

Pengaruh Aktivasi Katalis Zeolit terhadap Hasil Pirolisis Limbah *Styrofoam*

Y Ramadhani¹, N Kholidah^{1*}

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang, Palembang 30126, Indonesia

*e-mail korespondensi: nurulkholidah@radenfatah.ac.id

Abstrak. Plastik merupakan material polimer yang tidak dapat terurai secara biologis. Apabila tidak diolah dengan cara yang benar maka akan menimbulkan masalah yang cukup besar. Oleh karena itu, perlu adanya penanganan dalam pengolahan limbah plastik. Salah satu metode untuk mengatasi limbah plastik yaitu dengan cara pirolisis. Pada penelitian ini, limbah plastik yang digunakan adalah plastik jenis polistirena yaitu dalam bentuk tempat makanan yang biasanya disebut dengan *styrofoam*. Proses pirolisis limbah plastik *styrofoam* dilakukan dengan menggunakan katalis zeolit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aktivasi katalis zeolit baik secara fisika maupun kimia terhadap hasil pirolisis limbah *styrofoam*. Jumlah katalis yang digunakan pada proses pirolisis ini sebanyak 20% dari total berat sampah *styrofoam* yaitu 500 gram. Berdasarkan hasil penelitian, proses aktivasi mempengaruhi *yield* bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis limbah *styrofoam*. *Yield* bahan bakar cair tertinggi terdapat pada penggunaan zeolit yang diaktivasi secara fisika yaitu sebesar 36,758% dimana luas permukaan dan volume pori katalis zeolit sebesar 17,1630 m²/g dan 0,017159 cm³/g, sedangkan *yield* bahan bakar cair terendah terdapat pada penggunaan zeolit yang diaktivasi secara kimia yaitu sebesar 32,706% dimana luas permukaan dan volume pori katalis zeolit sebesar 15,5150 m²/g dan 0,020263 cm³/g.

Kata kunci : *Styrofoam*; Katalis Zeolit; Aktivasi Fisika; Aktivasi Kimia; Proses Pirolisis

Abstract. Plastic is a polymer material that cannot be biodegradable. If it is not processed in the right way it will cause significant problems. Therefore, there needs to be handling in the treatment of plastic waste. One method to overcome plastic waste is by pyrolysis. In this study, the waste plastic used is polystyrene type plastic which is in the form of a food container which is usually called *Styrofoam*. The pyrolysis process of *styrofoam* plastic waste is carried out using a zeolite catalyst. This study aims to determine the effect of zeolite catalyst activation both physically and chemically on the pyrolysis results of *styrofoam* waste. The amount of catalyst used in the pyrolysis process is 20% of the total weight of *Styrofoam* waste, which is 500 grams. Based on the results of the study, the activation process affects the liquid fuel yield produced from the pyrolysis process of *styrofoam* waste. The highest liquid fuel yield was found in the use of physically activated zeolite which was 36.758% where the surface area and pore volume of zeolite catalyst were 17.1630 m² / g and 0.017159 cm³ / g, while the lowest liquid fuel yield was found in the use of zeolite which is chemically activated is 32.706% where the surface area and pore volume of zeolite catalyst are 15.5150 m² / g and 0.020263 cm³ / g.

Keywords: *Styrofoam*; Zeolite catalyst; Physics Activation; Chemical Activation; Pyrolysis Process

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu kebutuhan penting dalam kehidupan manusia. Kebutuhan energi didominasi oleh bahan bakar fosil yang cepat atau lambat akan habis ketersediaannya, seperti minyak bumi, gas alam, dan batubara. Persentase penggunaan energi di Indonesia yaitu Bahan Bakar Minyak (BBM) sebesar 52,50%, gas alam sebesar 19,04% dan batubara sebesar 21,52% (Kholiq, 2015).

Penggunaan bahan bakar minyak yang terus meningkat menyebabkan cadangan minyak bumi semakin menipis, sehingga dibutuhkan energi alternatif yang dapat menggantikan bahan bakar fosil. Salah satu bahan bakar yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif dapat diperoleh dengan memanfaatkan limbah plastik sebagai bahan bakunya. Salah satu bahan baku yang dapat digunakan untuk pembuatan plastik adalah stirena, dimana stirena merupakan hasil pengolahan dari minyak bumi atau gas alam.

