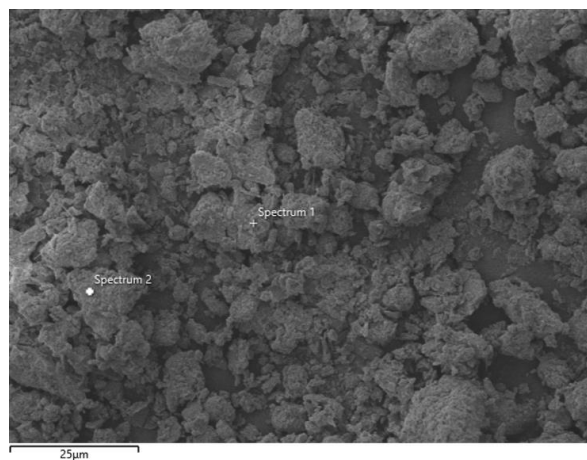


BAB IV

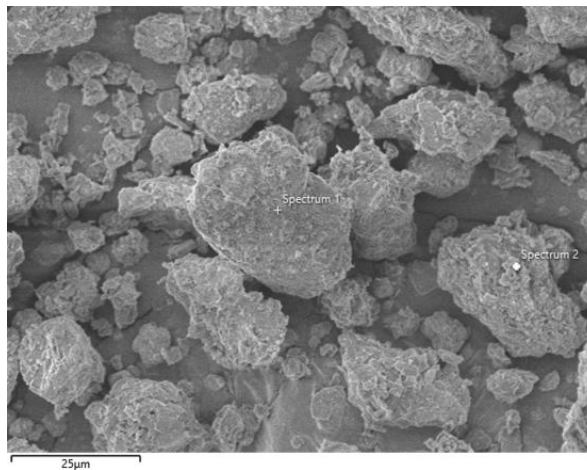
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh aktivasi Katalis Zeolit Alam Bayah Terhadap Morfologi

Berikut merupakan perbandingan permukaan katalis sebelum dan sesudah aktivasi.



(a)



(b)

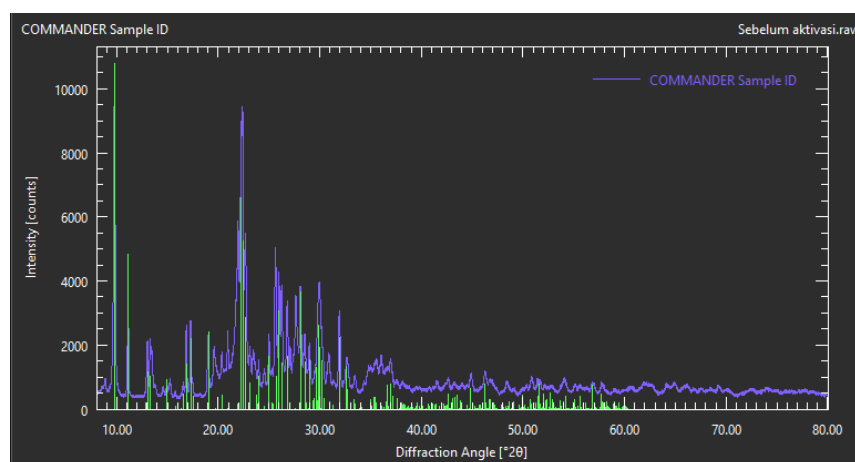
Gambar 4. 1 Permukaan Katalis Sebelum Aktivasi (a) dan Sesudah Aktivasi (b)

Katalis adalah suatu senyawa yang dimasukkan ke dalam suatu reaksi kimia untuk mempercepat laju reaksi tanpa mengalami perubahan

