

Pengaruh Jumlah Katalis Zn Terhadap Hasil Pirolisis Limbah Styrofoam Menjadi Bahan Bakar Cair

Windrian Asmara¹, Nurul Kholidah^{1*}

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

*E-mail Koresponding: nurulkholidah@radenfatah.ac.id

Abstrak. Peningkatan konsumsi energi dan peningkatan timbunan sampah merupakan dua permasalahan yang muncul seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Limbah *Styrofoam* merupakan salah satu jenis limbah plastik yang sangat sulit terurai karena sifatnya yang sukar terdegradasi secara alami oleh tanah. Pada penelitian ini, upaya yang dilakukan untuk mengatasi dua permasalahan diatas yaitu dengan mengkonversi limbah *Styrofoam* menjadi bahan bakar cair. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah katalis Zn terhadap *yield* produk cair dari hasil pirolisis limbah *styrofoam* menjadi bahan bakar cair. Proses pirolisis limbah *styrofoam* dilakukan di dalam reaktor jenis *fixed bed* yang dioperasikan pada suhu 250°C dengan variasi katalis Zn sebanyak 0%, 4%, 6%, dan 8% dari total bahan baku sebanyak 250 gram dan lama waktu pirolisis 60 menit. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh *yield* produk cair tertinggi dan terendah pada variasi katalis 6 % dan 8% yaitu masing-masing sebesar 49,76% dan sebesar 39,51%, sedangkan untuk variasi katalis 0% dan 4% diperoleh *yield* produk cair masing-masing sebesar

Kata Kunci: Limbah *Styrofoam*; Katalis Zn; Proses Pirolisis

Abstract. Increased energy consumption and increased landfill are two problems that arise as economic growth and population increase. Styrofoam waste is one type of plastic waste that is very difficult to break down because of its difficult nature degraded naturally by the soil. In this research, the efforts to overcome the two problems above are by converting the Styrofoam waste into a liquid fuel. This research aims to determine the influence of the number of Zn catalysts on the yield of liquid products from Styrofoam waste pyrolysis to liquid fuel. The process of Styrofoam waste pyrolysis is carried out in a fixed bed type reactor that is operated at 250°C with a variation of Zn catalyst 0%, 4%, 6%, and 8% of the total raw materials as much as 250 grams and long time pyrolysis 60 minutes. Based on the results of the research, obtained the highest and lowest liquid product yield on the catalyst variation 6% and 8%, respectively, 49.76% and at 39.51%, While for the variation of the catalyst 0% and 4% obtained the yield of liquid products respectively at 42.49 and 46.14.

Keywords: Styrofoam waste; Zn Catalyst; Pyrolysis process

1. PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi energi dan peningkatan timbunan sampah merupakan dua permasalahan yang muncul seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Menurut Nugraha dkk (2013), konsumsi energi di Indonesia tercatat terus meningkat dengan laju

pertumbuhan rata-rata pertahun sebesar 5,2 % di berbagai sektor seperti transportasi, industri dan energi listrik. Sebaliknya, cadangan energi nasional yang semakin menipis menimbulkan kekhawatiran akan krisis energi di masa mendatang, jika tidak ditemukan sumber-sumber energi yang baru[1].

Siti (2015), jumlah peningkatan sampah di Indonesia telah mencapai 175.000 ton/hari atau setara 64 juta ton/tahun[2]. Menurut Erni (2016), jumlah sampah khususnya *styrofoam* mencapai 27 ton setiap bulannya. Penyumbang terbesar limbah *styrofoam* adalah non-rumah tangga sebanyak 11,9 ton per bulan. Sementara, rumah tangga menyumbang limbah *styrofoam* sebanyak 9,8 ton per bulan. Persentase limbah *styrofoam* mencapai 1,14% dari 12% limbah plastik yang terkumpul setiap bulannya[3].

