

# Rancang Bangun Alat Pirolisis Sederhana untuk Mengolah Limbah Plastik Polipropilena (PP) menjadi Bahan Bakar Cair (BBC)

Nurhayati<sup>1,a)</sup>, Sparisoma Viridi<sup>2,b)</sup>, Anjar Purba Asmara<sup>3,c)</sup> dan Zuhra Aina<sup>4,d)</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Teknik Fisika,  
Program Studi Teknik Fisika,  
Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry,  
Jl. Syeikh Abdur Rauf, Kopelma Darussalam, Banda Aceh, Indonesia, 23111

<sup>2</sup>Laboratorium Fisika Granular dan Fluida,  
Kelompok Keilmuan Fisika Nuklir dan Biofisika,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha No. 10 Bandung, Indonesia, 40132

<sup>3</sup>Laboratorium Kimia,  
Program Studi Kimia,  
Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry,  
Jl. Syeikh Abdur Rauf, Kopelma Darussalam, Banda Aceh, Indonesia, 23111

<sup>4</sup>Laboratorium Fisika,  
Program Studi Pendidikan Fisika,  
Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry,  
Jl. Syeikh Abdur Rauf, Kopelma Darussalam, Banda Aceh, Indonesia, 23111

<sup>a)</sup>firstnur1708@gmail.com (*corresponding author*)

<sup>b)</sup>dudung@fi.itb.ac.id

<sup>c)</sup>anjarpa@ar-raniry.ac.id

<sup>d)</sup>zuhraaina48@yahoo.co.id

## Abstrak

Telah dilakukan rancang bangun alat pirolisis sederhana tipe manual. Alat tersebut dibuat dari bahan kaleng bekas kapasitas 900 g sebagai tabung reaktor yang disambungkan dengan pipa besi bekas sepanjang 1 m yang dibuat menyerupai huruf L untuk mengalirkan cairan hasil pirolisis. Sampah plastik polipropilena (PP) sebanyak 250 g yang dimasukkan dalam reaktor dan dipanaskan selama 90 menit dengan menggunakan kompor minyak tanah telah menghasilkan bahan bakar cair (BBC) sebesar 100 mL. Alat pirolisis sederhana tersebut mempunyai keuntungan tidak menggunakan daya listrik dan sangat mudah mengoperasikannya. BBC memiliki densitas sebesar 0,734 g/mL, efektif dan efisiensi parsial waktu dalam pendidihan aquades.

*Kata-kata kunci: Pirolisis, reaktor, bahan bakar cair, polipropilena.*

## PENDAHULUAN

Kehidupan manusia modern tergantung dengan energi yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan dan keinginan mereka. Mayoritas energi tersebut dipenuhi dari sumber daya berbasis fosil. Minyak bumi sebagai sumber tersebut selama ini diolah untuk energi (42%), bahan bakar transportasi (45%), produksi plastik

(4%), bahan baku industri petrokimia (4%), dan lain-lain (5%) [1]. Di sisi lain, sumber daya ini termasuk sumber daya tak terbarukan yang cadangannya saat ini makin menipis sedangkan kebutuhannya makin meningkat. Hal ini mendorong para ilmuwan untuk mencari sumber alternatif lain agar tidak terjadi kekacauan dalam kehidupan manusia karena alasan energi ini.

Ciri lain dari kehidupan manusia modern adalah pemakaian plastik untuk bungkus makanan dan minuman mereka. Pemakaian plastik seperti polipropilena (PP) untuk wadah minuman saat ini sangat dominan karena ringan, murah, kuat, antikorosi, tahan terhadap asam dan basa, awet, isolator yang baik, dan efisiensi yang sesuai dengan kehidupan modern yang dinamis [2]. PP merupakan komoditas industri termoplastik kedua terbesar di dunia setelah polivinil klorida (PVC). PP lebih tahan panas, lebih kuat dan kokoh, dan lebih bening dari polietilena (PE) [3,4]. Dibalik kelebihan-kelebihan tersebut, plastik yang sukar terurai oleh mikroorganisme menjadi tumpukan sampah yang mencemari lingkungan. Kementerian Lingkungan Hidup memperkirakan bahwa penduduk Indonesia menghasilkan sampah plastik sejumlah 28,4 ribu ton/hari sehingga metode pengolahan yang tepat dibutuhkan untuk mencegah permasalahan lingkungan yang bisa terjadi [5].

