

Pirolisis Sampah Plastik HDPE sebagai Alternatif Pengganti Kerosin/Gasolin dengan Menggunakan Katalis Zeolit Alam

Joko Waluyo^{*}, Aji Putra Perkasa, dan Devaliandra Ramadhana

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta

E-mail: jokowaluyo@staff.uns.ac.id

Abstract. Pyrolysis is a method to reduce plastic waste and convert it into liquid fuel. The aim of this research is to study the effect of zeolite catalyst on the pyrolysis of HDPE plastics. Previously, natural zeolite was heated at 400°C for 4 hours to remove moisture and impurities. From the experiment, 4 samples were obtained with different conditions, namely Sample A was the result of pyrolysis with a catalyst at 400°C and a heating rate of 2.5°C/minute, Sample B was the result of pyrolysis with a catalyst at 350°C and a heating rate of 3.9°C/minute. Sample C was the result of pyrolysis without a catalyst at 400°C and the heating rate was 3.3°C/minute, Sample D was the result of pyrolysis without a catalyst at 350°C and the heating rate was 3.3°C/minute. The resulting oil yields from sample A to D were 41.25%, 32.29%, 40.9%, and 13.9%, respectively. The density was 0.762 gram/ml, 0.747 gram/ml, 0.769 gram/ml, and 0.766 gram/ml and for viscosity was 0.0071 poise, 0.0084 poise, 0.0104 poise, and 0.0096 poise, respectively. The analysis results show that pyrolysis at 350°C with zeolite catalyst will produce gasoline, whereas without catalyst it will produce kerosene oil.

Keywords: pyrolysis, fuel oil, HDPE, zeolite, catalyst

EQUILIBRIUM Volume 3 No.1 July 2019

Online at <http://equilibrium.ft.uns.ac.id>

1. Pendahuluan

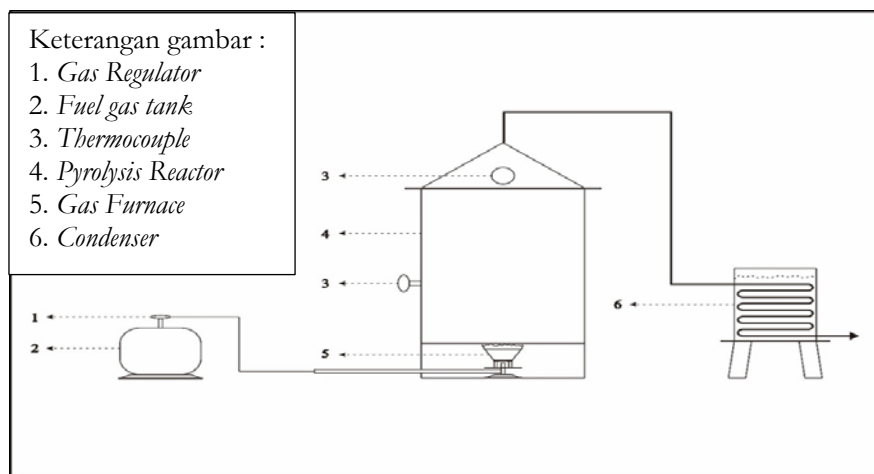
Sampah plastik menjadi permasalahan bagi lingkungan karena tidak mudah terdegradasi dan membutuhkan ratusan tahun untuk dapat terdegradasi secara alami. Plastik masih memiliki nilai kalor dan apabila langsung dibakar mengakibatkan terbentuknya dioxin yang berbahaya bagi kesehatan [1]. Plastik dapat dikonversi menjadi bahan bakar minyak melalui proses pirolisis [2]. Pirolisis adalah proses konversi termal tanpa adanya oksigen. Pirolisis dijalankan pada temperatur 300-500°C. Produk hasil pirolisis dapat berupa minyak (*oil*), gas dan arang. Komposisi hasil pirolisis tergantung pada temperatur proses dan laju pemanasan (*heating rate*). Berdasarkan laju pemanasan proses pirolisis dibagi menjadi *slow pirolisis* (pirolisis lambat), *intermediate pyrolysis* dan *fast pyrolysis*. Pirolisis lambat dijalankan dengan laju pemanasan kurang dari 1°C/s dengan produk utama adalah arang, *intermediate pyrolysis* dijalankan dengan laju pemanasan antara 1 - 1000°C/s, sedangkan *fast pyrolysis* dijalankan pada laju pemanasan lebih dari 1000°C/s. produk *intermediate* dan *fast pyrolysis* adalah cenderung minyak dan gas [3].

