

PENGARUH KECEPATAN PENGADUKAN DAN RASIO MINYAK/METANOL PADA PEMURNIAN MINYAK PIROLISIS DARI LIMBAH PLASTIK *POLYETHYLENE*

Herry Purnama^{1*}, Indra Setiawan¹, Indra Gunawan¹

¹ Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Pabelan Kartasura, Surakarta 57102, Jawa Tengah

*Email: hp269@ums.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengolah limbah plastik polyethylene (PE) menjadi bahan bakar minyak menggunakan metode pirolisis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan dan rasio perbandingan minyak/metanol terhadap yield yang dihasilkan pada proses pemurnian minyak pirolisis.

Percobaan dilakukan dengan menggunakan alat pirolisis berkapasitas dua kilogram limbah plastik PE dan memiliki dua buah kondensor. Dengan berbahan bakar elpiji, pemanasan dilakukan hingga semua plastik terkonversi menjadi minyak pirolisis. Minyak pirolisis yang diamati merupakan minyak yang dihasilkan oleh kondensor pertama dan kedua. Proses pemurnian dilakukan dengan menambahkan metanol dengan perbandingan tertentu (1:2, 1:3, dan 1:4) ke dalam minyak pirolisis yang diperoleh dengan variasi kecepatan pengadukan 100, 150, dan 200 rpm. Hal lain yang diteliti adalah pengujian flash point (titik nyala) dan pour point (titik tuang) minyak pirolisis. Selain itu juga dilakukan pengujian karakteristik minyak pirolisis yang meliputi sifat-sifat fisik dari minyak pirolisis seperti massa jenis (densitas) dan viskositas.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kondisi paling baik untuk minyak pirolisis 1 (MP1) pada kecepatan pengadukan 150 rpm dengan rasio perbandingan minyak/metanol = (1:4) yang memiliki nilai yield sebesar 82,95%. Hasil pengujian karakteristik sifat fisik MP1 diperoleh densitas sebesar 0,81 g/mL, viskositas sebesar 0,69 cP, titik nyala sebesar <20°C, dan titik tuang sebesar <-21°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa sifat-sifat fisik minyak pirolisis hampir mendekati sifat fisik minyak pada umumnya. Pada minyak pirolisis 2 (MP2) diperoleh kondisi yang paling baik pada variasi kecepatan pengadukan 100 rpm dengan rasio minyak/metanol = (1:2) memiliki nilai yield sebesar 39,74%, sedangkan untuk hasil pengujian karakteristik sifat fisiknya diperoleh densitas sebesar 0,77 kg/L, viskositas 0,54 cP, titik nyala sebesar <20°C, dan titik tuang sebesar -21°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa sifat-sifat fisik MP2 hampir mendekati sifat fisik bahan bakar bensin.

Kata kunci: metanol, minyak pirolisis, plastik, polyethylene, yield

1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah plastik telah menjadi perhatian negara-negara di seluruh dunia, tidak terkecuali Indonesia. Mayoritas penduduk dunia memanfaatkan plastik untuk menjalankan berbagai aktivitas. Banyak peralatan dan hasil industri yang dihasilkan dari bahan plastik karena keunggulan yang dimilikinya, seperti lebih ekonomis, bersifat isolator, tidak mudah pecah, fleksibel, awet dan ringan.

Jenis plastik yang sering digunakan oleh masyarakat Indonesia pada umumnya berasal dari bahan *polyethylene* (PE). PE merupakan plastik atau polimer yang tersusun atas monomer etena ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$). Sifat utama PE adalah tidak tahan panas, fleksibel, permukaannya licin, tidak tembus cahaya (buram) maupun ada juga yang tembus cahaya, dan titik lelehnya 115°C. Umumnya plastik PE bersifat resisten terhadap zat kimia. Pada suhu kamar polietilena tidak larut dalam pelarut organik dan anorganik. Polietilena dapat teroksidasi di udara pada suhu tinggi dengan sinar ultraviolet. Contoh plastik PE yaitu botol plastik, mainan, bahan cetakan, ember, drum, pipa saluran, isolasi kawat dan kabel, kantong plastik, dan jas hujan (Rafli, 2008). Plastik PE yang telah digunakan akan menjadi limbah dan menumpuk di tempat pembuangan akhir sampah atau *landfill* karena sifatnya yang *non-biodegradable* dan butuh waktu yang lama untuk dapat diuraikan secara alamiah di dalam tanah. Pada umumnya sampah plastik memiliki komposisi 46% *poly ethylene* (*high density PE* atau HDPE dan *low density PE* atau LDPE), 16% *poly propylene* (PP), 16% *poly*

styrene (PS), 7% poly vinyl chloride (PVC), 5% poly ethylene terephthalate (PET), 5% acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS), dan 5% polimer lainnya (Febri dan Novesar, 2003).

