

# Conversion of waste polypropilene (pp) using the zeolite Ni/ZSM-5 to liquid fuel

Ramli Thahir, Imam Fatwa Kusuma\*, Nursyam Aprilia, Ahmad Noor Alam, Abd Halim, Alwathan, Marlinda, Andri Kurniawan, Febriyati Puspasari, Abdul Rahman, Muh. Irwan

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda 75131, Indonesia

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 29 March 2023 Received in revised form: 17 August 2023 Accepted: 17 October 2023</p>	<p>Fuel oil from plastic waste is a promising alternative fuel because of its carbon chain characteristics and physical properties which is similar to the crude oil. In addition, the demand for plastic is still increasing which eventually becomes plastic waste. The aim of this study was to determine the quality and application of liquid oil produced by pyrolysis catalytic cracking assisted Ni/ZSM-5 from polypropylene (PP) plastic waste. The obtained products were liquid, gas, and char. The optimal yield of fuel oil at 390°C was 239 ml of fuel oil/250 g of PP with a conversion of 79.20 %wt (72%, liquid and 7.20% gas) and the remaining product was char. The characteristics of the fuel oil products are in the range of gasoline and kerosene fuel types. The average yield value of °API in the range of 51-42 for kerosene-type fuel in trays 1 and 2. Furthermore, gasoline-type fuel was resulted in trays 3 and 4 with °API value in the range of 52-63.</p>
<p><i>Keywords:</i> Catalyst, fuel oil, Ni/ZSM-5, polypropylene, pyrolysis</p>	

## 1. Pendahuluan

Sampah plastik merupakan salah satu permasalahan pokok yang harus dihadapi. Hal ini berdampak buruk pada manusia maupun lingkungan karena sifatnya yang non-biodegradable yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem. Bahan baku pembuatan plastik berasal dari turunan minyak bumi yang komponen utama hidrokarbon sehingga dapat dikembalikan menjadi hidro-karbon sebagai bahan dasar energi. Berdasarkan data dari Dinas Lingkungan Hidup Samarinda 2019, diperkirakan produksi sampah di Kota Samarinda ialah 800 ton/hari sehingga dalam setahun mencapai 292.000 ton. Dari total sampah yang dihasilkan, sekitar 17 hingga 19% adalah sampah plastik. Dengan estimasi tersebut, dalam setahun sampah plastik Samarinda sebesar 49.640 hingga 55.480 ton. Sampah plastik jenis PP merupakan penggunaan terbesar karena digunakan pada rumah tangga dan industry [1]. PP adalah polimer yang terbuat dari monomer propilena bersifat kaku, tidak berbau, tahan terhadap bahan kimia pelarut, tidak mudah retak, tetapi ketahanan pukulnya rendah dan titik leleh yang berkisar (160-166°C), selain itu mempunyai nilai specific gravity yang rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain yaitu 0,85-0,90 [2].

Beberapa alternatif telah dikembangkan untuk melakukan proses daur ulang sampah plastik yang efisien, dan metode tersebut antara lain melalui proses fisik dan kimia. Namun proses kimia melalui metode pirolisis merupakan metode daur ulang yang lebih efisien dan ekonomis, karena dapat mengembalikan energi yang terkandung dalam plastic [3]. Pirolisis katalitik adalah metode perengkahan yang sering digunakan karena menggunakan katalis yang dapat mereduksi temperature tinggi yang digunakan pada proses perengkahan termal dan menghemat konsumsi energi [2]. Salah satu katalis

yang digunakan dalam proses pirolisis adalah Ni/ZSM-5 yang memiliki kinerja katalitik cenderung aktif pada temperature rendah (300°C), dan nilai ekonomisnya yang relatif lebih murah [4-6].

Produksi bahan bakar cair dari sampah plastik PP menggunakan metode pirolisis termal terintegrasi dengan penyulingan kolom bubble cap plate pada kondisi antara 500 – 560°C, didapatkan yield cair sebesar 67 % yang masuk pada jenis minyak tanah dan bensin. Namun, pada kondisi antara 600 – 650°C, yield cair sebesar 83% masuk pada jenis solar [7].

Produksi bahan bakar cair dari sampah plastik PP dengan metode pirolisis katalitik dengan menggunakan reaktor jenis Fixed bed dan katalis yang digunakan adalah ZSM-5, dimana katalis tersebut akan dicampur dengan bahan limbah dengan perbandingan (1:10) [8, 9]. Pada penelitian ini menggunakan variasi temperature pada 500, 520, 540, 560, 580, 600, 620 dan 650°C. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah kondisi optimum untuk bahan bakar minyak terdapat pada temperature 580 °C (1156 ml bahan bakar/g PP) atau 578 ml bahan bakar minyak dalam 500 g plastik PP. Terjadi peningkatan konversi sampah plastik PP dari 9% pada temperature 500 °C hingga 99,87% pada temperature 650°C.