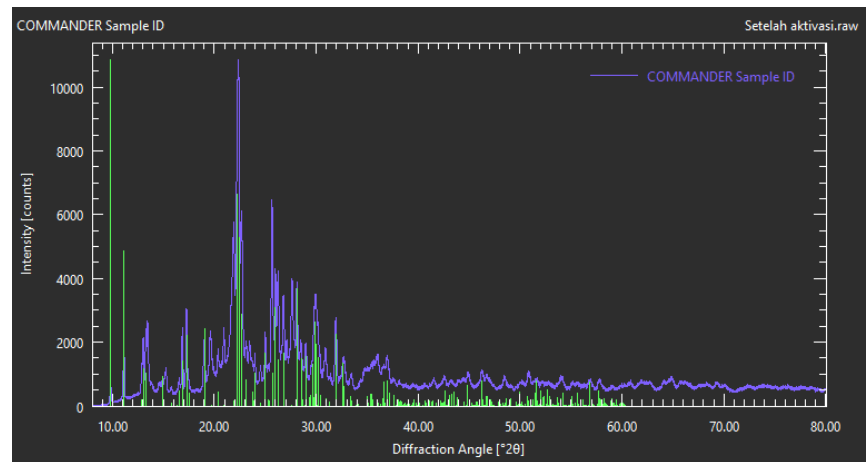
kimia pada akhir reaksi. Katalis menyediakan mekanisme reaksi alternatif dengan energi aktivasi yang lebih rendah dibandingkan dengan reaksi tanpa katalis (Agustina R., et al. 2020). Pada proses pirolisis yang dilakukan, digunakan katalis Zeolit Alam Bayah yang telah diaktivasi. Pengaruh dari aktivasi yang dilakukan dapat dilihat dari luas pori-pori pada permukaan katalis yang semakin besar.

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa katalis sebelum aktivasi memiliki permukaan yang lebih rapat dibandingkan dengan katalis setelah aktivasi. Hal ini menunjukkan bahwa metode aktivasi yang dilakukan sudah sesuai dengan tujuan dari adanya aktivasi katalis yaitu untuk memperbesar luas pori-pori katalis.

Katalis memiliki sifat yang spesifik, sehingga jumlah dan jenis katalis juga berpengaruh dalam penggunaannya. Katalis yang tidak cocok dengan reaksi yang terjadi dapat menjadi katalis beracun yang dapat menghambat terjadinya reaksi (Herizal, 2020). Pada penelitian ini zeolit yang digunakan adalah Zeolit Alam Bayah. Uji XRD dilakukan untuk mengetahui tipe dari zeolit yang digunakan. Hasil dari uji XRD yang kemudian diolah dengan menggunakan *software profex 5.0* dapat dilihat pada Gambar 4.2



(a)



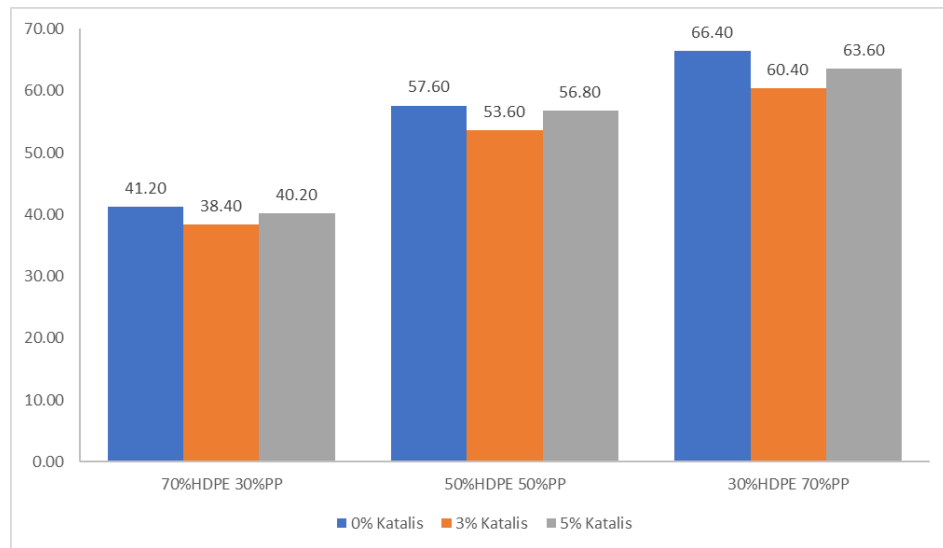
(b)

Gambar 4. 2 Hasil Uji XRD Sebelum Aktivasi (a) dan Sesudah Aktivasi
(b)

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa Zeolit alam bayah memiliki kristalinasi yang hampir serupa dengan tipe klinoptololiit. Hal ini menunjukkan bahwa Zeolit alam bayah merupakan zeolit yang masuk ke dalam kategori Zeolit Klinoptilolit.