Pirolisis dengan bantuan katalis dapat merenghakan/depolimerisasi dari plastik menjadi minyak pada temperatur yang lebih rendah dibanding tanpa katalis. Penggunaan katalis juga dapat meningkatkan kualitas dari minyak yang dihasilkan dan menurunkan kebutuhan energi input yang digunakan [4]. Beberapa katalis yang telah digunakan beberapa peneliti adalah berjenis zeolit seperti ZSM-5 [5], H-ZSM-5 [6], Zeolit-Y [7] dll. Dari hasil penelitian menggunakan zeolit komersial umumnya produk yang dihasilkan adalah gasolin (C7-C11). Pada penelitian ini dikaji penggunaan zeolit alam sebagai katalis pirolisis plastik HDPE. Dari beberapa penelitian, zeolit alam Indonesia termasuk zeolit mordenit dan telah teruji dapat digunakan sebagai katalis perengkahan [8]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh katalis dan temperatur terhadap produk hasil pirolisis sampah plastik HDPE serta karakteristik minyak yang dihasilkan.

2. Metodologi

2.1. Material

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah plastik kantong belanja berjenis HDPE yang diperoleh dari Surakarta dan sekitarnya. Sedangkan katalis yang digunakan berjenis zeolit alam dengan ukuran 3-5 mm yang diperoleh dari Klaten.



Gambar 1. Skema Rancangan Alat Penelitian

2.2. Tahap Percobaan

Percobaan dilakukan dalam alat pirolisis dengan diameter 10 cm, dan menggunakan pemanas dari pembakaran gas LPG. Rangkaian peralatan pirolisis plastik seperti yang tersaji pada Gambar 1. Sampah plastik sebanyak 200 gram yang telah dipotong menjadi ukuran kecil ± 1 cm dimasukkan ke dalam alat pirolisis kemudian ditutup. Perlahan api dinyalakan pada gas furnace sebagai pemanas untuk proses pirolisis. Perubahan suhu serta waktu pirolisis dicatat hingga mencapai suhu yang diinginkan yaitu 350°C dan 400°C

dan suhu ditahan hingga 3 jam. Minyak hasil pirolisis keluar dari kondensor dan ditampung ke dalam botol untuk dilakukan analisa komposisi, densitas dan viskositas.

Selain dilakukan tanpa katalis, pirolisis dijalankan dengan menggunakan katalis zeolit alam. Sebelum digunakan, zeolit alam dilakukan perlakuan dengan cara dicuci dan dipanaskan pada suhu 600°C selama 4 jam untuk menghilangkan pengotor dan dilakukan proses kalsinasi untuk memperlebar pori-pori dan mengaktifkan zeolit alam. Rasio berat plastik dan katalis yang digunakan adalah 1:1. Campuran plastik dan katalis dimasukkan dalam reaktor pirolisis secara merata, kemudian dilanjutkan proses pirolisis seperti pada pelaksanaan pirolisis tanpa katalis.

Pada reaksi awal pirolisis perengkahan diperkirakan akan menghasilkan komponen hidrokarbon ringan (C1-C4) dengan fase gas dapat dibakar. Proses perengkahan berlanjut hingga menghasilkan produk fase cair yang diprediksi sebagai minyak diesel. Proses perengkahan menjadi produk fase cair terjadi ketika pemanasan mencapai suhu $\pm 350^\circ\text{C}$ saat tidak menggunakan katalis dan suhu $\pm 300^\circ\text{C}$ saat menggunakan katalis. Hasil produk cair dibagi menjadi fase cair dan sedimen. Pemisahan fase cair dan padatan dilakukan dengan memindahkan produk cair ke dalam botol kaca secara perlahan sehingga padatan dipisahkan.

Untuk pengujian densitas digunakan picnometer, untuk pengujian viskositas digunakan oswald viscometer. Dan untuk mengetahui komposisi fase cair digunakan metode pengujian GC-MS.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari penelitian didapatkan 4 sampel dengan kondisi yang berbeda-beda yaitu : sampel A dengan kondisi berkatalis zeolit dan bersuhu operasi 400°C, sampel B dengan kondisi berkatalis zeolit dan bersuhu operasi 350°C, sampel C dengan kondisi tanpa katalis dan bersuhu 400°C , dan Sampel D dengan kondisi tanpa katalis dan bersuhu 350°C.