Hasil akan meningkat seiring dengan peningkatan temperature karena fakta bahwa laju reaksi lebih cepat pada temperature tinggi [8,10]. Penelitian ini memiliki peluang untuk meningkatkan hasil dari persentase yield produk cair dan konversi yang didapatkan. Sehingga masalah yang akan dianalisa dalam penelitian ini untuk mengetahui pengaruh temperatur proses pirolisis plastik PP dengan menggunakan metode penyulingan kolom bubble cap plate dan reaktor berjenis Fixed bed, dengan variasi temperature pada 350, 370, 390, 410, dan 430°C. Menggunakan bahan baku sebanyak 250 g dengan bantuan katalis Ni/ZSM-5 terhadap yield produk. Dimana rasio berat plastik dengan berat katalis sebesar 1:10, sehingga katalis yang akan digunakan adalah sebanyak 25

\* Corresponding author.

Email: [imamfatwa0@gmail.com](mailto:imamfatwa0@gmail.com)

<http://dx.doi.org/10.20527/k.v12i2.15972>



gram. Sehingga diharapkan penelitian yang akan dilakukan ini dapat menghasilkan nilai yield dan persentase konversi yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya.

**2. Metode Penelitian**

Pada penelitian ini, sampel yang digunakan adalah plastik berjenis PP yang telah digunakan. Sampel dipreparasi sebanyak 250 g PP yang telah dipotong berukuran 3-4 cm untuk memperlancar volume ruang reaktor. Katalis bifungsional Ni/ZSM-5 dicampur dengan sampel plastik yang telah dipreparasi 25 g katalis (10 g pp:1 g Ni/ZSM-5).

Sampel yang telah disiapkan dimasukkan dalam reaktor jenis fixed bed yang dapat bekerja baik proses pirolisis termal atau katalitik. Laju pemanasan dari furnace adalah 15,46 K/menit dan termasuk dalam kategori pirolisis lambat.

Sampel kemudian dipanaskan dan dilebur di dalam reaktor sehingga menghasilkan uap organik. Temperature proses pada penelitian ini divariasikan pada 350, 370, 390, 410, dan 430°C. Hasil pirolisis berupa uap crude oil dimurnikan melalui distillation bubble cap plate column yang terdiri dari 4 tray.

Pada proses distilasi residu abu dan lilin yang terbang terbawa uap akan turun ke reaktor karena adanya kondensat dan tertahan dibawah pelat kolom. Sedangkan, uap yang tidak terkondensasi menguap ke atas melalui riser distillation bubble cap plate column, bergerak ke ruang annular, dan akhirnya membentuk gelembung cair (campuran uap dengan kondensat).

Uap yang terkondensasi disimpan pada pelat kolom yang kemudian mengalir ke tray 1 menjadi produk minyak. Uap yang tidak terkondensasi di tray 1 dan memiliki titik didih lebih rendah kemudian mengalir melalui ruang annular dan membentuk gelembung. Kondensat kemudian mengalir pada pelat kolom 2 dan kemudian disimpan pada tray 2. Proses yang sama diulang untuk tray 3. Akan tetapi, uap yang tidak mengembun pada tray 3 merupakan senyawa yang memiliki titik didih rendah, sehingga dikondensasikan menggunakan bantuan kondensor menggunakan air dengan temperature lingkungan (±27°C) dan menghasilkan uap terkondensasi untuk ditampung pada tray 4. Proses pirolisis dan pemurnian dapat dilihat pada Gambar 1.

Persentase massa komposisi produk kemudian dapat dihitung untuk % konversi, % yield minyak, % yield residu dan % yield gas sesuai dengan rumus yang diberikan di bawah ini:

$$\text{Konversi} = \frac{\text{massa bahan baku} - \text{massa produk padat}}{\text{massa produk padat}} \times 100\% \tag{1}$$

Yield minyak:

$$\text{Yield}_{\text{cair}} = \frac{\text{massa minyak}}{\text{massa polipropilen}} \times 100\% \tag{2}$$

Yield residu:

$$\text{Residu} = \frac{\text{massa residu}}{\text{massa polipropilen}} \times 100\% \tag{3}$$

