

## Karakteristik Minyak Hasil Pirolisis *Batch* Sampah Plastik *Polystyrene*

Indah Noor Dwi Kusuma Dewi

Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Panca Marga

Jl. Yos Sudarso 107 Pabean Dringu Probolinggo 67271

Telp. 0335-422715, Fax: 0335 427923

Email : [indahnoordwikd@upm.ac.id](mailto:indahnoordwikd@upm.ac.id)

### ABSTRAK

Upaya yang dilakukan dalam rangka memanfaatkan sampah plastik *polystyrene* (PS) adalah dengan mengkonversi menjadi bahan bakar/minyak. Salah satu teknologi yang dapat digunakan ialah pirolisis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuantitas dan karakteristik minyak hasil pirolisis sampah plastik PS: *styrofoam* tempat buah/sayur pada suhu  $T=400^{\circ}\text{C}$ ,  $450^{\circ}\text{C}$  dan  $500^{\circ}\text{C}$  yang meliputi karakteristik fisika (*specific gravity*, nilai kalor, *flash point*, *pour point*, viskositas kinematik) dan kimia (komposisi senyawa pada minyak), mengetahui kondisi optimal proses pirolisis terkait kualitas dan kuantitas minyak hasil pirolisis serta mengetahui potensi penanganan sampah plastik PS dengan metode pirolisis. Minyak hasil pirolisis diukur volumenya dan ditimbang beratnya hingga didapatkan  $v/w_0$  dan *yield*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuantitas minyak hasil pirolisis sampah plastik *polystyrene* (PS) pada suhu 400, 450 dan  $500^{\circ}\text{C}$  berturut-turut adalah 0,89 ml/g; 0,905 ml/g dan 0,915 ml/g. Adapun *yield* minyak hasil pirolisis sampah plastik *polystyrene* (PS) pada suhu 400, 450 dan  $500^{\circ}\text{C}$  berturut-turut adalah 80,94 wt%; 79,79 wt% dan 80,14 wt%. Sedangkan karakter yang ditunjukkan oleh minyak hasil pirolisis plastik PS dengan suhu 400, 450 dan  $500^{\circ}\text{C}$  lebih mendekati karakteristik bensin. Kuantitas minyak hasil pirolisis plastik PS tidak memiliki kondisi optimal karena minyak yang dihasilkan cenderung konstan meskipun suhu bertambah. Berdasarkan analisis teknik, penanganan sampah plastik PS dengan metode pirolisis memberikan manfaat bagi masyarakat yang menjadikannya layak untuk dijalankan.

**Kata Kunci** : pirolisis, plastik *polystyrene*, *styrofoam*

### ABSTRACT

Efforts are being carried out in order to utilize *polystyrene* (PS) plastic waste by converting them into fuel or oil. One technology that can be used is pyrolysis. This study aims to (1) determine the quantity and the characteristics of oil from the results of pyrolysis *polystyrene* (PS) plastic waste: *styrofoam* at various temperatures of 400, 450, and  $500^{\circ}\text{C}$  which include characteristics of physics (*specific gravity*, heating value, *flash point*, *pour point*, and kinematic viscosity) and chemical characteristics (composition compounds in oil), (2) determine the optimal conditions of process pyrolysis related to the quality and quantity of oil by pyrolysis, and (3) determine the potential treatment of PS plastic waste by pyrolysis method. Pyrolysis oil was weighed and measured its volume to obtain  $v/w_0$  and yield. The results showed that the quantity of pyrolysis oil of *polystyrene* (PS) plastic waste at temperatures of 400, 450, and  $500^{\circ}\text{C}$  respectively were 0.89 ml/g; 0.905 ml/g; and 0.915 ml/g. The results of pyrolysis oil based on yield of *polystyrene* (PS) plastic waste at temperatures of 400, 450, and  $500^{\circ}\text{C}$  respectively were 80.94 wt%; 79.79 wt%; and 80.14 wt%. While the characteristics shown by the results of pyrolysis oil from PS plastic with temperatures of 400, 450, and  $500^{\circ}\text{C}$  were closer to the characteristics of gasoline. The quantity of pyrolysis of PS plastic oil produced was relatively constant despite the increasing temperatures. Based on environmental analysis, handling of PS plastic waste with pyrolysis methods provide benefits to society making it feasible to run.