3.1 Densitas dan Viskositas

Tabel 1. Densitas dan Viskositas Sampel dalam gram/mL dan poise

Sampel	Densitas (gram/ml)	Viskositas (poise)
A	0,762	0,0071
B	0,747	0,0084
C	0,769	0,0104
D	0,766	0,0096

Densitas dan viskositas sampel minyak hasil pirolisis tersaji pada Tabel 1, sedangkan densitas spesifikasi gasolin, minyak tanah dan solar tersaji pada Tabel 2. Densitas dan viskositas sampel diukur pada suhu 30°C. Berdasarkan hasil pengujian, sampel C memiliki densitas tertinggi yaitu 0,769 gram/ml sedangkan densitas terkecil dimiliki oleh sampel B yaitu 0,747 gram/ml. Pada data viskositas, Sampel C memiliki viskositas tertinggi pula yaitu senilai 0,0104 poise sedangkan viskositas terkecil dimiliki oleh sampel A sebesar 0,0071 poise.

Tabel 2. Perbandingan Densitas Bahan Bakar Premium, Solar dan Minyak Tanah

Jenis Bahan Bakar[9]	Densitas* (gram/ml)[9]
Premium/ gasolin	0,715-0,780
Minyak Tanah	Maksimum 0,835
Solar	0,815-0,870

*) diukur pada suhu 15°C ;

Densitas rata-rata sampel diukur pada suhu 30°C bernilai sebesar 0,761 gram/ml. Densitas memang terlihat mendekati nilai bahan bakar premium/gasolin namun densitas premium/gasolin 0,715- 0,708 gram/ml diukur pada suhu 15°C. Sehingga sampel diperkirakan memiliki fraksi minyak berada pada kisaran jenis minyak tanah dan solar.

Tabel 3. Perbandingan Densitas dan Viskositas Berdasarkan Jenis Plastik

Sifat Fisis	PET [10, 11]	HDPE [12]	PVC [10, 13]	LDPE [14]	PP [12]	PS [15, 16]	HDPE (Penelitian Ini)	Gasoline [12]	Diesel [12]
Viskositas (mm ² /s)	n.a	5.08	6.36	5.56	4.09	1.4	0***	1,17	1.9-4.1
Densitas 15°C (g/cm ³)	0,9	0,89	0,84	0,78	0,86	0,85	0,769*	0,780	0.807

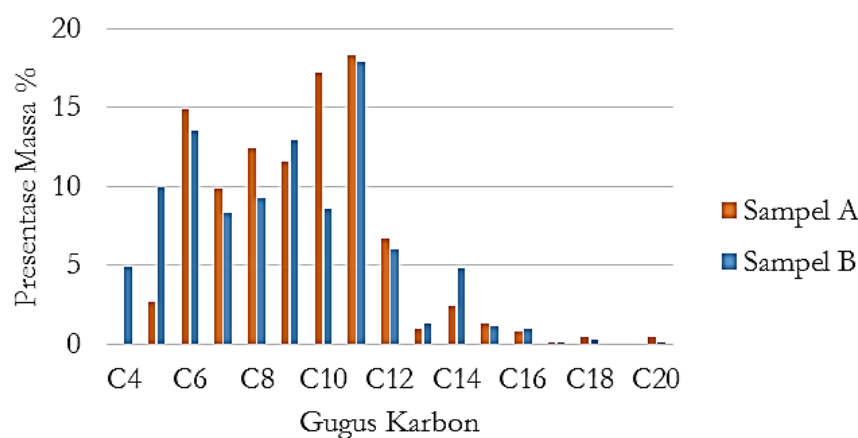
*) Diukur pada suhu 30°C

***) Absolute Viscosity

Dari hasil literatur yang tersaji pada Tabel 3, terlihat bahwa sebagian besar minyak hasil pirolisis plastik memiliki sifat fisis yang hampir mirip dengan diesel oil/solar. Hanya plastik LDPE saja yang memiliki densitas yang sama dengan gasoline tetapi besarnya viskositas hampir sama dengan diesel oil. Maka dari itu perlu dilakukan peningkatan mutu dari hasil produk pirolisis agar memiliki kriteria yang hampir mirip dengan bahan bakar sehingga dapat digunakan secara massal.