Yield gas:

$$\text{Yield}_{\text{gas}} = 100\% - (\text{minyak} + \text{residu}) \tag{4}$$

Produk bahan bakar yang dihasilkan dapat diketahui besaran nilai density, specific gravity, dan nilai °API dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$^{\circ}\text{API}_{60^{\circ}\text{F}} = \frac{141,5}{S.g_{60^{\circ}\text{F}}} - 131,5 \tag{5}$$

dimana, S.g : Specific gravity

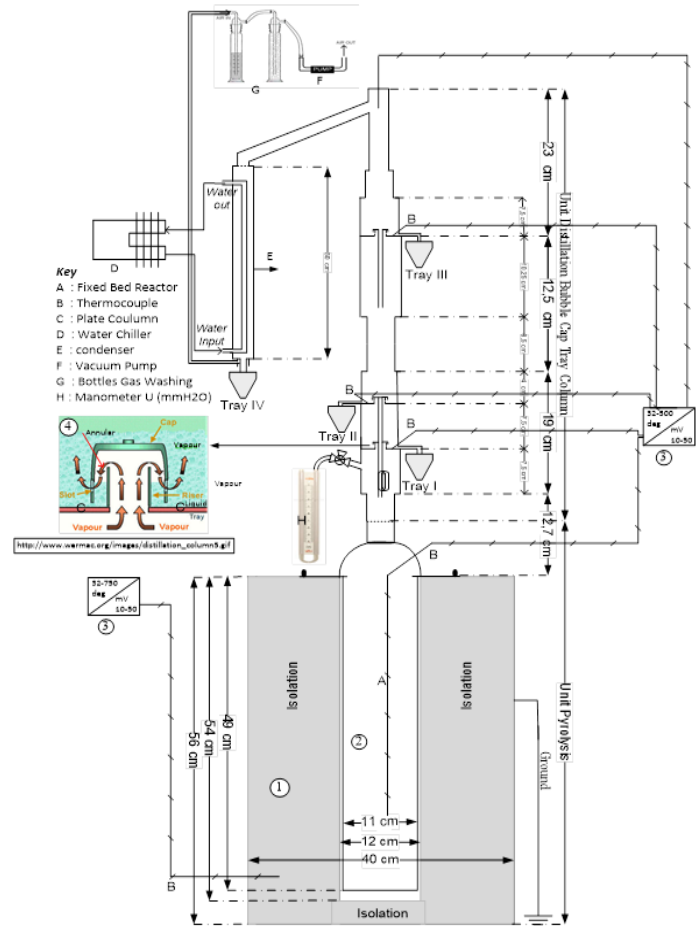
$$S.g_{60^{\circ}\text{F}} = \frac{\rho_i}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}, \text{ pada temperature } 60^{\circ}\text{F} \tag{6}$$

Keterangan:

S.g<sub>60 °F</sub> : Specific gravity, 60°F

ρ<sub>H<sub>2</sub>O</sub> : densitas dari H<sub>2</sub>O pada temperature 60 °F, g/ml

ρ<sub>i</sub> = densitas dari komponen i pada temperature 60 °F, g/ml



Gambar 1. Rangkaian pyrolysis cracking terintegrasi dengan distillation Bubble Plate Column

**3. Hasil dan Pembahasan**

Berdasarkan Gambar 2 dan Table 1. dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini didapatkan temperature optimal untuk mendapatkan bahan bakar cair yaitu pada temperature 390°C. Pada temperature tersebut didapatkan 239 ml bahan bakar dalam 250 g sampel PP. Laju panas yang dihasilkan sebesar 5,3°C/menit. Pada kondisi optimal tersebut yield cair yang dihasilkan adalah sebesar 72%, yield gas sebesar 7,20%, dan sisanya adalah residu. Sehingga nilai konversi yang dihasilkan adalah sebesar 79,2%.

Pada temperature 350°C dan 370°C diperoleh hasil produk yield cair yang lebih sedikit dikarenakan pada kondisi tersebut temperature belum mencapai titik optimal untuk mengalami proses dekomposisi secara sempurna. Sedangkan, pada temperature 410°C dan 430°C yield cair yang diperoleh juga mengalami penurunan disertai dengan yield gas yang meningkat, hal ini disebabkan karena pada kondisi tersebut konversi cair telah melewati titik optimum untuk mendekomposisi PP. Sehingga PP yang mengandung bahan

bakar telah berkurang diiringi dengan perubahan temperatur [10].