Styrofoam merupakan jenis plastik polistirena yang terbentuk dari monomer stirena. Produk berbahan dasar *styrofoam* sering digunakan oleh masyarakat sebagai wadah makanan siap saji. Hal tersebut dikarenakan *styrofoam* memiliki sifat fleksibel, praktis dan mudah digunakan, sehingga membuat penggunaannya semakin meningkat (Surono, 2013). Peningkatan jumlah sampah *styrofoam* dapat mengancam kestabilan ekosistem lingkungan, mengingat plastik yang digunakan saat ini adalah *non-biodegradable* (plastik yang tidak dapat terurai secara biologis). Sampah *styrofoam* yang dibakar dapat menghasilkan emisi gas yang berpotensi menyebabkan polutan dan efek rumah kaca seperti gas CO₂, SO_x, dan gas klor (Syamsiro, 2015). Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif lain dalam penanganan limbah *styrofoam*. Salah satu metode untuk mengatasi limbah *styrofoam* yaitu dengan cara pirolisis. Pirolisis merupakan suatu metode untuk pengolahan limbah plastik, karena dari proses ini dapat diperoleh bahan bakar berupa gas dan cairan (Surono, 2013).

Rachmawati (2015), telah melakukan penelitian dengan membandingkan jenis plastik yang digunakan pada proses pirolisis yaitu jenis plastik *High Density Polyethylene* (HDPE), *Poly Ethylene Terephthalate* (PET) dan *Polystyrene* (PS). Berdasarkan penelitian tersebut hasil pirolisis menggunakan plastik jenis PS, dengan suhu 500°C dan berat sampel 500 gram tanpa menggunakan katalis menghasilkan persentase dekomposisi sebesar 31,53%, dibandingkan dengan plastik jenis HDPE dan PET yang hanya menghasilkan persentase dekomposisi sebesar 15,49% dan 18,18%.

Menurut Kumara (2015), pada proses pirolisis dapat ditambahkan katalis untuk mempercepat reaksi dekomposisi dan memperpendek rantai hidrokarbon, sehingga mudah dikondensasi menjadi minyak pirolisis. Penelitian dengan menambahkan katalis telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Syamsiro (2015), keberadaan katalis dapat meminimalisir produksi *wax* dan minyak berat yang biasanya dihasilkan pada proses pirolisis

non katalis. Selain itu, menurut Pratiwi dan Wiwiek (2015), keberadaan katalis dapat meningkatkan rendemen hasil pirolisis plastik.

Katalis yang dapat digunakan dalam proses pirolisis bermacam-macam jenisnya seperti Al_2O_3 , Bentonit, Zeolit dan lainnya. Kumara (2015), membandingkan berbagai macam katalisator yang digunakan dalam pirolisis polietilen. Berdasarkan penelitian tersebut zeolit merupakan katalis yang paling efektif. Zeolit dalam proses pirolisis dapat memberikan perambatan suhu yang cepat dan stabil. Menurut Ramadhani (2017), zeolit memiliki karakteristik berongga dan memiliki kation yang dapat dipertukarkan serta memiliki ukuran pori tertentu. Oleh karena itu, zeolit dapat dimanfaatkan sebagai katalisator.

Katalis yang digunakan dalam proses pirolisis memiliki persyaratan utama yaitu luas permukaan yang besar dan volume pori yang besar (Ermawati, 2016). Salah satu metode yang dapat dilakukan agar luas permukaan dan volume pori katalis besar yaitu dengan cara aktivasi. Proses aktivasi katalis merupakan proses untuk menjadikan katalis lebih aktif. Proses aktivasi katalis bertujuan untuk membersihkan katalis dari pengotor agar pori-pori lebih terbuka dan meningkatkan aktivitasnya. Aktivasi katalis dapat dilakukan baik secara fisika maupun secara kimia.

