

## Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)

Journal homepage: <http://e-journal.janabadra.ac.id/index.php/JMST>

### Original Article

# Pengaruh Suhu terhadap Rendemen dan Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik

Wirawan Widya Mandala<sup>1\*</sup>, M. Sigit Cahyono<sup>1</sup>, S. Ma'arif<sup>2</sup>, H.B. Sukarjo<sup>2</sup>, Wardoyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prodi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta, Jl. Proklamasi No. 1 Yogyakarta 55281

<sup>2</sup> Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta, Jl. Proklamasi No. 1 Yogyakarta 55281

\*Corresponding author :

e-mail: [mandala\\_wirawan@yahoo.com](mailto:mandala_wirawan@yahoo.com)

**Abstract** – Plastic waste is one type of waste that would disturb the environment if it is not handled properly. Alternative treatment to solve this problem is by using pyrolysis technology that enable to convert plastic waste into fuel oil, charcoal, and non-condensable gas. The success of pyrolysis technology is influenced by several factors, including the type of reactor, the particle size, the processing time, and the temperature of the pyrolysis process. The purpose of this study was to determine the effect of temperature on the yield and the calorific value of plastic pyrolysis oil. Based on the experiments, increasing the temperature, the yield of the oil produced and calorific value will be higher. The yield and the highest calorific value generated for the pyrolysis process at a temperature of 400 °C, are 44% and 10,292 cal/ g respectively.

**Keywords** – Waste plastics, Pyrolysis, Yield, Heating value.

## 1. Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari, aktivitas manusia tidak bisa terlepas dari pemakaian sumber energi fosil. Intensitas penggunaan yang tidak terkendali dan kurangnya konservasi energi menimbulkan implikasi negatif terhadap ketersediaan bahan bakar fosil. Maraknya isu keterbatasan cadangan sumber energi fosil ini membutuhkan perhatian serius. Sampai saat ini, mayoritas kebutuhan energi nasional masih dipenuhi dari bahan bakar fosil tetapi cadangannya semakin berkurang, sehingga diperlukan upaya pengurangan energi fosil melalui peningkatan terapan energi terbarukan yang lebih murah dan ramah lingkungan (Yunan et al., 2013). Salah satu potensi energi terbarukan sebagai salah satu alternatif pengganti energi fosil adalah berasal dari sampah perkotaan. Dari total sampah yang terkumpul di TPA di Propinsi DIY, potensi total sampah menjadi energi listrik mencapai 1542,35 kW (Widyawidura et al., 2016). Hal ini berarti, apabila sampah TPA Propinsi DIY dapat diolah menjadi energy (*waste to*

*energy*) maka, kebutuhan energi listrik untuk satu desa dapat terpenuhi

Di sisi lain, permasalahan sampah juga menjadi salah satu isu penting yang muncul di masyarakat saat ini. Masalah yang sering terjadi diantaranya keterbatasan lahan tempat pembuangan akhir (TPA), sedangkan produksi sampah semakin lama semakin meningkat seiring dengan meningkatnya populasi manusia dan perubahan pola hidup, sehingga ada kecenderungan sampah kurang bisa diatasi dengan baik (Sukarjo et al., 2014).

Salah satu jenis sampah yang menjadi permasalahan adalah sampah plastik. 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). Sampah plastik ini sukar diuraikan oleh mikroorganisme sehingga harus didaur ulang agar tidak membahayakan lingkungan. Sebagai contoh, sampah kantong plastik apabila ditimbun di dalam tanah, butuh

sekitar 1000 tahun untuk sampah tersebut dapat terurai terdegradasi melalui mikroorganisme (Bashir, 2013).

Senyawa utama material plastik adalah polyethylene. Senyawa ini terbentuk dari monomer-monomer ethylene yang dipolimerisasi dengan mekanisme radikal bebas yang biasa digunakan sebagai bahan pembuatan kantong plastik, botol plastik, atau pipa plastik (Fessenden, 1982). Secara umum, jenis plastik ini bersifat halus, fleksibel, tahan air, mudah dibentuk dan diwarnai, serta harganya relatif murah. Rumus kimia polyethylene  $(-CH_2-)_n$ , dengan n sebagai derajat polimerisasi. Di pasaran, terdapat dua jenis plastik polyethylene, yaitu jenis HDPE (*High Density Polyethylene*) dan LDPE (*Low Density Polyethylene*). Polyethylene jenis HDPE banyak dijumpai sebagai bahan pengemas untuk botol plastik minuman, sedangkan LDPE digunakan sebagai bahan baku pembuatan kantong plastik (Sumarni dan Purwanti, 2008).

