

## Pirolisis Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) menjadi Bahan Bakar Cair-Premium-like

Anisya Putri Islami, Sutrisno, & Heriyanti\*

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Indonesia.

Corresponding author: [heriyanti@unja.ac.id](mailto:heriyanti@unja.ac.id)

### Article history

Received: 18<sup>th</sup> November 2019

Received in revised form: 15<sup>th</sup>

February 2020

Accepted: 21<sup>st</sup> May 2020

DOI:

10.17977/um0260v3i22019p001

### Kata-kata kunci:

*Pirolisis,*

*Polipropilena*

*Sampah plastik*

*Bahan bakar cair*

### Abstrak

Penanganan sampah plastik masih menjadi permasalahan lingkungan yang menuntut perhatian. Konversi sampah plastik menjadi bahan bakar cair menjadi salah satu solusi yang cukup menarik perhatian peneliti. Tujuan dari penelitian adalah mengkonversi sampah plastik jenis polipropilena (PP) menjadi bahan bakar cair, *premium-like*, melalui proses pirolisis. Sampah plastik jenis PP dipirolisis menggunakan reaktor *batch* yang dilengkapi dengan kondensor. Rendemen bahan bakar cair yang diperoleh dari 8 kg plastik yaitu 63,375% dengan suhu maksimum pirolisis yaitu 330°C. Hasil analisis GC-MS menunjukkan bahan bakar cair yang diperoleh masih memiliki rantai karbon panjang yaitu C7-C54 dengan fraksi utama adalah hidrokarbon dengan C11-C20. Nilai kalor yang dimiliki bahan bakar cair adalah 46,199 MJ/kg dengan nilai densitas 0,726 g/mL.

### Abstract

*The handling of plastic waste is still an environmental problem that requires attention. The conversion of plastic waste into liquid fuel is one of the solutions that are quite interesting to researchers. The purpose of this research was to convert polypropylene (PP) plastic waste into liquid fuel, premium-like, through the pyrolysis process. PP type plastic waste was pyrolyzed using a batch reactor equipped with a condenser. The liquid fuel yield obtained from 8 Kg of plastic is 63.375 % with a pyrolysis maximum temperature of 330 °C. The GC-MS analysis results show that the liquid fuel obtained still has a long carbon chain, namely C7-C54 with the main fraction is hydrocarbons with C11-C20. The calorific value of liquid fuel is 46,199 MJ / kg and the density value of 0.726 g/mL.*

### PENDAHULUAN

Sampah plastik sering digolongkan dalam sampah yang sulit didegradasi, karena sampah jenis ini membutuhkan waktu yang lama untuk dapat didegradasi oleh alam. Pemanfaatan sampah plastik sebagai sumber bahan bakar cair, merupakan salah satu metode yang dapat dilakukan untuk mengurangi masalah yang ditimbulkan oleh sampah plastik (Velma, 2015). Metode pengolahan sampah plastik yang dilakukan saat ini adalah dengan mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar hidrokarbon. Hal ini mengingat bahan baku plastik berasal dari turunan minyak bumi

sehingga dapat dikembalikan menjadi hidrokarbon sebagai bahan dasar energi. Konversi sampah plastik dapat dilakukan dengan proses perengkahan (*cracking*), yaitu reaksi pemutusan ikatan C – C dari rantai karbon panjang dan berat molekul besar menjadi rantai karbon pendek dengan berat molekul yang kecil (Wahyudi et al, 2015).

