

## PEMBUATAN BAHAN BAKAR DARI PIROLISIS LIMBAH PLASTIK JENIS POLIETILEN, POLISTIREN DAN OTHER

Gunawan Budi Susilo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 6 Desember 2015, revisi masuk: 13 Januari 2016, diterima: 2 Februari 2016

### ABSTRACT

*Pyrolysis processis definedas a reaction to chemical degradation caused by heat energy with little/absence of oxygen. Pyrolysis of waste plastics into liquid fuels using a batch reactor in which the heatingis set at a temperature of 450°C. This study was conducted to determine the properties of mixed plastic waste pyrolysis oil PE 50% + PS 50%, PE 50% + Other 50% , PE 50% +PS 25% + Other 25% include specific gravity, kinematic viscosity, pour point, flash point,water content and ash content. The results of the calculation of the percentage ofthe highest pyrolysis oil is a mixture of PE 50% + PS 50% of 52.36%, while the lowest percentage is a mixture of PE 50% + Other 50% at 43.41%. Polystyrene plastic addition type increase in the percentage of liquid, the higher the percentage, the percentage of liquid plastic Polystyrene produce higher. Conversely with the addition of plastic Other resulted in a decrease in the percentage of liquid product. Characteristics of pyrolysis fuel oil for specific gravity, and water content is higher than biodiesel. Conversely to kinematic viscosity, flash point, and lower ash content. Pour point to a mixture PE 50% + PS 25% + Other 25 % equivalent to biodiesel (6°C), PE 50% and 50% PS (-12°C) is lower than biodiesel and PE 50% +Other 50% (12°C) higher of biodiesel.*

**Keywords :** *Pyrolysis, Waste plastics, Polyethylene, Polystyrene, Mass Balance.*

### INTISARI

Proses pirolisis didefinisikan sebagai reaksi degradasi kimia yang disebabkan oleh energi panas dengan sedikit/ketiadaan oksigen. Pirolisis limbah plastik menjadi bahan bakar cair menggunakan reaktor batch dimana pemanasannya diatur pada suhu 450oC. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui properties minyak pirolisis limbah plastik campuran PE 50% + PS 50%, PE 50% + Other 50%, PE 50% + PS 25% + Other 25% meliputi *specific gravity, viscosity kinematic, pour point, flash point, water content* dan *ash content*. Hasil perhitungan persentase minyak pirolisis tertinggi adalah campuran PE 50% + PS 50% sebesar 52,36%, sedangkan persentase terendah adalah campuran PE 50% + Other 50% sebesar 43,41%. Penambahan plastik jenis *Polystyrene* mengakibatkan peningkatan presentase cair, semakin tinggi persentase plastik *Polystyrene* maka persentase cair yang dihasilkan semakin tinggi. Sebaliknya dengan penambahan plastik jenis *Other* mengakibatkan penurunan pada persentase produk cair. Karakteristik bahan bakar minyak pirolisis untuk *specific grafiti*, dan *water content* lebih tinggi dari pada biosolar. Sebaliknya untuk *kinematic viscosity, flash point*, dan *ash content* lebih rendah. *Pour point* untuk campuran PE 50% + PS 25% + Other 25% setara dengan biosolar (6°C), PE 50% dan PS 50% (-12°C) lebih rendah dari biosolar dan PE 50% + Other 50% (12°C) lebih tinggi dari biosolar.

**Kata Kunci:** Pirolisis, Limbah plastik, Polietilen, Polistiren, Kesetimbangan massa.

### PENDAHULUAN

Sejak tahun 1950-an plastik menjadi bagian penting dalam hidup manusia. Pada tahun 1976 plastik dikatakan sebagai materi yang paling

banyak digunakan dan dipilih sebagai salah satu dari 100 berita kejadian pada abad ini. Deputi Pencemaran Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KLH) menyebutkan, setiap individu rata-rata