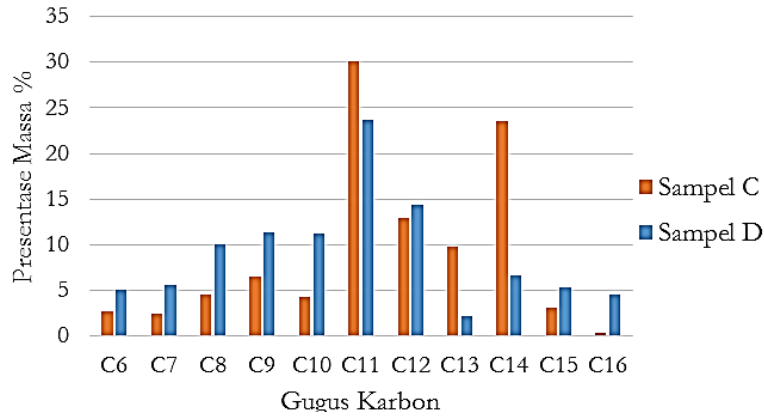
3.2 Komposisi

Uji komposisi pada sampel dilakukan dengan menggunakan uji GC-MS. Hasil uji GC-MS atau komposisi minyak hasil pirolisis disajikan pada Gambar 2 – Gambar 5.



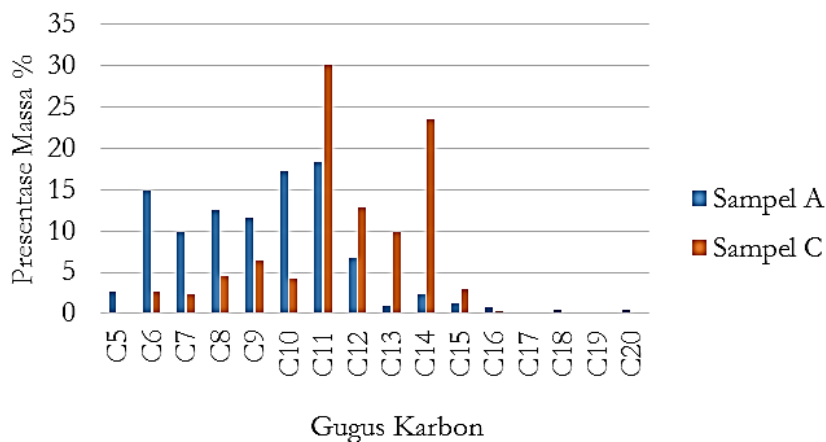
Gambar 2. Komposisi Sampel Berkatalis Zeolit Alam dengan Variasi Suhu Operasi 400°C (Sampel A) dan Suhu Operasi 350°C (Sampel B)

Sampel A dan Sampel B diproduksi dengan kondisi yang sama yaitu sama-sama menggunakan katalis zeolit. Dari hasil analisa yang tersaji pada Gambar 2, komposisi gugus karbon kedua sampel ini memiliki kesamaan yaitu presentase massa cenderung banyak pada rentang gugus karbon C5 sampai C10 yang dapat digolongkan sebagai fraksi *Gasoline* menurut ICCT (*Interantional Council on Clean Transportation*). Besarnya presentase rentang gugus karbon C5 sampai C10 masing-masing sampel adalah 68,61 % dan 62,56 %, sedangkan untuk rentang gugus karbon C11 sampai C20 masing-masing sebesar 31,42 % dan 32,57 %. Perbedaan antara sampel A dan sampel B adalah pada sampel A cenderung lebih banyak menghasilkan gasoline dibandingkan sampel B.



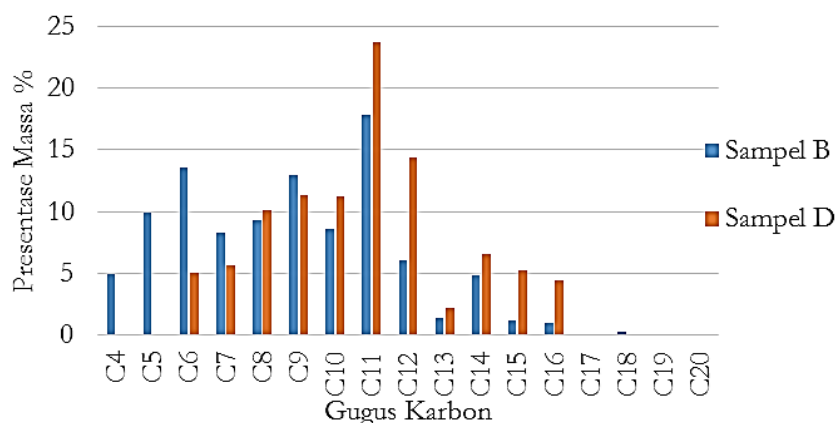
Gambar 3. Komposisi Sampel Tanpa Katalis dengan Variasi Suhu Operasi 400 °C (Sampel C) dan Suhu Operasi 350°C (Sampel D)