Salah satu cara untuk mengurangi dampak limbah plastik dan memanfaatkannya adalah dengan mengolahnya menjadi bahan bakar minyak. Metode pirolisis atau proses pembakaran pada suhu tinggi dengan melibatkan sedikit atau tanpa oksigen merupakan salah satu cara pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar cair (minyak). Selain dapat mengurangi beban pencemaran lingkungan, metode ini juga dapat menghasilkan produk yang memiliki nilai ekonomi yang cukup tinggi dari bahan bakar minyak yang dihasilkan. Produk utama pirolisis adalah arang (*char*), minyak dan gas. Arang yang terbentuk dapat digunakan untuk bahan bakar ataupun digunakan sebagai karbon aktif. Minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat aditif atau campuran dalam bahan bakar, sedangkan gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung (Sukseswati, 2010).

Menurut Aprian dan Munawar (2012), faktor-faktor yang mempengaruhi dalam proses reaksi pirolisis adalah sebagai berikut:

- (1) Temperatur. Temperatur reaksi sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan. Sesuai dengan persamaan Arrhenius, jika suhu makin tinggi nilai konstanta dekomposisi termal makin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi naik. Berdasarkan teori Arrhenius hubungan konstanta persamaan reaksi dengan temperatur absolut adalah:

$$k = A e^{-(E/RT)} \quad (1)$$

keterangan:

k = konstanta kecepatan reaksi dekomposisi termal

A = faktor tumbukan (faktor frekuensi)

E = energi aktivasi (kal/g.mol)

T = temperatur absolut (°K)

R = tetapan gas (1,987 kal/g.mol°K)

- (2) Ukuran partikel. Ukuran partikel berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Semakin kecil ukuran partikel, maka luas permukaan per satuan massa semakin besar, sehingga proses reaksi akan menjadi cepat.
- (3) Massa partikel. Semakin banyak bahan baku yang dimasukkan ke dalam reaktor, semakin banyak hasil bahan bakar cair dan arang meningkat.
- (4) Pengadukan. Tumbukan yang sering terjadi antara pereaksi akan semakin banyak jika kecepatan pengadukan semakin besar, sehingga kecepatan reaksi akan bertambah besar.
- (5) Waktu. Semakin lama waktu reaksi, maka semakin banyak hasil yang diperoleh, karena semakin terpenuhinya waktu untuk bertumbukan antara zat-zat pereaksi. Waktu berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan dikarenakan semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung maka produk yang dihasilkannya (residu padat, tar, dan gas) semakin besar.

Pada proses pirolisis, struktur kimia yang dimiliki senyawa hidrokarbon cair dapat diolah menjadi minyak pelumas. Hal ini disebabkan karena sifat kimia senyawa hidrokarbon cair dari hasil pemanasan limbah plastik mirip dengan senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak mentah sehingga dapat diolah menjadi minyak pelumas (Ermawati, 2011).

Menurut Ramadhan (2013), pada proses pemurnian minyak pirolisis, yaitu pengolahan bahan baku minyak pirolisis menjadi minyak yang siap digunakan, dapat dilakukan dengan cara pencucian, penambahan zat aditif, mereduksi kandungan gum atau zat beracun, dan mengelompokkan berdasarkan panjang rantai hidrokarbon. Penambahan metanol ke dalam minyak pelumas bertujuan untuk memperbaiki kualitas bahan bakar agar setara dengan minyak beroktan tinggi. Metanol dipilih sebagai bahan tambahan ke dalam minyak pelumas karena sifatnya yang dapat bercampur dengan minyak pelumas dan harganya yang relatif murah. Penambahan metanol ke dalam premium juga dapat menurunkan kadar timbalnya (Abdullah, dkk., 2007). Burhanudin (2005) menyatakan bahwa kegunaan dari zat aditif metanol pada bahan bakar adalah: (1) meningkatkan angka oktan dalam bahan bakar (bensin), (2) memperlancar sistem pembakaran, sehingga memudahkan penghidupan mesin, (3) meningkatkan tenaga mesin, (4) memperbaiki efisiensi bahan bakar, dan (5) memperpanjang umur mesin.

