

PENGOLAHAN LIMBAH POLIPROPILEN MENJADI BAHAN BAKAR CAIR MELALUI METODE PIROLISIS

Restina Bemis, Novesar Jamarun, dan Syukri Arief

Laboratorium Material Universitas Andalas

E-mail : novesar62@yahoo.com

ABSTRACT

Plastics become the biggest environmental problem when it accumulate in landfills because its non-biodegradable properties. To handle the problems, the plastics were processed to produce liquid fuels by means pyrolysis method which was in this case with and without a catalyst. In this work, polypropylene was used as a precursor and SiO₂, zeolites, CaO, Fe as catalysts. FTIR spectrum of pyrolyzed polypropylene with and without catalysts both have shown C = C functional group at 1648 cm⁻¹. GCMS analysis confirmed the availability of chain length of hydrocarbon between C₇ - C₂₇ which is mixture of kerosene and diesel fractions. Catalysts can lower the temperature and time reaction of pyrolysis process as they increase rendement (%) of product. Liquid fuels that produced from polypropylene pyrolysis without catalyst was 72.06%, and with catalysts were 79.59% (SiO₂), 74.76%, (zeolite), 76.80% (CaO), and 76.83% (Fe).

Keywords : *Pyrolysis, polypropylene, catalyst*

PENDAHULUAN

Komponen yang sangat erat dalam kehidupan makhluk hidup ialah udara, tanah, dan air. Namun, jika udara, tanah, dan air tersebut telah tercemar maka dapat menyebabkan penurunan terhadap kualitas kehidupan. Penyebab tercemarnya udara, tanah, dan air tersebut adalah pencemaran lingkungan karena aktivitas manusia yang tidak dapat terlepas dari penggunaan plastik setiap harinya.

Faktor-faktor yang mendorong penggunaan plastik antara lain ringan, tidak mudah pecah, efisiensi energi, desain yang menarik, dan ketersediaan produk dengan kisaran harga yang bervariasi serta mudah didapatkan. Hal inilah yang menyebabkan penggunaan plastik meningkat dan tidak terkontrol setiap harinya^[1].

Menurut data statistik persampahan domestik Indonesia tahun 2008, jenis sampah plastik menduduki peringkat ke-2, sebesar 5,4 juta ton/tahun (14%). (Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup, 2008). Plastik yang telah digunakan akan menjadi limbah dan menumpuk pada *landfill* karena sifatnya yang

non-biodegradable dan butuh waktu yang lama untuk dapat diuraikan secara alamiah di tanah.

Penumpukan sampah yang terlalu lama akan menimbulkan bau yang tidak enak yang dapat menyebabkan kualitas udara pada lingkungan menjadi menurun. Sementara, jika dilakukan pembakaran limbah plastik ini dapat menghasilkan gas berbahaya seperti karbon dioksida (CO₂), sulfur oksida (SO_x), dan nitrogen oksida (NO_x) ke udara^[2].

Salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan memanfaatkan potensi yang ada pada plastik menjadi bahan bakar. Beberapa jenis plastik yang dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar seperti *High Density Polyethylene* (HDPE), *Low Density Polyethylene* (LDPE), polipropilen, polistiren, polivinilklorida, dan lain-lainnya.

Limbah plastik tersebut dapat diolah menjadi bahan bakar minyak dengan menggunakan beberapa metode, seperti *pyrolysis*, *thermal cracking*, *catalytic cracking*, *catalytic degradation*, dan *hydrocracking*^[1-6]. Diantara metode pengolahan plastik menjadi bahan bakar tersebut, pirolisis merupakan salah satu yang paling menjanjikan karena limbah plastik

dapat diolah menjadi bahan bakar yang berharga.

Pirolisis dapat dilakukan dengan atau tanpa katalis. Keuntungan metode ini dengan menggunakan katalis adalah dapat menurunkan temperatur reaksi. Hal inilah yang menyebabkan kenapa proses yang menggunakan katalis lebih banyak dilakukan untuk meningkatkan kualitas produk^[3].