Sampel C dan sampel D merupakan sampel yang diproduksi dengan kondisi tanpa katalis namun berbeda suhu operasi. Jumlah Presentase massa sampel C dan sampel D memiliki kesamaan. Kesamaan itu dapat dilihat pada Gambar 3, di mana komposisi gugus karbon pada rentang C11 sampai C16 cenderung lebih besar dibanding rentang gugus karbon pada rentang C6 sampai C10 yang masing-masing sebesar 79,63 % dan 56,57%. Menurut ICCT, gugus karbon pada rentang C11 sampai C16 merupakan rentang untuk fraksi minyak tanah / *Kerosene*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel C dan sampel D yang diproduksi tanpa katalis ini cenderung menghasilkan fraksi minyak tanah/ *kerosene* lebih banyak. Yang membedakan dari kedua sampel ini adalah sampel C lebih banyak menghasilkan minyak tanah dibandingkan sampel D. Hal ini diperkirakan disebabkan suhu operasi pada sampel C lebih tinggi dibandingkan suhu operasi pada sampel D.



Gambar 4. Komposisi Sampel Berkatalis (sampel A) dan Tidak Berkatalis (sampel C) pada Suhu Operasi 400°C

Pada operasi 400°C, plastik yang dipirolisis menggunakan katalis dan tanpa menggunakan katalis memberikan minyak dengan komposisi yang berbeda. Sampel A memberikan minyak dengan fraksi *gasoline* lebih dominan dan sampel C memberikan minyak dengan fraksi *kerosene* lebih dominan. Perbandingan komposisi Sampel A dan Sampel C dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Komposisi Sampel Berkatalis (Sampel B) dan Tidak Berkatalis (Sampel D) pada Suhu Operasi 350°C

Begitu pula hasil pirolisis plastik yang dilakukan pada suhu 350°C. Pada suhu 350°C, minyak yang dihasilkan pada sampel yang dipirolisis dengan katlis menghasilkan minyak berfraksi *gasoline* yang lebih banyak dan yang tanpa katalis menghasilkan minyak berfraksi *kerosene* lebih banyak.

3.3 Yield

Pada penelitian ini dilakukan 4 kali percobaan dengan variasi yang berbeda antara lain adalah Sampel A (menggunakan katalis pada suhu 400°C dengan laju pemanasan 2,5°C/menit), sampel B (menggunakan katalis pada suhu 350°C dengan laju pemanasan 3,3°C/menit), sampel C (tanpa katalis pada suhu 400°C dengan laju pemanasan 3,9°C/menit), dan sampel D (tanpa katalis pada suhu 350°C dengan laju pemanasan 3,3°C/menit).

