

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

Pada penelitian ini dilakukan proses pirolisis limbah plastik menjadi bahan bakar cair. Limbah plastik yang digunakan adalah limbah plastik jenis polistirena yaitu dalam bentuk tempat makanan yang biasanya disebut dengan *styrofoam*. Proses pirolisis limbah plastik dilakukan di dalam reaktor jenis *fixed bed* yang dioperasikan pada suhu 500°C selama 60 menit. Proses pirolisis dikatalisis menggunakan katalis zeolit yang teraktivasi secara fisika dan zeolit yang teraktivasi secara kimia. Jumlah katalis yang digunakan pada proses pirolisis ini sebanyak 20% dari total berat limbah plastik yaitu 500 gram.

Karakteristik katalis dalam penentuan luas permukaan dan volume pori dilakukan dengan menggunakan metode *Brunauer-Emmet-Teller* (BET) yang dapat dilihat pada Tabel 4.1, sedangkan densitas katalis zeolit, massa produk, *yield* produk serta karakteristik produk cair yang dihasilkan dari proses pirolisis limbah *styrofoam* dapat dilihat pada Tabel 4.2 - 4.5.

**Tabel 4.1.** Karakteristik Katalis Zeolit dengan Metode *Brunauer-Emmet-Teller* (BET)

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

**Tabel 4.2.** Densitas dari Katalis Zeolit

Aktivasi Zeolit	Densitas	Rata-rata
Fisika	0,06	0,06 g/cm <sup>3</sup>
	0,07	
	0,06	
Kimia	0,07	0,06 g/cm <sup>3</sup>
	0,06	
	0,06	

**Tabel 4.3.** Massa Produk Hasil Pirolisis Limbah *Styrofoam*

Berat <i>Styrofoam</i> (g)	Suhu (°C)	Waktu Operasi (menit)	Metode	Massa Produk		
				Cairan (g)	Padatan (g)	Gas (g)
500	500	60	Aktivasi Fisika	183,79	103,14	213,07
			Aktivasi Kimia	163,53	110,32	226,15

**Tabel 4.4.** Yield Produk Hasil Pirolisis Limbah *Styrofoam*

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

**Tabel 4.5.** Karakteristik Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis Limbah *Styrofoam*

Berat <i>Styrofoam</i> (g)	Suhu (°C)	Waktu Operasi (menit)	Metode	Densitas (g/ml)	Titik Nyala (°C)	Nilai Kalor (MJ/kg)
500	500	60	Aktivasi Fisika	0,84697	27,0	41,121815
			Aktivasi Kimia	0,84733	27,0	45,389731

## 4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini, dilakukan proses pirolisis limbah *styrofoam* menggunakan katalis zeolit. Zeolit yang digunakan diperoleh dari *Central Kimia Palembang*, Sumatera Selatan. Adapun faktor yang mempengaruhi aktivitas katalis dalam proses pirolisis yaitu luas permukaan dan volume pori. Semakin besar luas permukaan dan volume pori maka semakin besar aktivitas katalis [9]. Salah satu cara 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.

Aktivasi katalis dapat dilakukan dengan cara aktivasi secara fisika dan aktivasi secara kimia. Menurut Rahman [10], proses aktivasi zeolit secara fisika dilakukan dengan tahapan penggerusan, pengayakan dan pemanasan. Tujuan dari pengayakan zeolit yaitu untuk mendapatkan ukuran zeolit yang sama. Pengayakan dilakukan dengan menggunakan ayakan 100 *mesh*. Menurut Irnaningsih [23], penggunaan zeolit ukuran 100 *mesh* merupakan ukuran yang efektif karena ukuran partikel yang kecil dapat membuat luas permukaan semakin besar dan zeolit yang digunakan semakin efektif. Berdasarkan variabel kontrol pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa dari ukuran partikel zeolit 100 *mesh* teraktivasi fisika dan teraktivasi kimia, menunjukkan densitas zeolit yang identik yaitu 0,06 g/ cm<sup>3</sup>. Adapun fungsi dari proses pemanasan yaitu untuk menguapkan air yang terperangkap di dalam pori-pori zeolit, sehingga luas permukaannya bertambah besar [34].