Penelitian mengenai penggunaan berbagai sampah plastik menjadi bahan bakar cair dengan cara pirolisis masih terus dikembangkan (Sarker, M. & Rashid 2013). Pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Pirolisis dimulai pada suhu sekitar 230°C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal dan senyawa volatile

pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya (Aprian et al, 2009). Penggunaan metode pirolisis memiliki keuntungan diantaranya yaitu konsumsi energi yang rendah, proses berlangsung tanpa membutuhkan udara atau campuran hidrogen dan tidak melibatkan tekanan, polutan dan kontaminan dari proses pirolisis terkonsentrasi di dalam sebuah *coke-like* matriks yaitu sebuah residu padat dari proses dan pirolisis dilakukan dalam sebuah sistem tertutup sehingga tidak ada polutan yang dapat keluar (Irvantino, 2013). Zainuri dan Mustofa (2014) berhasil mengkonversi sampah plastik dengan metode pirolisis pada suhu 900 °C menghasilkan bahan bakar cair dengan nilai kalor sebesar 46,848 J/g. Penelitian yang dilakukan Endang et al (2016) menggunakan plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan polipropilena (PP) dengan metode pirolisis berhasil memperoleh minyak sebanyak 50,08 % pada suhu 400 °C untuk plastik PP, dan 46,02 % pada suhu 300 °C untuk plastik LDPE.

Berdasarkan nilai kalor yang dimiliki bahan plastik, jenis plastik PP memiliki nilai kalor yang besar yaitu 46,4 MJ/kg dibandingkan jenis bahan plastik lainnya (Das dan Pande, 2007). Sutrisno et al (2016) melakukan konversi plastik jenis PP berupa wadah kemasan air mineral bening dan berwarna dengan metode pirolisis pada suhu 160-180 °C, hasil analisa GC menunjukkan bahwa minyak plastik PP bening memiliki 120 puncak (senyawa) dengan rentang C4-C50 dengan nilai kalor sebesar 45,032 MJ/kg sedangkan minyak plastik jenis PP warna memiliki 100 puncak (senyawa) dengan rentang C5-C54. Mengacu pada penelitian tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan rendemen minyak hasil pirolisis pada proses pirolisis dengan suhu yang relatif rendah yaitu 330 °C.

## METODE

Bahan-bahan yang digunakan yaitu sampah plastik jenis PP bening berbentuk *cup*, premium, dan aquades. Reaktor yang digunakan adalah reaktor *batch* dengan sumber panas menggunakan LPG 12 Kg yang dilengkapi dengan kondenser, dan dengan suhu operasi sampai 330 °C.

Proses pirolisis sampah plastik PP dilakukan menurut prosedur Zainuri dan Mustofa (2014), sebanyak 8 Kg sampah plastik jenis PP dipotong

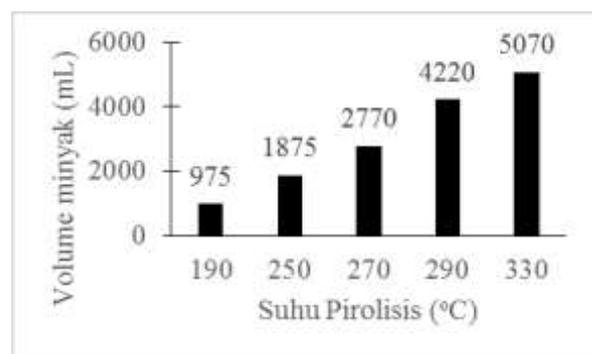
kecil-kecil, lalu dimasukkan ke dalam reaktor. Proses pirolisis berlangsung sampai suhu 330 °C, produknya kemudian dikondensasikan sehingga dihasilkan bahan bakar cair. Komposisi bahan bakar cair yang dihasilkan dianalisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) merek Shimadzu QP 2010 SE dengan menggunakan detektor FID dan MS. Sementara kolom yang digunakan adalah Rtx-5MS (5 % diphenyl/95 % dimethyl polysiloxane) dan Carbowax (Polyethylene glycol) dengan fase gerak Helium.