Untuk mengatasi permasalahan yang ditimbulkan oleh adanya sampah plastik, saat ini telah berkembang beberapa langkah yang terkait dengan manajemen pengolahan sampah plastik atau recycling sampah plastik. Namun, tidak semua sampah bisa didaur ulang. Hanya sebagian saja yang bisa, terutama jenis PP, HDPE, dan PET. Sedangkan jenis lainnya sangat sulit didaur ulang karena tidak efisien, salah satunya adalah plastik jenis LDPE, seperti label kemasan air mineral. Plastik jenis ini sulit didaur ulang sehingga tidak diambil oleh pemulung dan menumpuk di TPA.

Beberapa contoh proses pengolahan sampah plastik lainnya antara lain pembuatan biodegradable plastik, pembakaran, maupun pirolisis. Meskipun pembakaran terbuka dapat mengurangi jumlah limbah plastik, namun cara tersebut akan menimbulkan masalah baru yaitu emisi yang dihasilkan berupa gas-gas beracun seperti gas CO, furan, dioxin serta beberapa logam berat seperti kromium, tembaga, kobalt, selenium, timbal dan cadmium yang semua zat-zat tersebut dapat mengganggu kesehatan bahkan kematian bagi manusia (Verma et al., 2016). Sementara itu, pengolahan sampah plastik secara pirolisis yang menghasilkan produk berupa cairan, gas, serta padatan diharapkan mampu menjadi salah satu alternatif dalam mengurangi masalah pencemaran lingkungan.

Pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi secara termokimia dari material organik atau sintetis untuk menghasilkan bahan bakar (berupa bio-oil) pada suhu tinggi dalam kondisi miskin oksigen (Syamsiro et al., 2014). Proses ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah suhu dan waktu proses pirolisis. Pirolisis yang bagus terjadi pada suhu antara 370 °C- 420 °C (Thorat et al., 2013). Semakin tinggi suhu pirolisis, jumlah minyak yang dihasilkan semakin besar. Akan tetapi, di atas suhu 500°C, terjadi proses dekomposisi produk lebih lanjut menjadi gas sehingga minyak yang dihasilkan akan mulai berkurang. Selain itu, semakin tinggi suhu proses maka energi yang dibutuhkan untuk proses pirolisis juga semakin besar. Oleh karena itu, pengaturan suhu yang tepat akan sangat

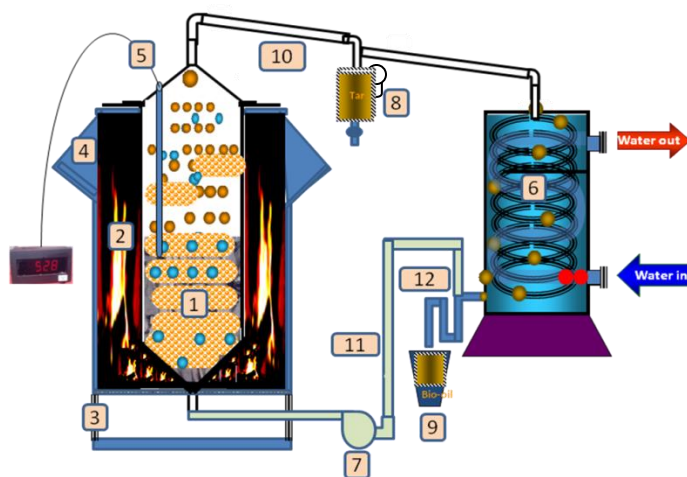
berpengaruh terhadap keberhasilan dan efisiensi dari proses pirolisis (Susanna, 1996).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu proses pirolisis terhadap rendemen dan nilai kalor minyak yang dihasilkan dari sampah plastik jenis LDPE berupa label kemasan air mineral. Melalui penelitian ini diharapkan bisa dihasilkan rumusan teknologi pirolisis yang paling efektif dan efisien dalam mengolah sampah anorganik menjadi minyak yang bisa dijadikan sebagai sumber energi alternatif bagi masa depan.

## 2. Metodologi Penelitian

Bahan baku sampah plastik berupa label kemasan air mineral diambil dari pengepul yang ada di sekitar Lokasi Daur Ulang Sampah (LDUS) Tambak Boyo, sedangkan bahan bakar sampah organik berupa daun, ranting dan kayu bakar didapatkan dari lingkungan sekitar TPST Umbulharjo. Bahan baku ditimbang sesuai dengan kebutuhan yaitu 10 kg bahan baku untuk satu kali proses pirolisis, sedangkan bahan bakar digunakan biomassa juga 10 kg.

Peralatan yang digunakan berupa satu set alat pirolisis, seperti ditunjukkan dalam skema alat Gambar 1.