Berdasarkan karakteristiknya, penanganan sampah plastik tidak efektif hanya dengan menggunakan metode *landfill* (sebanyak 65–70% dari total metode penanganan limbah plastik) dan justru akan menimbulkan masalah baru. Penanganan dengan cara insinerasi (dilakukan sebanyak 20–25%) berisiko mencemari udara dengan adanya emisi gas buang ( $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{NO}_x$ , dan  $\text{SO}_x$ ) dan beberapa partikulat pencemar lainnya. Cara lain adalah dengan 3R (*recycling, reduce, reuse*; dilakukan sebanyak 10%) yang lebih besar kapasitasnya untuk mencapai *zero waste* namun kualitas produk hasil pengolahan ini menurun sehingga masyarakat kurang tertarik untuk membelinya [5–7].

Salah satu metode lain yang dapat mengubah sampah plastik PP menjadi produk bernilai jual lebih tinggi dan juga menawarkan solusi permasalahan bahan bakar masa depan adalah pirolisis. Pirolisis berasal dari kata *pyro* (*fire/api*) dan *lyo* (*loosening/pelepasan*) untuk dekomposisi termal dari suatu bahan organik. Pirolisis merupakan suatu bentuk penguraian/perengkahan (*cracking*) bahan organik secara kimia melalui pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen. Proses pirolisis merupakan proses perengkahan plastik pada suhu tinggi dimulai pada temperatur sekitar 230 °C. Perengkahan plastik pada suhu tinggi adalah proses paling sederhana untuk daur ulang plastik.

Beberapa penelitian pirolisis PP dilakukan pada suhu 250–400°C. Produk hasil pemanasan plastik PP pada suhu 300 °C berupa cairan (tar) sebanyak 69,82%, gas 28,84% dan sisa 1,34%. Minyak hasil pirolisis tersebut termasuk ke dalam kelas bahan bakar [2]. Selain itu, pirolisis PP/PE/polistirena, PS/PVC juga dilakukan dengan menggunakan absorben  $\text{CaCO}_3$  untuk menghilangkan kandungan klorin selama proses pirolisis [8]. Proses pirolisis juga dapat dilakukan dengan menggunakan katalis Ziegler-Natta [9].

Ballice dan Reimert (2002) menyatakan bahwa PP lebih mudah mengalami *cracking* daripada PE karena secara komputasi energi disosiasinya lebih rendah [10]. Hal ini menyebabkan hasil pirolisis PP lebih besar jumlahnya daripada pirolisis PE. Sørum *et al.* (2001) melaporkan bahwa perengkahan maksimal PP terjadi pada rentang suhu 413–479 °C melalui reaksi berorde satu dan energi aktivasi sebesar 337  $\text{kJ mol}^{-1}$  [11].

Berdasarkan fakta-fakta tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang pirolisis sampah PP dan menguji daya pembakaran produknya. Proses pirolisis sampah PP dilakukan secara sederhana dengan menggunakan kaleng bekas sebagai reaktor dan kompor berbahan bakar minyak tanah untuk proses pembakaran.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan bahan

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan berupa sampah plastik jenis PP (kode 5 yang tertulis di bawah botol bekas minuman) sebanyak 250 g, minyak tanah 1 L sebagai bahan bakar pada kompor minyak, minyak tanah juga sebagai kontrol positif pada uji pembakaran, dan aquades sebagai bahan yang dipanaskan pada uji pembakaran. Alat-alat yang digunakan sebagai berikut: kaleng bekas sebagai tabung reaktor, pipa besi sebagai tempat aliran cairan gas hasil pirolisis menuju gelas ukur, lem pipa besi, gelas beaker (Pyrex), gelas ukur (Pyrex), termometer, kaki tiga dan kasa, labu pembakar, neraca analitik, dan *stopwatch*.