Nilai kalor bahan bakar cair dianalisis menggunakan kalorimeter bom type 5E-C5500 *Automatic Calorimeter* AXT). Densitas dianalisis menggunakan piknometer.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pirolisis plastik PP

Suhu awal reaktor pirolisis yaitu 35°C, pada rentang waktu 30 menit suhu pirolisis meningkat menjadi 50°C. Pada suhu 75 °C mulai menghasilkan minyak hasil pirolisis sampah plastik yang ditandai dengan adanya tetesan-tetesan minyak pada tempat penampungan minyak. Pada penelitian ini pada suhu 75 °C telah dihasilkan minyak plastik dikarenakan ukuran cacahan plastik yang halus dan tipis mengakibatkan proses pirolisis plastik menjadi minyak lebih cepat, yang sesuai dengan pernyataan Chaurasia dan Babu (2005) yang menyatakan bahwa seiring dengan semakin kecilnya ukuran partikel maka waktu yg dibutuhkan semakin cepat. Pengaruh suhu pirolisis terhadap volume minyak yang dihasilkan disajikan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Hubungan suhu pirolisis terhadap volume bahan bakar cair hasil pirolisis plastik PP

Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, hasil kumulatif minyak yang dihasilkan akan semakin banyak. Sebanyak 8 Kg sampel menghasilkan volume maksimum minyak 5070 ml dengan suhu pirolisis maksimum 330 °C. Pada rentang suhu 100-190 °C minyak yang dihasilkan sebanyak 975 mL. Suhu memiliki efek penting

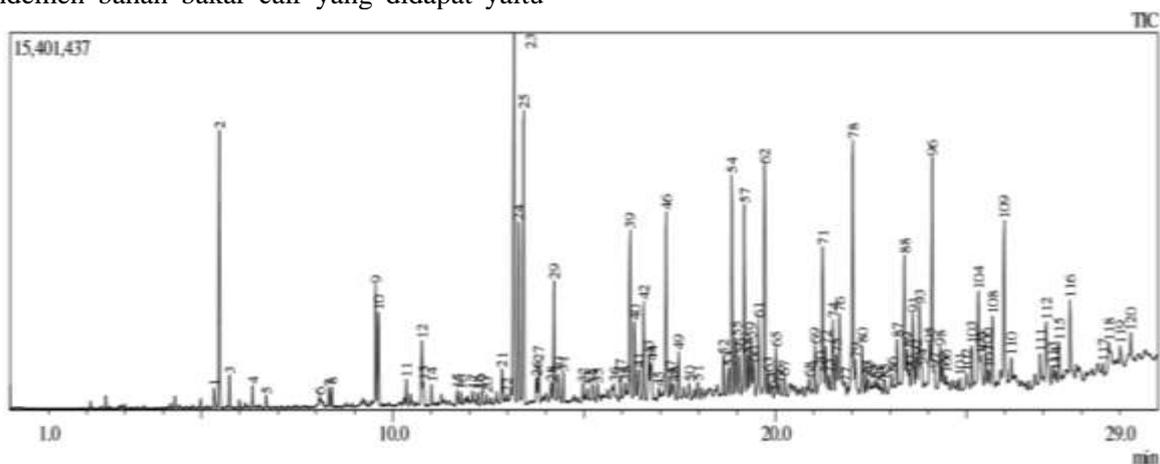
terhadap hasil produk. Semakin tinggi suhu dinding tabung reaktor maka minyak yang dihasilkan semakin meningkat, sedangkan jumlah padatan yang tersisa dari hasil pirolisis semakin menurun dengan meningkatnya suhu dinding tabung reaktor (Santoso, 2010).

Produk minyak meningkat seiring dengan kenaikan laju pemanasan. Pada rentang suhu 190-250 °C minyak yang dihasilkan sebanyak 975 mL. Selanjutnya 10 menit kemudian suhu meningkat dari 250°C mencapai 270 °C yang menghasilkan minyak sebanyak 895 mL. Kemudian pada rentang waktu 2 jam 25 menit suhu reaktor mencapai 300-330 °C pada suhu pirolisis tersebut suhu tidak dapat naik lagi dan uap yang dihasilkan menjadi berkurang dan tidak adanya minyak yang dihasilkan lagi yang menandakan bahwa keseluruhan padatan plastik di dalam reaktor telah habis meleleh dan menghasilkan volume minyak plastik sebanyak 5070 mL dengan rentang waktu pirolisis sampai dihasilkan minyak adalah sekitar 2 jam 30 menit. Rendemen bahan bakar cair yang didapat yaitu

sebesar 63,375 % dengan suhu maksimum pirolisis yaitu 330 °C. Hasil penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan Endang et al (2016) yang berhasil memperoleh 39,92 % minyak plastik PP pada suhu 300 °C.