**Keywords**: pyrolysis, polyethylene plastic, *polystyrene* plastic, *styrofoam*

### PENDAHULUAN

Sampah merupakan hasil aktivitas manusia yang tidak dapat dimanfaatkan. Namun pandangan tersebut sudah berubah seiring berkembangnya jaman. Saat ini sampah dipandang sebagai sumber daya yang belum dimanfaatkan, dikatakan sumber daya sebab memiliki potensi untuk dapat diberdayakan. Sampah yang paling sering ditemui diantaranya adalah sampah plastik, baik itu jenis *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), *polyvinyl chloride* (PVC), *polystyrene* (PS) dan sebagainya. Sampah plastik merupakan pencemar lingkungan yang sulit untuk terurai atau terurai dalam waktu yang sangat lama sehingga sangat berpotensi untuk mencemari lingkungan.

Upaya yang dapat dilakukan dalam rangka memanfaatkan sampah plastik adalah dengan mengkonversi

menjadi bahan bakar atau minyak. Salah satu teknologi yang dapat digunakan memenuhi konsep *zero waste* adalah pirolisis, dimana produk dari pirolisis itu sendiri secara umum terdiri dari padat, cair dan gas, yang semuanya dapat dimanfaatkan sesuai dengan bahan baku yang digunakan, dapat berupa material bahan alam tumbuhan (biomassa) atau berupa polimer. Bahan baku merupakan salah satu dari variabel proses yang mempengaruhi produk akhir pirolisis, selain bahan baku, produk akhir pirolisis juga dipengaruhi oleh variabel proses seperti suhu, *heating rate*, kadar air, ukuran partikel, waktu tinggal, katalis, dan lain sebagainya.

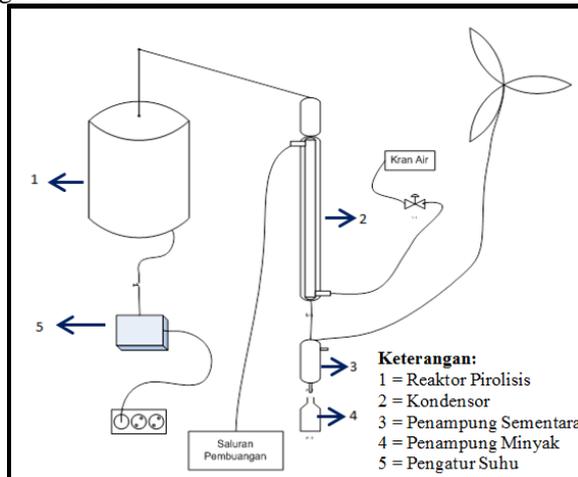
Dalam penelitian ini, variabel proses yang dipilih adalah suhu pada sampah plastik PS, pemilihan tersebut didasarkan pada tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan produk minyak yang berasal dari sampah plastik sebanyak mungkin, dimana untuk memperoleh

produk tersebut bahan baku yang dipilih adalah sampah *styrofoam*, yang merupakan sampah plastik yang tidak dapat terurai atau terurai dalam waktu yang sangat lama, kurang diminati pasar/pemulung dan merupakan bahan yang berasal dari minyak bumi sehingga jika dipanaskan pada suhu tertentu dapat dihasilkan produk minyak kembali, dimana jumlah minyak terbanyak didapatkan pada suhu tertentu, yaitu pada kisaran suhu 400°C hingga 500°C.

## METODE PENELITIAN

### 2.1 Skema Alat Penelitian

Skema alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Skema Alat Penelitian

### 2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampah plastik jenis polistiren/*styrofoam* (tempat buah/sayur).