4.2 Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Yield Rendemen Cair

Hasil yield rendemen cair dengan variasi jumlah Katalis Zeolit Alam Bayah menjadi 0%, 3%, dan 5% disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Yield Rendemen Cair

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa setiap kondisi komposisi plastik menunjukkan yield terbanyak pada variasi 0% katalis, 5% katalis, dan 3% katalis. Hal ini menunjukkan Katalis Zeolit alam Bayah dengan jumlah 3% dan 5% tidak cukup efisien jika digunakan sebagai katalis dalam proses pirolisis. Hal ini ditunjukkan dengan penggunaan 0% katalis masih menghasilkan rendemen cair yang lebih banyak. Namun peningkatan jumlah rendemen cair dari variasi 3% katalis menuju variasi 5% katalis menunjukkan bahwa peningkatan yield rendemen cair dengan jumlah katalis yang lebih banyak memungkinkan untuk terjadi.

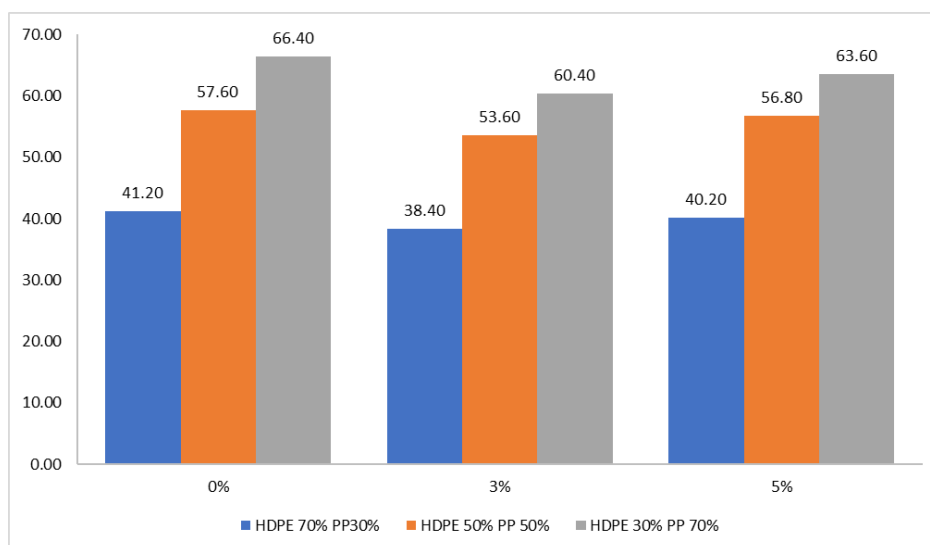
Katalis secara umum merupakan suatu zat yang dapat mempercepat proses laju reaksi kimia pada kondisi tertentu tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri (Purnami, 2015). Sehingga secara teori, pembentukan produk berupa cairan dari hasil pirolisis dipengaruhi oleh jumlah katalis yang digunakan, dimana semakin banyak katalis yang digunakan maka semakin banyak cairan yang terbentuk. Hal ini dikarenakan katalis berperan dalam menentukan mekanisme pembentukan produk (Siti, 2017).

Katalis memiliki sifat yang spesifik, sehingga jumlah dan jenis katalis juga berpengaruh dalam penggunaannya. Katalis yang tidak cocok dengan reaksi yang terjadi dapat menjadi katalis beracun yang dapat menghambat terjadinya reaksi (Herizal, 2020).

Penurunan yield rendemen cair setelah penggunaan katalis pada reaksi disebabkan oleh ketidaksesuaian jenis dan jumlah katalis pada proses pirolisis yang dilakukan, dimana katalis memiliki sifat yang spesifik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah katalis Zeolit Alam Bayah yang divariasikan belum sesuai dengan reaksi pirolisis.

4.3 Pengaruh Komposisi Plastik Terhadap Yield Rendemen Cair

Hasil yield rendemen cair dengan variasi komposisi plastik disajikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Pengaruh Komposisi Plastik Terhadap Yield Rendemen Cair

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada setiap variasi jumlah katalis menunjukkan hal yang serupa, dimana komposisi plastik dengan jumlah HDPE lebih banyak menghasilkan yield rendemen cair yang lebih sedikit dibandingkan dengan yield rendemen cair yang dihasilkan dari hasil pirolisis dengan komposisi plastik PP lebih banyak.