### Analisis Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Gambar 2 merupakan hasil analisis GC-MS bahan bakar cair hasil pirolisis. Kromatogram bahan bakar cair memperlihatkan 120 puncak (senyawa) dalam keseluruhan waktu retensi selama 29 menit. Menurut Andarini dan Purwo (2009) analisis menggunakan gas kromatografi minyak plastik PP menghasilkan 165 puncak dengan 89,16 % terdapat pada waktu retensi dibawah 20 menit. Menurut Norsujianto (2014) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa sampel minyak pirolisis plastik akan menghasilkan kecenderungan pembentukan unsur hidrokarbon yang bervariasi.



**Gambar 2.** Kromatogram bahan bakar cair hasil pirolisis plastik PP

Gambar 2 menunjukkan bahwa bahan bakar cair mengandung senyawa hidrokarbon rantai panjang dengan jumlah atom yang beragam. Hasil GC-MS mengidentifikasi minyak hasil pirolisis memiliki 120 puncak dengan keseluruhan waktu retensi selama 30 menit. Puncak-puncak yang muncul menunjukkan senyawa hidrokarbon yang terdapat dalam minyak plastik PP. Penelitian yang dilakukan Wahyudi et al (2015) mendapatkan hasil perengkahan termal menghasilkan hidrokarbon dengan distribusi rantai C4-C43. Hasil perengkahan pada fraksi C12 mencapai sekitar

48,51 %, Sedangkan fraksi C>12 mencapai 51,49 %. Hal ini disebabkan karena pada perengkahan termal radikal bebas yang terbentuk sangat reaktif dan cenderung mengalami proses polimerisasi kembali, sehingga jumlah fraksi yang lebih kecil cenderung sedikit (Sibarani, 2012). Fraksi penting hasil GC-MS bahan bakar cair berdasarkan %area dengan rentang C5-C9 (51,58 %), C10-C12 (39,21 %) dan >C13 (9,21 %) (Nugraha et al). Puncak-puncak utama dari kromatogram bahan bakar cair disajikan pada Tabel 1 yaitu puncak ke-23, 25 dan 78 yang memiliki luas area puncak diatas 4 %.

**Tabel 1.** Data waktu retensi dan luas area puncak berdasarkan hasil GC-MS

| Peak | R. Time (min) | % Area | Rumus Molekul                     | Senyawa                                      | m/z |
|------|---------------|--------|-----------------------------------|--|-----|
| 23   | 13,167        | 5,25   | C <sub>11</sub> H <sub>24</sub> O | 1-Decanol,2-Methyl-                          | 172 |
|      |               |        | C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>   | 1-Undecene,7-methyl-                         | 168 |
|      |               |        | C <sub>13</sub> H <sub>28</sub> O | 1-Tridecanol                                 | 200 |
|      |               |        | C <sub>20</sub> H <sub>42</sub> O | Diisodecyl ether                             | 298 |
| 25   | 13,425        | 4.11   | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> O | 1-Heptanol,2-propyl-                         | 158 |
|      |               |        | C <sub>11</sub> H <sub>24</sub> O | 1-Decanol,2-Methyl-                          | 172 |
|      |               |        | C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>   | 1-Undecene,7-methyl-                         | 168 |
|      |               |        | C <sub>13</sub> H <sub>28</sub> O | 1-Tridecanol                                 | 200 |
|      |               |        | C <sub>20</sub> H <sub>42</sub> O | Diisodecyl ether                             | 298 |
| 78   | 22,025        | 4.14   | C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>   | Cyclohexane,1,2-diethyl-3-methyl-            | 154 |
|      |               |        | C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>   | 1-Methyl-3-Propyl-Cyclooctane                | 168 |
|      |               |        | C <sub>17</sub> H <sub>34</sub>   | 4-Tetradecene,<br>2,3,4-trimethyl-           | 238 |
|      |               |        | C <sub>27</sub> H <sub>54</sub>   | Cyclohexane,<br>1,3,5-trimethyl-2-octadecyl- | 378 |