### 2.3 Prosedur Penelitian

#### 2.3.1 Prosedur Proses Pirolisis

Bahan baku sampah plastik polistiren dicacah dan ditimbang sebanyak 50 gram, pencacahan disesuaikan ukurannya agar dapat masuk ke dalam reaktor. Bahan dimasukkan ke dalam reaktor dan tutup reaktor dikunci rapat sehingga tidak ada kontak langsung dengan udara. Kondenser diisi air, listrik dihidupkan, suhu diatur pada  $T=400^{\circ}\text{C}$ ,  $450^{\circ}\text{C}$  dan  $500^{\circ}\text{C}$ . Kemudian minyak pirolisis diambil setelah dilakukan pendinginan hingga mencapai suhu kamar.

#### 2.3.2 Prosedur Analisis Hasil Proses Pirolisis

Minyak hasil pirolisis diukur volumenya dan ditimbang beratnya. Volume minyak hasil pirolisis ( $v$ ) dibandingkan dengan berat bahan mula-mula ( $w_0$ ) seperti persamaan (1) berikut:

$$\frac{\text{volume}}{\text{berat mula-mula}} = \frac{v}{w_0} \left( \frac{\text{ml}}{\text{g}} \right) \quad (1)$$

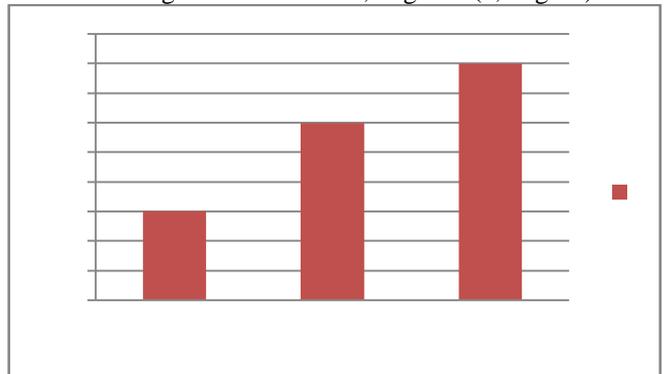
Selanjutnya berat minyak hasil pirolisis ( $w_t$ ) dibandingkan terhadap berat bahan mula-mula ( $w_0$ ) untuk mendapatkan *yield*, sebagaimana persamaan (2) berikut:

$$\text{yield} = \frac{w_t}{w_0} \times 100\% \quad (2)$$

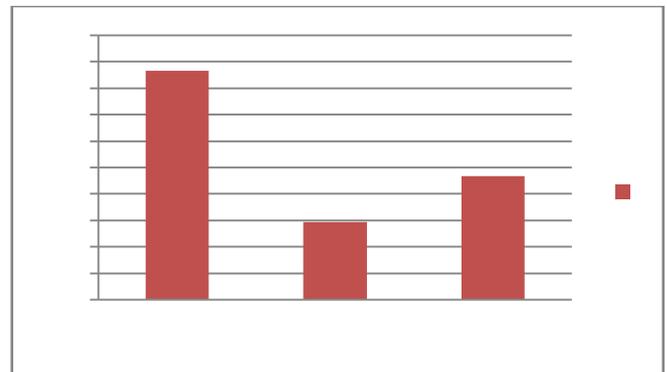
Minyak hasil pirolisis dianalisa secara fisika meliputi *specific gravity*, nilai kalor, *flash point*, *pour point*, dan viskositas kinematik. Selain itu, juga dilakukan identifikasi secara kimia untuk mengetahui komposisi senyawa pada minyak dengan GC-MS.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini reaktor pirolisis yang digunakan masih dalam skala laboratorium dengan tinggi 36 cm, diameter alas 9,5 cm, tinggi pemanas 40 cm dan diameter pemanas 30 cm. Pada dimensi tersebut dilakukan pengisian bahan baku plastik PS dengan massa sebesar 50 gram sehingga densitas rata-rata didalam tabung reaktor sebesar  $0,02 \text{ g/cm}^3$  ( $0,02 \text{ g/ml}$ ).