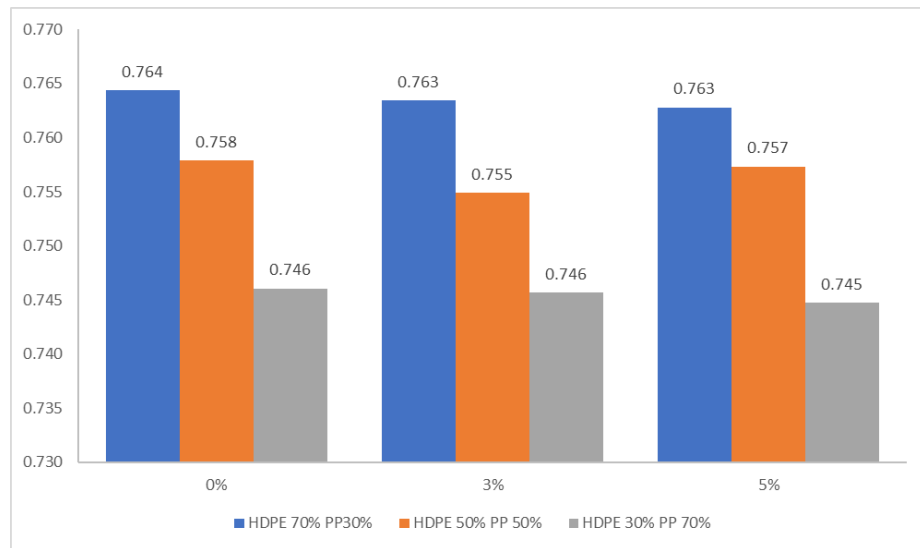
Hal ini disebabkan oleh melting point yang berbeda dari kedua bahan tersebut. Menurut artikel Xometry (2022), HDPE memiliki melting point 180-205°C dan PP memiliki melting point 160-168°C. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa plastik jenis HDPE memiliki melting point yang lebih besar dari pada plastik jenis PP. Plastik dengan melting point yang lebih rendah akan meleleh lebih awal daripada plastik dengan melting point yang lebih tinggi saat dipanaskan bersama-sama. Pada hal ini, berarti plastik PP akan mulai meleleh sebelum plastik HDPE mencapai melting point, sehingga jumlah rendemen cair lebih banyak dihasilkan pada komposisi campuran plastik PP 70% dan HDPE 30%.

Selain itu, yield rendemen cair dapat dipengaruhi oleh ketebalan dari kedua jenis plastik tersebut. Pada plastik HDPE memiliki ketebalan yang lebih tebal dari pada plastik PP (Lanang dkk, 2020). Ketebalan bahan memengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu pelelehan yang diinginkan, hal ini dikarenakan bahan yang lebih tebal cenderung memiliki distribusi panas yang tidak merata. Bahan yang lebih tebal memerlukan waktu lebih lama untuk mencapai suhu pelelehan karena butuh energi panas yang lebih besar untuk memanaskan bahan yang lebih tebal (Anwar dkk, 2020).

Plastik memiliki komposisi senyawa penyusun yang berbeda di tiap jenisnya. Perbedaan penyusun senyawa dari tiap jenis plastik ini mempengaruhi titik leleh dan titik didih fasa cair dari plastik yang direaksikan (Lanang dkk, 2020). Hal ini mempengaruhi seberapa cepat plastik mengalami reaksi menjadi rendemen cair. Pada waktu reaksi dan temperatur yang sama, komposisi plastik akan mempengaruhi rendemen cair yang dihasilkan dari proses pirolisis.

4.4 Pengaruh Komposisi Plastik Terhadap Densitas Rendemen Cair

Nilai densitas yang didapat pada setiap variasi komposisi plastik dapat dilihat pada Gambar 4.5.