Tabel 3 Perbandingan Besarnya Yield *Liquid* setiap sampel

Jenis Sampel	Yield
A	41,25%
B	32,29%
C	40,9%
D	13,9%

Dari Tabel 3 terlihat bahwa sampel A memiliki yield yang paling besar yaitu 41,25% hal ini terjadi karena proses perengkahan pada sampah plastik berjalan optimum dengan suhu 400°C. Perbedaan suhu pembakaran sangat mempengaruhi yield yang didapatkan, akan tetapi penggunaan zeolit sebagai campuran dapat menurunkan suhu optimum dari proses *cracking* HDPE. Hal tersebut mengakibatkan yield yang didapatkan cukup tinggi sebesar 32,39% pada sampel B dengan suhu yang jauh berbeda yaitu sebesar 350°C. Besarnya laju pemanasan tidak terlalu berpengaruh terhadap besarnya yield yang dihasilkan hal tersebut dapat dilihat dari sampel A dengan laju pemanasan 2,5°C yang merupakan laju pemanasan paling kecil diantara sampel yang lainnya akan tetapi memiliki nilai yield yang paling besar. Maka dari itu agar dapat menghasilkan produk yang banyak dengan yield yang besar perlu dilakukan dengan suhu optimum sekitar 400°C atau dengan menggunakan katalis sehingga dapat menurunkan besarnya suhu optimum. Produk yang didapatkan pada pirolisis plastik ini adalah *oil*, *gas*, dan *char*. Pada sampel A dan B tidak ditemukan *char* tetapi batuan zeolit sebagai katalis berubah warna menjadi hitam yang disebabkan oleh masuknya *char* sisa hasil pembakaran ke permukaan dan pori-pori katalis. Pada sampel C dan D ditemukan adanya *char* yang berbentuk cairan yang akan mengeras ketika berada pada suhu lingkungan. Gas yang dihasilkan belum diketahui komposisinya akan tetapi gas tersebut dapat dibakar sehingga dimungkinkan bisa menjadi bahan bakar.

3.4 Heating Rate

Tabel 4. Perbandingan Hasil Penelitian Berdasarkan Suhu Operasi, *Heating Rate*, *Liquid Yield*, dan Komposisi

Jenis Plastik	Suhu Operasi (°C)	Heating rate (°C/min)	Liquid Yield (% massa)	Komposisi
HDPE (Penelitian ini)	350-400	2,5-3,9	13,9-41,25	Gasoline dan Kerosene
PET[17]	125-400	-	69,08	Gasoline
HDPE[12]	300-400	5-10	80,88	-
PVC[18]	225-520	10	12,79	HCl
LDPE [19]	500	10	95	-
PP[12]	250-400	-	69,82	-
PS[19]	300-500	10	97	-

Pada Tabel 4 didapatkan bahwa besarnya *heating rate* sangat mempengaruhi terhadap yield yang dihasilkan. Pada rentang suhu operasi yang sama akan tetapi heating rate yang digunakan berbeda maka besarnya yield liquid berbeda pula. Semakin besar heating rate yang digunakan maka akan semakin besar liquid yield yang dihasilkan. Umumnya proses *pyrolysis* menggunakan *slow pyrolysis* dengan *heating rate* sebesar 5-10°C/min. Dalam penelitian kami menggunakan pemanas api dari luar hanya dapat diperoleh laju pemanasan 2,5 – 3,9°C/min

4. Kesimpulan dan Saran

Dari penelitian pada proses pirolisis plastik jenis HDPE ini dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran yang di antaranya adalah sebagai berikut :

1. Proses pirolisis plastik jenis HDPE berkatalis zeolit alam pada rentang suhu operasi 350-400°C memberikan minyak berfraksi *Gasoline*. Sedangkan pirolisis plastik HDPE tanpa katalis dengan rentang suhu operasi yang sama memberikan minyak berfraksi *Kerosene*.
2. Suhu operasi 400°C memberikan yield minyak yang lebih banyak dibandingkan pada suhu 350°C baik pada pirolisis berkatalis zeolit alam maupun tanpa katalis. Pirolisis dengan katalis zeolit alam juga dapat meningkatkan yield minyak yang diperoleh.
3. Densitas minyak yang dihasilkan dari hasil pirolisis plastik HDPE dengan zeolit alam maupun tanpa katalis memberikan nilai yang cenderung mendekati densitas bahan bakar minyak tanah maupun solar. Sedangkan aplikasi pengujian minyak hasil pirolisis pada mesin masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kami sampaikan kepada LPPM UNS atas bantuan dana penelitian melalui hibah Riset Grup PNBPN 2019.

Daftar Pustaka

- [1] T. Nakao, O. Aozasa, S. Ohta, H. Miyata, "Formation of toxic chemicals including dioxin-related compounds by combustion from a small home waste incinerator". *Chemosphere*, vol. 62(3), Hal. 459-468, 2006
- [2] A. Fivga, I. Dimitriou, "Pyrolysis of plastic waste for production of heavy fuel substitute: A techno-economic assessment", *Energy*, Vol. 149, Hal. 865-874, 2018
- [3] J. Waluyo, I. Makertihartha, H. Susanto, "Pyrolysis with intermediate heating rate of palm kernel shells: Effect temperature and catalyst on product distribution", *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1977(1): Hal. 020026, 2018.
- [4] R. Miandad, M. A. Barakat, A. S. Aburiazaiza, M. Rehan, A.S. Nizami, "Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review", *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 102, Hal. 822-838, 2016
- [5] A. López, I de Marco, B.M Caballero, M.F. Laresgoiti, A. Adrados, A. Aranbaza, "Catalytic pyrolysis of plastic wastes with two different types of catalysts: ZSM-5 zeolite and Red Mud", *Applied Catalysis B: Environmental*, Vol. 104(3), Hal. 211-219, 2011