Jika penggunaan *styrofoam* tidak diimbangi dengan pengelolaan limbah yang baik, maka akan menyebabkan pencemaran pada lingkungan. *Styrofoam* merupakan plastik nomor 6 jenis *polystyrene* dimana tidak dapat terurai secara alami dan sangat sulit untuk didegradasi oleh tanah [4]. Untuk mengatasi kekhawatiran akan krisis energi dimasa mendatang dan peningkatan timbunan sampah *styrofoam*, upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan memanfaatkan limbah plastik tersebut menjadi bahan bakar. *Polystyrene* merupakan salah satu jenis limbah plastik yang dapat dikonversi menjadi bahan bakar. Hal ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi, sehingga dapat dikembalikan ke bentuk semula Teknologi dalam mengkonversi limbah plastik menjadi bahan bakar dikenal dengan proses pirolisis atau proses perengkahan. Pirolisis adalah proses pemecahan polimer yang molekulnya besar menjadi senyawa dengan berat molekul lebih rendah[2].

Adanya teknologi pirolisis ini dapat menjadi salah satu alternatif dalam pemanfaatan dan pengurangan limbah plastik khususnya *styrofoam* menjadi bahan bakar. Pada penelitian sebelumnya telah memperlihatkan keberhasilan dalam mengubah limbah *styrofoam* menjadi beberapa produk yang dibutuhkan terutama bahan bakar. Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis berupa produk gas, cairan, dan beberapa produk berupa padatan. Proses pirolisis yang berlangsung dengan menggunakan katalis (*Catalytic Cracking*) merupakan proses yang paling tepat dan merupakan metode pirolisis yang sering dilakukan. Penggunaan katalis ini bertujuan untuk mereduksi suhu tinggi pada proses pirolisis dan dapat menghemat konsumsi energi[5]

Adnan dan Jan (2014) melakukan penelitian dengan mengkonversi limbah plastik jenis *polystyrene* menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan tiga katalis yaitu Zn, ZnCl₂ dan ZnO. Proses pirolisis berlangsung pada suhu 450°C, dengan waktu pirolisis selama 120 menit dan penggunaan katalis masing - masing sebesar 20%. Katalis logam Zn ditemukan sebagai katalis terbaik di antara katalis seng massal lainnya, dimana dari hasil pirolisis produk cair diperoleh sebesar 96,73%, sedangkan penggunaan katalis ZnO dan ZnCl₂ diperoleh produk cair sebesar 82,93% dan 84,73%. [6]

Kholidah, dkk (2018) melakukan penelitian dengan mengkonvrsi limbah *styrofoam* menjadi bahan bakar cair dengan proses perengkahan katalitik menggunakan katalis Al₂O₃. Proses pirolisis dilakukan dengan variasi suhu 150°C, 200°C, 250°C dan 300°C selama 60 menit dengan jumlah katalis masing- masing 6 %. Limbah *styrofoam* yang digunakan sebanyak 250

gram, dimana dari hasil pirolisis persentase bahan bakar cair tertinggi diperoleh pada suhu 250°C dengan menghasilkan produk sebanyak 17%. [7]