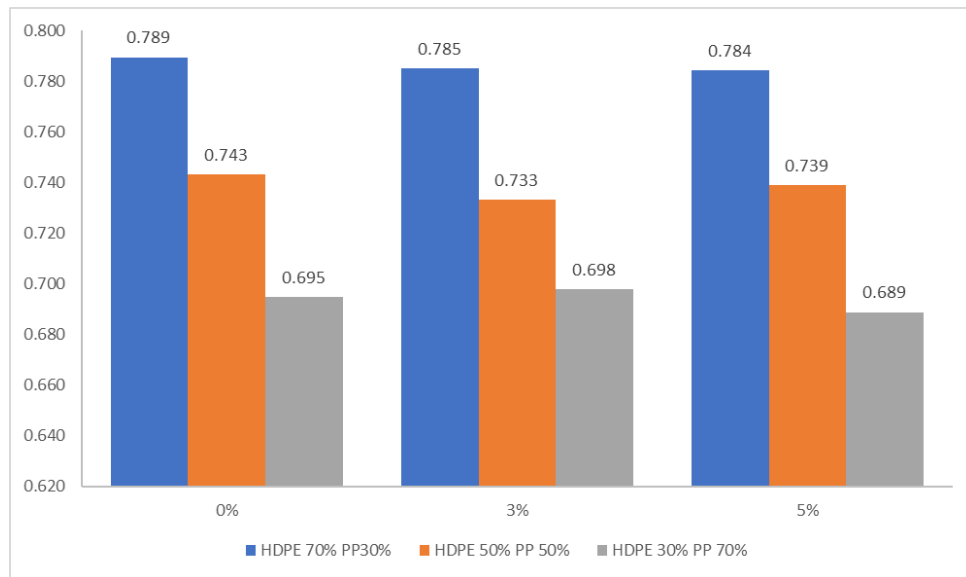
Gambar 4. 5 Pengaruh Komposisi Plastik Terhadap Densitas Rendemen Cair

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa nilai densitas yang didapat pada setiap variasi jumlah katalis menunjukkan hal yang serupa, dimana komposisi plastik ketika HDPE lebih banyak dibandingkan dengan PP memiliki nilai densitas yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan sifat dasar dari HDPE dan PP, dimana plastik jenis HDPE ($0,94 \text{ g/cm}^3$) (memiliki nilai densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan plastik jenis PP ($0,90 \text{ g/cm}^3$) (Deglas, 2023).

Densitas merupakan berat jenis dari suatu senyawa dan dalam konteks bahan bakar memiliki standar nilai densitas yang dapat dikategorikan sebagai bahan bakar cair. Berdasarkan keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi Nomor 0177-K/10/DJM.T.2018 nilai densitas untuk bahan bakar bensin berkisar pada $0,715 - 0,770 \text{ g/cm}^3$. Berdasarkan hasil yang didapat, nilai densitas yang dimiliki oleh hasil pirolisis sudah sesuai standar.

4.5 Pengaruh Komposisi Plastik Terhadap Viskositas Rendemen Cair

Nilai viskositas yang didapat pada setiap variasi komposisi plastik dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Pengaruh Komposisi Plastik Terhadap Viskositas Rendemen Cair

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai viskositas yang didapat menunjukkan bahwa bahan baku dengan komposisi HDPE lebih banyak memiliki nilai viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi PP yang lebih banyak. Dimana, viskositas tertinggi didapat pada variasi HDPE 70%,PP 30% dengan katalis 0% yaitu sebesar 0,789 cP. Sedangkan viskositas terendah didapat pada variasi HDPE 30%,PP 70% dengan katalis 5% yaitu sebesar 0,689 cP. Berdasarkan literatur bahan bakar alami berupa bensin memiliki viskositas $0,65 \pm cP$ dan minyak tanah memiliki viskositas sebesar $0,79 \pm cP$ (Purwanti L., 2015). Dari data tersebut dapat diketahui bahwa minyak hasil pirolisis berada pada rentang viskositas bensin dan minyak tanah.

Viskositas merupakan ukuran kekentalan suatu fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan pada fluida. Kekentalan sendiri merupakan sifat cairan yang berhubungan dengan hambatan fluida untuk mengalir. Ketika viskositas fluida besar, maka semakin sulit suatu fluida untuk mengalir dan juga menunjukkan semakin sulit suatu benda bergerak dalam fluida tersebut.

Jadi viskositas menentukan kecepatan mengalirnya cairan (Lumbantoruan P., 2016).

Viskositas menurut Dominggus G.H., et al (2016) juga dipengaruhi oleh massa jenis atau densitas, dimana semakin berat massa jenis suatu cairan maka viskositasnya akan semakin tinggi. Hal ini terjadi karena semakin berat massa jenis maka semakin banyak partikel yang terkandung di dalam suatu fluida yang menghambat aliran-nya dikarenakan gesekan antar partikelnya. Berdasarkan Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 dapat dilihat juga bahwa densitas dan viskositas berbanding lurus. Hal ini sesuai dengan teori dimana viskositas dipengaruhi oleh massa jenis atau densitas, dimana semakin berat massa jenis suatu cairan maka viskositasnya akan semakin tinggi (Dominggus G.H., et al. 2016).

