

**PENGOLAHAN SAMPAH *LOW DENSITY POLYETHYLENE* (LDPE)
DAN *POLYPROPYLENE* (PP) MENJADI BAHAN BAKAR CAIR
ALTERNATIF MENGGUNAKAN PROTOTIPE
PIROLISIS *THERMAL CRACKING***

***PROCESSING OF LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) AND
POLYPROPYLENE (PP) WASTE INTO ALTERNATIVE LIQUID FUEL
USING THE PROTOTYPE PYROLYSIS
THERMAL CRACKING***

Yohandri Bow^{1,a)}, Zulkarnain¹, Sutini P. Lestari¹, Steven R.M. Sihombing^{1,b)}, Siti A. Kharissa¹, Yosirham A. Salam¹
¹Program Studi Teknik Energi / Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jalan Sriwijaya Negara Bukit Besar-Palembang 30139, Telp.0711-353414/ Fax.0711-355918
e-mail : ^{a)}yohandriBow@gmail.com, ^{b)}stevensihombing11@gmail.com

ABSTRACT

The most popular of handling plastic waste up to now is with the 3R (Reduce, Reuse, Recycle). Hence the need for an innovation to reduce pollution resulting from plastic waste. One alternative way of handling plastic waste is to convert it into fuel or also called plastic pyrolysis process. Pyrolysis is the process of chemical decomposition of organic matter by heating without or little oxygen where the raw material will break the chemical structure into a gas phase. In this research, the design of plastic waste pyrolysis tool using thermal cracking method with infrared heating element. The raw materials used are Low Density Polyethylene (LDPE) and Polypropylene's types plastic and the temperature that used in the reactor are 250°C, 300°C, and 350°C. The control variables are plastic waste mass, operating time, and pressure in the reactor. Of research results obtained in most product volume temperature 350°C as much as 68 ml plastic bins for Low Density Polyethylene with %yield of 6.34%. As for the plastic Polypropylene obtained also the most volume at 350°C as much as 70 ml with %yield 6.98%.

Key words: Pyrolysis Plastic Waste, LDPE, Polypropylene, Thermal Cracking.

1. PENDAHULUAN

Secara umum di era yang moderen sekarang ini, konsumsi pemakaian energi tidak terhindarkan. Akibatnya timbulah permasalahan yakni solusi untuk melakukan suatu terobosan pemanfaatan energi baru terbarukan yang lebih ramah lingkungan dalam pengaplikasiannya. Sampah plastik menjadi salah satu solusi untuk mengembangkan energi baru terbarukan yang dalam pengaplikasiannya diharapkan mampu menghasilkan suatu energi untuk meminimalisasi penggunaan energi fosil.

Plastik adalah jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi yaitu penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar yang disebut dengan polimer (Surono dan Ismanto, 2016). Plastik merupakan senyawa sintesis dari minyak bumi (terutama hidrokarbon rantai pendek) yang dibuat dengan reaksi polimerisasi molekul-molekul kecil (monomer) yang sama, sehingga membentuk rantai panjang dan kaku dan akan menjadi padat setelah temperatur pembentukannya. Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah

bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan (Surono, 2013). Selain itu pengetahuan sifat termal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat termal yang penting adalah titik lebur (T_m), temperatur transisi (T_g) dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi adalah temperatur di mana plastik mengalami perenganan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair. Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi termal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan

mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Budiyantoro, 2010).

Dengan pentingnya pemakaian plastik dalam kehidupan sehari-hari, maka akan mengakibatkan penumpukan sampah plastik, yang diketahui bahwa sampah plastik membutuhkan waktu yang cukup lama untuk terdekomposisi. Selama ini penanganan sampah plastik yang populer adalah dengan 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*). Selain itu penanganan sampah plastik dengan cara dibakar juga kurang efektif dan sangat beresiko dikarenakan jika sampah plastik dibakar akan menimbulkan polutan dari emisi gas buang (CO_2 , CO, SOx dan NOx) dan beberapa partikel yang tidak diinginkan sehingga mempengaruhi kesehatan jika terhirup.

Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menyebutkan bahwa Indonesia menghasilkan sampah kantong plastik sebanyak 10,95 juta lembar/tahun/100 gerai (Ekawati, 2016). Fakta tersebut menempatkan Indonesia sebagai peringkat kedua di dunia penghasil sampah plastik ke laut (187,2 juta ton) setelah Tiongkok yang mencapai 262,9 ton (Jambeck, 2015).

Menurut data bank sampah di Kota Palembang yang diperoleh dari Situs Badan Pusat Statistik kota Palembang, dapat diketahui beberapa daerah di Palembang yang memiliki bank sampah, salah satu diantaranya adalah bank sampah Bahagia Mandiri yang berlokasi di komplek Griya Bahagia Mandiri Kelurahan Alang-Alang Lebar Kecamatan Alang-Alang Lebar yang memiliki jumlah sampah terolah untuk sampah organik sebanyak 800 kg/bulan dan untuk sampah anorganik sebanyak 500 kg/bulan.

Salah satu cara untuk menangani sampah plastik adalah dengan mengkonversinya menjadi bahan bakar cair atau disebut dengan proses pirolisis. Menurut Endang dkk. (2016), proses pirolisis sampah plastik merupakan proses dekomposisi senyawa organik yang terdapat dalam plastik melalui proses pemanasan dengan sedikit atau tanpa melibatkan oksigen.

Pirolisis adalah proses degradasi atau penguraian bahan baku yang padat menjadi gas dengan bantuan panas tanpa adanya oksigen. Secara sederhana pirolisis dapat diartikan pemanasan tanpa oksigen. Pirolisis disebut juga dengan destilasi kering karena proses penguraian disebabkan oleh pemanasan dan tanpa adanya kehadiran udara. Menurut Pranata (2008), pada proses pirolisis dihasilkan tiga macam penggolongan produk yaitu :

- a. Gas-gas yang dikeluarkan pada proses karbonisasi sebagian besar berupa gas CO_2 dan sebagian lagi berupa gas-gas yang mudah terbakar seperti CO, CH_4 , H_2 dan hidrokarbon tingkat rendah lain.
- b. Destilat berupa asap cair dan tar.
- c. Residu (karbon) dalam bahan berbeda-beda tergantung jenis bahan yang digunakan.

Proses pirolisis dikategorikan menjadi 3 tipe yaitu :

- a. Pirolisis lambat (*Slow Pyrolysis*).
- b. Pirolisis cepat (*Fast Pyrolysis*).
- c. Pirolisis kilat (*Flash Pyrolysis*).

Selain itu pengkonversian sampah plastik menjadi bahan bakar berwujud cairan dapat juga dilakukan dengan proses *cracking* (perengkahan). Dimana *cracking* (perengkahan) adalah proses pemecahan rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Menurut (Surono, 2013) ada tiga macam proses *cracking* yaitu *hydro cracking*, *thermal cracking*, dan *catalytic cracking*.

Proses pirolisis sampah plastik dapat menghasilkan uap cair (minyak plastik), arang / abu yang merupakan sisa pembakaran, gas yang terkondensasi dan gas yang tidak terkondensasi. Minyak plastik memiliki karakter yang tidak jauh berbeda dengan karakter BBM yang beredar di pasaran. Karena kemiripan karakteristik tersebut minyak plastik hasil pirolisis dapat digunakan sebagai pengganti sumber BBM alternatif.

Low Density Polyethylene (LDPE) adalah plastik yang digunakan untuk plastik kemasan, botol-botol yang lembut, kantong / tas kresek, dan plastik tipis lainnya. Plastik LPDE ($-\text{CH}_2-\text{CH}-$)_n ini jenis plastik yang bersifat *non-biodegradable* atau tidak dapat terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga menyebabkan masalah lingkungan. Plastik LDPE ini bisa di daur ulang, baik untuk barang-barang yang memerlukan fleksibilitas tetapi kuat, dan memiliki resistensi yang baik terhadap reaksi kimia (Siti Miskah dkk, 2016).