Gambar 2. Perbandingan  $v/w_0$  rata-rata yang dihasilkan pada pirolisis plastik PS



Gambar 3. Perbandingan *yield* rata-rata pada pirolisis plastik PS

Gambar 2 menunjukkan kenaikan suhu mengakibatkan jumlah  $v/w_0$  (ml/g) pada plastik PS cenderung konstan (mengalami kenaikan namun tidak signifikan). Jumlah  $v/w_0$  (ml/g) minyak hasil pirolisis plastik PS merupakan hasil polimerisasi dari monomer-monomer stirena yang mempunyai fase cair sehingga ketika polistirena terdepolimerisasi maka akan lebih banyak menghasilkan produk cair.

Gambar 3 menunjukkan *yield* pada pirolisis plastik PS cenderung konstan meskipun suhu bertambah (terjadi penambahan *yield* namun jumlahnya sangat kecil/tidak signifikan dan dapat dianggap konstan). Pada plastik PS,  $v/w_0$  (ml/g) minyak yang dihasilkan dan *yield* cenderung konstan namun terdapat perbedaan perilaku. Perbedaan perilaku tersebut menunjukkan adanya penurunan massa dari minyak yang dihasilkan. Hal ini terjadi berkaitan dengan densitas minyak plastik hasil pirolisis PS yang pada suhu  $450^{\circ}\text{C}$  dan  $500^{\circ}\text{C}$  nilai densitasnya lebih kecil dibandingkan densitas minyak plastik hasil pirolisis PS pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$ .

Adapun perbandingan minyak hasil pirolisis plastik PS pada penelitian ini dengan peneliti lain ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan minyak hasil pirolisis plastik PS dengan penelitian lain

|                             | Parameter       |                   |                      |                        |                     |             |            |              |
|-----------------------------|-----------------|-------------------|----------------------|------------------------|---------------------|-------------|------------|--------------|
|                             | Densitas (15°C) | SG at 60/60 °F    | API Gravity at 60 °F | Viskositas kinematik   | Gross Heating Value | Flash Point | Pour Point | Water Cont.  |
| Satuan                      | gram/ml         | -                 | -                    | mm <sup>2</sup> /s     | BTU/lb              | °C          | °C         | % vol        |
| Minyak PS <sup>(1)</sup>    | 0,931           | 0,9315            | 20,4                 | 1,005 (40°C)           | 19025               | 20,5        | < -24      | Tidak diukur |
| Minyak PS+PE <sup>(1)</sup> | 0,89 s/d 0,92   | 0,8911 s/d 0,9211 | 27,3 s/d 22,1        | 0,981 s/d 1,008 (40°C) | 19098 s/d 19300     | < 10        | < -24      | Tidak diukur |
| Minyak PS+PP <sup>(2)</sup> | 0,88 s/d 0,92   | 0,8812 s/d 0,9174 | 29,1 s/d 22,7        | 0,912 s/d 0,995 (40°C) | 19124 s/d 19369     | < 10        | < -24      | Tidak diukur |
| Minyak PS 400°C             | 0,925           | 0,9257            | 21,3                 | 1,027 (40°C)           | 19079               | 34,5        | < -33      | Tidak diukur |
| Minyak PS 450°C             | 0,921           | 0,9217            | 22                   | 0,942 (40°C)           | 19108               | 32,5        | < -33      | Tidak diukur |
| Minyak PS 500°C             | 0,905           | 0,9052            | 24,8                 | 0,991 (40°C)           | 19222               | 28,5        | -6         | Tidak diukur |