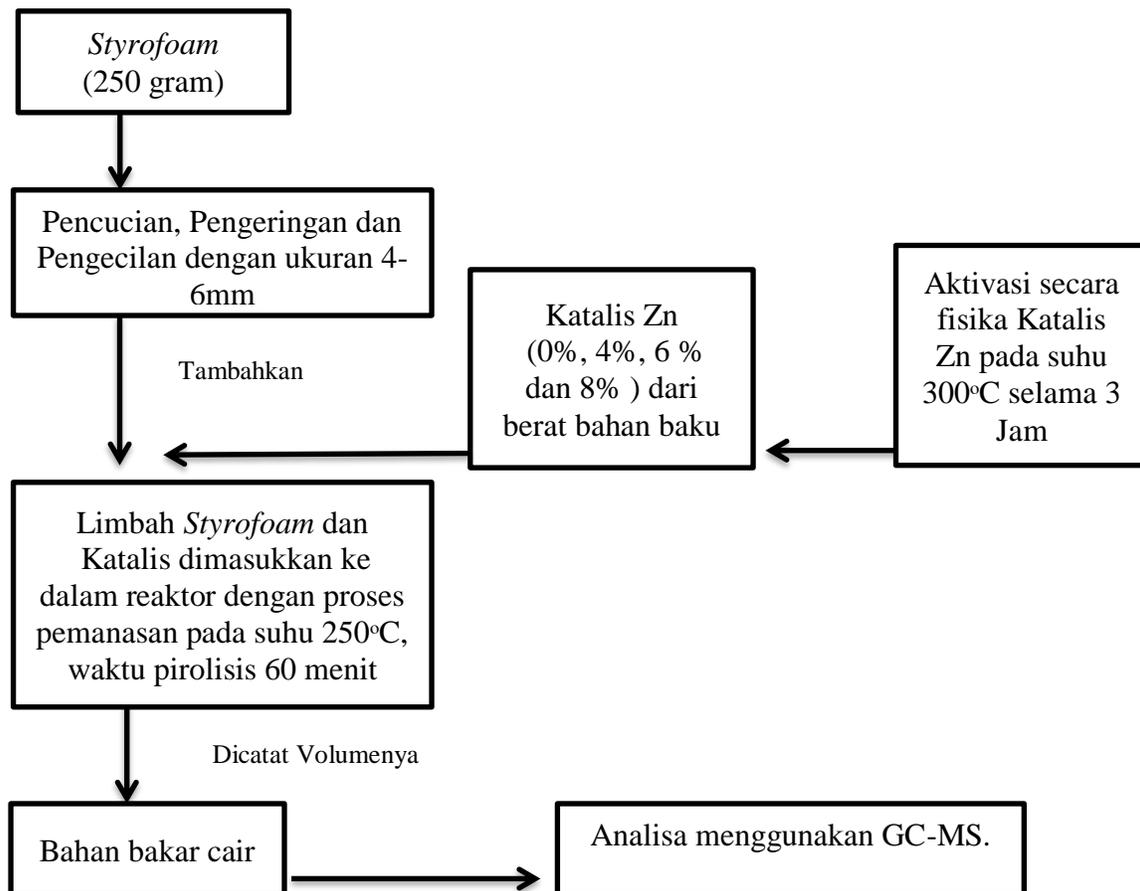
Berdasarkan penelitian sebelumnya maka dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh jumlah katalis Zn terhadap hasil pirolisis limbah *Styrofoam* dengan variasi katalis 0%, 4%, 6%, dan 8%, pada suhu 250°C dan lama waktu pirolisis selama 60 menit. Penggunaan suhu 250°C karena merupakan titik leleh dari *styrofoam*, sedangkan penggunaan katalis Zn karena merupakan katalis yang stabil pada suhu tinggi, dan harganya relatif lebih murah. Pada penelitian ini dilakukan analisa lebih lanjut untuk komposisi bahan bakar cair yang di hasilkan menggunakan *Instrument Gas Chromatography Mass Spectrometer (GC-MS)*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu unit pirolisis, *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*, *Pycnometer*, neraca analitik, gelas kimia, gelas ukur, pipet ukur dan bola karet. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan adalah Zn sebagai katalis dan limbah *styrofoam* yang dikumpulkan dari limbah rumah tangga.

2.2 Proses Pirolisis polystyrene menjadi bahan bakar minyak.



Limbah *Polystyrene* yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *styrofoam*. Sebelum di proses bahan baku dibersihkan dengan air lalu dikeringkan secara alami menggunakan sinar matahari. Setelah proses pengeringan, bahan baku yang digunakan dikecilkan ukurannya menjadi 4-6 mm dan kemudian ditimbang menurut variabel penelitian.

Selanjutnya menggunakan Zn sebagai katalis, sebelum digunakan Zn diaktivasi secara fisika pada temperatur 300°C selama 3 jam menggunakan oven. Aktivasi ini bertujuan agar dapat memperbesar pori-pori dan membersihkan katalis dari pengotor.

Sebanyak 250 gram limbah *styrofoam* yang telah dikecilkan ukurannya dicampur dengan katalis Zn yang telah di aktivasi dan selanjutnya dimasukkan ke dalam reaktor. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 250°C, dengan penambahan jumlah katalis sebanyak 0%, 4% , 6% , dan 8% dari berat bahan baku dengan lama waktu pirolisis 60 menit. Proses pirolisis dilakukan dengan memanaskan reaktor dengan pemanas. Uap yang terbentuk mengalir dari atas reaktor, melalui kondensor dan kemudian minyak hasil pirolisis ditampung di Erlenmeyer . Minyak yang ditampung kemudian diukur volumenya menggunakan gelas ukur dan dicatat volumenya.