<sup>1</sup> gunawanbudisusilo@gmail.com

menghasilkan 0,8 kilogram sampah dalam satu hari dimana 15 persennya adalah plastik. Dengan asumsi ada sekitar 220 juta penduduk di Indonesia, maka sampah plastik yang tertimbun mencapai 26.500 ton per hari, sedangkan jumlah timbunan sampah nasional diperkirakan mencapai 176.000 ton perhari. Penyumbang terbesar sampah berasal dari sampah rumah tangga yang mencapai sekitar 58 persen dari total sampah setiap harinya. Data dari *Environment Protection Body*, sebuah lembaga lingkungan hidup di Amerika Serikat mencatat sekitar 500 miliar sampai 1 triliun tas plastik digunakan diseluruh dunia setiap tahunnya. Pirolisis merupakan teknologi alternatif sebagai sumber hidrokarbon. Berbagai teknik pirolisis dikembangkan tidak hanya untuk konversi bahan-bahan polimer menjadi hidrokarbon bermanfaat tetapi juga digunakan untuk sintesis hidrokarbon berbahan biomassa. Disamping sumber dayanya yang dapat terbarukan, teknologi pirolisis dapat dikembangkan dalam berbagai variasi metode mengarah pada teknologi bersih dan memiliki aspek pemanfaatan sumber daya alam. Pirolisis adalah suatu teknik daur ulang limbah yang mampu mengkonversi limbah plastik menjadi bahan bakar, atau bahan berharga melalui suatu proses degradasi *thermal* atau katalik (Scheirs and Kaminsky 2006). Metode ini diterapkan untuk mengubah baik termoplastik dan termoset menjadi bahan bakar dan menggunakan campuran limbah plastik tanpa dicuci atau dipilah sehingga mempermudah dan lebih sederhana. Penelitian ini akan dibatasi pada reaktor yang digunakan adalah tipe *batch* yang dilapisi oleh isolator berupa semen tahan panas, *glaswool* dan *aluminium foil*. Bahan baku plastik yang digunakan adalah campuran PE, PS, dan *Other*. Temperatur reaktor dan reformer 450°C. Penelitian ini menggunakan katalis NZ (*natural zeolite*) *fresh*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan variasi *feedstock* campuran terhadap produk cair yang dihasilkan, mengetahui bagaimana pengaruh komposisi limbah plastik campuran terhadap karakteristik produk cair yang meliputi:

*specific gravity, viscosity kinematic, flash point, pour point, cloud point, water content, dan ash content.*

*Polyethylene* dibuat dengan jalan polimerisasi gas etilen, yang dapat diperoleh dengan memberi hidrogen gas petroleum pada pemecahan minyak (*nafta*), gas alam atau asetilen. *Polyethylene* digolongkan menjadi *Polyethylene* tekanan tinggi, menengah, dan rendah. Secara kimia *Polyethylene* merupakan *paraffin* yang mempunyai berat molekul tinggi, terbakar jika dinyalakan dan menjadi cair. Monomer *styrene* dibuat dari *benzene* dan *etilene* dipolimerisasikan oleh panas, cahaya dan katalis. *Polystyrene* tidak berwarna dan merupakan resin transparan, dapat diwarnai secara bening. Massa jenis lebih rendah dari *Polyethylene* dan *Polypropylene*. Memiliki sifat listrik yang baik sekali terutama bagi frekuensi tinggi, walaupun kestabilan terhadap cahaya dan sifat tahan cuacanya agak rendah daripada resin metakrilik. Ketahanan radiasi sangat baik. Plastik Jenis *Other* dibagi menjadi: *Polymethyl methacrylate* (PMMA), *Polycarbonate* (PC), Nylon, *Acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) (Tata Surdia, 2005).

Bhaskar, *et.al.* (2003), menjelaskan bahwa ada sejumlah penelitian tentang pirolisis satu jenis plastik dan plastik campuran seperti PP/PE, PP/PS, PE/PS dicampur dengan dan tanpa PVC menjadi produk cair. Pirolisis dari plastik campuran yang mengandung PVC menghasilkan senyawa anorganik dan senyawa klorin organik selama tahap awal proses pirolisis. Senyawa halogen seperti yang terkandung dalam produk cair tidak diinginkan untuk digunakan sebagai bahan bakar. Minyak dari pirolisis dapat dikonversi menjadi industri petrokimia, jika klorin tidak melebihi 10 ppm. Adachi, *et.al.* (2009), menyebutkan bahwa jenis plastik dan campuran plastik berpengaruh terhadap persentase komposisi minyak plastik dan kualitas minyak yang dihasilkan. Dalam kasus plastik campuran tidak ada korelasi yang kuat khususnya dalam tingkat pencampuran dan hasil produk cair. Secara keseluruhan hasil produk cair lebih rendah dan memiliki banyak residu,

terutama hasil PP dan PS lebih dari 90%. Hal ini diperlukan untuk memverifikasi perbedaan antara kondisi reaksi perhitungan dan eksperimen.