2. METODOLOGI

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat untuk menghasilkan minyak pirolisis yang dilengkapi dengan dua kondensor (Gambar 1). Alat pirolisis memiliki diameter 30cm dan tinggi 35cm. Kondensor pertama dan kedua memiliki ukuran yang sama (diameter 8cm dan tinggi 15cm) dengan pipa pengeluaran hasil minyak terkondensasi. Kedua kondensor dihubungkan secara berturut-turut dengan pipa berdiameter 2,5cm sepanjang 15cm dari tangki pirolisis. Dengan menggunakan alat ini, maka dapat dihasilkan dua jenis minyak pirolisis, yaitu minyak pirolisis 1 (MP1) yang merupakan hasil kondensasi uap pada kondensor satu (yang terletak di bawah, dekat dengan reaktor), dan minyak pirolisis 2 (MP2) yang merupakan hasil kondensasi uap pada kondensor dua (terletak di atas kondensor satu). Peralatan lain adalah instrumen analisis sifat-sifat fisik minyak pada umumnya.

Bahan baku utama berupa sampah plastik PE diperoleh dari sampah rumah tangga. Plastik PE sebanyak 2kg dipotong menjadi bagian kecil-kecil kemudian dimasukkan ke dalam alat pirolisis. Selanjutnya alat dipanaskan hingga suhu di atas 500°C untuk mengkonversi plastik menjadi minyak pirolisis. Sumber pemanasan adalah kompor berbahan bakar gas elpiji.

Proses pemurnian dilakukan dengan menambahkan metanol dengan perbandingan tertentu (1:2, 1:3, dan 1:4) ke dalam minyak pirolisis yang diperoleh. Kemudian dipanaskan pada suhu 50°C, dan selanjutnya dimasukkan ke dalam corong pemisah untuk proses pemurnian. Minyak yang diperoleh (*yield*) dimasukkan ke dalam gelas beker dan ditimbang beratnya. Sifat fisik dari minyak pirolisis seperti viskositas dan densitas ditentukan dengan menggunakan viskosimeter Ostwald dan piknometer. Untuk karakterisasi juga dilakukan uji titik nyala dan titik tuang terhadap minyak pirolisis.



Gambar 1. Alat pirolisis dengan dua kondensor

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Minyak Pirolisis 1 (MP1)

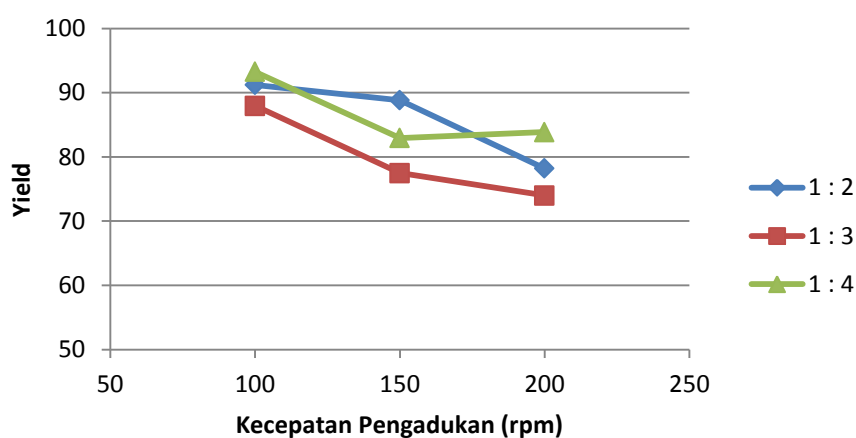
Proses pengolahan limbah plastik PE menjadi minyak pirolisis menggunakan alat pirolisis yang dilengkapi dengan dua buah kondensor. MP1 diperoleh dari kondensor pertama. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan dan rasio perbandingan minyak/metanol terhadap *yield* yang dihasilkan dari proses pemurnian. Untuk hasil *yield* yang diperoleh dari proses pemurnian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perolehan *yield* dari proses pemurnian MP1

Kecepatan pengadukan (rpm)	Yield pada rasio minyak/ metanol		
	1:2	1:3	1:4
100	0,912	0,879	0,933
150	0,888	0,775	0,829
200	0,782	0,739	0,838

Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap *Yield* MP1

Gambar 2 menunjukkan pengaruh kecepatan pengadukan dan rasio perbandingan minyak/metanol terhadap *yield* yang dihasilkan dari proses pemurnian MP1. Variasi kecepatan pengadukan 100, 150, dan 200 rpm pada tiap variasi rasio perbandingan minyak/metanol, yaitu (1:2), (1:3) dan (1:4).