### Persiapan limbah plastik

Preparasi sampel, reaktor, dan proses pirolisis dilakukan di Laboratorium Pendidikan Fisika FTK UIN Ar-Raniry. Sampah plastik PP dari botol-botol bekas dikumpulkan, dibersihkan, dikeringkan dan dipotong-potong kecil lalu ditimbang massanya.

### Pembuatan reaktor

Kaleng bekas dibersihkan dan dilubangi bagian tutup atasnya selebar pipa besi yang akan digunakan. Selanjutnya, pipa besi dilem pada lubang tersebut hingga rapat. Potongan-potongan sampah plastik PP dimasukkan ke dalam kaleng, dan tutup kaleng tersebut di lem hingga rapat.

### Proses pirolisis

Tabung reaktor diletakkan di atas kompor dan dibakar selama kurang lebih 90 menit. Pembakaran dari sampah plastik menguap dan masuk ke dalam pipa besi. Minyak hasil penguapan tersebut keluar melalui pipa besi, mengembun dan kemudian ditampung menggunakan gelas ukur.

### Perhitungan massa jenis BBC produk pirolisis PP (BBC-PP)

Pengujian massa jenis BBC-PP ditentukan dengan *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D70 menggunakan prosedur dari Adeleke *et al.* (2007) [12]. Pengujian dilakukan di Laboratorium Pendidikan Fisika FTK UIN Ar-Raniry. Botol ukur densitas dengan kapasitas 24 mL dicuci dengan air lalu dengan etanol. Botol tersebut kemudian dikeringkan di oven lalu didinginkan dan ditimbang. Sampel BBC-PP dimasukkan ke dalam botol hingga tanda batas lalu ditutup rapat dan ditimbang. Pengukuran dilakukan pada suhu 25 °C dan perhitungannya menggunakan rumus berikut:

$$\rho = \frac{w_2 - w_1}{V} \quad (1)$$

dengan

$\rho$  = densitas (g/mL)

$w_2$  = massa botol berisi BBC-PP (g)

$w_1$  = massa botol kosong (g)

$V$  = volume BBC-PP dalam botol (mL)

### Pengujian temperatur pembakaran BBC-PP

Pengujian pembakaran BBC-PP (temperatur dan efisiensi pembakaran) ini bersifat deskriptif kualitatif yang dilakukan di Laboratorium Kimia FST UIN Ar-Raniry sebanyak 2 kali ulangan. Pengujian temperatur pembakaran menggunakan prosedur dari Bahri (2016) [13]. Sebanyak 50 mL BBC-PP digunakan untuk memanaskan aquades 10 mL pada suhu ruangan (31 °C) dan tekanan  $\pm 1$  atm. Setiap 2 menit, suhu aquades dicatat dan pengamatan ini dilakukan hingga aquades mendidih. Langkah serupa dikerjakan pada bahan bakar pembanding yaitu minyak tanah, untuk mengetahui tingkat kenaikan suhu terhadap waktu. Data yang dihasilkan kemudian dialurkan dalam grafik hubungan antara waktu pemanasan dengan suhu aquades yang dipanaskan.

### Pengujian efisiensi pembakaran BBC-PP

Pengujian efisiensi pembakaran BBC-PP ini menggunakan prosedur dari Agustina *et al.* (2015) [14]. Sebanyak 50 mL BBC-PP digunakan untuk memanaskan aquades 10 mL pada suhu 31 °C dan tekanan  $\pm 1$  atm hingga mendidih. Pengamatan dilakukan pada waktu dan massa produk yang dibutuhkan hingga aquades mencapai titik didihnya. Hasil pengujian ini dibandingkan dengan minyak tanah sebagai kontrolnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan alat pirolisis sederhana yang dibuat dalam penelitian ini seperti terlihat pada Gambar 1 di bawah ini



Gambar 1. Percobaan Rangkaian Alat Pirolisis Sederhana.