Berdasarkan Tabel 1, menunjukkan bahwa bahan bakar cair yang diperoleh memiliki 3 puncak tertinggi yaitu puncak ke-23 (5,25 %) terdapat rentang C11-C20, puncak ke-25 (4,11 %) dengan rentang C10-C20 dan puncak ke-78 (4,14 %) dengan rentang C11-C27. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan bakar cair memiliki rentang C10-C27. Sedangkan rantai >C12 (C13-C27) merupakan senyawa dari pemutusan ikatan makromolekul yang terkandung dalam bahan bakar cair. Senyawa rentang C9-C12 merupakan rantai karbon paling sering muncul selama analisis GC-MS pada rentang waktu retensi 0-29,294 menit. Sehingga kontrol uji yang digunakan pada penelitian ini yaitu premium sesuai dengan pernyataan Rodiansono et al, (2007) komponen utama di dalam fraksi premium yaitu C5-C12.

Berdasarkan Tabel 1, bahan bakar cair mengandung senyawa hidrokarbon seperti alkana, sikloalkana serta aromatik. Senyawa-senyawa tersebut merupakan komponen minyak bumi. Pada minyak plastik PP golongan alkana yang terbanyak adalah n-oktan, sedangkan golongan sikloalkana yang terbanyak adalah sikloheksana dan golongan senyawa aromatik terbanyak adalah benzene. Menurut Edirisooriya et al (2015) hasil analisis GC-MS menunjukkan bahwa konversi sampah plastik PP menjadi bahan bakar diperoleh cairan yang terdiri dari senyawa hidrokarbon yang memiliki beberapa rantai lurus, bercabang dan aromatis dari rentang C5-C10 dengan konsentrasi terbanyak C7 dan C8. Senyawa hidrokarbon

yang ditemukan pada cairan mengindikasikan struktur premium dengan rentang C5-C12.

Senyawa-senyawa yang terdeteksi oleh GC-MS (Tabel 1) juga dilaporkan Panda (2011) sebagai hasil pirolisis plastik PP yang memiliki luas area puncak lebih dari 5 % yaitu TR 5,577 (6,07 %) dengan senyawa 2,4-Dimetil-1-Dekana (C<sub>12</sub>H<sub>24</sub>), TR 9,156 (10,14 %) dengan senyawa tridekanol (C<sub>13</sub>H<sub>28</sub>O), TR 9,271 (5,17 %) dengan senyawa 1-Tridekanol (C<sub>13</sub>H<sub>28</sub>O), TR 9,391 (8,44) dengan senyawa 2-Isopropil-5-Metil-1-Heptanol (C<sub>11</sub>H<sub>24</sub>O), konsentrasi rentang C9-C12 sebesar 24,8 % sedangkan luas area puncak rantai >C12 sebesar 75,2 %. Berdasarkan penelitian Wahyudi et al (2015) menunjukkan bahwa sampel premium SPBU (komersial), dimana kandungan hasil GC memiliki jumlah rantai karbon berkisar dari C3 hingga C14 dengan jumlah C5-C9 yang cukup tinggi. Rashid dan Sarker (2014) melakukan analisis GC-MS pada sampel plastik PP mendapatkan rantai karbon C4-C54.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan Sutrisno et al (2016), hasil GC-MS yang diperoleh pada penelitian ini memiliki rentang rantai C7-C50 yang lebih panjang yaitu C7-C54. Hal ini kemungkinan disebabkan karena pada saat pirolisis plastik PP proses cracking yang terjadi belum maksimal sehingga menyebabkan pemutusan rantai C pada plastik masih panjang dan juga karena sumber panas yang digunakan kurang bagus, berwarna merah dan kondisi api yang tidak stabil karena pengaruh angin.