Beberapa jenis katalis padat yang telah digunakan para peneliti untuk degradasi plastik menjadi bahan bakar, seperti silika-alumina, aluminium oksida (Al_2O_3), zink oksida (ZnO), silika oksida (SiO_2), arsenik oksida (As_2O_3), kromium oksida (Cr_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), timbal oksida (PbO), vanadium oksida (V_2O_5), timbal tetra asetat ($\text{Pb}(\text{OAc})_4$), katalis FCC (*Fluid Catalytic Cracking*) MCM-41, sulfat yang dimodifikasi oleh zirkonium, dan zeolit^[1,3-5,7].

Latar belakang inilah yang mendasari dilakukannya penelitian dengan memanfaatkan potensi dari limbah plastik jenis polipropilen menjadi bahan bakar cair menggunakan metode pirolisis dengan dan tanpa adanya katalis. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah SiO_2 , zeolit, CaO, dan Fe. Dari keempat jenis katalis ini, dapat diketahui katalis mana yang efektif dalam proses pengolahan plastik menjadi bahan bakar. Beberapa faktor yang diperhatikan dalam penelitian ini, seperti pengaruh jenis katalis, temperatur reaksi, persen (%) produk, dan waktu lamanya proses yang digunakan dalam mengubah plastik menjadi bahan bakar cair.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan antara lain pemanas bunsen, labu distilasi 300 mL, kondensor, termometer 400 °C, erlenmeyer 250 mL, dan piknometer. Instrumen yang digunakan adalah *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) JASCO FT/IR 460 plus dan GCMS-QP2010 Plus.

Bahan yang digunakan adalah limbah gelas plastik air mineral (polipropilen), katalis SiO_2 , zeolit, CaO, dan Fe.

Prosedur Kerja

Perlakuan pada katalis

Sumber zeolit dan CaCO_3 diambil di kawasan Sumatera Barat sedangkan SiO_2 dan Fe merupakan katalis sintetis. Perlakuan aktivasi dilakukan pada katalis zeolit dan CaO. Sebanyak 10 g zeolit dipanaskan dengan menggunakan furnace pada temperatur 400 °C selama 4 jam. Katalis CaO diperoleh dengan memanaskan 10 g CaCO_3 pada temperatur 800 °C selama 1 jam.

Proses pengolahan polipropilen menjadi bahan bakar cair

Sebanyak 150 g polipropilen dikumpulkan, disortir, dan dibersihkan dari kontaminasinya. Selanjutnya plastik tersebut dipotong menjadi bagian yang lebih kecil.

Pirolisis tanpa katalis

Sebanyak 30 g polipropilen dimasukkan ke dalam labu distilasi dan dipanaskan dengan menggunakan bunsen hingga meleleh kemudian didiamkan semalam. Selanjutnya plastik hasil lelehan didestilasi dengan menggunakan peralatan destilasi dan pemanas bunsen. Uap hasil distilasi didinginkan melalui kondensor ditampung dengan erlenmeyer. Volume hasil akhir yang diperoleh kemudian diukur untuk mengetahui persentase produk yang didapatkan.

Pirolisis dengan katalis

Sebanyak 30 g polipropilen dan 3 gram katalis, masing-masingnya (SiO_2 , zeolit, CaO, dan Fe) dimasukkan ke dalam labu distilasi dan dilakukan proses pirolisis seperti pada pirolisis polipropilen tanpa menggunakan katalis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengolahan polipropilen menjadi bahan bakar cair dilakukan dengan dan tanpa menggunakan katalis. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini yakni silika oksida (SiO_2), zeolit, kalsium oksida (CaO), dan serbuk besi

(Fe). Dari keempat katalis ini dapat dilihat pengaruh yang diberikan oleh katalis tersebut terhadap temperatur reaksi, waktu reaksi, dan persen produk yang dihasilkan dalam proses pengolahan polipropilen menjadi bahan bakar cair. Hasil analisis pengaruh katalis ditunjukkan pada Tabel 1.