Dalam regulasi bahan bakar cair komersil, massa jenis merupakan salah satu parameter primer untuk menentukan parameter-parameter sekunder seperti *indeks cetane*, *flash point*, dan lain-lain [15]. Hal ini mendasari dilakukannya penentuan massa jenis BBC-PP untuk menentukan tipenya. Pirolisis 250 g sampah PP selama 90 menit diperoleh volume BBC-PP dalam botol sebanyak 100 mL. Massa botol kosong ( $w_1$ ) ialah 62,2 g dan massa botol berisi BBC ( $w_2$ ) ialah 135,6 g sehingga massanyasebesar 73,4 g. Perhitungan massa jenis BBC-PP dengan menggunakan persamaan (1) diberikan pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil perhitungan massa jenis BBC-PP dengan metode ASTM D70.

Jenis Plastik	V (mL)	Massa bahan bakar cair (g)	Densitas (g/mL)
PP	100	73,4	0,734

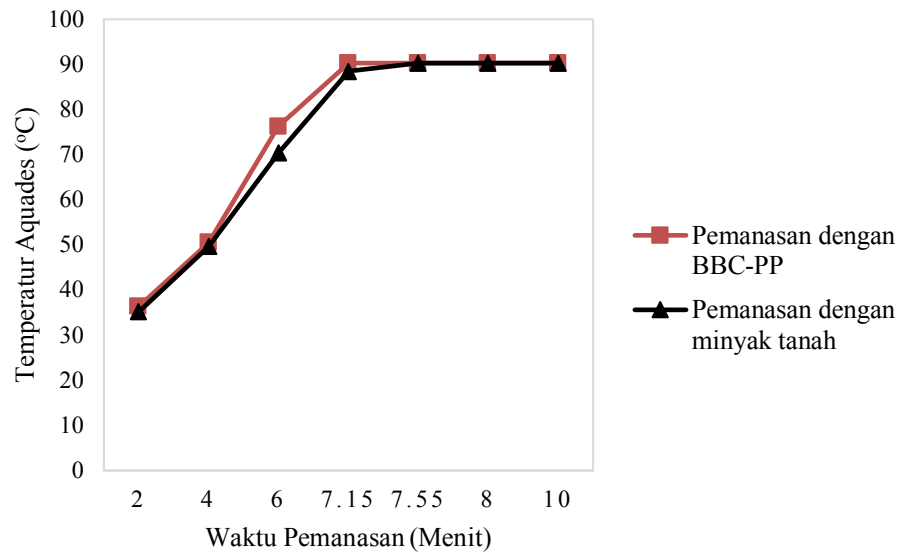
Berdasarkan perhitungan, densitas BBC-PP dalam penelitian ini berada di antara densitasbensin (0,7 g/mL) dan minyak tanah (0,8 g/mL) pada suhu 20 °C [16]. Hal ini sesuai dengan temuan dalam penelitian-penelitian sebelumnya yang membuktikan bahwa BBC hasil pirolisis PE, PP, maupun PS sebagian besar merupakan senyawa hidrokarbon yang massa molekulnya berada dalam rentang senyawa dalam bensin dan minyak tanah atau solar [15]. Untuk keperluan pengujian pembakaran, kontrol positif yang digunakan adalah minyak tanah karena bensin tergolong bahan bakar tipe A yang menghasilkan letupan api yang besar yang disebabkan oleh *flash point*-nya sekitar 21 °C sedangkan minyak tanah tergolong tipe C yang lebih moderat [17]. Hasil perhitungan dalam penelitian ini mendekatihasil penelitian dari Purevsuren *et al.* (2009) (0,77 g/mL) dalam pirolisis limbah PP menggunakan reaktor tabung *stainless steel* dalam tungku listrik yang karakteristiknya mendekati bensin dengan *Research Octane Number* (RON) 93 [6].

Uji temperatur pembakaran dilakukan untuk menjelaskan efektivitaspembakaran BBC-PP yang dinyatakan dalam hubungan waktu pemanasan dengan suhu pemanasan yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur pemanasan dalam waktu yang relatif kecil maka makin efektifpemanasan tersebut.Hasil pengujian ini dinyatakan dalam Tabel 2. Untuk mengetahui visualisasi perbandingan BBC-PP dengan minyak tanah, data pengujian dinyatakan dalam Gambar 2.