Hasil penelitian oleh Reynaldy<sup>[1]</sup> dan Efendi<sup>[2]</sup> yang dibandingkan dengan penelitian ini semuanya menunjukkan bahwa nilai *specific gravity* sesuai dengan teori, yaitu *specific gravity* minyak umumnya lebih rendah dari *specific gravity* air, antara 0,74 sampai 0,96 dan nilai *API Gravity* minyak hasil pirolisis lebih besar dari *API Gravity* air yang bernilai 10, dimana *API Gravity* bahan minyak juga lebih besar dari 10. Penelitian oleh Reynaldy<sup>[1]</sup> dan Efendi<sup>[2]</sup> dibandingkan dengan penelitian ini, dimana keduanya menunjukkan nilai kalor dari minyak PS sekitar 19.000 BTU/lb. Selanjutnya nilai *flash point* pada penelitian ini dibandingkan dengan penelitian lain, dimana hasilnya menunjukkan nilai yang berbeda, pada penelitian ini minyak hasil pirolisis yang dihasilkan memiliki nilai *flash point* yang lebih tinggi sedangkan pada penelitian lain memiliki nilai *flash point* yang lebih rendah yang berarti bahwa minyak yang diteliti oleh Reynaldy<sup>[1]</sup> dan Efendi<sup>[2]</sup> bersifat mudah terbakar. Perbedaan nilai *flash point* ini dapat terjadi kemungkinan karena perbedaan jenis dan komposisi bahan baku yang digunakan. Adapun nilai *pour point* pada penelitian ini dan penelitian lain menunjukkan bahwa minyak PS memiliki nilai *pour point* yang sangat rendah yang berarti minyak masih berbentuk cair pada suhu yang sangat rendah sehingga masih dapat digunakan meskipun disimpan pada suhu yang rendah karena minyak tidak membeku.

Hasil analisa minyak hasil pirolisis plastik PS pada penelitian ini kemudian dibandingkan dengan beberapa minyak *kerosene*, solar, bensin, HFO dan LFO seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan minyak hasil pirolisis plastik PS dengan *kerosene*, solar, bensin, HFO dan LFO

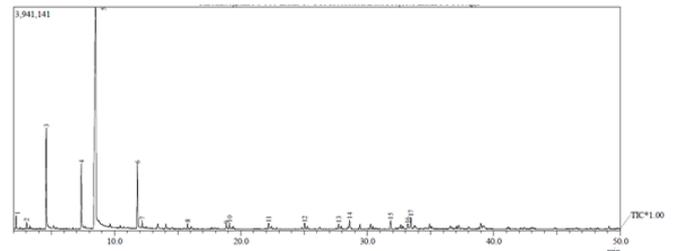
|                                 | Parameter        |                             |                             |                     |              |               |
|---------------------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------|---------------|
|                                 | SG at 60/60 °F   | Viskositas kinematik (40°C) | Viskositas kinematik (50°C) | Gross Heating Value | Flash Point  | Pour Point    |
| Satuan                          | -                | mm <sup>2</sup> /s          | mm <sup>2</sup> /s          | BTU/lb              | °C           | °C            |
| <i>Kerosene</i> (3,4,5,8,11,12) | Maks 0,835       | 1,2 (30°C)<br>2,71 (20°C)   | --                          | 18642,61            | Min 38       | -47           |
| Solar (7,10,11)                 | 0,82 sampai 0,87 | 1,3 sampai 4,1              | --                          | 18470,79            | 60 sampai 80 | -35 sampai 15 |
| Bensin (4,8,9,11)               | 0,724            | 0,88                        | --                          | 18900,34            | -43          | -3            |
| HFO (6,9,11)                    | 0,9782           | --                          | 177                         | 17654,64            | 74           | -10           |
| LFO (5,11)                      | 0,89             | 30 (30°C)                   | --                          | 17998,28            | 79           | --            |
| Minyak PS 400°C                 | 0,9257           | 1,027                       | --                          | 19079               | 34,5         | < -33         |
| Minyak PS 450°C                 | 0,9217           | 0,942                       | --                          | 19108               | 32,5         | < -33         |
| Minyak PS 500°C                 | 0,9052           | 0,991                       | --                          | 19222               | 28,5         | -6            |

Berdasarkan parameter yang diteliti pada penelitian ini seperti dalam Tabel 2, maka karakter yang ditunjukkan oleh minyak hasil pirolisis plastik PS dengan suhu 400, 450 dan 500°C lebih mendekati karakteristik bensin dilihat dari viskositas kinematik, *gross heating value*, *flash point* dan *pour point* nya.