Dari hasil pengamatan umum menunjukkan bahwa pirolisis dengan menggunakan katalis SiO_2 merupakan proses yang menghasilkan produk lebih baik jika dibandingkan dengan katalis yang lainnya, dilihat dari pengaruh temperatur reaksi, total waktu reaksi, dan persen produk yang dihasilkan. Hal ini diindikasikan karena SiO_2 memiliki pori yang berukuran mesopori. Peningkatan luas permukaan dan volume pori katalis juga mendukung peningkatan aktivitas katalis. Hal ini disebabkan karena lebih besarnya kemungkinan reaktan untuk masuk ke dalam pori katalis. Semakin besarnya peluang reaktan untuk masuk ke dalam pori berarti semakin besar pula peluang terjadinya reaksi katalitik antara reaktan dengan permukaan katalis^[8-9].

Pengaruh katalis terhadap temperatur reaksi, waktu reaksi, dan persen produk dalam pirolisis polipropilen

Dari gambar 1 dapat dilihat pengaruh yang diberikan oleh katalis terhadap temperatur

reaksi, waktu reaksi, dan persentase (%) produk yang dihasilkan.

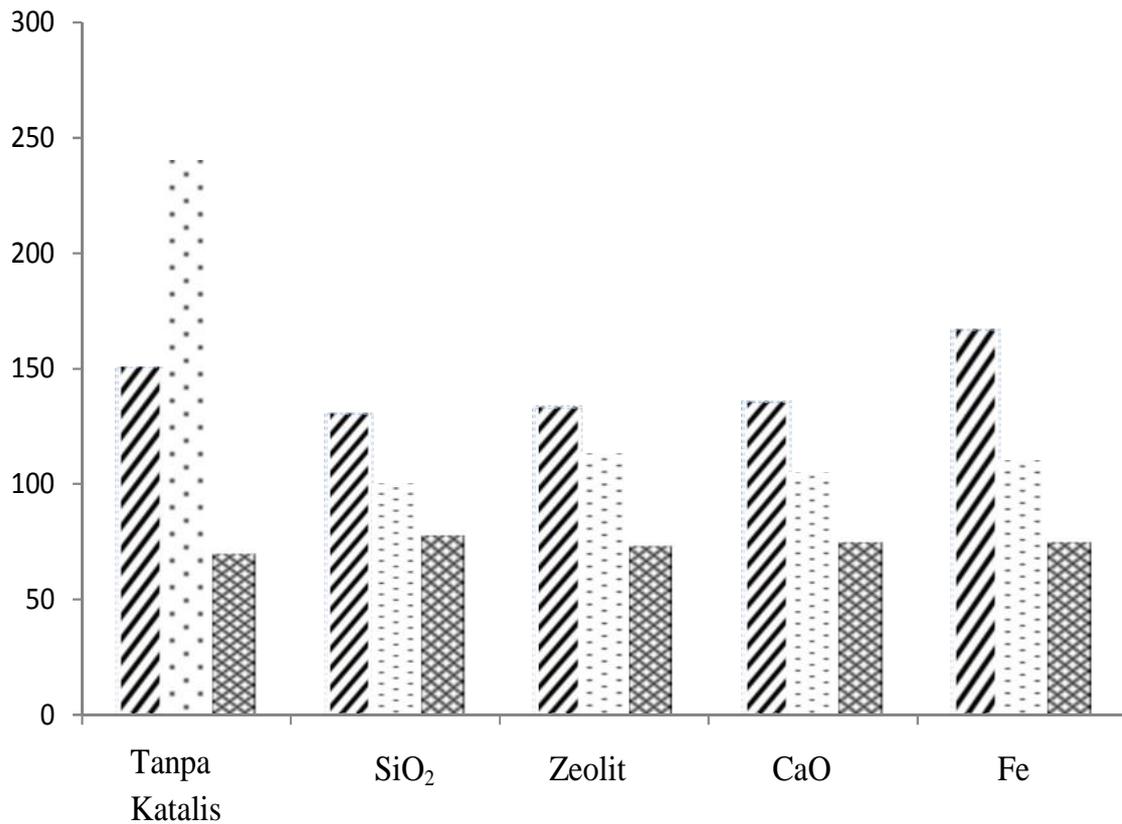
Reaksi dengan menggunakan katalis SiO_2 memiliki temperatur reaksi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan katalis yang lainnya dan reaksi tanpa katalis, yakni 130°C . Namun, disini terlihat adanya penyimpangan pada penggunaan katalis Fe yang ternyata memiliki temperatur reaksi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan reaksi tanpa katalis. Katalis Fe memiliki temperatur reaksi 166°C sedangkan reaksi tanpa katalis memiliki temperatur reaksi 150°C . Hal ini menunjukkan bahwa katalis Fe kurang efisien dalam menurunkan temperatur reaksi dalam proses pirolisis polipropilen.