Aktivasi secara fisika dilakukan melalui pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi untuk mengurangi kandungan air dalam zeolit, memperbesar pori, serta menghilangkan pengotor. Rahman, dkk (2017), melakukan penelitian mengenai pirolisis sampah plastik jenis *polypropylene* (PP) menggunakan katalis zeolit yang diaktivasi secara fisika. Berdasarkan penelitian tersebut hasil pirolisis menggunakan katalis zeolit yang diaktivasi secara fisika menghasilkan *yield* cairan sebesar 75,69%.

Aktivasi secara kimia dilakukan dengan pengasaman, dimana bertujuan untuk menghilangkan pengotor, serta meningkatkan suasana asam pada zeolit yang dapat mempengaruhi aktivitas zeolit sebagai katalis (Pratiwi dan Wiwiek, 2015). Salah satu aktivator yang dapat digunakan dalam aktivasi zeolit secara kimia yaitu dengan menggunakan aktivator HCl. Heraldy (2013), telah melakukan penelitian mengenai aktivasi zeolit menggunakan larutan HCl, HNO_3 , H_2SO_4 dan H_3PO_4 . Penelitian tersebut membuktikan bahwa larutan asam yang paling efektif untuk aktivasi zeolit adalah HCl. Aktivasi zeolit dengan HCl lebih efektif dibandingkan dengan yang lain karena memiliki kemampuan penyerapan sebesar 1,35 mg/g. Menurut penelitian Wulandari (2015), aktivasi katalis zeolit menggunakan aktivator HCl dalam mengkonversi limbah plastik jenis polipropilen memiliki luas permukaan 44,850 m^2/g , volume pori $33,632 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$ dan *yield* cairan yang dihasilkan sebesar 81,7834%. Berdasarkan adanya perbedaan hasil pirolisis dari aktivasi secara fisika maupun aktivasi secara kimia. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh aktivasi katalis zeolit secara fisika dan kimia terhadap hasil pirolisis limbah *styrofoam*.

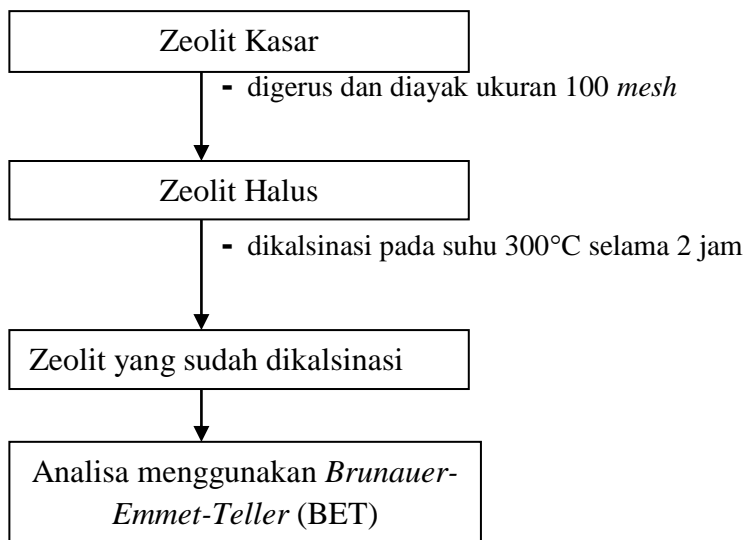
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