Sarker, *et.al.* (2012), mengaplikasikan tiga jenis campuran limbah plastik untuk produksi bahan bakar hidrokarbon cair tanpa menambahkan katalis apapun. Pemanfaatan proses dapat mengurangi dampak limbah plastik secara signifikan. Panas dekomposisi dari plastik yang paling umum seperti *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polypropylene* (PP) dan *Polystyrene* (PS) telah dilakukan untuk menghasilkan campuran hidrokarbon. Reaktor ini dihubungkan dengan kondensasi standar sistem sirkulasi air.

#### METODE

Penelitian dilakukan dengan menyiapkan bahan baku sampah plastik LDPE, PS, dan *Other*, kemudian dicacah. Sistem *waste plastic to oil* bekerja dengan menggunakan pemanas untuk menaikkan suhu reaktor hingga pada suhu 450°C. Proses pemanasan ini disebut proses pirolisis karena proses pemberian kalornya tanpa disertai oleh adanya oksigen dan murni karena adanya perpindahan panas, konduksi, konveksi dan radiasi. Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis degradasi *thermal* kemudian mengalir melalui kondensator menuju ke penampung minyak. Produk yang mengalir dalam kondensator adalah cair dan gas. Setelah gas mulai berkurang dan tidak ada lagi tetesan produk cair pada tabung penampung, proses dihentikan, selanjutnya produk cair dan padat ditimbang. Massa produk gas dapat dicari dengan cara mengurangi massa total bahan baku dengan massa produk cair dan padat. Massa minyak dari proses pirolisis kemudian dianalisa di laboratorium untuk diuji karakteristik dan kandungan kimia yang terkandung didalamnya.

Bhaskar, *et.al.* (2003), menjelaskan bahwa ada sejumlah penelitian tentang pirolisis satu jenis plastik dan plastik campuran seperti PP/PE, PP/PS, PE/PS dicampur dengan dan tanpa PVC menjadi produk cair. Pirolisis dari plastik campuran yang mengandung PVC

menghasilkan senyawa anorganik dan senyawa klorin organik selama tahap awal proses pirolisis. Senyawa halogen seperti yang terkandung dalam produk cair tidak diinginkan untuk digunakan sebagai bahan bakar. Minyak dari pirolisis dapat dikonversi menjadi industri petrokimia, jika klorin tidak melebihi 10 ppm.

Adachi, *et.al.* (2009), menyebutkan bahwa jenis plastik dan campuran plastik berpengaruh terhadap persentase komposisi minyak plastik dan kualitas minyak yang dihasilkan. Dalam kasus plastik campuran tidak ada korelasi yang kuat khususnya dalam tingkat pencampuran dan hasil produk cair. Secara keseluruhan hasil produk cair lebih rendah dan memiliki banyak residu, terutama hasil PP dan PS lebih dari 90%. Hal ini diperlukan untuk memverifikasi perbedaan antara kondisi reaksi perhitungan dan eksperimen.

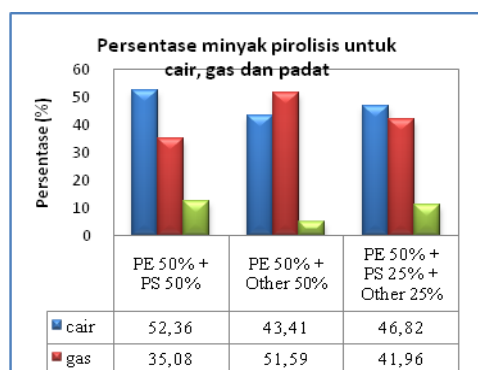
Sarker, *et.al.* (2012), mengaplikasikan tiga jenis campuran limbah plastik untuk produksi bahan bakar hidrokarbon cair tanpa menambahkan katalis apapun. Pemanfaatan proses dapat mengurangi dampak limbah plastik secara signifikan. Panas dekomposisi dari plastik yang paling umum seperti *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polypropylene* (PP) dan *Polystyrene* (PS) telah dilakukan untuk menghasilkan campuran hidrokarbon. Reaktor ini dihubungkan dengan kondensasi standar sistem sirkulasi air.