Tabel 1. Hasil Pirolisis menggunakan katalis bifungsional Ni/ZSM-5 selama 80 menit

Variabel Temperature (°C)	Volume Produk (ml)	Berat Produk (g)	Berat Residu (g)
350	206	154	75
370	201	151,95	80
390	239	181,52	52
410	203	159,25	49
430	193	150,11	48

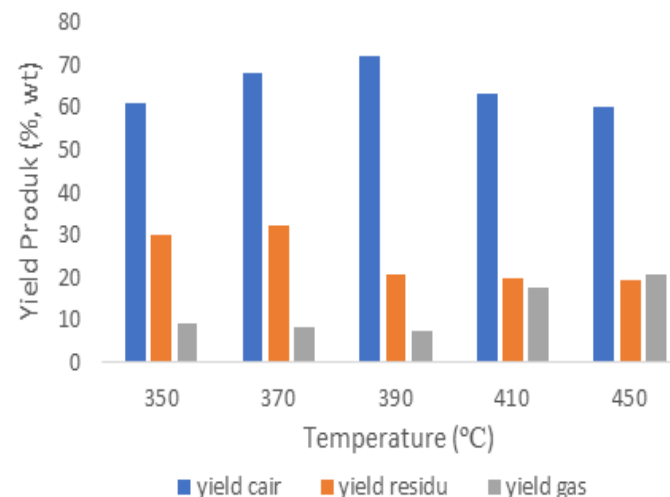
Dapat diketahui besaran nilai density, specific gravity, dan nilai °API pada setiap tray dari masing-masing variabel, dapat dilihat pada Tabel 2.

Dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa bahan bakar kondensat pada temperatur yang berbeda menghasilkan jenis bahan bakar yang berbeda. Bahan bakar yang dihasilkan pada setiap tray dapat dikategorikan masuk dalam nilai °API pada range bensin dan minyak tanah. Diketahui pada Tabel 1, besaran nilai specific gravity bensin berada pada range 0,70-0,77 dan untuk minyak tanah berada pada range 0,77-0,82. Sedangkan untuk nilai °API, bensin berada pada range 70-52 dan untuk minyak tanah berada pada range 52-40 [7].

Hasil pirolisis tray 1 pada variabel 350 °C menghasilkan bahan bakar berjenis bensin, sedangkan pada variabel 370, 390, 410, dan 430 °C menghasilkan bahan bakar berjenis minyak tanah. Pada tray 2 hanya variabel temperature 350 °C yang menghasilkan bahan bakar berjenis bensin, sedangkan pada variabel lainnya menghasilkan bahan bakar berjenis minyak tanah. Pada tray 3 menghasilkan bahan bakar berjenis bensin pada temperature 350, 370, dan 390 °C dan bahan bakar minyak tanah pada temperature 410, dan 430 °C, dan pada tray 4 menghasilkan bahan bakar berjenis bensin pada setiap variabel temperature.

Berdasarkan hasil penelitian di atas, pemanfaatan sampah plastik PP berpotensi untuk dijadikan bahan bakar alternatif berdasarkan karakteristik *Specific gravity* [7].

Selain itu, memanfaatkan limbah plastik diperoleh energy yang terbaharukan dan mengurangi limbah plastik yang terbuang ke lingkungan yang berakhir di lautan [11].



Gambar 2. Grafik hubungan antara Yield produk pirolisis terhadap temperatur berbantuan Katalis Ni/ZSM-5

Tabel 2. Karakteristik fisik produk pirolisis tiap tray pada variabel proses temperature

Variabel	Tray	Density	Specific gravity	°API
350°C	1	0,759	0,7659	53,31
	2	0,740	0,7467	58,06
	3	0,724	0,73	62,40
	4	0,721	0,7275	63,07
370 °C	1	0,773	0,78	49,97
	2	0,768	0,774	51,3
	3	0,747	0,753	56,48
	4	0,739	0,745	58,5
390 °C	1	0,765	0,7719	51,87
	2	0,778	0,7850	48,81
	3	0,761	0,7679	52,83
	4	0,734	0,7406	59,62
410 °C	1	0,806	0,813	42,60
	2	0,803	0,810	44,77
	3	0,776	0,783	49,27
	4	0,753	0,7598	54,79
430 °C	1	0,7990	0,8062	44,07
	2	0,7761	0,7831	49,25
	3	0,7741	0,7811	49,71
	4	0,7620	0,7689	52,59

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di atas, pemanfaatan sampah plastik PP berpotensi untuk dijadikan bahan bakar alternatif berdasarkan karakteristik *Specific gravity* [7]. Selain itu, pemanfaatan limbah plastik juga didapatkan melalui energi terbarukan dan berdampak mengurangi limbah plastik yang terbuang ke lingkungan yang berakhir di lautan [11]. Karakteristik produk pirolisis yang dihasilkan pada penelitian ini juga dalam rentang penelitian lainnya [12,13]. Selain itu, hasil yang diperoleh juga sesuai dengan bahan campuran dengan biomasa seperti bambu dan lainnya [14,15].