Pada penelitian ini minyak hasil pirolisis PS cenderung mendekati karakteristik bensin yang memiliki atom karbon pendek (C4 sampai C12) dimana jumlah atom karbon PS sendiri adalah C8. Hal ini terjadi karena untuk pirolisis PS perengkahan yang terjadi sudah dapat mengubah polistirena menjadi monomer-monomer stiren yang rantai karbonnya lebih pendek.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Pratama<sup>[13]</sup> dengan mempirolisis limbah plastik untuk bahan bakar alternatif didapatkan kesimpulan bahwa komposisi limbah plastik sangat mempengaruhi kecenderungan pembentukan distribusi nomor atom karbon pada senyawa hidrokarbon minyak pirolisis. Plastik jenis PE dapat mengarahkan pembentukan fraksi atom sedang (C12-C20) hingga panjang (>C20), fraksi diesel lebih banyak terbentuk dari minyak pirolisis plastik yang berasal dari bahan baku plastik tunggal jenis PE. Penggunaan campuran limbah plastik lain seperti PP, PS, PET dan *others* dapat mengurangi kecenderungan pembentukan senyawa atom karbon panjang dan sebaliknya meningkatkan kecenderungan pembentukan senyawa atom karbon pendek dengan nomor atom karbon yang lebih rendah.

Pada analisa karakteristik kimia menggunakan GC-MS tidak semua minyak hasil pirolisis plastik PS dilakukan pengujian, melainkan hanya dipilih minyak plastik dengan suhu pirolisis 500°C dengan anggapan bahwa pada suhu tersebut plastik PS sudah terdekomposisi maksimal. Kromatogram sampel minyak hasil pirolisis plastik PS ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Kromatogram sampel minyak hasil pirolisis plastik PS

Hasil uji menggunakan GC-MS menunjukkan minyak hasil pirolisis plastik PS senyawa terbanyak adalah stirene (60,84%), toluena (11,21%), alpha-metilstirena (8,75%), etilbenzena (8,41%) dan lain-lain (10,79%) seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. GC-MS Minyak hasil pirolisis plastik PS dengan suhu 500°C

| No. | Nama                                       | % berat |
|-----|--|---------|
| 1.  | Stirene                                    | 60,84   |
| 2.  | Toluena                                    | 11,21   |
| 3.  | Alpha-metilstirena                         | 8,75    |
| 4.  | Etilbenzena                                | 8,41    |
| 5.  | Benzene, 3-butenil- (CAS) 3-Butenilbenzene | 1,69    |
| 6.  | Bibenzil                                   | 1,34    |
| 7.  | 1,3-Diphenilpropane                        | 1,24    |
| 8.  | Lain-lain                                  | 6,52    |

Penelitian yang dilakukan oleh Reynaldy<sup>[1]</sup> untuk pirolisis limbah polistirena memberikan hasil analisa GC-MS yang sama dengan penelitian ini yaitu menghasilkan senyawa terbanyak stirena (56,9%) disusul oleh toluena

(12,09%). Banyaknya senyawa stirene dalam minyak hasil pirolisis plastik PS ini menyebabkan minyak tersebut memiliki aroma yang khas, mengingat stirena tergolong senyawa aromatik.

Berdasarkan hasil analisis GC-MS terhadap minyak hasil pirolisis plastik PS mengandung stirena sebesar 61%. Kandungan stirena yang dominan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri kimia dan bahan pembuatan plastik dan karet sintetis. Dalam industri kimia, stirena merupakan bahan baku pembuatan material seperti polistirena, ABS, stirena-butadiene rubber (SBR), stirena-butadiene latex, stirena-isopropene-stirena (SIS), stirena-etilena/butyene-stirena, dan lain sebagainya. Bahan-bahan ini diantaranya digunakan dalam industri karet, plastik, insulator, *fiberglass*, pipa, suku cadang otomotif dan wadah makanan. Stirena memiliki rumus molekul  $C_8H_8$  atau  $C_6H_5-C_2H_3$ . Perlu proses lanjutan untuk memisahkan stirena dari senyawa lain sehingga diperoleh stirena murni dalam bentuk cairan bening yang berminyak<sup>[1]</sup>.