#### PEMBAHASAN

Pengaruh Pirolisis Limbah Plastik Campuran terhadap Produk Cair, Gas dan Padat, campuran bahan baku limbah plastik yang digunakan dalam proses pirolisis berpengaruh terhadap produk cair, gas dan padat. Persentase cair campuran plastik PE 50% + PS 50% (52,36%), PE 50% + PS 25% + *Other* 25% (50,90%) dan PE 50% + *Other* 50% (43,41%). Minyak pirolisis campuran PE 50% + PS 50% menghasilkan persentase terbanyak dikarenakan adanya plastik jenis *Polystyrene*. Plastik jenis ini mengandung 90–95% *Polystyrene* dan 5–10% gas seperti n-butana atau n-pentana. Produk cair paling sedikit ada-

lah plastik jenis campuran PE 50% + *other* 50%, karena dalam plastik jenis *Other* terdapat campuran *aluminium foil* yang tidak dapat terurai. Produk padat terbentuk dari dekomposisi jenis polimer tertentu. Produk tersebut, pada akhir proses tergantung dari struktur kimia polimer. Persentase meningkat saat polimer tersebut mengandung unsur yang mampu bereaksi dengan atom hidrogen pada struktur kimia polimer seperti -OH dan  $\equiv\text{O}$ . Produk padat paling banyak adalah campuran PE 50% + PS 50% (12,56%) dan paling sedikit adalah PE 50% + *Other* 50% (5%). Produk gas terbanyak adalah campuran PE 50% + *Other* 50% (51,59%) dan terendah PE 50% + PS 50% (35,08%).

Gambar 1 menunjukkan data persentase hasil pirolisis untuk produk cair, gas dan padat. Nilai persentase minyak pirolisis tergantung dari jenis reaktor yang digunakan, desain dan temperatur, jumlah aliran nitrogen, *residence time*, dan katalis yang digunakan. Kecenderungan persentase minyak pirolisis berdasarkan komposisi campuran dari jenis plastik yang digunakan sebagai bahan baku adalah sama. Semakin banyak plastik *Polystyrene* maka persentase produk cair yang dihasilkan semakin meningkat, sebaliknya penambahan plastik jenis *Other* akan menghasilkan minyak pirolisis yang lebih sedikit.



Gambar 1. Keseimbangan massa

Campuran plastik jenis *Polyethylene* dengan jenis plastik lain akan menghasilkan persentase minyak pirolisis yang berbeda-beda. Fenomena ini

tentu sangat menguntungkan karena proses selektivitas jenis limbah plastik yang mahal tidak perlu dilakukan dan proses pengolahan limbahplastik menggunakan metode pirolisis menjadi lebih sederhana.

Pengujian karakteristik dari minyak pirolisis dilakukan di Laboratorium Minyak Bumi dan Batubara Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada (Tabel 1). Karakteristik yang diujikan diantaranya adalah *specific gravity*, *viscosity kinematics*, *flash point*, *pour point*, *cloud point*, *water content* dan *ash content*. Nilai *specific gravity* (SG) tertinggi dihasilkan oleh minyak campuran dari PE 50% + PS 50% (0,8812), sedangkan SG terendah adalah campuran dari PE 50% + *Other* 50% (0,8474). Semakin tinggi nilai SG maka minyak yang dapat ditampung dengan volume yang sama akan semakin besar. Dari ketiga jenis minyak hasil pirolisis campuran, *specific gravity* minyak pirolisis PE 50% + *Other* 50% (0,8474) memiliki nilai terdekat dengan SG biosolar (0,8445).

