79-86
- Busyairi, M., Za'im Muttaqin, A., Meicahyanti, I., dan Saryadi, S. 2020. Potensi Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis Serta Waktu Reaksi Terhadap Kualitas Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi. *Jurnal Serambi Engineering*. 5(2)
- Dung, T.A., Nhan, N.T., Thuong, N.T., Nghia, P.T., Yamamoto, Y., Kosugi, K., Kawahara, S., dan Thuy, T.T. 2017. Modification of Vietnam Natural Rubber via Graft Copolymerization with Styrene. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 28(4): 669-675
- Handono, M.R.T. 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. [Skripsi]. Palembang (ID): Universitas Muhammadiyah Palembang
- Indonesia Investments. 2018. Karet (Alam). <https://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/komoditas/karet/item185?> (diakses 20 Juli 2020)
- Maftuchah, U., Faizal, M., dan Auriyani, W. A. (2013). Pengaruh kadar metanol, jumlah katalis, dan waktu reaksi pada pembuatan biodiesel dari lemak sapi melalui proses transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*. 19(4)

- Nasrun,. Kurniawan, E., dan Sari, I. 2015. Pengolahan Limbah Kantong Plastik Jenis Kresek Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurnal Energi Elektrik*. 6(1): 2015
- Nuyah, 2012. The Effect of Hydrogenated Natural Rubber to Against Oxidation and Ozone Resistance of Rubber Goods. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 23(2): 116-123
- Priyatna, A.O., Zultiniar., dan Saputra, E. 2015. Perengkahan Katalitik Limbah Plastik Jenis Polypropilene (PP) Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Katalis Zeolit. *JOM FTEKNIK*. 2(2) : 1-5
- Rahmat, A., Hasanudin,. dan Andriansyah, K. 2007. Pengaruh Temperatur Terhadap Distribusi Produk dan Sifat Fisik Produk Pirolisis Ban Karet Bekas Pada Atmosfir Vakum dan N₂. *Jurnal Penelitian Sains*. 10(3): 317-326
- Saputra, IA dan Arijanto. 2017. Pengujian Alat Konversi Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar. *Jurnal Teknik Mesin*. 5(2):82-90
- Supriyanto,. Ismanto,. dan Suwito, N. 2019. Zeolit Alam Sebagai Katalis Pyrolisis Limbah Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair. *Journal Unimma*. 2(1):15-21
- Susilawati, N., Roza, F., Rifki., dan Susanto, T. 2019. Pengaruh Komposit SBR dan Karet Alam dengan Pengisi Karbon Hitam Terhadap Sifat Fisik dan Ketahanan Usang Vulkanisat. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 30(2):108-116