Tabel 2. Hasil pengujian temperatur pembakaran BBC-PP dan minyak tanah.

No	Menit ke-	Temperatur aquades <sup>a</sup> (°C)		Temperatur rerata <sup>a</sup> (°C)	Temperatur aquades <sup>b</sup> (°C)		Temperatur rerata <sup>b</sup> (°C)
		I	II		I	II	
1	2	36,2	36,6	36,4	35,1	35,3	35,2
2	4	50,2	50,9	50,55	49,9	49,5	49,7
3	6	75,9	76,7	76,3	70,7	70,1	70,4
4	8	90,3	90,3	90,3	90,3	90,3	90,3
5	10	90,3	90,3	90,3	90,3	90,3	90,3

Catatan: *a* = pemanasan dengan BBC-PP; *b* = pemanasan dengan minyak tanah



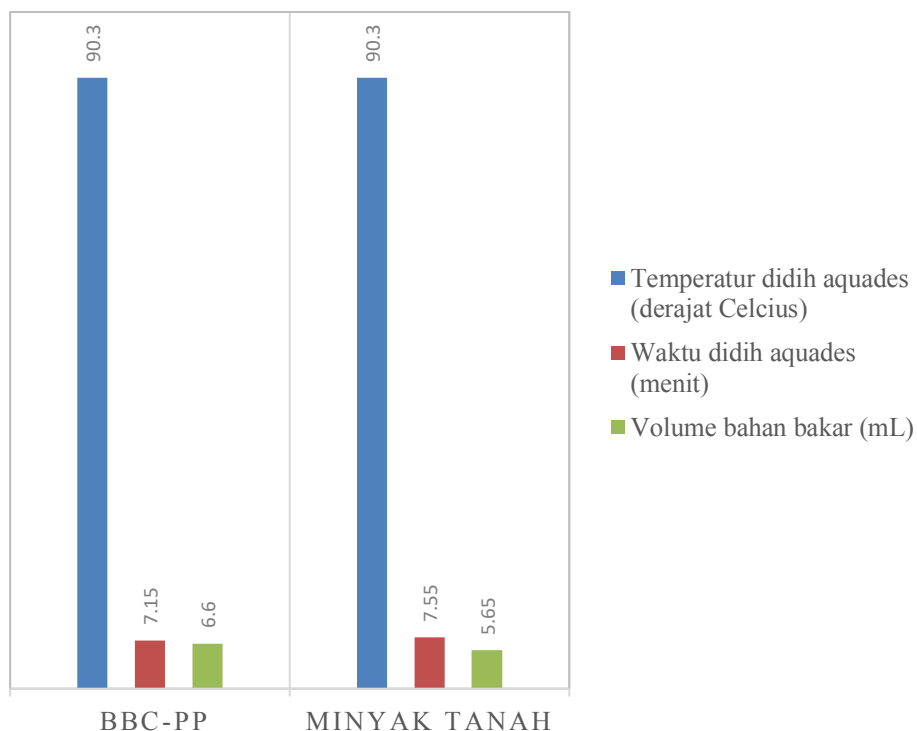
**Gambar 2.** Hubungan antara waktu pemanasan dengan temperatur aquades yang dipanaskan.

Suhu awal aquades sebelum dilakukan pemanasan adalah 33 °C. Sejak dua menit pertama, temperatur pemanasan oleh BBC-PP relatif sedikit lebih tinggi daripada minyak tanah. Pada menit keenam, selisih temperatur pemanasan BBC-PP dengan minyak tanah mencapai harga terbesar selama pengamatan yang diduga karena kalor yang dihasilkan BBC-PP lebih efektif untuk mendorong energi kinetik molekul air mencapai energi aktivasi dalam perubahan fase cair ke gas. Peristiwa ini akan menyebabkan pemanasan dengan BBC-PP lebih cepat mendidihkan aquades daripada dengan minyak tanah. Hal ini ditunjukkan dalam Gambar 1 pada menit ke-7,15 bahwa temperatur aquades mulai mencapai titik didihnya sementara pemanasan dengan minyak tanah memerlukan waktu hingga menit ke-7,55. Dengan demikian, pemanasan aquades dengan BBC-PP lebih efektif daripada pemanasan dengan minyak tanah.