Polypropylene atau polipropilen (PP) merupakan polimer hidrokarbon yang termasuk ke dalam polimer termoplastik yang dapat diolah pada suhu tinggi. Struktur molekul propilena $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$. Polipropilena biasanya didaur ulang dengan simbol nomor "5" (Sriyanto, 2016).

Elemen pemanas merupakan sebuah komponen yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi panas. Elemen pemanas ini menghasilkan panas dari proses resistensi yang terjadi pada logam bertahanan tinggi (Hakim dkk., 2017). Energi *Infrared Heater* adalah suatu bentuk energi elektromagnetik. Hal ini dikarenakan *Infrared Heater* sebagai gelombang yang menembus target dan kemudian diubah menjadi panas. Panjang gelombang dimana radiasi maksimum dari pemanas terjadi (panjang gelombang puncak) ditentukan oleh suhu pemanas.

Penelitian ini akan memberikan informasi mengenai pengolahan sampah plastik sebagai salah satu sumber energi alternatif untuk bahan bakar cair dengan menggunakan metode pirolisis *thermal cracking*, dengan memvariasikan kondisi operasi temperatur dan variabel bahan baku sampah plastik yang digunakan.

2. METODE

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah rancang bangun dan eksperimental yang terdiri dari beberapa tahap berkesinambungan agar tujuan penelitian dapat tercapai. Tahap pertama adalah perancangan dan pembuatan prototipe alat pirolisis sampah plastik. Tahap kedua adalah pengujian dan penelitian pirolisis sampah plastik dengan

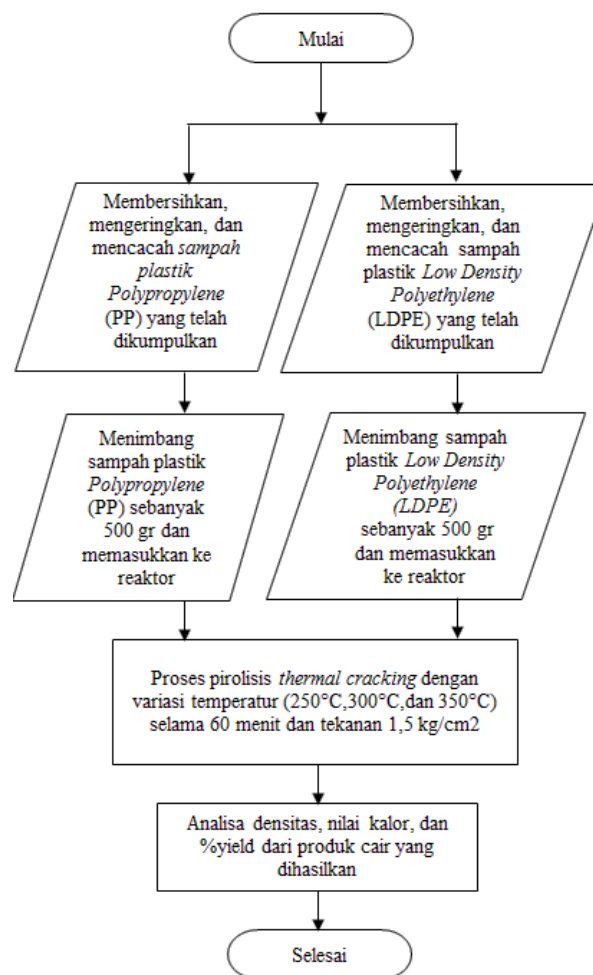
memvariasikan jenis bahan baku dan temperatur operasi. Tahap ketiga adalah analisa produk cair yang dihasilkan dari pirolisis sampah plastik.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sebagai media pendingin di kondensor, sampah plastik jenis PP berupa kemasan gelas mineral, dan jenis LDPE berupa kantong kresek. Sementara peralatan yang digunakan antara lain alat pirolisis sampah plastik, *stopwatch*, mesin grinding, neraca analitik, gelas kimia, piknometer, dan *Bomb Calorimeter*.