Nilai viskositas kinematik untuk tiga jenis minyak hasil pirolisis campuran berkisar antara 1,162mm<sup>2</sup>/s sampai 1,421mm<sup>2</sup>/s. Nilai ini lebih rendah jika dibandingkan dengan biosolar yaitu 4,012 mm<sup>2</sup>/s. Semakin rendah viskositas kinematik menyebabkan minyak lebih cepat mengalir, sehingga aliran bahan bakar dari tangki bahan bakar ke ruang bakar semakin cepat. Hal ini terjadi karena semakin rendah nilai viskositas kinematik, gaya gesek fluida dengan permukaan semakin kecil.

Minyak pirolisis ketiga campuran mulai menyala pada suhu 10°C. Pengujian dengan temperatur dibawah 10°C tidak bisa dianalisis karena minimum alat untuk mengukur adalah 10°C. Titik nyala (*flash point*) dari minyak hasil pirolisis jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan titik nyala dari biosolar (66,5°C). Bahan bakar biosolar lebih aman dari pada jenis bahan bakar lain karena mempunyai titik nyala yang lebih tinggi. Titik nyala berkaitan dengan masalah keamanan dan penanganan seperti distribusi dan penyimpanan. Minyak pirolisis plastik bersifat mudah terbakar. Beberapa sumber pengapian

bahan bakar perlu dihindari seperti: permukaan dinding yang panas, gesekan fluida dengan dinding, gas atau uap yang mudah terbakar, arus listrik, cahaya/kilat, reaksi eksotermis dan gelombang kejut.

Titik tuang (*pour point*) minyak hasil pirolisis PE 50% + PS 25% + *Other* 25% mempunyai nilai sama dengan titik tuang biosolar yaitu sebesar 6°C. Sedangkan untuk PE 50% + *Other* 50% mempunyai titik tuang sebesar 12°C dan

untuk PE 50% + PS 50% sebesar -12°C. Nilai titik tuang rendah sangat menguntungkan saat operasi kerja mesin pada musim dingin. Pada musim dingin biasanya terjadi pembentukan kristalisasi setelah temperatur ruang mencapai titik tuang bahan bakar. Hal ini mempunyai dampak pada kemampuan mengalir bahan bakar menjadi berkurang. Rendahnya titik tuang dapat menjaga agar bahan

Tabel 1. Karakteristik minyak pirolisis

Karakteristik	Satuan	Biosolar	PE 50% + PS 50%	PE 50% + <i>Other</i> 50%	PE 50% + PS 25% + <i>Other</i> 25%
<i>Specific Gravity at 60/60 °f</i>	-	0,8445	0,8812	0,8474	0,8495
<i>Viscosity Kinematic at 40 °C</i>	mm <sup>2</sup> /s	4,012	1,162	1,421	1,362
<i>Flash Point PM.c.c</i>	°C	66.5	*)	*)	*)
<i>Pour Point</i>	°C	6	-12	12	6
<i>Cloud Point</i>	°C	4.0	**)	**)	**)
<i>Water Content</i>	% vol	<i>Trace</i>	0,8	0,6	0,4
<i>Ash Content</i>	% wt	0,076	0,062	0,056	0,033

bakar tetap memiliki kemampuan yang baik untuk mengalirkan bahan bakar dari tangki ke ruang bakar.

Kandungan air (*water content*) pada minyak pirolisis limbah plastik campuran masih tinggi, berkisar antara 0,4–0,8% vol. Hal ini disebabkan karena adanya sebagian uap air yang menguap dalam reaktor tidak dapat keluar, sehingga terkondensasi di dalam *oil container*. Uap air tersebut berasal dari bahan baku limbah plastik yang masih sedikit basah atau lembab. Kandungan air dalam minyak produk pirolisis masih relatif lebih besar jika dibandingkan dengan kandungan air pada biosolar yaitu sebesar 0,02% vol.