Aktivasi zeolit secara kimia dilakukan dengan menambahkan larutan HCl sebagai aktivator, kemudian zeolit dicuci dengan aquades hingga pH menjadi netral. Namun, pada penelitian ini proses pencucian

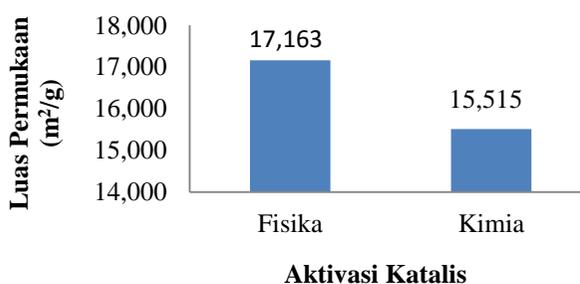
hanya dilakukan hingga pH 6, sehingga diduga larutan HCl masih terdapat di dalam zeolit.

Proses aktivasi menggunakan aktivator asam bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang masih terdapat pada zeolit seperti  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , dan  $\text{K}^+$ . Penggunaan aktivator asam dapat memperbesar luas permukaan zeolit. Hal tersebut dikarenakan terjadinya proses dekationasi, sehingga pengotor-pengotor yang menutupi pori-pori zeolit berkurang [24].

Zeolit yang telah diaktivasi secara fisika dan diaktivasi secara kimia selanjutnya dikarakterisasi menggunakan alat SAA (*Surface Area Analysis*) dengan metode *Brunauer-Emmet-Teller* (BET) untuk menentukan luas permukaan dan volume pori katalis zeolit.

#### 4.2.1 Pengaruh Aktivasi Katalis Zeolit terhadap Luas Permukaan

Faktor yang dapat mempengaruhi aktivitas katalis yaitu luas permukaan dan volume pori. Semakin luas permukaan katalis maka sisi aktif yang tersebar akan semakin banyak, sehingga dapat meningkatkan aktivitas katalis. Luas permukaan katalis yang besar dapat memperbesar bidang kontak antara molekul reaktan dengan katalis [25]. Adapun hubungan antara aktivasi katalis zeolit dengan luas permukaan dapat dilihat pada gambar 4.1.



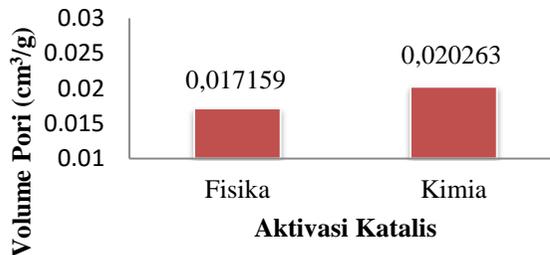
**Gambar 4.1** Hubungan Aktivasi Katalis Zeolit dengan Luas Permukaan.

Berdasarkan Gambar 4.1, terlihat bahwa analisa zeolit menggunakan metode *Brunauer-Emmet-Teller* (BET) menunjukkan luas permukaan zeolit terbesar terdapat pada zeolit teraktivasi secara fisika yaitu sebesar  $17,1630 \text{ m}^2/\text{g}$ , sedangkan luas permukaan zeolit teraktivasi secara kimia yaitu sebesar  $15,5150 \text{ m}^2/\text{g}$ . Luas permukaan pada katalis zeolit teraktivasi secara kimia lebih rendah dibandingkan luas permukaan zeolit teraktivasi secara fisika. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena alumina dalam zeolit ikut terlarut pada saat penambahan aktivator HCl. Selain itu, dapat dilihat dari pH zeolit teraktivasi secara kimia menunjukkan pH 6 yang mengkonfirmasi bahwa zeolit masih bersifat asam. Hal ini sesuai dengan Widayat [26], bahwa terjadinya penurunan luas permukaan dikarenakan masih terdapat larutan HCl di dalam zeolit, sehingga larutan HCl akan bereaksi dengan katalis zeolit yang dapat menyebabkan senyawa alumina pada zeolit akan ikut larut atau bereaksi dengan pelarut yang mengakibatkan luas permukaan menjadi lebih kecil [26].

Adanya penurunan luas permukaan pada zeolit teraktivasi secara kimia juga disebabkan karena terjadinya deaktivasi yang ditandai dengan perubahan warna pada zeolit setelah teraktivasi secara kimia, dimana zeolit sebelum teraktivasi berwarna abu-abu muda dan setelah teraktivasi zeolit berubah warna menjadi abu-abu pekat. Menurut Marissa [27], berdasarkan analisis secara fisik terjadinya perubahan warna pada katalis setelah dilakukan aktivasi secara kimia disebabkan karena terjadinya deaktivasi dan membuat menurunnya luas permukaan pada katalis. Terjadinya deaktivasi maka akan membuat aktivitasnya menurun. Penurunan ini disebabkan karena adanya inhibitor yang dapat meracuni permukaan katalis, sehingga permukaan katalis mengalami perubahan secara fisik.