Hasil perbandingan efisiensi pembakaran BBC-PP dengan minyak tanah disajikan dalam Tabel 3 dan Gambar 3. Efisiensi pembakaran dinyatakan melalui hubungan antara waktu dan volume bahan bakar yang dibutuhkan untuk mendidihkan aquades. Efisiensi mutlak ketika titik didih aquades tercapai dalam waktu yang relatif cepat dan volume bahan bakar yang relatif kecil. Efisiensi parsial waktu jika titik didih tercapai dalam waktu yang relatif cepat namun volumenya relatif lebih besar sedangkan efisien parsial volume adalah sebaliknya.

**Tabel 3.** Hasil pengujian efisiensi pembakaran BBC-PP dan minyak tanah.

Jenis Bahan Bakar	Temperatur Pendidihan Aquades (°C)		Temperatur Rerata (°C)	Waktu Pendidihan Aquades (menit)		Waktu Rerata (menit)	Volume Bahan Bakar yang Dibutuhkan (mL)		Volume Rerata (mL)
	I	II		I	II		I	II	
BBC-PP	90,3	90,3	90,3	7,1	7,2	7,15	6,5	6,7	6,6
Minyak tanah	90,3	90,3	90,3	7,5	7,6	7,55	5,5	5,8	5,65



**Gambar 3.** Perbandingan efektivitas pembakaran BBC-PP dengan minyak tanah untuk mendidihkan aquades.

Berdasarkan data dalam Tabel 3 dan Gambar 3, efisien mutlak tidak terpenuhi baik oleh pembakaran dengan BBC-PP maupun minyak tanah. Pembakaran BBC-PP tergolong efisien parsial waktu namun inefisien parsial volume terhadap pembakaran minyak tanah. Efisiensi parsial waktu tercapai karena sebagian besar senyawa hidrokarbon dalam BBC-PP adalah mono- dan di-alkena alifatik  $C_4$ – $C_9$  yang lebih reaktif [4, 6, 7, 10]. Inefisiensi parsial volume ini disebabkan oleh tingginya persentase *char* yang dalam BBC produk pirolisis sampah plastik [4, 18]. Sonawaneet *al.* (2015) melaporkan bahwa pirolisis PP tanpa katalis akan menghasilkan fraksi senyawa berat ( $C_{20}$ – $C_{30}$ ) yang lebih besar daripada pirolisis dengan bantuan katalis. Inefisiensi ini dapat ditekan dengan pemakaian katalis untuk mengurangi *char* yang dihasilkan akibat reaksi radikal bebas yang tidak sempurna.

## KESIMPULAN

Proses pirolisis PP telah berhasil dilakukan dengan reaktor sederhana berbahan bakar minyak tanah. Pirolisis ini menghasilkan bahan bakar cair dengan densitas 0,734 g/mL. Hasil uji pembakaran menunjukkan bahwa bahan bakar ini tergolong efektif dan efisiensi parsial waktu untuk mendidihkan aquades. Untuk mencapai efisiensi mutlak, penelitian lanjutan diperlukan dengan pirolisis menggunakan reaktor sederhana ini berbantuan katalis.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan makalah ini. Penelitian ini didanai oleh Direktorat Pendidikan Tinggi Keagamaan Islam Kementerian Agama RI melalui skema Bantuan Penelitian Dasar Pengembangan Program Studi tahun 2017.