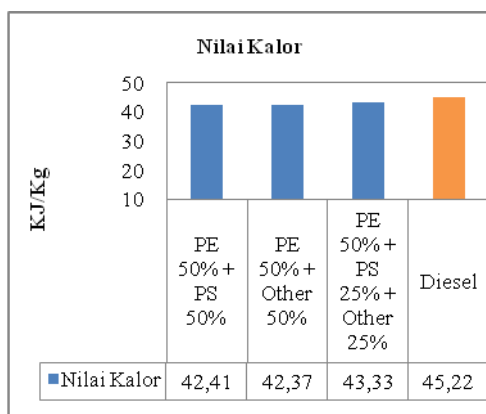
Kandungan abu (*ash content*) pada minyak pirolisis bervariasi. Kandungan abu tertinggi untuk PE 50% + PS 50% sebesar 0,062% wt dan untuk kandungan abu terendah pada campuran minyak pirolisis PE 50% + PS 25% + *Other* 25% yaitu 0,033% wt. Kandungan abu pada biosolar adalah sebesar 0,076% wt. Tingginya kandungan abu disebabkan oleh tingginya persentase

produk padat yang diproduksi dari proses pirolisis, sebagian dari padat tersebut masuk dan terbawa dalam saluran menuju *oil container*.

Perhitungan nilai kalor dari setiap minyak pirolisis dilakukan di Laboratorium Gizi dan Pangan PAU UGM menggunakan *bomb calorimeter*. Hasil perhitungan nilai kalor menunjukkan bahwa minyak pirolisis paling tinggi dihasilkan dari campuran PE 50% + PS 25% + *Other* 25% yaitu 43,33 KJ/Kg. Nilai kalor antara PE 50% + PS 50% dan PE 50% + *Other* 50% hampir sama yaitu 42,41 KJ/Kg dan 42,37 KJ/Kg, sedangkan nilai kalor untuk biosolar 45,22 KJ/Kg. Rendahnya nilai kalor disebabkan karena tingginya persentase *Polystyrene* dan *Other* dalam bahan baku plastik. Penambahan bahan baku *Polystyrene* dalam bahan baku pirolisis plastik dapat mempercepat laju pirolisis dan pembentukan rantai karbon yang lebih pendek.

Hasil Analisis Kandungan Senyawa Kimia pada Minyak Hasil Pirolisis menggunakan GCMS, kandungan senyawa

wa minyak pirolisis plastik diteliti menggunakan GCMS (*Gas Chromatography Mass Spectroscopy*) Pengujian dilakukan untuk mengetahui jumlah dan senyawa kimia apa saja yang terkandung dalam setiap sampel uji. Data dari GCMS berupa *peaks* yang muncul persatuan waktu tertentu (*retention time*). Setiap *peak* menggambarkan senyawa kimia yang terkandung dalam sampel.



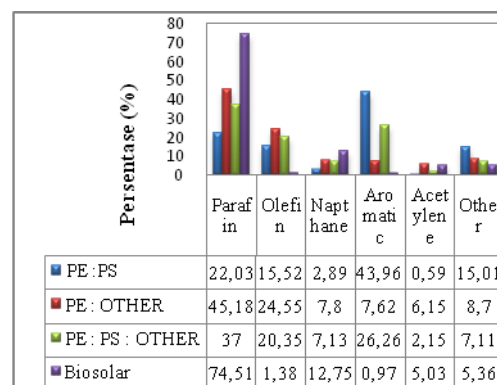
Gambar 2. Nilai kalor minyak hasil pirolisis limbah plastik

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel minyak pirolisis plastik dari komposisi limbah bahan baku campuran akan menghasilkan kecenderungan pembentukan unsur hidrokarbon yang bervariasi dari proses pirolisis termal dan katalitik. Proses pengambilan data setiap sampel berkisar 550 menit. Gambar 3. menunjukkan bahwa untuk semua sampel minyak pirolisis plastik menghasilkan jumlah *peak* yang berbeda masing-masing 96, 121, 89 dan 75. Banyaknya jumlah *peak* yang dihasilkan menunjukkan tingginya variasi untuk kandungan senyawa hidrokarbon minyak pirolisis.