Gambar 1. Satu set alat pirolisis. Keterangan: (1) Tabung pirolisis (*Retort*); (2) tungku pembakaran (*Kiln*); (3) lubang udara; (4) lubang bahan bakar; (5) termokopel; (6) tabung kondensasi; (7) blower; (8) penampung tar; (9) penampung bio-oil; (10) pengatur tekanan; (11) pipa gas recycle (12) pipa produk minyak plastic (*bio-oil*)

Tahap pertama adalah memasukkan bahan baku yang telah disiapkan ke dalam tabung pirolisis (*retort*), kemudian memasang tutupnya yang telah dilengkapi temperature dan pressure indicator. Di sisi lain, bahan bakar yang disiapkan dimasukkan ke dalam tungku pembakaran (*kiln*). Setelah itu, dilakukan pembakaran bahan bakar, dimana penyalaan awal dilakukan dari bagian bawah kiln dengan membakar daun kering yang mudah terbakar, sehingga bahan bakar yang terdapat di dalam kiln juga ikut terbakar dengan

cepat. Pada saat pemanasan, dilakukan pengamatan terhadap suhu dan tekanan di dalam retort dimana suhu dijaga sesuai variabel, yaitu sekitar 300 °C, 350 °C, dan 450 °C selama 90 menit.

Pada saat pirolisis, terjadi penguapan volatile matter dan penguraian polimer plastik menghasilkan uap dan arang. Uap yang terbentuk dialirkan menuju kondensor untuk didinginkan agar terbentuk minyak plastik, sedangkan sisa gas yang non condensable dikeluarkan dan dibakar di dalam kiln. Sedangkan arang akan tertinggal di

dalam retort dan akan dikeluarkan setelah selesai percobaan. Minyak plastik yang terbentuk kemudian ditampung dalam penampung lalu diukur volume dan nilai kalornya menggunakan alat *Oxygen Bomb Calorimeter*.

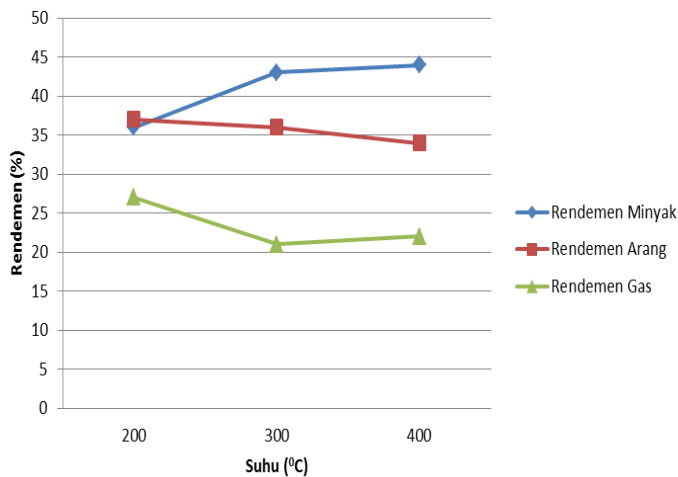
### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil percobaan proses pirolisis plastik

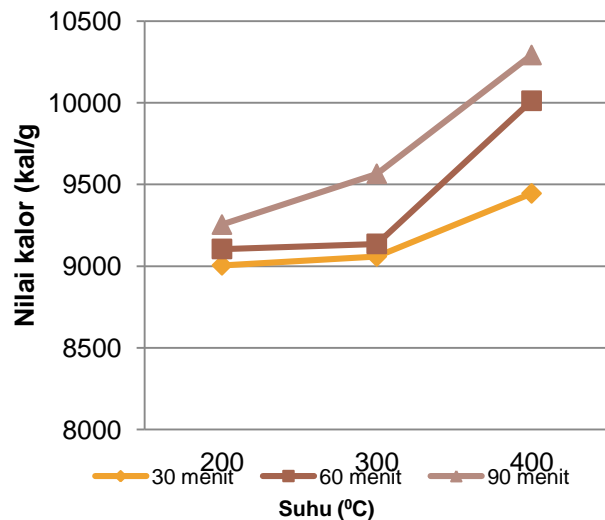
No	Variabel Suhu (°C)	Rendemen Minyak (%)	Rendemen Arang (%)	Rendemen Gas (%)	Penggunaan Bahan Bakar (kg)	Nilai kalor minyak (kal/g)
1	200	36	37	27	15,8	9.254
2	300	43	36	21	18,9	9.565
3	400	44	34	25	19,9	10.292

Berdasarkan Tabel 1 di atas, dapat dibuat grafik hubungan pengaruh suhu terhadap rendemen produk dan nilai kalor minyak seperti dalam Gambar 2 (untuk jenis rendemen) dan Gambar 3 (untuk waktu pemanasan).