Waktu rata-rata dari pirolisis 30 g polipropilen adalah 1 – 2 jam untuk reaksi yang menggunakan katalis. Sedangkan untuk reaksi tanpa katalis memerlukan waktu reaksi selama 4 jam untuk mampu mendegradasi polipropilen menjadi bahan bakar cair.

Katalis SiO_2 memiliki waktu reaksi yang lebih cepat jika dibandingkan dengan katalis lainnya dan reaksi tanpa katalis, yakni 100 menit untuk dapat mendegradasi polipropilen menjadi bahan bakar cair. Sementara itu, katalis CaO memiliki waktu reaksi 105 menit, katalis Fe memiliki waktu reaksi 110 menit, dan katalis zeolit memiliki waktu reaksi 113 menit.

Tabel 1. Pengamatan umum untuk semua proses pirolisis

Parameter	Katalis yang digunakan				
	Tanpa Katalis	SiO_2	Zeolit	CaO	Fe
Temperatur tetesan pertama ($^\circ\text{C}$)	150	130	133	135	166
Temperatur tetesan terakhir ($^\circ\text{C}$)	160	160	195	180	166
Total waktu reaksi (menit)	240	100	113	105	110
Volume produk cair yang diperoleh (mL)	30	33	31	32	32
Massa Jenis produk (g/mL)	0,7206	0,7236	0,7235	0,72	0,7203
Persentase produk (%)	72,06	79,59	74,76	76,80	76,83



Keterangan :

- : Temperatur (°C)
- : Waktu (Menit)
- : Persentase (%) Produk

Gambar 1. Pengaruh yang diberikan oleh katalis terhadap temperatur reaksi, waktu reaksi, dan persentase (%) produk yang dihasilkan

Pirolisis dengan menggunakan katalis SiO₂ diperoleh produk dengan persentase terbesar yakni 79,596%, selanjutnya 76,832% untuk pirolisis polipropilen dengan menggunakan katalis Fe, 76,80% dengan menggunakan katalis CaO, dan 74,762% dengan menggunakan katalis zeolit. Sementara, untuk pirolisis polipropilen tanpa menggunakan katalis hanya menghasilkan sekitar 72,06% produk cair. Produk yang dihasilkan dari

metode pemecahan rantai polimer seperti proses pirolisis ini umumnya menghasilkan sekitar 70-80% cairan dan 5-10% gas^[10]. Sehingga dapat dilihat bahwa pirolisis dengan menggunakan katalis mampu menurunkan temperatur dan waktu reaksi serta menghasilkan produk cair dengan persentase produk yang lebih besar jika dibandingkan dengan pirolisis tanpa menggunakan katalis^[11].