**Gambar 2. Hubungan antara kecepatan pengadukan dengan *yield* MP1**

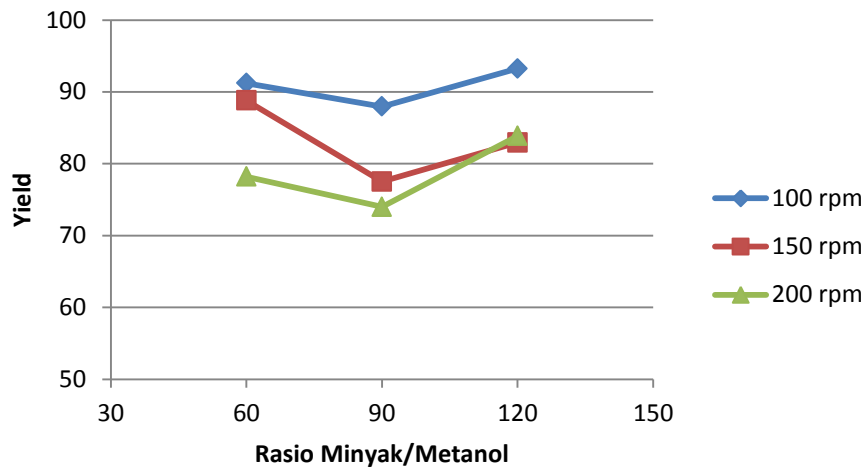
Secara teoretis dijelaskan bahwa semakin tinggi kecepatan pengadukan, maka semakin banyak tumbukan yang terjadi antar molekul, sehingga semakin banyak *yield* yang terbentuk (Ma dan Hanna, 1999). Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada kecepatan pengadukan 100 rpm dengan rasio perbandingan minyak/metanol sebesar (1 : 2, 1 : 3, dan 1 : 4) menghasilkan produk *yield* sebanyak 91,21%, 87,95%, dan 93,25%. Hal ini disebabkan karena kecepatan pengadukan yang digunakan rendah sebesar 100 rpm, sehingga metanol yang digunakan dalam proses pemurnian tersebut belum bekerja secara maksimal, maka MP1 yang dihasilkan masih terdapat banyak endapan, *water content*, dan zat pengotor lainnya. Pada kecepatan pengadukan 200 rpm dengan rasio perbandingan minyak/metanol sebesar (1 : 2, 1 : 3, dan 1 : 4) menghasilkan produk *yield* sebanyak 78,20%, 73,99%, dan 83,86%. Hal ini disebabkan karena kecepatan pengadukan yang digunakan tinggi sebesar 200 rpm, sehingga metanol yang digunakan dalam proses pemurnian dapat bekerja secara maksimal, maka *yield* MP1 yang dihasilkan lebih sedikit.

Pengaruh Rasio Minyak/Metanol terhadap *Yield* MP1

Gambar 3 berikut menunjukkan pengaruh rasio perbandingan minyak/metanol dengan kecepatan pengadukan terhadap *yield* yang dihasilkan dari proses pemurnian minyak pirolisis dengan variasi rasio perbandingan minyak/metanol sebesar (1 : 2), (1 : 3), dan (1 : 4) pada tiap variasi kecepatan pengadukan.

Gambar 3 membuktikan bahwa semakin besar rasio perbandingan minyak/metanol, maka semakin banyak *yield* yang dihasilkan. Data menunjukkan bahwa pada rasio perbandingan minyak/metanol (1:3) dengan kecepatan pengadukan (100, 150, dan 200 rpm) menghasilkan produk *yield* sebanyak 87,95%, 77,49%, dan 73,99%. Hal tersebut disebabkan karena produk *yield* yang dihasilkan memiliki tingkat volatilitas yang tinggi, sehingga banyak *yield* yang teruapkan.