Prototipe pirolisis sampah plastik yang dibuat terdiri dari beberapa komponen penting diantaranya adalah reaktor, pemanas, *flange*, kopleng, pendingin, dan kondensor. Reaktor berbentuk tabung yang memiliki tinggi 50 cm dan diameter 15,5 cm. Reaktor terbuat dari bahan *Stainless Steel* lalu dilapisi pecahan asbes sebagai peredam panas. Sumber panas berasal dari elemen pemanas *Infrared* yang tersambung dengan listrik. Terdapat tiga buah pemanas infrared yang mengelilingi tabung reaktor dengan kapasitas 650 Watt. *Flange* pada bagian atas reaktor berguna untuk memudahkan dalam memasukkan bahan baku dan mengeluarkan char hasil pirolisis. Kopleng sebagai penyampung antara saluran keluaran reaktor dengan saluran untuk memasuki kondensor dengan ukuran 5/8 inch. Pendingin yang digunakan pada penelitian ini adalah *chiller* yang akan mendinginkan air dari bak penampungan. *Chiller* dapat bekerja mendinginkan air hingga temperatur 15-20°C. Air yang telah dingin tersebut akan disuplai menuju kondensor. Kondensor merupakan tempat terjadinya perubahan fasa uap menjadi fase cair produk hasil pirolisis. Kondensor memiliki panjang 70 cm dan merupakan tipe *shell and tube*. Pipa di dalam kondensor berbahan tembaga dan dibuat spiral dengan 10 jumlah lilitan.

Variabel tetap yang digunakan pada penelitian ini adalah massa sampah plastik 500 gr, lama waktu operasi 60 menit, dan tekanan operasi 1,5 kg/cm². Variabel berubah adalah jenis plastik yang digunakan yaitu *Polypropylene* (PP) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE) serta temperatur operasi di reaktor sebesar 250°C, 300°C, dan 350°C. Sementara variabel terikat yang merupakan sasaran dari penelitian ini adalah produk cair yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik.

Bahan baku sampah plastik jenis PP dan LDPE yang telah dikumpulkan, lalu dibersihkan terlebih dahulu, dan dikeringkan dengan bantuan sinar matahari. Setelah kering, selanjutnya bahan baku diperkecil ukurannya dengan menggunakan mesin grinding dan ditimbang sebesar 500 gram. Bahan baku kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis.



Gambar 1. Blok Diagram Penelitian

Blok diagram penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Proses pirolisis dimulai dengan preparasi bahan baku, kemudian penghidupan alat pirolisis sampah plastik dengan menekan tombol power, cooler, dan heater ke posisi on. Lalu menentukan set point temperatur di reaktor sebesar 250°C pada *therm control*. Memastikan seluruh valve tertutup kecuali valve keluaran reaktor yang menuju kondensor. Saat temperatur di reaktor telah mencapai set point, kemudian menghidupkan *stopwatch* untuk menentukan waktu proses selama 60 menit. Selama 60 menit tersebut, valve keluaran produk pirolisis dibuka ketika tekanan di reaktor mencapai 1,5 kg/cm² untuk mendapatkan produk cair. Begitu juga seterusnya pada temperatur 300°C dan 350°C. Pada proses pirolisis, sampah plastik akan dipanaskan hingga meleleh, lalu menguap dan uap tersebut akan didinginkan dengan kondensor hingga berubah fase menjadi cair.