### Analisis Nilai Kalor dan Densitas

Hasil analisis nilai kalor dan densitas disajikan pada Tabel 2. Tabel 2 memperlihatkan bahwa bahan bakar cair hasil pirolisis plastik PP memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan premium yaitu 46,199 MJ/Kg.

**Tabel 2.** Hasil analisa nilai kalor

| Sampel                                      | Nilai Kalor (MJ/Kg) | Densitas (g/mL) |
|---|---------------------|-----------------|
| Bahan bakar cair hasil pirolisis plastik PP | 46,199              | 0,726           |
| Premium                                     | 44,516              | 0,652           |

Nilai kalor yang diperoleh dibandingkan dengan nilai standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis minyak bakar yang dipasarkan di dalam negeri (Dirjen Migas, 2008), untuk memenuhi standar nilai kalor bahan bakar harus di atas 41,870 MJ/Kg. Hasil analisis menggunakan kalorimeter bomb, premium dengan angka oktan 8 memiliki nilai kalor sebesar 43,999 MJ/Kg.

Berdasarkan hasil penelitian Endang et al (2016) mengenai pengaruh suhu terhadap nilai kalor minyak pirolisis mendapatkan hasil yaitu pada suhu 250 °C memperoleh nilai kalor sebesar 42,193 MJ/Kg, pada suhu 300 °C memperoleh nilai kalor sebesar 42,871 MJ/Kg, pada suhu 350 °C memperoleh nilai kalor sebesar 43,089 MJ/Kg. Hasil yang diperoleh mendekati nilai kalor solar yaitu sebesar 43,271 MJ/Kg. Jika dibandingkan dengan nilai kalor yang didapatkan peneliti pada pirolisis suhu 330 °C mendapatkan nilai kalor sebesar 46,199 MJ/Kg yang lebih tinggi dibanding nilai kalor premium yang memiliki nilai kalor sebesar 44,516 MJ/Kg.

Sejalan dengan nilai kalor, nilai densitas bahan bakar cair yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan Premium yaitu 0,7260 g/mL. Nilai ini mirip dengan yang diperoleh Santoso (2010) dan Sutrisno et al (2016) menghasilkan massa jenis bahan bakar cair hasil pirolisis plastik PP sebesar 0,71-0,74 g/mL dan 0,7579 g/mL.

### KESIMPULAN

Proses konversi 8 Kg sampah plastik jenis PP menjadi bahan bakar cair dilakukan dengan metode perengkahan termal pada suhu 330 °C mampu menghasilkan bahan bakar cair sebanyak 5070 mL. Hasil analisis GC-MS menunjukkan minyak plastik polipropilena memiliki rentang C7-C54 dengan luas area puncak tertinggi menunjukkan rentang C11-C20. Hasil analisis nilai kalor menunjukkan bahan bakar cair hasil pirolisis memiliki nilai kalor lebih tinggi

dibandingkan Premium yaitu 46,199 MJ/kg dan memiliki densitas 0,726 g/mL. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menghasikan produk pirolisis dengan rantai karbon yang lebih pendek agar diperoleh bahan bakar cair yang memiliki spesifikasi seperti Premium.