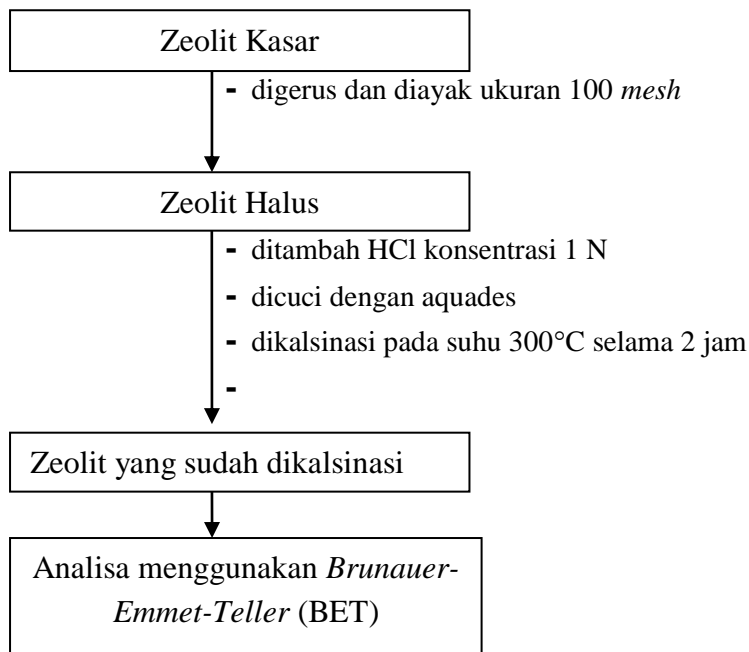
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah unit pirolisis, neraca analitik, gelas ukur, kertas saring, pipet tetes, ayakan 100 *mesh*, *furnace* dan gelas kimia. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah plastik jenis polistirena dalam bentuk *styrofoam*, zeolit sebagai katalis, aquades, dan HCl sebagai aktivator.