4.6 Pengaruh Komposisi Plastik Terhadap Nilai Kalor Rendemen Cair

Nilai kalor yang didapat pada variasi komposisi plastik dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Nilai Kalor Rendemen Cair

Variasi	Nilai Kalor (Cal/g)
HDPE 70% PP 30%	10863,9
HDPE 50% PP 50%	10978,8
HDPE 30% PP 70%	10961,4

Berdasarkan Tabel 4.1 nilai kalor yang didapat tidak terlalu berbeda, dimana nilai kalor untuk bahan bakar bensin berkisar pada 10050,1 – 11441,5 Cal/g (Novandi, 2018). Dapat disimpulkan untuk nilai kalor dari hasil pirolisis masih memenuhi rentang dari nilai kalor bahan bakar bensin.

Nilai kalor bahan bakar bensin adalah jumlah energi yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar bensin. Semakin tinggi nilai kalor bahan bakar bensin, semakin banyak energi yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar bensin (Novandi 2018). Oleh karena itu, bahan bakar bensin

dengan nilai kalor yang lebih tinggi dapat menghasilkan performa mesin yang lebih baik dan efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi.

Uji nilai kalor dari hasil pirolisis dianalisis oleh Unit Pelaksana Teknis (UPT) Laboratorium Uji Departemen Teknik Universitas Indonesia dengan metode kualitatif menggunakan alat berupa Parr Bomb Calorimeter 6400. Berikut adalah nilai kalor yang didapat pada produk pirolisis berbahan baku plastik.

4.7 Komposisi Senyawa Rendemen Cair Pada Hasil Pirolisis Plastik

Komposisi senyawa pada rendemen cair yang didapat pada variasi komposisi plastik dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Komposisi Rendemen Cair

Sampel	Rantai Carbon	Jenis	Jumlah
HDPE 70% PP 30%	C9-11	Bensin	30%
	C12-C20	Minyak Tanah	62%
	C21-C24	Solar	8%
HDPE 30% PP 70%	C9-C11	Bensin	42%
	C12-C20	Minyak Tanah	58%
	C21-C24	Solar	0%

Pada penelitian ini, kandungan dari produk cair yang dihasilkan pada proses pirolisis diidentifikasi menggunakan metode GC-MS. Identifikasi ini dilakukan untuk mengetahui distribusi komponen dari senyawa yang ada pada produk cair hasil pirolisis. Hasil pirolisis yang diuji menggunakan GC-MS adalah sampel dengan komposisi HDPE 70% dan PP 30% tanpa katalis dan HDPE 30% dan PP 70% tanpa katalis.

Uji nilai kalor dari hasil pirolisis dilakukan oleh Unit Pelaksana Teknis (UPT) Laboratorium Terpadu Universitas Diponogoro menggunakan alat berupa GC-MS (Gas Cromatografy Mass Spektroskopy). Berikut ini adalah hasil dari pemecahan spectra pada GC-MS terhadap produk cair pirolisis.

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa komponen utama cairan produk pirolisis adalah minyak tanah. Pada sampel HDPE 70% dan PP 30% diketahui memiliki kandungan minyak tanah yang lebih banyak dari pada sampel HDPE 30% dan PP 70%. Sedangkan kandungan bensin terbanyak ada pada sampel HDPE 30% dan PP 70%, yaitu sebanyak 42%. Menurut Artikel Proxsis East (2015), bensin adalah hasil distilasi minyak bumi pada suhu antara 35-75 °C, Nafta (bensin berat) pada suhu antara 70 sampai 140 °C, Kerosin (minyak tanah) dan avtur pada suhu antara 170 °C sampai 250 °C, Solar adalah hasil distilasi minyak bumi pada suhu antara 200 °C sampai 350 °C. Suhu yang digunakan pada penelitian ini adalah 300 °C, dimana hal ini selaras dengan hasil dari pirolisis yang dilakukan yaitu komposisi rendemen cair yang mencakup bensin, minyak tanah, dan solar.