Tabel 2. Hasil analisis FTIR pirolisis polipropilen dengan dan tanpa menggunakan katalis

Katalis	Angka gelombang								
	=C-H stretching	C-H stretching dari CH ₃	C-H stretching dari CH ₂	non-konjugasi	C=C stretching	CH ₂ scissoring	C-H bending dari CH ₂	-HC=CH- (trans)	=C-H bending
Tanpa katalis	3073,98		2919,7	1779,97 1706,69	1650,77	1456,96	1378,85	1156,12 968,09	888,059
SiO ₂	3073,98	2954,41	2918,73		1648,84	1455,99	1375,96	1156,12 969,055	887,095
Zeolit	3073,98	2955,98	2920,66		1648,84	1455,99	1376,93	1157,08 970,091	888,059
CaO	3074,94	2957,3	2919,7		1646,91	1456,86	1375	1156,12 969,055	888,059
Fe	3073,98		2918,73	1779,97 1710,55	1646,91	1456,96	1379,82	1155,15 968,09	889,987

Hasil analisis spektrofotometer FT-IR

Hasil analisis FTIR dari pirolisis polipropilen dengan dan tanpa katalis ditunjukkan pada Tabel 2. Dari hasil FT-IR didapatkan gugus fungsi =C-H stretching, dimana pada senyawa alkena gugus =C-H stretching terletak antara 3100-3000 cm⁻¹. Gugus fungsi ini didukung oleh munculnya gugus fungsi C=C stretching yang terletak antara 1680-1600 cm⁻¹. Selanjutnya adanya gugus fungsi C-H stretching dari CH₃, C-H stretching dari CH₂, dan gugus fungsi non-konjugasi dari senyawa hidrokarbon. Selain itu, didapatkan pula gugus CH₂ scissoring, C-H bending dari CH₃ dan fungsi dari -HC=CH- (trans). Gugus fungsi dari =C-H bending dari alkena terletak antara 1000-600 cm⁻¹[12-13].

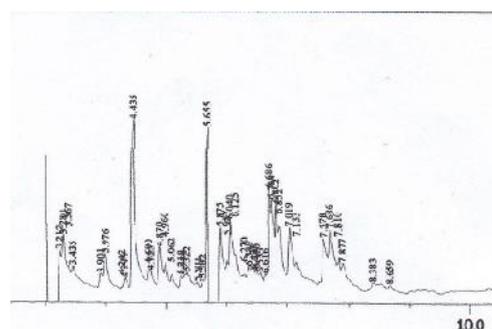
Hasil Analisis GC-MS

Tanpa menggunakan katalis

Hasil GCMS pada Gambar 2 menunjukkan bahwa total waktu retensi dari senyawa – senyawa hasil pirolisis polipropilen tanpa katalis ini adalah 3-8 menit seperti pada Tabel 3. Senyawa yang diperoleh dari hasil pirolisis polipropilen ini memiliki rantai hidrokarbon antara C₉ – C₂₇ (Tabel 3) yang diindikasikan bahwa senyawa ini merupakan senyawa campuran dari fraksi kerosene dan diesel. Fraksi kerosene memiliki panjang rantai karbon C₈-C₁₉ sedangkan panjang rantai karbon untuk diesel adalah C₇ – C₂₇[14].

Dengan menggunakan Katalis

Hasil analisis GCMS dari pirolisis polipropilen dengan menggunakan katalis hampir sama dengan proses pirolisis polipropilen tanpa menggunakan katalis. Total waktu retensi dari senyawa – senyawa hasil pirolisis polipropilen dengan menggunakan katalis SiO₂, zeolit dan Fe adalah 3-9 menit dengan rantai hidrokarbon antara C₇ – C₂₈. Sedangkan dengan menggunakan katalis CaO adalah 5-23 menit dengan rantai karbon antara C₁₁-C₅₄. Senyawa-senyawa ini diindikasikan merupakan campuran dari fraksi kerosen dan diesel. Fraksi kerosen memiliki panjang rantai karbon C₈-C₁₉ sedangkan panjang rantai karbon untuk diesel adalah C₇ – C₂₇. [14]



Gambar 2. Kromatogram GCMS pirolisis polipropilen tanpa menggunakan katalis

Tabel 3 : Data GCMS dari pirolisis polipropilen tanpa menggunakan katalis.