Serta dilakukan analisa komposisi fraksi menggunakan *instrument Chromatography Mass Spectrometer* (GC-MS) untuk mengetahui fraksi yang terkandung di dalam bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis limbah *styrofoam*.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada percobaan ini, proses pirolisis limbah *styrofoam* dilakukan di dalam reaktor jenis *fix bed* yang dioperasikan pada suhu 250°C dengan katalis Zn sebanyak 0%, 4%, 6%, dan 8% selama 60 menit dengan berat umpan sebanyak 250 gram. Proses pirolisis limbah *styrofoam* menjadi bahan bakar menghasilkan produk berupa residu padat, cairan dan gas. *Yield* produk dari proses pirolisis limbah *styrofoam* dapat dilihat pada tabel 1, sedangkan analisa komposisi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. *Yield* Produk Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis Limbah *Styrofoam*

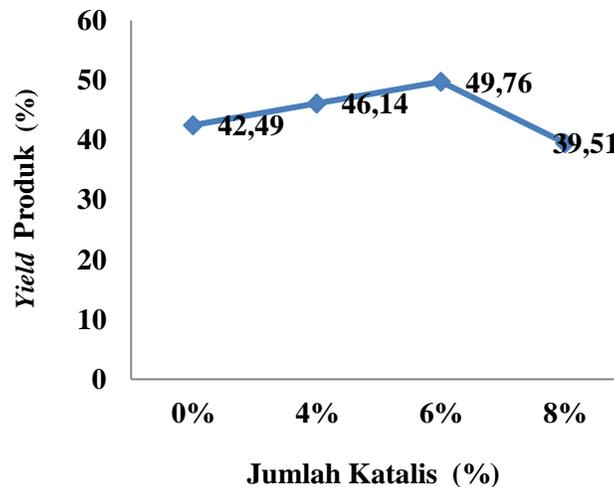
Variabel Percobaan			Parameter yang diukur		
			<i>Yield</i> Produk		
Umpan (gram)	Waktu Operasi (menit)	Katalis (%)	Cair (%)	Gas (%)	Padat (%)
250	60	0	42,49	39,47	18,04
		4	46,14	37,58	16,28
		6	49,76	35,08	15,16
		8	39,51	43,17	17,32

Tabel 2. Analisa Komposisi Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis Limbah *Styrofoam*

Variabel Percobaan		Fraksi			
Waktu Operasi (menit)	Katalis (%)	Bensin C4-C12 (%)	Kerosin C9-C14 (%)	Solar C15-C18 (%)	>C20 (%)
60	0	22.43	10.23	36.04	31.30
	4	19.89	11.21	35.11	33.85
	6	21.95	11.56	34.32	32.15
	8	22.20	9.14	34.94	33.72

3.1 Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Persentase Produk Cair

Berdasarkan hasil penelitian, hubungan jumlah katalis terhadap persentase produk cair hasil pirolisis limbah *styrofoam* menjadi bahan bakar cair dengan lama waktu pirolisis 60 menit pada suhu operasi 250°C dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Pengaruh Jumlah Katalis terhadap Persentase Produk Cair

Secara teoritis pembentukan produk dalam bentuk cairan dari hasil pirolisis dipengaruhi oleh jumlah katalis yang digunakan, semakin banyak katalis maka akan semakin banyak cairan yang terbentuk. Hal ini dikarenakan katalis berperan dalam menentukan mekanisme pembentukan produk (Siti, 2018). Penggunaan katalis diharapkan dapat meningkatkan hasil pirolisis karena penambahan katalis dapat mempercepat suatu reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi pada proses pemecahan ikatan senyawa menjadi lebih sederhana.[8]

Berdasarkan Gambar 3.1 terlihat bahwa hasil pirolisis limbah *styrofoam* menggunakan katalis Zn mengalami peningkatan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh sa'diyah (2015) dalam mengkonversi limbah plastik jenis polipropilen menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan katalis zeolit alam. Jumlah katalis zeolit alam yang digunakan bervariasi yaitu 5%, 10%, dan 20%. *Yield* produk tertinggi dihasilkan pada penggunaan katalis 20% yaitu sebesar 39%, sedangkan untuk variasi katalis 5% dan 10% masing-masing dihasilkan sebesar 33% dan 28%. [9]