2.2 Aktivasi Zeolit

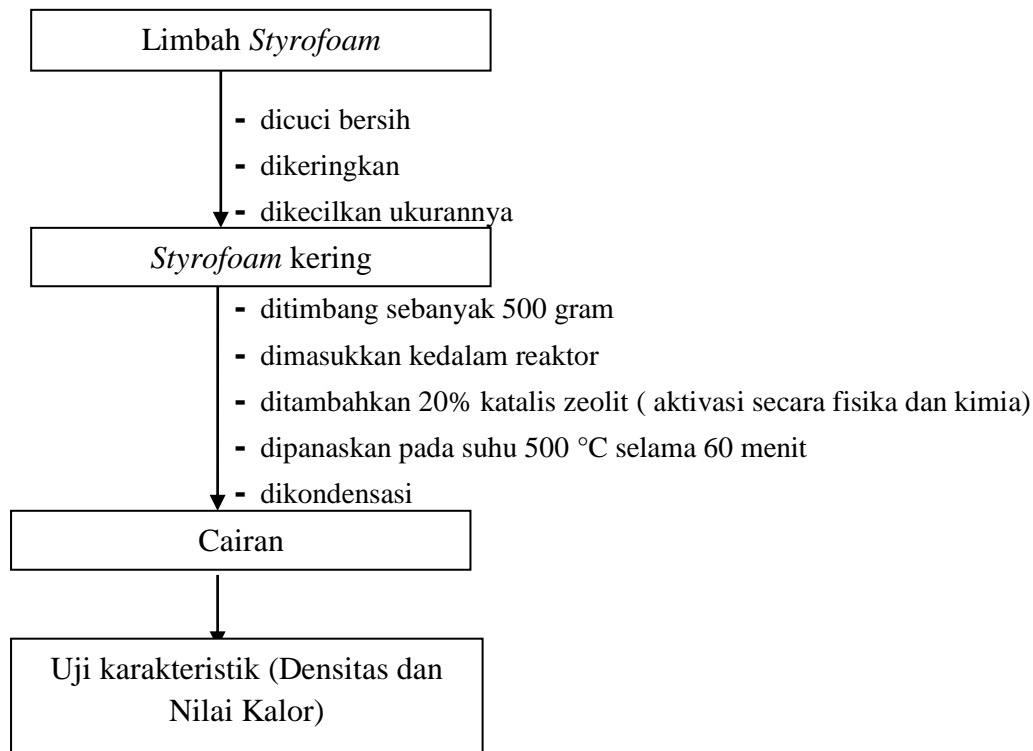
2.2.1 Aktivasi secara Fisika



2.2.2 Aktivasi Kimia



2.2.3 Proses Pirolisis



Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah plastik jenis *polystyrene* yang berupa limbah *styrofoam*. Limbah *styrofoam* yang digunakan sebanyak 500 gram. Sebelum di proses bahan baku dibersihkan dengan air lalu dikeringkan secara alami menggunakan sinar matahari. Pada tahap pertama, bahan baku yang digunakan dikecilkan ukurannya lalu ditimbang sesuai dengan variabel penelitian. Proses pirolisis dilakukan dengan menggunakan katalis zeolit yang diaktivasi secara fisika dan zeolit yang diaktivasi secara kimia sebanyak 20% dari total bahan baku. Proses pirolisis sampah plastik polistirena berlangsung didalam reaktor pada suhu operasi 500°C dan lama waktu pirolisis 60 menit. Proses pirolisis dilakukan dengan memanaskan reaktor dengan pemanas. *Styrofoam* yang dipanaskan akan meleleh dan akan menghasilkan uap. Uap hasil pirolisis dialirkan ke rangkaian kondensor yang dialiri air pendingin agar berubah fase menjadi cair dan cairan hasil kondensasi dikumpulkan dalam gelas ukur dan dicatat volumenya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Karakterisasi katalis dalam penentuan luas permukaan dan volume pori dilakukan dengan menggunakan metode *Brunauer-Emmet-Teller* (BET) yang dapat dilihat pada tabel 1, *yield* produk dan karakteristik produk cair dari hasil pirolisis limbah *styrofoam* dapat dilihat pada tabel 2 dan 3.

Tabel 1. Karakterisasi *Brunauer-Emmet-Teller*(BET)

Metode	Luas Permukaan (m ² /g)	Volume Pori (cm ³ /g)
Aktivasi Fisika	17,1630	0,017159
Aktivasi Kimia	15,5150	0,020263

Tabel 2. *Yield* Produk Bahan Bakar Hasil Pirolisis Limbah *Styrofoam*

Berat <i>Styrofoam</i> (g)	Suhu (°C)	Waktu Operasi (s)	Metode	Massa Produk		
				Cairan (%)	Padatan (%)	Padatan (%)
500	500	60	Aktivasi Fisika	36,758	20,628	42,614
			Aktivasi Kimia	32,706	22,064	45,23

Tabel 3. Karakteristik Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis Limbah *Styrofoam*

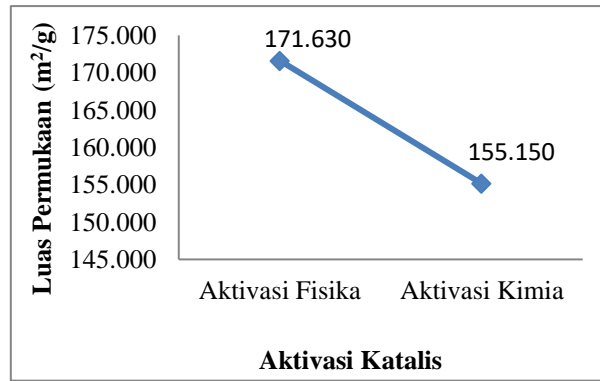
Berat <i>Styrofoam</i> (g)	Suhu (°C)	Waktu Operasi (s)	Metode	Densitas (g/ml)	Nilai Kalor (MJ/kg)
500	500	60	Aktivasi Fisika	0,84697	41,121815
			Aktivasi Kimia	0,84733	45,389731

3.2 Pembahasan

Pada penelitian ini, zeolit yang digunakan diperoleh dari Central Kimia Palembang Sumatera Selatan. Penggunaan katalis dalam proses pirolisis memiliki persyaratan utama yaitu luas permukaan yang besar dan volume pori yang besar (Ermawati, 2016). Salah satu metode yang dapat dilakukan agar luas permukaan dan volume pori katalis besar yaitu dengan cara aktivasi. Proses aktivasi katalis bertujuan untuk membersihkan katalis dari pengotor agar pori-pori lebih terbuka dan meningkatkan aktivitas katalis.