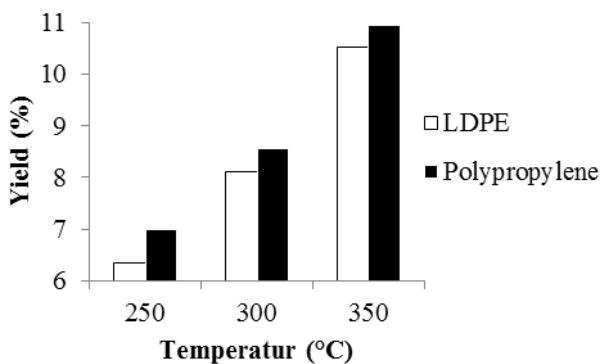
Produk cair yang didapat kemudian akan dianalisa densitas, titik nyala, dan nilai kalornya. Pengujian densitas dilakukan dengan piknometer berdasarkan ASTM D854. Sementara pengujian nilai kalor berdasarkan ASTM D5865-11a yang dilakukan oleh Laboratorium Polsri Palembang.

Teknik analisis data kuantitatif dari penelitian ini diolah menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dimana akan dibuat grafik hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas berada pada sumbu x sementara variabel terikat berada pada sumbu y. Hasil data grafik tersebut akan dilihat tren kecenderungannya secara visual apakah semakin meningkat, menurun, stasioner, ataupun berfluktuasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Variasi Temperatur Terhadap % yield

Perolehan % yield pada produk pirolisis sampah plastik dipengaruhi oleh kondisi operasi proses yang terjadi, seperti yang terlihat pada Gambar 2 dimana semakin tinggi temperatur maka % yield yang dihasilkan semakin tinggi. Dari data yang didapatkan % yield pada sampah plastik jenis LDPE sebesar 6,27 % pada temperatur 250°C, 8,01 % pada temperatur 300°C, dan 10,41 % pada temperatur 350°C. Sedangkan % yield yang didapatkan pada sampah plastik jenis *Polypropylene* (PP) sebesar 6,90 % pada suhu 250°C, 8,47 % pada temperatur 300°C, dan 10,83 % pada temperatur 350°C.

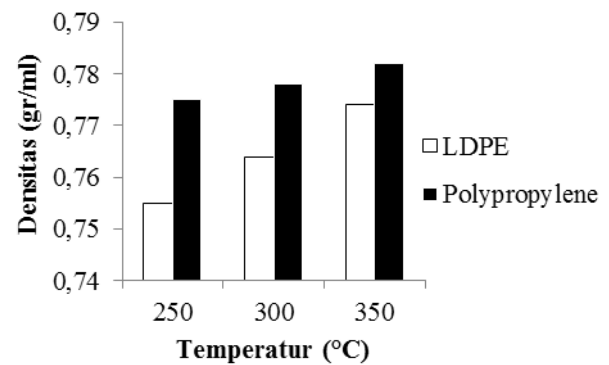


Gambar 2. Variasi Temperatur Terhadap % yield

Peningkatan % yield dikarenakan apabila bahan baku sampah plastik yang terkena temperatur tinggi maka rantai karbon akan lebih mudah terengkah dibandingkan jika terkena temperatur yang lebih rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Gunawan dkk. (2017) dimana Yield yang dihasilkan semakin meningkat seiring meningkatnya temperatur reaksi. Peningkatan temperatur reaksi akan mempercepat proses perengkahan. Kenaikan yield produk dapat diartikan sebagai meningkatnya reaksi perengkahan yang terjadi. Reaksi perengkahan adalah reaksi endotermis dimana reaksi ini melibatkan proses pemutusan rantai hidrokarbon, sehingga proses untuk memutuskan suatu ikatan diperlukan suatu energi panas yang besar (Harefa, 2013). Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Housmand dkk. (2013) bahwa semakin meningkat suhu maka semakin banyak ikatan rantai karbon yang juga akan terputus sehingga % yield akan meningkat.

b. Variasi Temperatur Terhadap Densitas

Pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa semakin tinggi temperatur operasi di reaktor, maka semakin tinggi pula densitas produk cair yang dihasilkan, baik untuk jenis plastik LDPE maupun PP. Kedua jenis sampah plastik tersebut memiliki densitas yang tidak jauh berbeda. Sampah plastik berjenis LDPE memiliki nilai densitas sebesar 0,7550 gr/ml pada suhu 250°C, 0,7641 gr/ml pada suhu 300°C, dan 0,7741 gr/ml pada suhu 350°C. Sedangkan untuk sampah plastik berjenis PP memiliki densitas sebesar 0,7753 gr/ml pada suhu 250°C, 0,7780 gr/ml pada suhu 300°C, dan 0,7820 gr/ml pada suhu 350°C.