Dari data hasil penelitian yang telah dilakukan, penambahan katalis Zn dapat meningkatkan *yield* produk. Hasil penelitian diperoleh *yield* produk dengan variasi katalis 0%, 4%, dan 6% yaitu masing-masing sebesar 42,49%, 46,14%, dan 49,76%. Hal ini terjadi karena katalis yang digunakan berfungsi untuk memecah hidrokarbon rantai panjang. Jumlah katalis akan mendegradasi hidrokarbon rantai panjang menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui pembentukan radikal bebas. Tiap radikal bebas yang dihasilkan akan menginduksi senyawa lain hingga terbentuk radikal baru dengan jumlah molekul yang lebih kecil [9]

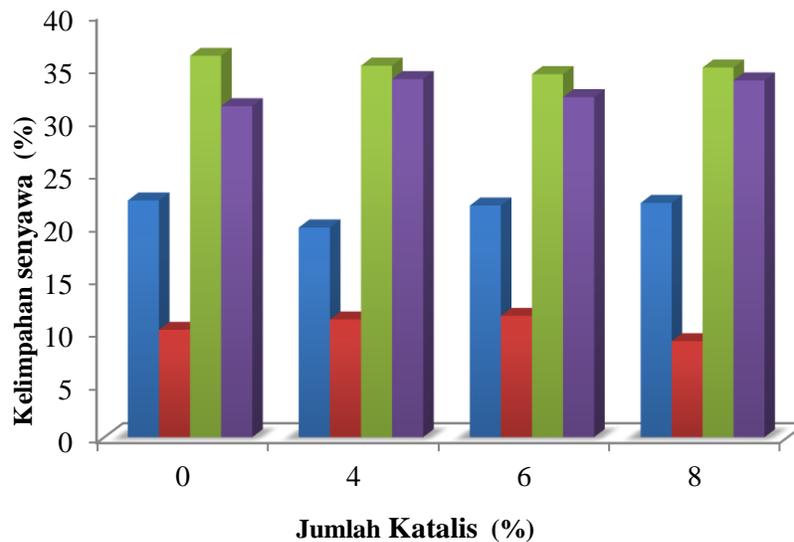
Akan tetapi pada penelitian ini, penambahan katalis 20 gram (8%) *yield* produk cair mengalami penurunan yaitu sebesar 39,51%. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya katalis dapat menyebabkan terbentuknya bulk antara *styrofoam* dan katalis, sehingga kinerja dari katalis tidak optimal, akibatnya proses pirolisis tidak berjalan efektif dan menimbulkan penurunan hasil pirolisis bahan bakar cair [8]

Salamah (2016), juga melakukan penelitian dengan mengkonversi limbah *styrofoam* menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan katalis Ni/silika. Variasi jumlah katalis yang digunakan sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%, pada penelitian ini *yield* cairan yang dihasilkan terus meningkat dengan adanya penambahan katalis. Hasil *yield* tertinggi diperoleh pada katalis 4%. Hasil *yield* yang didapat meningkat dari 70,1% ke 93%, namun terjadi penurunan jumlah *yield* produk cair ketika penambahan katalis 5% yaitu sebesar 83%. Salamah menjelaskan mengenai mekanisme reaksi pirolisis berkatalis Ni/silika. Bertambahnya produk cair dari hasil pirolisis dikarenakan Ni pada katalis silika menyebabkan adanya bagian asam pada permukaan katalis sehingga perengkahan ikatan C-H dari molekul polistirene dapat membentuk ion karbonium maupun karbokation yang dapat menyebabkan terputus dan berikatannya suatu ikatan senyawa. [10]