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada P3M dan Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Samarinda yang telah membantu dalam penerbitan jurnal sehingga bisa berjalan dengan baik.

#### Referensi

- [1] P.K. Ghodke, A.K. Sharma, K. Moorthy, W.-H. Chen, A. Patel, L. Matsakas, Experimental investigation on pyrolysis of domestic plastic wastes for fuel grade hydrocarbons, *Processes*, 11 (2022) 71.
- [2] E. Wahyudi, Zultinir, E. Saputra, Pengolahan sampah plastik polypropylene (PP) menjadi bahan bakar minyak dengan metode perengkahan katalitik menggunakan katalis zeolit x, *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 11 (2016) 17-23.
- [3] G. Jacobs, K. Chaudhari, D. Sparks, Y. Zhang, B. Shi, R. Spicer, T.K. Das, J. Li, B.H. Davis, Fischer-Tropsch synthesis: supercritical conversion using a Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst in a fixed bed reactor, *Fuel*, 82 (2003) 1251-1260.
- [4] Y. Cui, B. Chen, L. Xu, M. Chen, C.-e. Wu, J. Qiu, G. Cheng, N. Wang, J. Xu, X. Hu, CO<sub>2</sub> methanation over the Ni-based catalysts supported on

- the hollow ZSM-5 zeolites: Effects of the hollow structure and alkaline treatment, *Fuel*, 334 (2023) 126783.
- [5] A. Maia, B. Louis, Y. Lam, M. Pereira, Ni-ZSM-5 catalysts: Detailed characterization of metal sites for proper catalyst design, *J. Catal.*, 269 (2010) 103-109.
- [6] N. Miskolczi, T. Juzsakova, J. Sója, Preparation and application of metal loaded ZSM-5 and  $\gamma$ -zeolite catalysts for thermo-catalytic pyrolysis of real end of life vehicle plastics waste, *Journal of the Energy Institute*, 92 (2019) 118-127.
- [7] R. Thahir, S.R. Juliastuti, A. Altway, Analysis of liquid fuel from plastic waste using refinery distillation bubble cap plate column with integrated thermal cracking method, *IJSSST*, 20 (2019) 34.
- [8] R. Thahir, M. Irwan, A. Alwathan, R. Ramli, Effect of temperature on the pyrolysis of plastic waste using zeolite ZSM-5 using a refinery distillation bubble cap plate column, *RINENG*, 11 (2021) 100231.
- [9] Q. Wei, P. Zhang, X. Liu, W. Huang, X. Fan, Y. Yan, R. Zhang, L. Wang, Y. Zhou, Synthesis of Ni-modified ZSM-5 zeolites and their catalytic performance in n-octane hydroconversion, *Frontiers in Chemistry*, 8 (2020) 586445.
- [10] R. Thahir, A. Altway, S.R. Juliastuti, Production of liquid fuel from plastic waste using integrated pyrolysis method with refinery distillation bubble cap plate column, *Energy Reports*, 5 (2019) 70-77.
- [11] J.R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T.R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K.L. Law, Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science*, 347 (2015) 768-771.
- [12] R. Thahir, A. Altway, S.R. Juliastuti, Susianto, Production of liquid fuel from plastic waste using integrated pyrolysis method with refinery distillation bubble cap plate column, *Energy Rep.*, 5 (2019) 70-77.
- [13] I. Barbarias, G. Lopez, M. Artetxe, A. Arregi, J. Bilbao, M. Olazar, Valorisation of different waste plastics by pyrolysis and in-line catalytic steam reforming for hydrogen production, *Energy Convers. Manage.*, 156 (2018) 575-584.
- [14] Q. Hu, H. Zhang, Q. Mao, J. Zhu, S. Zhang, H. Yang, H. Chen, The effect of co-pyrolysis of bamboo waste and polypropylene on biomass deoxygenation and carbonization processes, *Energy*, 291 (2024) 130339.
- [15] A.H. Zulkafli, H. Hassan, M.A. Ahmad, A.T. Mohd Din, S.M. Wasli, Co-pyrolysis of biomass and waste plastics for production of chemicals and liquid fuel: A review on the role of plastics and catalyst types, *Arab. J. Chem.*, 16 (2023) 104389.