4.8 Analisa Ekonomi Pirolisis Plastik Pada Produk Rendemen Cair Yang Dihasilkan

Total biaya modal yang dibutuhkan untuk produksi bahan bakar cair dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Analisa Ekonomi Pirolisis Plastik

Variabel	HDPE	175	gr	HDPE	125	gr	HDPE	75	gr	HDPE	175	gr	HDPE	125	gr	HDPE	75	gr	HDPE	125	gr	HDPE	75	gr
	PP	75	gr	PP	125	gr	PP	175	gr	PP	75	gr	PP	125	gr	PP	175	gr	PP	125	gr	PP	175	gr
	Jumlah Katalis	0%		Jumlah Katalis	0%		Jumlah Katalis	0%		Jumlah Katalis	3%		Jumlah Katalis	3%		Jumlah Katalis	3%		Jumlah Katalis	5%		Jumlah Katalis	5%	
Harga Bahan Baku	IDR	-		IDR	-		IDR	-		IDR	-		IDR	-		IDR	-		IDR	-		IDR	-	
Biaya Aktivasi Katalis	IDR	-		IDR	-		IDR	4,232		IDR	4,232		IDR	4,232		IDR	4,257		IDR	4,257		IDR	4,257	
Biaya Preparasi Bahan	IDR	1,111		IDR	1,111		IDR	1,111		IDR	1,111		IDR	1,111		IDR	1,111		IDR	1,111		IDR	1,111	
Biaya Produksi	IDR	5,556		IDR	5,556		IDR	5,556		IDR	5,556		IDR	5,556		IDR	5,556		IDR	5,556		IDR	5,556	
Total	IDR	6,667		IDR	6,667		IDR	10,899		IDR	10,899		IDR	10,899		IDR	10,924		IDR	10,924		IDR	10,924	
Produk (ml)		134.75			190.00			222.50			125.75			177.50			202.50			131.75			187.50	

Proses pembuatan bahan bakar cair dengan bahan baku berupa sampah plastik terlihat sangat menguntungkan. Namun, perlu dianalisa juga terkait

biaya produksi yang dikeluarkan. Biaya produksi diasumsikan hanya melibatkan kebutuhan bahan bakar pada reaktor, biaya preparasi bahan, dan biaya aktivasi katalis. Bahan bakar reaktor menggunakan LPG dengan harga 25.000 Rupiah setiap pengisian tabung 3 kg. Kebutuhan pada proses yang dilakukan adalah sebanyak 2 kali isi ulang atau jika dijumlah menjadi 50.000 Rupiah untuk 9 kali produksi. Sehingga biaya untuk kebutuhan bahan bakar dalam sekali produksi adalah 5.556 Rupiah.

Biaya preparasi bahan untuk kebutuhan akomodasi dan lainnya diasumsikan sebesar 10.000 Rupiah untuk 9 kali produksi. Sehingga dalam sekali produksi membutuhkan 1.111 Rupiah. Biaya untuk aktivasi katalis untuk bahan – bahan aquades, NH_4Cl dan kebutuhan listrik dengan jumlah biaya 37.250 Rupiah untuk 9 kali produksi. Sehingga biaya aktivasi katalis dalam sekali produksi adalah 0 Rupiah untuk variasi 0% katalis, 375 Rupiah untuk penggunaan 3% katalis, dan 625 Rupiah untuk penggunaan 5% katalis.

Harga jual yang umum di pasaran adalah 10.000 Rupiah per liter. Sedangkan modal yang dibutuhkan untuk memproduksi 130 – 225 ml adalah 6.000 – 11.000 Rupiah. Hal ini menunjukkan bahwa modal yang dibutuhkan jauh lebih besar dibandingkan dengan harga pasar yang sudah ada. Sehingga analisa teknoekonomi pada inovasi sintesis bahan bakar cair berbahan dasar limbah plastik HDPE dan PP dengan teknologi catalytic pyrolysis menggunakan katalis dari bahan alam tidak cukup layak. Penyebab utamanya ada di biaya produksi yang cukup tinggi.

Bahan bakar yang digunakan pada reaktor sangat mahal pada penelitian ini. Hal ini mengakibatkan membengkaknya biaya produksi. 100% biaya modal pada variasi tanpa katalis ada di biaya produksi, sedangkan pada variasi dengan katalis, sekitar 60% biaya modalnya adalah biaya produksi dan 40% nya harga untuk aktivasi katalis. Tingginya biaya produksi ini menunjukkan tidak efektifnya proses yang dilakukan. Tidak efektifnya

proses yang dilakukan, jika ditinjau dari kelayakan ekonomi permasalahannya menitik beratkan pada pemilihan sumber bahan bakar. Penggunaan LPG sebagai bahan bakar utama pada reaktor membuat biaya produksi menjadi tinggi. Analisa sederhana dilakukan dengan asumsi penggunaan listrik sebagai sumber bahan bakar pada reaktor.