Katalis Zn merupakan salah satu katalis asam, dimana pada proses pirolisis berat molekul rantai polimer dapat dikurangi melalui reaksi dengan situasi asam atau ion karbonium dan pembelahan rantai. Ion karbonium juga berperan dalam proses pembentukan dan pemutusan ikatan C-C, hal inilah yang menyebabkan produk cairan meningkat serta terbentuknya senyawa-senyawa baru. Adnan dkk. (2014), penambahan katalis Zn, ZnO, dan ZnCl₂ dapat meningkatkan jumlah produk cair dari proses perengkahan katalitik. Penggunaan katalis Zn menghasilkan *yield* produk tertinggi dibandingkan dengan penggunaan katalis ZnO dan ZnCl₂. [11]

3.2 Analisa Komposisi Menggunakan Instrument GC-MS

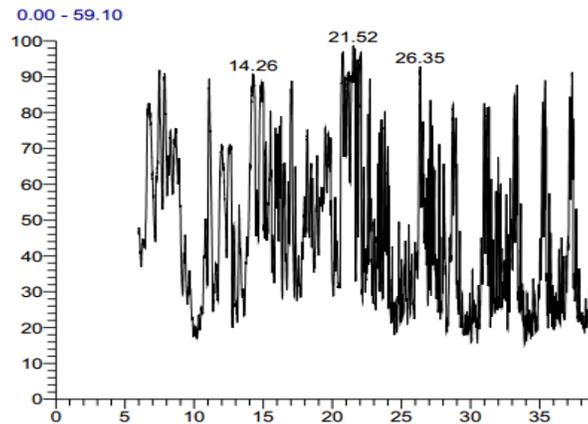
Analisa komposisi bahan bakar cair hasil pirolisis limbah *styrofoam* dilakukan menggunakan *Instrument Gas Chromatography– Mass Spectrometry* (GC-MS). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui fraksi yang terkandung di dalam bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis limbah *styrofoam*. Analisis GC-MS dilakukan untuk mengetahui komponen kimia yang terkandung di dalam produk. Besarnya kandungan komponen kimia ditunjukkan pada % area.[5]. Adapun hasil analisa GCMS dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Komposisi Bahan Bakar Cair Hasil Produk Cair Limbah *Styrofoam* Menggunakan GCMS

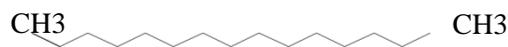
Berdasarkan gambar 4.7. Hasil analisa GCMS untuk produk cair dari hasil pirolisis limbah *Styrofoam* pada suhu 250°C, lama waktu pirolisis 60 menit dan variasi katalis 0%, 4%, 6%, dan 8% masuk kedalam rentang solar. Analisa GCMS yang mendapatkan persentase tertinggi menggunakan katalis 0% yaitu sebanyak 36.04% senyawa C₁₅-C₁₈, sedangkan yang terendah menggunakan katalis 6% terdapat senyawa C₁₅-C₁₈ sebanyak 34,32%. Adapun penggunaan katalis 4% dan 8% mendapatkan senyawa solar sebanyak 35,11% dan 34,94%.

Penggunaan katalis 6% merupakan salah satu hasil yang baik dibandingkan dengan yang lainnya. Hal ini dikarenakan penggunaan katalis 6% menghasilkan senyawa C₁₅-C₁₈ (solar) sebanyak 34,32% lebih rendah dari sampel lainnya, akan tetapi menghasilkan senyawa C₄-C₁₂ (bensin) tertinggi dibandingkan dengan sampel lainnya yaitu 33.53%, dimana semakin pendek senyawa hidrokarbonnya maka akan semakin baik kualitas minyak tersebut. Adapun Hasil GC-MS pada katalis 6% ini dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Analisa GC-MS (suhu 250°C , berat umpan 250 gram, 60 menit proses pirolisis dan Katalis Zn 6%).