Waktu Retensi (Menit)	Nama Senyawa	Rumus Senyawa	Berat Molekul
3,212	metil-heptanoat	C ₉ H ₁₈ O ₂	158
3,28	3[(asetiloksi)metil]-3,4-dimetil-2-pentanon	C ₉ H ₁₅ O ₃	171
3,367	2,4-dimetil-2,6 oktadiene	C ₁₀ H ₁₈	138
3,435	2,5-dimetil-1,6 oktadiene	C ₁₀ H ₁₈	138
3,435	7-metil-1-undekena	C ₁₂ H ₂₄	168
3,976	2,6-dimetil-nonana	C ₁₁ H ₂₄	156
4,295	2,2-dimetil,3-decena	C ₁₂ H ₂₄	168
4,435	2,6,8-trimetil-4-nonena	C ₁₂ H ₂₄	168
4,69	2-metil-2-undekanatiol	C ₁₂ H ₂₆ S	202
4,725	4,6,8-trimetil-1-nonena	C ₁₂ H ₂₄	168
4,87	1-hidroksiisopropil-2,3-dimetil-siklopentana	C ₁₀ H ₂₀ O	156
4,96	2,4-dietil-1-metilsikloheksana	C ₁₁ H ₂₂	154
5,062	2,4-dietil-1-metilsikloheksana	C ₁₁ H ₂₂	154
5,218	2,4-dietil-1-metilsikloheksana	C ₁₁ H ₂₂	154
5,275	4,6-dimetil-dodekana	C ₁₄ H ₃₀	198
5,322	2,6,11-trimetil-dodekana	C ₁₅ H ₃₂	212
5,501	2,3,3-trimetil-1,7-oktadiena	C ₁₁ H ₂₂	152
5,582	2,6,6-trimetil-bisiklo[3.1.1]-heptan-3-on	C ₁₀ H ₁₆ O	152
5,655	1-tridekanol	C ₁₃ H ₂₈ O	200
5,875	7-metil-1-undekena	C ₁₂ H ₂₄	168
5,987	1-heksakosanol	C ₂₆ H ₅₄ O	382
6,04	1,19-elkosadiena	C ₂₀ H ₃₈	278
6,125	2,6,6-trimetil-bisiklo[3.1.1]-heptan-3-on	C ₁₀ H ₁₆ O	152
6,27	3,7,11-trimetil-1-dodekanol	C ₁₅ H ₃₂ O	228
6,349	tetrapropilen	C ₁₂ H ₂₄	168
6,425	2,3,5,8-tetrametil-dekana	C ₁₄ H ₃₀	198
6,47	2,3,5,8-tetrametil-dekana	C ₁₄ H ₃₀	198
6,533	eikosil-sikloheksana	C ₂₆ H ₅₄	366
6,616	7,11-dimetil-10-dodeken-1-ol	C ₁₄ H ₂₈ O	212
6,686	1-tridekanol	C ₁₃ H ₂₈ O	200
6,724	1-tridekanol	C ₁₃ H ₂₈ O	200
6,802	1-tridekanol	C ₁₃ H ₂₈ O	200
6,852	1-nonadekena	C ₁₉ H ₃₈	266
7,019	1-hidroksiisopropil-2,3-dimetil-siklopentana	C ₁₀ H ₂₀ O	156
7,133	2,6,6-trimetil-bisiklo[3.1.1]-heptan-3-on	C ₁₀ H ₁₆ O	152
7,578	1-heptakosanol	C ₂₇ H ₅₆ O	396
7,686	1-nonadekena	C ₁₉ H ₃₈	266
7,81	1-heptakosanol	C ₂₇ H ₅₆ O	396
7,877	1-hidroksiisopropil-2,3-dimetil-siklopentana	C ₁₀ H ₂₀ O	156
8,383	1-heptakosanol	C ₂₇ H ₅₆ O	396
8,659	Germakrana-B	C ₁₅ H ₃₀	210