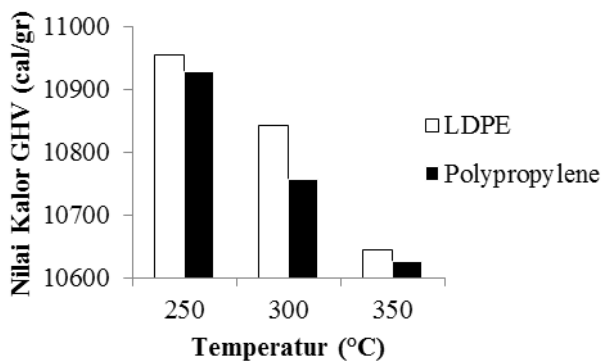
Gambar 3. Variasi Temperatur Terhadap Densitas

Semakin besar temperatur maka semakin berat densitas produk cair dikarenakan semakin banyak molekul berat yang ikut terdekomposisi. Hal tersebut seperti pada penelitian yang dilakukan Liestiono dkk.. (2017) dimana kenaikan temperatur pemanasan berdampak pada kenaikan massa jenis produk minyak yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi temperatur akan mengurangi terjadinya reaksi sekunder uap hidrokarbon menjadi gas, sehingga fraksi-fraksi berat semakin banyak yang terikat ke dalam kondensator dan terkondensasi menjadi minyak. Banyaknya fraksi berat tersebut juga menyebabkan cairan menjadi lebih pekat karena memiliki viskositas yang lebih besar juga.

Densitas produk cair LDPE berada pada rentang 0,75-0,77 gr/ml. Sementara produk cair PP berada pada rentang 0,77-0,78 gr/ml. Jika dibandingkan dengan berbagai bahan bakar, nilai densitas keduanya berada di antara bensin (0,71-0,77 gr/ml) dan minyak tanah (0,78-0,81 gr/ml).

c. Variasi Temperatur Terhadap Nilai Kalor

Pada Gambar 4 memperlihatkan nilai kalor kotor (GHV) pada produk cair hasil pirolisis sampah plastik jenis LDPE dan PP mengalami penurunan seiring dengan kenaikan temperatur. Dari data yang telah didapat dengan metode ASTM D5865-11a dihasilkan nilai kalor untuk plastik jenis LDPE sebesar 10.995 cal/gr pada temperatur 250°C, 10.842 cal/gr pada temperatur 300°C, dan 10.645 cal/gr pada temperatur 350°C. Sedangkan untuk plastik jenis PP didapatkan nilai kalor sebesar 10.928 cal/gr pada suhu 250°C, 10.757 cal/gr pada suhu 300°C, dan 10.626 cal/gr pada suhu 350°C.



Gambar 4. Variasi Temperatur Terhadap Nilai Kalor

Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi densitas bahan bakar minyak, maka nilai kalor yang dihasilkan akan semakin rendah dan begitu pula sebaliknya. Sementara berdasarkan penelitian yang dilakukan Liestiono dkk. (2017), nilai kalor dari minyak yang terbentuk dari plastik akan menurun seiring dengan kenaikan laju pemanasan. Hal ini disebabkan semakin sedikitnya jumlah fraksi hidrokarbon yang memiliki nilai kalor tinggi di dalam minyak pirolisis, seiring dengan kenaikan laju pemanasan, sehingga nilai kalori total dari minyak akan semakin kecil.

4. SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Kondisi operasi sangat berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan, sehingga jumlah volume terbanyak didapatkan pada suhu 350°C diantaranya 68 ml untuk bahan baku *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan 70 ml untuk bahan baku *Polypropylene* (PP).
2. Semakin tinggi temperatur pemanasan di reaktor, maka semakin tinggi pula densitas dan %yield. Sebaliknya semakin tinggi temperatur, maka semakin rendah nilai kalor.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiyantoro, C. 2010. *Thermoplastik dalam Industri* Surakarta : Teknika Media.
- Ekawati, Sulistya. 2016. *Mengkritisi Kebijakan Penanganan Kantong Plastik di Indonesia*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Badan Penelitian, Pengembangan dan Inovasi Pusat Penelitian dan Pengembangan Sosial, Ekonomi, Kebijakan dan Perubahan Iklim.
- Endang, K., Mukhtar, G., Nego, A., dan Sugiyana, F.X.A. 2016. *Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia

untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia di Yogyakarta, 17 Maret 2016, ISSN 1693-4393.

Gunawan, R., Daud, S., dan Yenie, E. 2017. *Pengaruh Suhu dan Variasi Rasio Plastik Jenis Polypropylene dan Plastik Polystyrene Terhadap Yield Dengan Proses Pirolisis*. Jom FTEKNIK Volume 4 No. 2 Oktober 2017.

Hakim, E.Z.R., Hasan, H., dan Syukriyadin. 2017. *Perancangan Mesin Pengereng Hasil Pertanian Secara Konveksi dengan Elemen Pemanas Infrared Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno dengan Sensor DS18B20*. Jurnal Online Teknik Elektro Vol. 2 No. 3, e-ISSN : 2252-7036.

Harefa, Handra. 2013. *Perengkahan Palm Fatty Acid Distilate Menjadi Alkane Cair Menggunakan Katalis Ni/Zeolit dengan Variasi Temperatur Reaksi dan Nisbah Berat Katalis/PFAD*. Skripsi Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau.

Housmand, D., Roozbeheni, B., dan Badakhshan, A. 2013. *Thermal and Catalytic Degradation of Polystyrene with a Novel Catalyst*. Jounal Emerging Technologies, 5(1), 234-238. Abandan, Iran.

Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., dan Law, K.L. 2015. *Plastic Waste Inputs From Land Into Ocean*. Science Vol 347 Issue 6223.

Liestiono, R.P., Cahyono, M.S., Widawidura, W., Prasetya, A., dan Syamsiro, M. 2017. *Karakteristik Minyak dan Gas Hasil Proses Dekomposisi Termal Plastik Jenis Low Density Polyethylene*. Jurnal Offshore, Volume 1 No.2, ISSN : 2549-8681.

Matthias. 2007. *Thermo Fisher Scientific*. Germany : Karlsruhe.

Miskah, S., Yusra, A., dan Permana, W.H. 2016. *Pengaruh Penggunaan Katalis CU-AL2O3 Terhadap Pembuatan Bahan Bakar Cair Dari Bahan LDPE dan PET*. Jurnal Teknik Kimia No.1, Vol.22.

Nasrun, Kurniawan, E., dan Sari, I. 2016. *Studi Awal Produksi Bahan Bakar Dari Proses Pirolisis Kantong Plastik Bekas*. Jurnal Teknologi Kimia Unimal 5:1 , 30-44.

Pranata, J. 2008. *Pemanfaatan Sampah Kota Sebagai Bahan Bakar Pada Turbin Gas Yang Tidak Terpakai Di PT. Arum NGL Menggunakan Proses Gasifikasi*. Aceh.

Surono, Untoro Budi. 2013. *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*.

Jurnal Teknik. Volume 3. Nomor 1 : Halaman 32-40.

Surono, U. B. dan Ismanto. 2016. *Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP , PET dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya*. Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal, 1(1), pp. 32–37.