Disamping mengandung stirena, minyak hasil pirolisis plastik PS juga mengandung toluena sebesar 11,21%, dimana toluena ( $C_7H_8$ ) merupakan cairan bening tak berwarna yang tak larut dalam air dengan aroma seperti pengencer cat dan berbau harum seperti benzena. *Solvent* atau pelarut merupakan suatu cairan, padatan, atau gas yang dapat melarutkan zat-zat terlarut lain, baik yang berupa padatan, cairan maupun gas dan menghasilkan sebuah larutan. Toluena dapat dimanfaatkan untuk bahan pembuatan asam benzoat, bahan pembuatan trinitro toluena (TNT) dan sebagai pelarut senyawa karbon<sup>[1]</sup>.

Pada penelitian ini dibatasi pada produk akhir minyak sehingga untuk produk gas tidak diteliti komposisinya.

## SIMPULAN

Kuantitas minyak hasil pirolisis sampah plastik *polystyrene* (PS) pada suhu 400, 450 dan 500°C berturut-turut adalah 0,89 ml/g; 0,905 ml/g dan 0,915 ml/g. Adapun *yield* (wt%) minyak hasil pirolisis sampah plastik *polystyrene* (PS) pada suhu 400, 450 dan 500°C berturut-turut adalah 80,94 wt%; 79,79 wt% dan 80,14 wt%.

Karakter yang ditunjukkan oleh minyak hasil pirolisis plastik PS dengan suhu 400, 450 dan 500°C lebih mendekati karakteristik bensin dilihat dari viskositas kinematik, *gross heating value*, *flash point* dan *pour point* nya.

Berdasarkan analisis teknik, penanganan sampah plastik PS dengan metode pirolisis memberikan manfaat bagi masyarakat yang menjadikannya layak untuk dijalankan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Reynaldy, D., 2012, "*Pengaruh Penambahan Aditif Polietilena terhadap Hasil Pirolisis Limbah Polistirena secara Batch*", Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- [2] Efendi, M.A.A., 2012, "*Studi Penambahan Polipropilena sebagai Aditif pada Proses Pirolisis Limbah Polistirena*", Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- [3] Peraturan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. : 002 / P / D.M. / Migas / 1979.
- [4] <http://www.engineeringtoolbox.com> diakses pada 28 April 2014.
- [5] Ramadhan, M. A. A., 2014, "*Pengaruh Variasi Suhu pada Yield Minyak Hasil Pirolisis Plastik*", Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- [6] <http://wikipedia.com> diakses pada 28 April 2014.
- [7] Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Nomor : 3675 K/24/DJM/2006.
- [8] Wiratmaja, I.G., 2010, "*Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni*", *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM*, Vol.4, No.2, 145-154.
- [9] Sudrajad, A., 2005, "*Campuran Bahan Bakar Waste Plastic Disposal (WPD) dan Orimulsion sebagai Alternatif Bahan Bakar Motor Diesel*", *INOVASI* Vol.5, 41-46, ISSN 0917-8376-XVII.
- [10] Strong, C., Erickson, C., & Shukla, D., 2004, "*Evaluation of Biodiesel Fuel*", Montana State University: Bozeman, 1-70.
- [11] Das, S. & Pande, S., 2007, *Pyrolysis and Catalytic Cracking of Municipal Plastic Waste for Recovery of Gasoline Range Hydrocarbons*, Thesis, Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela.
- [12] Pertamina 2012 diakses pada 28 April 2014.
- [13] Pratama, N. N., 2013, "*Kajian Eksperimental Karakteristik dan Aplikasi Minyak Hasil Pirolisis Limbah Plastik sebagai Bahan Bakar Alternatif pada Motor Diesel dan Kompor Minyak Bertekanan*", Tesis, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.