Berdasarkan gambar 3.2 analisa GC-MS menggunakan katalis 6% bahwa produk cair yang dihasilkan memiliki *relative abundance* atau kelimpahan suatu senyawa tertinggi di dapat pada RT (*Retention time*) menit ke 21.52 dimana pada waktu tersebut senyawa yang muncul merupakan senyawa hidrokarbon yang memiliki rumus kimia $C_{15}H_{30}$. Dari hasil tinggi *relative abundance* atau kelimpahan relatif suatu senyawa yang ada pada sampel yang dianalisa tersebut menunjukkan bahwa senyawa tersebut merupakan golongan atau termasuk dalam fraksi solar. Adapun senyawa kimia pada RT 21.52 dapat dilihat pada gambar 3.3



1- Pentadekana

Gambar 3.3 Senyawa 1-Pentadekana yang terdapat dari RT 21.52 analisa CGMS

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa, penambahan katalis Zn pada proses pirolisis limbah *Styrofoam* mampu meningkatkan *yield* produk bahan bakar cair yang dihasilkan. *Yield* produk tertinggi dihasilkan pada katalis 6% sebanyak 49,76%, sedangkan *yield* produk terendah di hasilkan pada jumlah katalis 8% sebesar 39,51%. sedangkan 0%, dan 4% masing- masing memperoleh 42,49%, 46,14%. Sedagkan karakteristik bahan bakar cair yang dihasilkan mendekati karakteristik solar dimana diperoleh nilai densitas berkisar 0,824-

0,837 gram/mL; *specific gravity* berkisar 0,753-0,765; *°API gravity* berkisar 53,46-56,41 dan nilai kalor berkisar 7121-10703Kkal/gr. Sedangkan Hasil analisa instrument GCMS untuk produk cair limbah *Styrofoam* termasuk dalam fraksi solar, nilai persentase senyawa solar tertinggi didapat pada variasi katalis 0% yaitu sebesar 36,04%, sedangkan ter-rendah diperoleh pada variasi katalis 6% yaitu sebesar 34,32%. Dan untuk variasi katalis 4%, dan 8% masing – masing memperoleh sebesar 35,11% dan 34,94.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nugraha, “Pengelolaan sampah plastik menjadi minyak,” *J. Ilm. Tek. Lingkung.*, vol. 4, no. 1, pp. 8–12, 2010.
- [2] Siti and sstri gina Lova, “Kajian potensu pemanfaatan sampah plastik menjadi bahan bakar cair,” *J. Tek. Lingkung.*, vol. 3, no. 2, pp. 6–13, 2017.
- [3] E. Damanhuri, “Pengelolaan sampah plastik limbah rumah tangga desa wnosobo.” pp. 1–20, 2016.
- [4] N. L. Fitidarini, E. Damanhuri, P. Studi, and T. Lingkungan, “TIMBULAN SAMPAH STYROFOAM DI KOTA BANDUNG STYROFOAM WASTE GENERATION IN THE CITY OF,” vol. 17, pp. 87–97, 2011.
- [5] E. Wahyudi, Z. Zultiniar, and E. Saputra, “Pengolahan Sampah Plastik Polypropylene (PP) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Metode Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Zeolit X,” *J. Rekayasa Kim. Lingkung.*, vol. 11, no. 1, p. 17, 2016.
- [6] Adnan, J. Shah, and M. R. Jan, “Thermo-catalytic pyrolysis of polystyrene in the presence of zinc bulk catalysts,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2014.
- [7] N. Kholidah, “Pengaruh Temperatur terhadap Persentase Yield pada Proses Perengkahan Katalitik Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Cair,” vol. 2, no. 1, pp. 28–33, 2018.
- [8] S. Salamah and Maryudi, “Proses Pirolisis Limbah Styrofoam Menggunakan Katalis Silika-Alumina Catalytic Pyrolysis of Styrofoam Waste by Silica-Alumina,” *J. Rekayasa Kim. dan Lingkung.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–7, 2018.
- [9] Sa’diyah and S. R. Juliastuti, “Pengaruh Jumlah Katalis Zeolit Alam Pada Produk Proses Pirolisis Limbah Plastik Polipropilen (Pp)nu,” vol. 4, no. 9, pp. 40–45, 2015.
- [10] S. Salamah, “Pirolisis Sampah Sterofoam Dengan Katalis Ni / Silika,” vol. 4, no. 1, pp. 350–355, 2016.
- [11] Adnan, J. Shah, and M. R. Jan, “Pengaruh polyethylene terephthalate pada pirolisis katalitik dari polystyrene : Investigasi produk cair Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers Pengaruh polyethylene terephthalate pada pirolisis katalitik dari polystyrene : Investigasi produk ca,” pp. 4–11, 2017.