Pirolisis Sampah Plastik HDPE sebagai Alternatif Pengganti Kerosin/Gasolin dengan Menggunakan Katalis Zeolit Alam

Joko Waluyo, Aji Putra Perkasa, dan Devaliandra Ramadhana

- [6] M.d.R. Hernández, A. Gomez, A. N. Garcia, J. Agullo, A. Marcilla, "Effect of the temperature in the nature and extension of the primary and secondary reactions in the thermal and HZSM-5 catalytic pyrolysis of HDPE", *Applied Catalysis A: General*, Vol. 317(2), Hal. 183-194, 2007
- [7] K.-H. Lee, "Effects of the types of zeolites on catalytic upgrading of pyrolysis wax oil", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 94, Hal. 209-214, 2012
- [8] J. Waluyo, T. Richards, I. Makertihartha, H. Susanto, "Modification of Natural Zeolite as a Catalyst for Steam Reforming of Toluene", *Asean Journal of Chemical Engineering*, Vol. 17(1), Hal. 37-45, 2017
- [9] O. Cepeliogullar, A. E. Putun, "Utilization of Two Different Types of Plastic Wastes from Daily and Industrial Life," *ICOEST Cappadocia*, Hal. 1-13, 2013
- [10] M. Sarker, A. Kabir, M. M. Rashid, M. Molla, M. A. Din, "Waste Polyethylene Terephthalate (PETE-1) Conversion into Liquid Fuel," *Journal of Fundamental Renewable Energy Application*, no. 1, Hal. 1-5, 2011
- [11] I. Ahmad, M. I. Khan, H. Khan, M. Ishaq, R. Tariq, K. Gul, W. Ahmad, "Pyrolysis Study of Polypropylene and Polyethylene into Premium Oil Products", *Int J Green Energy*, Vol. 12, no. 71, Hal. 663, 2014
- [12] E. Manickaraja, S. Tamilkolundu, "Catalytic Degradation of Waste PVC into Liquid fuel using BaCO₃ as Catalyst and its Blending Properties with Diesel Fuel," *Discover*, Vol. 23, Hal. 74-78, 2014
- [13] S. B. Desai, C. K. Galage, "Producton and Analysis of Pyrolysis Oil from Waste Palstic in Kolhapur City," *Int J Eng Res Gen Sci*, Vol. 3, Hal. 590-595, 2015
- [14] F. Pinto, P. Costa, I. Gulyurtlu, I. Cabrrita, "Effect of Plastic Waste Composition on Product Yield.," *J Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 51, Hal. 39-55, 1998
- [15] M. Blazco, "Composition of Liquid Fuels Derived from the Pyrolysis of Plastics," in *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Palstics : Converting Waste Plastics into diesel and Other Fuels*, J. Scheirs and W. Kaminsky, Eds., Hungary, John Wiley & Sons, Hal. 315-342, 2006
- [16] W. A. Wibowo, B. T. T. Lusmono, W. T. Efendi, "Aplikasi Bentonit Boyolali untuk Meningkatkan Perolehan Fraksi Bensin pada Pembuatan Bahan Bakar dari Sampah Palstik dengan Proses Dekomposisi Katalis," in *International Conference on Electric Vehicular Technology*, 2015
- [17] R. Miranda, Y. Jin, C. Vasile, "Vacuum Pyrolysis of Polyethylene," *Applied Pyrolysis*, Vol. 64, 2001
- [18] J. A. Onwudili, N. Insura, P. T. Williams, "Composition of Products from The Pyrolysis of Polyethylene and Polystyrene in a Closed Batch Reactor : Effects of Temperature and Residence Time," *Annalytical adn Applied Pyrolysis*, Vol. 86, Hal. 293-303, 2009
- [19] Bagri R and Williams PT, "Catalytic Pyrolysis of Polyethylene," *Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 63, Hal. 29-41, 2001