3.2.1 Pengaruh Aktivasi Katalis Zeolit terhadap Luas Permukaan dan Volume Pori

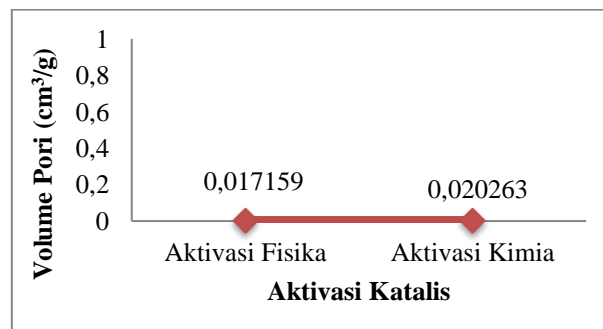
Luas permukaan dan volume pori katalis dapat dianalisa menggunakan metode *Brunauer-Emmet-Teller* (BET). Luas permukaan pada katalis dapat mempengaruhi aktivitas pada katalis. Semakin luas permukaan katalis maka sisi aktif yang tersebar akan semakin banyak sehingga dapat meningkatkan aktivitas katalis. Luas permukaan katalis yang besar dapat memberikan bidang kontak yang besar pula antara molekul reaktan dengan katalis. Besarnya bidang kontak tersebut secara langsung akan mempengaruhi proses katalisis secara keseluruhan (Savitri, dkk, 2016). Berikut merupakan grafik hubungan antara aktivasi katalis zeolit dengan luas permukaan.



Gambar 1. Hubungan aktivasi katalis zeolit dengan luas permukaan.

Berdasarkan gambar 1. terlihat bahwa analisa menggunakan metode *Brunauer-Emmet-Teller* (BET) menunjukkan luas permukaan zeolit tertinggi terdapat pada zeolit teraktivasi secara fisika yaitu sebesar 17,1630 m²/g, sedangkan luas permukaan zeolit teraktivasi secara kimia yaitu sebesar 15,5150 m²/g. Penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian menurut Setiawan, dkk (2018), menyatakan bahwa zeolit yang teraktivasi secara kimia dengan menggunakan larutan HCl menunjukkan luas permukaan katalis yang menurun. Hal tersebut karena diduga pada saat proses aktivasi terjadinya aglomerasi yang dapat menutupi pori-pori zeolit, sehingga pengukuran menggunakan alat SAA (*Surface Area Analysis*) tidak satu partikel.

Luas permukaan erat hubungannya dengan volume pori katalis. Semakin besar volume pori sehingga akan meningkatkan luas permukaan katalis. Berikut merupakan grafik hubungan antara aktivasi katalis zeolit dengan volume pori.



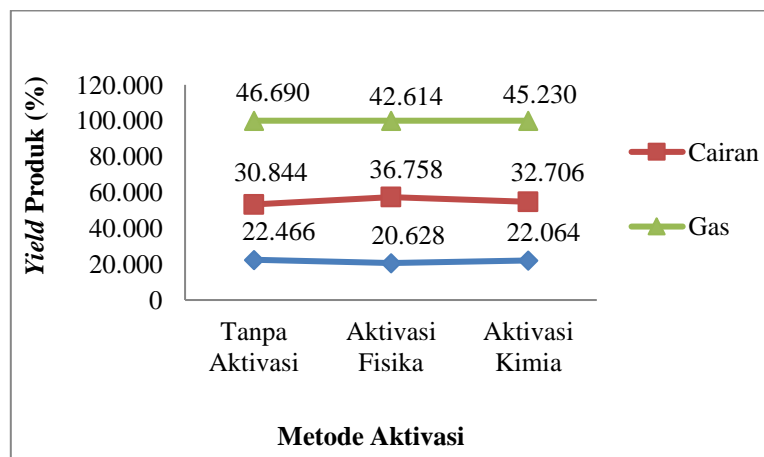
Gambar 2. Hubungan aktivasi katalis zeolit dengan volume pori.

Volume pori tertinggi terdapat pada zeolit teraktivasi secara kimia yaitu sebesar 0,020263 cm³/g sedangkan zeolit teraktivasi secara fisika sebesar 0,017159 cm³/g. Pada zeolit yang teraktivasi secara fisika memiliki volume pori lebih kecil dibandingkan dengan zeolit teraktivasi kimia. Hal ini dikarenakan sesuai dengan sifatnya secara kimia pada perendaman dengan larutan HCl terjadinya dealuminasi yang dapat mengoptimalkan kandungan aluminium dalam zeolit sehingga zeolit dapat lebih stabil pada suhu tinggi. Selain itu, proses dealuminasi juga menyebabkan Al dalam kerangka menjadi Al di luar kerangka membentuk AlCl₃. Al yang

bersifat pendonor elektron semakin elektro positif karena adanya Cl yang menarik elektron dari Al. Ketika Al semakin elektro positif maka Al akan mudah diserang dengan senyawa polistirena, sehingga saat Al mudah diserang menyebabkan volume pori semakin besar (Khabib, 2013).