#### 4.2.2 Pengaruh Aktivasi Katalis Zeolit terhadap Volume Pori

Adapun hubungan antara aktivasi katalis zeolit dengan volume pori dapat dilihat pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2.** Hubungan Aktivasi Katalis Zeolit dengan Volume Pori.

Berdasarkan Gambar 4.2, volume pori pada zeolit teraktivasi secara kimia diperoleh sebesar 0,020263 cm<sup>3</sup>/g, sedangkan volume pori zeolit teraktivasi secara fisika diperoleh sebesar 0,017159 cm<sup>3</sup>/g. Volume pori katalis zeolit teraktivasi secara kimia lebih besar dibandingkan volume pori zeolit teraktivasi secara fisika. Hasil tersebut sesuai dengan Trisunaryati [35], bahwa besarnya volume pori pada katalis zeolit yang teraktivasi secara kimia terjadi karena adanya penambahan asam dan proses pemanasan. Adanya penambahan asam dan pemanasan tersebut menyebabkan pori-pori zeolit menjadi lebih terbuka dan terlarutnya senyawa-senyawa pengotor yang menutupi pori pada katalis zeolit sehingga volume pori lebih besar.

#### 4.2.3 Proses Pirolisis Limbah Styrofoam

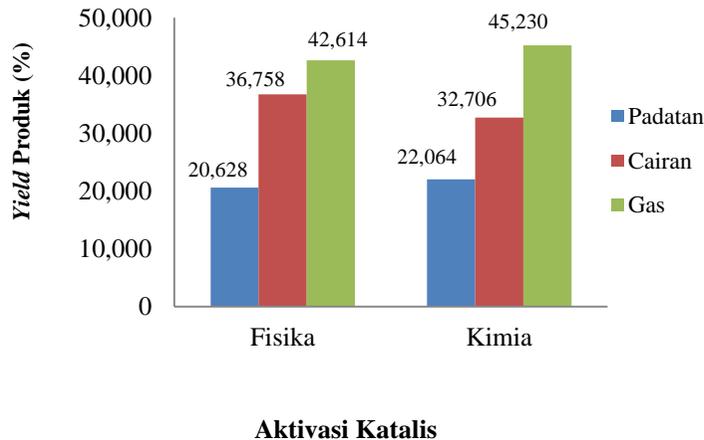
Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan adalah plastik jenis polistirena yang berupa limbah *styrofoam*. Proses pirolisis limbah *styrofoam* dilakukan di dalam reaktor jenis *fixed bed* yang dioperasikan pada suhu 500°C selama 60 menit. Limbah *styrofoam* sebelum diproses dibersihkan terlebih dahulu. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan

kotoran yang ada pada limbah *styrofoam*. Selanjutnya *styrofoam* dikecilkan ukurannya untuk mempermudah proses pelelehan dan proses pirolisis limbah *styrofoam*.

Proses pirolisis dilakukan dengan memasukkan limbah *styrofoam* sebanyak 500 gram ke dalam wadah dan di campur dengan katalis zeolit, kemudian dimasukkan dalam reaktor. Proses pirolisis masing-masing dilakukan dengan menggunakan katalis zeolit teraktivasi secara fisika dan zeolit teraktivasi secara kimia sebanyak 20% dari total bahan baku. Selanjutnya pemanas dan pompa air dinyalakan, kemudian suhu pemanas diatur sesuai variabel penelitian. Pada suhu tertentu limbah *styrofoam* akan berubah fase menjadi cair, karena telah mencapai titik lelehnya. Selanjutnya setelah berubah menjadi cair, limbah *styrofoam* berubah fase menjadi fase gas akibat proses pemanasan yang terjadi. Gas akan naik melalui aliran pipa yang ada dibagian atas reaktor menuju ke kondensor. Fungsi kondensor sebagai alat pendingin untuk merubah fase gas menjadi cair. Cairan inilah yang akan menjadi bahan bakar hasil pirolisis limbah *styrofoam* [6].