KESIMPULAN

Pirolisis polipropilen dengan dan tanpa katalis telah dilakukan untuk mengolah polipropilen menjadi bahan bakar cair. Hasil analisis FTIR menunjukkan adanya gugus fungsional C=C dari senyawa hidrokarbon dan hasil analisis GCMS menunjukkan panjang rantai karbon antara C₇ – C₂₇ yang merupakan campuran dari fraksi kerosene dan diesel. Katalis mampu menurunkan temperatur dan mempercepat waktu reaksi pirolisis polipropilen serta meningkatkan persentase (%) produk. Bahan bakar cair yang diperoleh dari pirolisis polipropilen tanpa katalis sebanyak 72,06%, dengan menggunakan katalis SiO₂ sebanyak 79,59%, dengan menggunakan katalis zeolit sebanyak 74,76%, dengan menggunakan katalis CaO sebanyak 76,80%, dan dengan menggunakan katalis Fe sebanyak 76,83%.

DAFTAR PUSTAKA

- Osueke and C. O. Engr, Conversion of waste plastic (polyethylene) to fuel by means of pyrolysis, *International Journal of Advanced Engineering Science and Technologies.*, 4, 021-024, (2011).
- Sarker, Moinuddin, M. M. Rashid, and M. Molla, Waste plastic conversion into chemical product like naphthan, *Journal of fundamentals of renewable energy and applications.*, 1, (2011).
- Salman, Muhammad, R. Rehman, U. Shafique, T. Mahmud, B. Ali, Comparative thermal and catalytic recycling of low density polyethylene into diesel-like oil using different commercial catalysts. *Journal Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry.*, 11(2), 96-105, (2012).
- Y. H. Lin and M. H. Yang, Catalytic reaction of post-consumer polymer waste over fluidised cracking catalysts for producing hydrocarbons, *Journal of Molecular Catalyst A : Chemical.*, 113-122, (2005).
- M. N. Almustapha, J. M. Andresen, Catalytic conversion of high density polyethylene (HDPE) polymer as a means of recovering valuable energy content from the plastic wastes, *International Conference on Petroleum and Sustainable Development IPCBEE.*, 26, (2011).
- D. Weibing, J. Liang, and L. L. Anderson, Hydrocracking of waste plastics to clean liquid fuels, *Department of Chemical and Fuels Engineering.*
- D. C. Tiwari, E. Ahmad, and K. Singh Catalytic degradation of waste plastic into fuel range hydrocarbons, *International Journal of Chemical Research.*, 1(2), 31-36, (2009).
- R. G. Rodríguez, J. A. Montoya, J. A. De Los Reyes, and T. Viveros, Mesoporous silica gels and TiO₂/SiO₂ and ZrO₂-SiO₂ mixed oxides prepared via the sol-gel Method, (2006).
- Windarti, Tri, dan A. Suseno, Preparasi katalis zeolit alam asam sebagai katalis dalam proses pirolisis katalitik polietilena, *Fakultas MIPA Universitas Diponegoro.*, 7(3), (2004).
- Y. Sakata, M. A. Uddin, Koizumi, and Murata, Catalytic degradation of polypropylene into liquid hydrocarbon using silica-alumina catalyst, *Journal Analytical Application Pyrolysis.*, 245–246, (1996).
- S. Toju and K. Daibo, Plastic Catalytic Degradation Study of The Role of External Catalytic Surface, Catalytic Reusability And Temperature Effects, A Thesis : Department of Chemical Engineering, University College London, London, WC1E 7JE, (2009).
- B. Stuart, Infrared Spectroscopy : Fundamentals and Applications. Analytical Techniques In The Sciences, (2004).
- Sarker, Moinuddin *et al*, Waste Plastic Conversion into Hydrocarbon Fuel Materials, Department of Research and Development.
- Sarker, Moinuddin, M. M. Rashid, dan M. S. Rahman, Conventional Fuel Generated From Polypropylene (PP) Waste Plastic Kerosen / Jet / Aviation Grade With Activated Carbon, *International Journal of Modern Engineering Research.*, 2(4), 2168-2173, (2012).