3.2.2 Pengaruh Aktivasi Katalis Zeolit terhadap *Yield* Produk dari Proses Pirolisis Limbah *Styrofoam*

Berikut merupakan grafik hubungan pengaruh aktivasi katalis zeolit terhadap *yield* produk dari hasil pirolisis limbah *styrofoam* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Metode Aktivasi dengan *Yield* Produk Limbah *Styrofoam*

Berdasarkan gambar 3. *Yield* produk dari proses pirolisis limbah *styrofoam* tertinggi terdapat pada *yield* gas yaitu berkisar antara 42,6-45,2%, sedangkan *yield* padatan dan *yield* cairan berkisar antara 20,6-22,0% dan 32,7-36,7%. *Yield* gas memberikan hasil yang lebih banyak dibandingkan *yield* cairan. Hal ini sesuai dengan penelitian Rahman (2017), menjelaskan bahwa banyaknya *yield* gas yang diperoleh disebabkan karena ukuran pori yang lebih kecil. *Yield* gas yang lebih banyak menyebabkan *yield* cairan lebih sedikit.

Yield bahan bakar cair tertinggi dalam proses pirolisis limbah *styrofoam* terdapat pada *yield* zeolit teraktivasi secara fisika yaitu sebesar 36,758%, sedangkan *yield* bahan bakar cair zeolit teraktivasi secara kimia yaitu sebesar 32,706%. *Yield* bahan bakar cair pada zeolit teraktivasi fisika lebih tinggi dibandingkan zeolit teraktivasi kimia. Hal ini dikarenakan luas permukaan zeolit aktivasi fisika lebih besar dibandingkan zeolit aktivasi kimia. Luas permukaan katalis yang lebih besar dapat membuat kontak yang terjadi antara reaktan dan permukaan katalis juga besar sehingga reaksi yang terjadi antara umpan dan katalis semakin banyak serta produk yang dihasilkan juga semakin banyak (Irvantino, 2013).

3.2.3 Karakteristik Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis limbah plastik jenis polistirena menggunakan katalis zeolit selanjutnya dilakukan uji karakteristik antara lain pengujian densitas, titik nyala dan nilai kalor. Adapun perbandingan karakteristik bahan bakar cair proses pirolisis limbah *styrofoam* dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Perbandingan Karakteristik Bahan Bakar Cair Proses Pirolisis Limbah *Styrofoam* dengan SNI Solar

Karakteristik	SNI 7390:2008		Bahan Bakar Cair Pirolisis		
	Min	Max	Tanpa Aktivasi	Aktivasi Fisika	Aktivasi Kimia
Densitas (g/ml)	0,81	0,87	0,83365	0,84697	0,84733
Nilai Kalor (MJ/kg)	-	44,8	43,318466	41,121815	45,389731

Berdasarkan data perbandingan karakteristik bahan bakar cair hasil pirolisis limbah *styrofoam* dengan SNI solar menunjukkan bahwa densitas yang dihasilkan pada penelitian ini baik aktivasi secara kimia, aktivasi secara fisika dan zeolit tanpa aktivasi densitas bahan bakar cair yang dihasilkan berkisar antara 0,83-0,84 gram/ml. Berdasarkan tabel 4. tersebut diketahui bahwa densitas bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis limbah *styrofoam* masuk kedalam rentang bahan bakar solar (SNI7390:2008) yaitu dengan densitas sebesar 0,81-0,87 gram/ml (Rahman, 2017).