Gambar 2. Pengaruh suhu terhadap rendemen produk pirolisis sampah plastik

Bedasarkan Tabel 1, diketahui bahwa nilai rendemen dan nilai kalor minyak atau bio-oil paling tinggi didapat pada suhu operasi 400 °C dan 10,292 kal/g. Sedangkan rendemen dan nilai kalor bio-oil paling rendah didapatkan pada suhu 200 °C. Rendemen bio-oil setiap kenaikan suhu cenderung meningkat, sedangkan rendemen arang dan gas semakin berkurang. Kecenderungan rendemen arang yang semakin berkurang pada setiap kenaikan suhu ini ternyata dapat membawa dampak positif pada produksi bio-oil, dimana kuantitas bio-oil akan semakin bertambah.



Gambar 3. Pengaruh suhu terhadap nilai kalor minyak hasil pirolisis plastik

Dari Gambar 2 terlihat bahwa semakin tinggi suhu reaksi, maka rendemen minyak pirolisis akan semakin besar, dengan nilai tertinggi yaitu 44% pada suhu 400 °C. Sebaliknya, semakin tinggi suhu maka rendemen arang akan semakin kecil. Sementara itu, rendemen *noncondensable gas* pada awalnya mengalami penurunan sampai suhu 350 °C, yang naik seiring dengan kenaikan suhu.

Dari Gambar 3, dapat dilihat bahwa semakin besar suhu reaksi, maka nilai kalor minyak plastik akan semakin besar, dengan nilai terbesar yaitu 10.292 kal/g yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik pada suhu 400 °C. Akan tetapi, peningkatan nilai kalori tersebut tidak terlalu signifikan sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap hubungan suhu reaksi dengan nilai kalor minyak

plastic. Selain itu, grafik pada Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin lama waktu operasi pirolisis, nilai kalor bio-oil yang dihasilkan akan semakin tinggi

#### 4. Kesimpulan

Semakin tinggi suhu reaksi, maka rendemen minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis plastik semakin besar, sedangkan rendemen arang akan semakin kecil. Akan tetapi, rendemen *noncondensable gas* awalnya turun dari suhu 300 °C ke 350 °C, kemudian akan naik seiring dengan kenaikan suhu reaksi.

Semakin tinggi suhu reaksi, maka nilai kalor minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis plastik semakin besar. Nilai kalor terbesar dihasilkan pada proses pirolisis sampah plastik pada suhu 400 °C, yaitu sebesar 10.292 kal/g.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Hibah Hi-Link tahun 2013.

#### Daftar Pustaka

Bashir, N. H. H. (2013) *Plastic problem in Africa*. Japanese Journal of Veterinary Research, 61, pp. 1–11.  
Fessenden, R.J. (1982) *Kimia Organik I*, pp. 23 - 51.  
Sukarjo, H., Cahyono, M.S., Wardoyo (2014) *Studi Pengaruh Suhu Proses dan Jenis Bahan terhadap Rendemen dan Nilai Kalor Bio-oil Hasil Pirolisis Sampah Organik*. Laporan Penelitian Dosen Pemula Universitas Proklamasi 45, Yogyakarta.

Sumarni, Purwanti, A. (2008) *Kinetika Reaksi Pirolisis Plastik Low Density Polyethylene (LDPE)*, Jurnal Teknologi, 1(2), pp. 135 -140.  
Surono, U. B., 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.  
Susanna (1996) *Pirolisis Plastik Polyvinil Klorida (PVC)*, Laporan Penelitian Laboratorium Polimer Tinggi, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.  
Syamsiro, M., Saptoadi, H., Norsujianto, T., Noviasri, P., Cheng, S., Alimuddin, Z., Yoshikawa, K. (2014) *Fuel Oil Production from Municipal Plastic Wastes in Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Reactors*. Energy Procedia, Volume 47, pp. 180–188.  
Thorat, P. V., Warulkar, S., & Sathone, H. (2013) *Pyrolysis of waste plastic to produce Liquid Hydrocarbons*, Advances in Polymer Science and Technology, 3(1), pp. 14–18.  
Verma, R., Vinoda, K. S., Papireddy, M., & Gowda, A. N. S. (2016) *Toxic Pollutants from Plastic Waste- A Review*, Procedia Environmental Sciences, 35, 701–708. <http://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.069>.  
Widyawidura, W., & Pongoh, J. I. (2016) *Potensi Waste to Energy Sampah Perkotaan untuk Kapasitas Pembangkit 1 MW di Propinsi DIY*, Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal, 1(1), pp. 21–25.  
Yunan, A., Pramudya, B., Sutjahjo, S. H., Tambunan, A. H., & Rangkuti, Z. (2013) *Sustainable Development Model of Geothermal Energy ( A Case Study at Darajat Geothermal Power Plant , Garut- Indonesia )*, Journal of Natural Sciences Research, 3(7), pp. 72–82.