Gambar 3. menunjukkan klasifikasi dari senyawa hidrokarbon. Penentuan senyawa hidrokarbon didasarkan pada formula dasar dari setiap senyawa hidrokarbon seperti *paraffin* ( $C_nH_{2n+2}$ ), *olefin* ( $C_nH_{2n}$ ), *naphthane* (*cyclo*  $C_nH_{2n}$ ), *aromatic* ( $C_nH_{2n-6}$  dan  $C_nH_n$ ) dan *acetylene* ( $C_nH_{2n-2}$ ). Senyawa selain dari kelima formula tersebut dimasukkan ke dalam kelompok senyawa *other*. Dari hasil pengujian menggunakan *Mass*

*Spectroscopy* dapat diketahui tentang formula dan nama senyawa kimianya. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa komposisi bahan baku limbah plastik pada proses pirolisis dapat menentukan arah kecenderungan untuk pembentukan senyawa-senyawa hidrokarbon yang dihasilkan.

Proses pirolisis plastik campuran PE 50% + PS 50% menghasilkan persentase *aromatic*, *paraffin* dan *olefin*, yaitu masing-masing sebesar 43,96; 22,03 dan 15,52%. Komposisi *Poly-styrene* sangat mempengaruhi tingginya persentase senyawa *aromatic*.



Gambar 3. Grafik PONA (*Paraffin*, *Olefin*, *Naphthane* dan *Aromatic*) pada minyak pirolisis

Minyak pirolisis plastik memiliki kesamaan dengan produk minyak bumi karena mengandung sejumlah senyawa *aromatic* dan hidrokarbon tak jenuh (*olefin*) yang cukup besar. Pengaruh senyawa *olefin* yang cukup besar pada sampel minyak pirolisis campuran mengakibatkan suatu proses hidrogenasi untuk menghilangkan ikatan rangkap dua atau lebih serta dapat mengubah senyawa hidrokarbon tak jenuh menjadi hidrokarbon jenuh. Secara umum, semakin tinggi persentase *aromatic*, maka *cloud point* (titik awan) dan *pour point* (titik tuang) akan semakin rendah. Semakin tinggi persentase *paraffin* maka titik awan dan titik tuang akan semakin tinggi. Hasil ini memiliki hubungan dengan hasil karakteristik minyak pirolisis pada bahan bakar PE 50% + PS 50%. Persentase *aromatic* tertinggi untuk minyak pirolisis campuran PE 50% + PS 50% memiliki nilai titik tuang terendah

yaitu  $-12^{\circ}\text{C}$ . Minyak pirolisis campuran PE 50% + *Other* 50% mengandung persentase *paraffin* tertinggi, memiliki titik tuang tertinggi di atas titik tuang biosolar yaitu  $12^{\circ}\text{C}$ . Titik awan tinggi dapat menyebabkan penyalaan pada saat mesin dingin menjadi sulit. Persentase *aromatic* yang tinggi juga dapat menghasilkan produk minyak yang memiliki titik anilin rendah, sedangkan persentase *paraffin* tinggi akan cenderung menghasilkan minyak dengan titik anilin tinggi. *Napthane* dan *olefin* menghasilkan minyak dengan titik anilin diantara kedua titik tersebut (titik anilin *paraffin* dan *aromatic*). Parameter lain yang dipengaruhi oleh jenis senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam bahan bakar minyak adalah kualitas pembakaran, yang biasanya dapat dilihat dari pengendapan karbon, pembentukan asap dan radiasi pembakaran. Senyawa *paraffin* memiliki kualitas pembakaran terbaik, sebaliknya senyawa *aromatic* memiliki kualitas pembakaran yang buruk. Senyawa *aromatic* apabila dibakar cenderung menghasilkan api yang kemerahan bahkan kehitaman dan juga menghasilkan lebih

banyak asap jika dibandingkan dengan senyawa lain. Pengujian GCMS untuk ketiga sampel minyak pirolisis yang memiliki kualitas yang paling baik adalah PE 50% + *Other* 50% karena persentase *paraffin* yang paling tinggi sedangkan persentase *aromatic* rendah. Senyawa *paraffin* biasanya cenderung memiliki massa jenis bahan bakar yang rendah namun memiliki nilai kalori yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar dari senyawa *napthane*.

Dari hasil pengujian karakteristik bahan bakar dan durasi proses pirolisis maka dapat diketahui keseimbangan energi pada setiap variasi campuran limbah plastik yang dilakukan, yaitu dengan membandingkan konsumsi energi pada setiap variasi suhu pada proses pirolisis dengan energi yang dihasilkan pada setiap produk pirolisis pada setiap variasi campuran limbah plastik. Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai kandungan energi dan konsumsi energi listrik yang diperlukan untuk mengoperasikan reaktor pirolisis.