Nilai kalor merupakan energi panas yang terkandung dalam satuan massa dari bahan bakar. Pengujian nilai kalor dilakukan untuk mengetahui berapa nilai kalor bahan bakar tersebut yang akan dibandingkan dengan nilai kalor bahan bakar minyak standar. Berdasarkan tabel 4. diketahui bahwa nilai kalor yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 41,12 - 45,38 MJ/kg sedangkan nilai kalor SNI solar yaitu maksimal 44,8 MJ/kg. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kalor bahan bakar cair limbah *styrofoam* masih mendekati nilai kalor pada SNI solar. Berdasarkan hasil analisis densitas dan nilai kalor bahan bakar cair yang dihasilkan sudah memenuhi SNI dari solar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa *yield* bahan bakar cair tertinggi terdapat pada zeolit teraktivasi secara fisika yaitu sebesar 36,7% dengan luas permukaan dan volume pori sebesar 17,1630m²/g dan 0,017159 cm³/g. Sedangkan *yield* bahan bakar cair pada zeolit teraktivasi secara kimia yaitu sebesar 32,706% dimana luas permukaan dan volume pori katalis zeolit sebesar 15,5150 m²/g dan 0,020263 cm³/g.

DAFTAR PUSTAKA

1. Herald, "Karakterisasi dan Aktivasi Zeolit Alam Ponorogo," *Indonesian Journal of Chemistry.*, vol.3, no.2, pp. 91-97, 2013.
2. Rahman, "Pengaruh Suhu Dan Persen Katalis Zeolit Terhadap *Yield* Pirolisis Limbah Plastik *Polypropylene* (PP)," *Jurnal Jom FTEKNIK*, vol. 4, no.2, pp.1-7, 2017.
3. M, Syamsiro, "Kajian pengaruh penggunaan katalis terhadap kualitas produk minyak hasil pirolisis Sampah plastik," *Jurnal teknik*, vol.5, no.1, pp. 47-56, 2015.
4. Ermawati, "Pengaruh *residue catalytic cracking* (*rcc*) dan zeolit Terhadap kualitas *crude oil* hasil pirolisis limbah Plastik polietilena," *Jurnal kimia kemasan.*, vol. 38, no. 1, pp. 47-54, 2016.
5. Irvantino, Preparasi Katalis Zeolit Alam dengan Metode Sonokimia untuk Perengkahan Katalitik Polipropilen dan Polietilen." Skripsi, 2013.
6. Khabib, "Studi deaktivasi dan regenerasi katalis Ni/ZA pada reaksi perengkahan polipropilena," *Skripsi*, 2013.
7. Kholiq, "Pemanfaatan Energi Alternatif sebagai Energi terbarukan untuk mendukung Substitusi BBM." *Jurnal IPTEK*, vol. 19, no. 2, pp.75-91, 2015.
8. Kumara, "Pengaruh Penggunaan Katalis (Zeolit) Terhadap *Kinetic Rate Tar* Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (*Switenia Macrophylla*)." *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 19-25, 2015.
9. Pratiwi dan Wiwiek, "Pengaruh penggunaan katalis zeolit alam dalam pirolisis limbah plastik jenis HDPE menjadi bahan bakar cair setara bensin." *Seminar Nasional Sains dan Teknologi.*" Pp. 1-5, 2015.
10. Rachmawati, "Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik." *Jurnal Teknik ITS*, vol. 4, no. 1, pp. D27-D29, 2015.
11. Ramadhani, "Sintesis Ni/Zeolit Alam teraktivasi Asam sebagai Katalis pada Biodiesel Minyak Biji Ketapang." *JKPK*. Vol. 2, no. 1, pp. 72-79, 2017.
12. Surono, "Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak." *Jurnal Teknik*, vol. 3, no. 1, pp. 32-40, 2013.
13. Wulandari, "Konversi Katalitik Polipropilena menjadi Fraksi Bahan Bakar Cair menggunakan Katalis Ni-Mo/ZA." *Indonesia Journal of Chemical Science*, vol. 4, no. 1, pp. 69-74, 2015.
14. Y Setiawan, "Preparasi dan Karakterisasi Nanozeolit dari Zeolit Alam Gunungkidul dengan Metode *Top-Down*." *Indo.J. Chem.Sci*, vol.7, no.1, pp. 43-49, 2018.
15. Savitri, A Setia, I Aziz, Pembuatan Katalis Asam dan Katalis Basa untuk Aplikasi Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Jelantah." *Jurnal Kimia VALENSI*, vol.2, no.1, pp.1-10, 2016.