### DAFTAR RUJUKAN

- Andarini, N. & Purwo, S. H. D. 2009. Konversi Plastik Menjadi Senyawa Fraksi Bahan Bakar Cair Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik Dengan Katalis Ni(II)/H<sub>5</sub>NZA. *Saintifika*, 11(2), 171-180.
- Aprian, R., Munawar, A., 2011. *Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis*. Jawa Timur: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".
- Catalyts, N. S., 2006. *Pyrolysis of polypropylene*. Hamburg, Germany: Hamburg University
- Chaurasia, A. S., & Babu, B. V., 2005. *Modelling & Simulation of Pyrolysis of Biomass: Effect of Thermal Conductivity, Reactor Temperature and Particle Size on Product Concentration*. Pilani. India.
- Das, S. & Pande, S. 2007. *Pyrolysis and Catalytic Cracking of Municipal Plastic Waste for Recovery of Gasoline Range Hydrocarbons*. Tesis tidak diterbitkan. India: National Institute of Technology Rourkela.
- Dirjen Migas. 2008. *Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Bakar yang Dipasarkan di dalam Negeri Nomor 14496 K/14/DJM/2008*.
- Edirisooriya, R., Hettiarachchi, N. & Baduge, S. 2015. Conversion of waste polypropylene into hydrocarbon fuel – analysis of the effect of batch size on reaction time and liquid yield. *Engineer*, 48(3), 45-56.
- Endang, K., Mukhta, G., Abed Nego, F. X., & Angga S. 2016. *Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak*. Skripsi tidak diterbitkan. Bandung: Polieknik Negeri Bandung.

- Irvantino, B. 2013. *Preparasi Katalis Ni/Zeolit Alam Dengan Metode Sonokimia Untuk perengkahan Katalitik Polipropilena dan Polietilen*. Skripsi tidak diterbitkan. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- Norsujianto, T. 2014. Konversi limbah plastik Menjadi Minyak sebagai Bahan Bakar Energi Baru terbarukan. *Jurnal Element*, 1(1), 5-9.
- Panda, A.K., 2011, *Studies on Process Optimization for Production of Liquid Fuels from Waste Plastics*, Tesis tidak diterbitkan. India: National Institute of Technology Rourkela.
- Rodiansono, W., & Trisunaryanti, T. 2007. Pembuatan, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis NiMo/Z dan NiMo/Z-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Pada Reaksi Hidrorengkah Fraksi Sampah Plastik Menjadi Fraksi Bensin. Yogyakarta: UGM.
- Santoso, J. 2010. *Uji Sifat Minyak Pirolisis Dan Uji Performasi Kompor Berbahan Bakar Minyak Pirolisis Dari Sampah Plastik*. Skripsi tidak diterbitkan. Surakarta: Universitas Sebelas Maret
- Sarker, M., Rashid, M.M., Molla, M. 2014. Waste Polypropylene Plastic Conversion into Liquid Hydrocarbon Fuel for Producing Electricity and Energies. *Environ. Technol.*, 33, 2709–2721
- Sarker, M. & Rashid, M. M. 2013. Mixture of LDPE, PP and PS Waste Plastics into Fuel by Thermolysis Process. *International journal of engineering and technology research*, 1(1)1-16.
- Sibarani, K. L. 2012. *Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Aktifitas Katalis Ni-Cr/Zeolit Alam pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin*. Skripsi tidak diterbitkan. Depok: Universitas Indonesia.
- Sutrisno. Heriyanti. & Bemis, R. 2016. Karakteristik Minyak dari Sampah Plastik Polipropilen dan Pemanfaatannya sebagai Bahan Bakar Alternatif, Prosiding SEMIRATA Bidang MIPA 2016; BKS-PTN Barat, Palembang 22-24 Mei 2016. ISBN: 978-602-71798-1-3.
- Velma, N. 2015. Studi Berbagai Metode Pembuatan BBM dari Sampah Plastik jenis LDPE dan PVC Dengan Metode Thermal dan Catalytic Cracking (Ni-Cr/Zeolit). *Jurnal Teknis*, 10(3), 137–144.
- Zainuri, F. & Mustofa, K. D. 2014. *Pirolisis Sampah Plastik Hingga Suhu 900°C Sebagai Upaya Menghasilkan Bahan Bakar Ramah Lingkungan*. Simposium Nasional RAPI XIII. ISSN 1412-9612: 98-102.