#### 4.2.4 Pengaruh Aktivasi Katalis Zeolit terhadap *Yield* Produk Hasil Pirolisis Limbah *Styrofoam*

Adapun hubungan pengaruh aktivasi katalis zeolit terhadap *yield* produk hasil pirolisis limbah *styrofoam* dapat dilihat pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3.** Hubungan Aktivasi Katalis dengan *Yield* Produk Limbah *Styrofoam*

Berdasarkan gambar 4.3, *Yield* cairan tertinggi dalam proses pirolisis limbah *styrofoam* terdapat pada penambahan katalis zeolit teraktivasi secara fisika yaitu sebesar 36,758%, sedangkan *yield* cairan pada penambahan zeolit teraktivasi secara kimia yaitu sebesar 32,706%. Pada proses pirolisis limbah *styrofoam*, *yield* cairan dengan penambahan zeolit teraktivasi secara fisika lebih tinggi dibandingkan zeolit teraktivasi secara kimia. Hal ini dikarenakan luas permukaan zeolit teraktivasi fisika lebih besar dibandingkan luas permukaan zeolit teraktivasi kimia. Semakin besar luas permukaan katalis, maka semakin besar bidang kontak yang terjadi antara reaktan dan permukaan katalis. Oleh karena itu, produk yang dihasilkan semakin banyak [28]. Hal ini sesuai dengan pernyataan Savitri [25], bahwa luas permukaan katalis akan mempengaruhi aktivitas katalis. Semakin luas permukaan suatu

katalis, maka sisi aktif yang tersebar akan semakin banyak, sehingga akan meningkatkan aktivitas katalis dan meningkatkan *yield* dari produk.

*Yield* produk tertinggi dari proses pirolisis limbah *styrofoam* terdapat pada *yield* gas. Tingginya *yield* gas yang dihasilkan dari proses pirolisis limbah *styrofoam* dikarenakan besarnya luas permukaan pada zeolit. Semakin besar luas permukaan maka semakin banyak situs aktif zeolit yang berperan dalam pemutusan ikatan hidrokarbon, sehingga produk yang dihasilkan lebih banyak dalam bentuk gas yang sulit terkondensasi seperti CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>. Selain itu banyaknya produk gas yang terbentuk disebabkan karena adanya kekuatan asam yang tinggi dari katalis zeolit, sehingga membuat aktivitas katalitik pada zeolit dapat memutus ikatan hidrokarbon menjadi produk gas yang tinggi [29]. Hasil utama produk pirolisis akan semakin banyak berupa gas maupun cairan dengan meningkatnya aktivitas katalis, sedangkan sisa padatan yang tertinggal akan semakin sedikit [35].

Berdasarkan hasil pirolisis limbah *styrofoam* diketahui bahwa *yield* cairan tertinggi terdapat pada penambahan katalis teraktivasi secara fisika. Hal tersebut menunjukkan bahwa luas permukaan berpengaruh dalam proses pirolisis, sedangkan volume pori tidak terlalu berpengaruh terhadap *yield* cairan pada proses pirolisis limbah *styrofoam*. Hal tersebut terkonfirmasi dari hasil BET yang menunjukkan bahwa katalis zeolit teraktivasi fisika memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan katalis teraktivasi kimia.

#### 4.2.5 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 karakteristik bahan bakar cair dari proses pirolisis limbah *styrofoam* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

##### 1. Densitas

Densitas adalah massa jenis rata-rata suatu benda yang dihasilkan dari total massa suatu benda dibagi dengan total volumenya. Berdasarkan karakteristik bahan bakar cair hasil pirolisis limbah *styrofoam* menunjukkan bahwa densitas yang dihasilkan baik penambahan katalis zeolit yang diaktivasi secara kimia dan diaktivasi secara fisika, densitas bahan bakar cair yang dihasilkan yaitu 0,84 gram/mL. Berdasarkan standar bahan bakar minyak dapat diketahui bahwa densitas bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis limbah *styrofoam* masuk kedalam rentang bahan bakar solar yaitu dengan densitas sebesar 0,81-0,87 gram/ml (SNI7390:2008) [10].

##### 2. Titik Nyala

Titik nyala merupakan suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api, apabila pada permukaan minyak didekatkan pada nyala api. Titik nyala yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu 27,0°C. Nilai titik nyala bahan bakar cair hasil pirolisis limbah *styrofoam* memiliki kualifikasi yang sama seperti minyak ringan, dimana nilai tersebut dibawah 60°C.

### **3. Nilai Kalor**

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 standar minyak. Nilai kalor yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 41,12-45,38 MJ/kg. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kalor bahan bakar cair limbah *styrofoam* masih mendekati nilai kalor pada minyak ringan yaitu memiliki kualifikasi yang sama seperti nilai kalor pada solar yaitu maksimal 44,8 MJ/kg.