Tabel 2. Perhitungan nilai perbandingan antara kandungan energi bahan bakar minyak pirolisis dan konsumsi energi listrik yang diperlukan

Sampel	Kandungan Energi (KJ)	Daya Reformer (kW)	Daya Reaktor (kW)	Waktu Reformer (s)	waktu reaktor (s)	Konsumsi Energi Listrik (kJ)
PE:PS	59,94	2	2	16800	64200	162,00
PE:O	66,27	2	2	16800	42000	117,60
PE:PS:O	52,16	2	2	16800	86400	206,40

Kandungan energi diukur dari perkalian antara nilai kalori minyak pirolisis plastik, massa bahan baku limbah plastik awal dan efisiensi produk cair yang dihasilkan. Nilai konsumsi energi listrik dapat diperoleh dari perhitungan sederhana perkalian antara daya dan waktu proses pirolisis. Daya yang digunakan untuk menyalakan 3 buah elemen pemanas terdiri dari 2 elemen pemanas pada *feedstock* reaktor (masing-masing 1 kW) dan 1 elemen pemanas pada *catalytic* reaktor berdaya 2 kW. Data daya ini bukan merupakan

data aktual pemakaian listrik sebenarnya, untuk perhitungan konsumsi energi listrik sebenarnya dapat dilakukan menggunakan kWh meter. Hasil perhitungan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik masih lebih besar jika dibandingkan dengan kandungan energi minyak pirolisis, untuk itu disarankan agar penggunaan gas pirolisis untuk proses pemanasan reaktor pirolisis diharapkan dapat meningkatkan kandungan energi dari produk pirolisis, hal ini tentu dapat meningkatkan keuntungan dari pemanfaatan proses daur ulang

limbah plastik menggunakan metode pirolisis.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada bab terdahulu dapat diambil beberapa kesimpulan.

Persentase produk cair pirolisis tertinggi dihasilkan oleh campuran PE 50% + PS 50% yaitu sebesar 52,36%, sedangkan persentase terendah adalah campuran PE 50% + *Other* 50% sebesar 43,41%. Penambahan plastik jenis *Polystyrene* mengakibatkan peningkatan persentase produk cair, semakin tinggi persentase plastik *Polystyrene* maka persentase produk cair yang dihasilkan semakin tinggi. Penambahan plastik jenis *other* mengakibatkan penurunan pada persentase produk cair.

Karakteristik bahan bakar produk cair pirolisis untuk *specific gravity*, dan *water content* lebih tinggi dari pada biosolar. Nilai *kinematic viscosity*, *flash point* dan *ash content* lebih rendah dari biosolar. *Pour point* untuk campuran PE 50% + PS 25% + *Other* 25% setara dengan biosolar (6°C), campuran PE 50% dan PS 50% (-12°C) lebih rendah dari biosolar dan PE 50% + *Other* 50% (12°C) lebih tinggi dari biosolar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adachi, M., Hlaing, Z.Z., Suzuki, S., Kodama, S., Nakagome, H., 2009, Study of an Oil Recovery System for Waste Plastic, The 5<sup>th</sup> ISFR, Chengdu China.
- Bhaskar, T., Uddin, A., Murai, K., Kaneko, J., Hamano, K., Kusaba, T., Muto, A., Sakata, Y., 2003, Comparison of Thermal Degradation Product from Real Municipal Waste Plastic and Model Mixed Plastics, *J. Analytical and Applied Pyrolysis* 70, pp. 579–587.
- Sarker, M., Rashid, M.M., Molla, M., Rahman, M.S., 2012, Thermal Conversion of Waste Plastic (HDPE, PP and PS) to Produce Mixture of Hydrocarbons, *Journal of Environmental Engineering* 2(5), pp.128–136.
- Surdia, T., Saito, S., 2005, Pengetahuan Bahan Teknik, PT. Pradnya Pramita, Jakarta
- Scheirs, J., Kaminsky, W., 2006, Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics into Diesel and Other Fuels, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, UK.