## REFERENSI

1. P. A. Costa, F. J. Pinto, A. M. Ramos, I. K. Gulyurtlu, I. A. Cabrita, dan M. S. Bernardo, *Kinetic Evaluation of The Pyrolysis of Polyethylene Waste*. *Energy & Fuels*, 21, 2489–2498 (2007)

2. I. Ahmad , M. I. Khan , H. Khan , M. Ishaq, R. Tariq, K. Gul, dan W. Ahmad, *Pyrolysis Study of Polypropylene and Polyethylene in to Premium Oil Products*. International Journal of Green Energy, DOI: 10.1080/15435075.2014.880146 (2014)
3. S. Kumar dan R. K. Singh, *Recovery of Hydrocarbon Liquid from Waste High Density Polyethylene by Thermal Pyrolysis*. Brazilian Journal of Chemical Engineering ,28(4), 659–667 (2011)
4. Y.B. Sonawane, M.R. Shindikar, dan M.Y. Khaladkar, *Use of Catalyst in Pyrolysis of Polypropylene Waste Into Liquid Fuel*. Int. Res. J. Environment Sci., 4(7), 24-28 (2015)
5. D. Iswadi, F. Nurisa, dan E. Liastuti, *Pemanfaatan Sampah Plastik LDPE dan PET Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis*. Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM, 1(2), 1–4 (2017)
6. B. Purevsuren, Y. Davaajav, F. Karaca, T .J. Morgan, A. George, A. A. Herodb, dan R. Kandiyoti, *Pyrolysis of Waste Polypropylene and Characterisation of Tar*. Eur. J. Mass Spectrom, 15, 23–33. doi: 10.1255/ejms.975 (2009)
7. I. Cit, A. Sinag, T. Yumak, S. Ucar, Z. Mısırlıoglu, dan M. Canel, *Comparative Pyrolysis of Polyolefins (PP and LDPE) and PET*. Polym. Bull. 64, 817–834. DOI 10.1007/s00289-009-0225-x (2010)
8. T. Bhaskar, Md. A. Uddin, J. Kaneko, T. Matsui, A. Muto, dan Y. Sakata, *Pyrolysis of Polypropylene/Polyethylene/Polystyrene and Polyvinylchloride Mixed Plastics using CaCO<sub>3</sub>*. Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology, 20(2) (2004)
9. I. J. N. Zorriqueta, *Pyrolysis of Polypropylene by Ziegler-Natta Catalysts*. Thesis. Hamburg (2006)
10. L. Ballice dan R. Reimert, *Classification of Volatile Products from Thetemperature-Programmed Pyrolysis of Polypropylene (PP), Atactic-Polypropylene (APP) and Thermogravimetrically Derived Kinetics of Pyrolysis*. Chemical Engineering and Processing, 41, 289–296 (2002)
11. L. Sørum, M.G. Grønli, dan J.E. Hustad, *Pyrolysis Characteristics and Kinetics of Municipal Solid Wastes*. Fuel, 80, 1217. doi: 10.1016/S0016-2361(00)00218-0 (2001)
12. A.O. Adeleke, R.S. Makan, dan S.A. Ibitoye, *Grayking Assay Characterization of Nigerian Enugu and Polish Bellview Coals for Co-Carbonization*. Journal of Applied Sciences, 7, 455-458. <https://doi.org/10.3923/jas.2007.455.458> (2007)
13. S. Bahri, *Perbandingan Nyala Efektif dan Temperatur Pembakaran antara Potongan Bambu dan Jerami pada Proses Gasifikasi dengan Isolator Glass Wool*. Naskah Publikasi Tugas Akhir Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta (2016)
14. D. Agustina, S. Nurhatika, dan A. Muhibuddin, *Efektivitas Penggunaan Bioetanol dari Limbah Padat Alang-Alang (Imperata Cylindrica (L) Beauv.) terhadap Lama Pembakaran Kompor Bioetanol*. Jurnal Sains dan Seni ITS.4(1), 2337-3520 (2015)
15. F. Gao, *Pyrolysis of Waste Plastics into Fuels*. Disertasi, University of Canterbury (2010)
16. F. Naufan, *Desain Alat Pirolisis untuk Mengonversi Limbah Plastik HDPE menjadi Bahan Bakar*. Skripsi, Bogor, IPB (2016)
17. Aviation Engineer/ Specialist. *Fuel Properties*. Budapest University of Technology and Economics (2018)
18. P. B. W. Wardhana dan H. Saptoadi, *Konversi Limbah Plastik Polietilen menjadi Bahan Bakar dengan Metode Pirolisis*. Jurnal Disprotek, 7(1) (2016)