Pada produk *yield* yang diperoleh dari proses pemurnian juga mengalami perubahan warna. Perubahan warna yang terjadi memiliki warna yang berbeda-beda dari warna coklat kehitaman hingga warna kuning cerah. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan pengadukan dan rasio perbandingan minyak/metanol, maka penampakan warna yang dihasilkan semakin cerah. Perubahan warna semakin cerah, kemungkinan disebabkan karena endapan ataupun zat pengotor yang terkandung di dalam minyak lebih sedikit.



Gambar 3. Hubungan antara rasio minyak/metanol dengan *yield* MP1

Hasil Pengujian Karakteristik MP1

Pada pengujian minyak pirolisis ini berfungsi untuk mengetahui sifat fisik dari minyak pirolisis yang dihasilkan. Parameter yang dipilih dalam melakukan pengujian MP1 adalah penentuan massa jenis, viskositas, *flash point* (titik nyala) dan *pour point* (titik tuang). *Flash point* merupakan suhu terendah yang harus dicapai dalam pemanasan minyak di mana uap minyak dapat terbakar saat disinggungkan dengan suatu nyala api. Sedangkan *pour point* merupakan suhu terendah di mana minyak masih dapat dituang atau mengalir apabila didinginkan pada kondisi tertentu.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kondisi paling baik pada kecepatan pengadukan 150 rpm dengan rasio perbandingan minyak/metanol = (1:4) yang memiliki nilai *yield* sebesar 82,95%. Hasil pengujian karakteristik sifat fisik minyak pirolisis diperoleh densitas sebesar 0,81 g/mL, viskositas sebesar 0,69 cP, *flash point* sebesar 20°C, dan *pour point* sebesar -21°C. Dari hasil pengujian massa jenis, viskositas, *flash point* dan *pour point* menunjukkan bahwa sifat fisik minyak pirolisis tersebut hampir setara dengan sifat fisik bahan bakar minyak pada umumnya.

Penampakan minyak yang diperoleh (MP1) pada berbagai variasi kecepatan pengadukan (100, 150, dan 200 rpm) dan rasio minyak etanol sebesar (1:3) adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Penampakan MP1 pada rasio (1:3) dan variasi kecepatan pengadukan

3.2. Minyak Pirolisis 2 (MP2)

Pada proses pengolahan limbah plastik PE menggunakan teknik pirolisis dapat terbentuk MP2 pada kondensor kedua. MP2 merupakan hasil kondensasi uap minyak pirolisis yang tertangkap oleh kondensor kedua. Pengaruh kecepatan pengadukan dan rasio perbandingan minyak/metanol terhadap *yield* MP2 yang dihasilkan dari proses pemurnian minyak pirolisis ditunjukkan oleh Tabel 2.

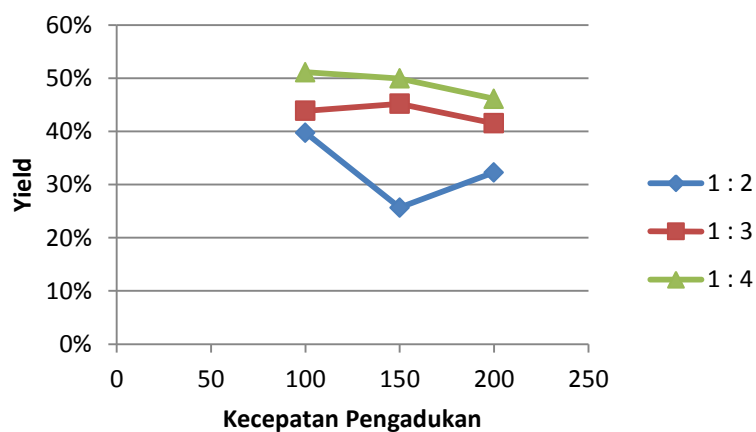
Tabel 2. Perolehan *yield* dari proses pemurnian MP2

Kecepatan pengadukan (rpm)	Yield pada rasio minyak/ metanol		
	1:2	1:3	1:4
100	0,397	0,439	0,511
150	0,257	0,452	0,499
200	0,323	0,415	0,461

Pengaruh Variasi Kecepatan Pengadukan terhadap *Yield* MP2

Berikut ini merupakan hasil data percobaan dengan pengaruh variasi kecepatan pengadukan terhadap *yield* MP2 yang dihasilkan.

Gambar 5 merupakan grafik yang menghubungkan antara kecepatan pengadukan dengan *yield* yang dihasilkan. Kecepatan pengadukan sangat berpengaruh pada proses pemurnian minyak, karena pada umumnya semakin besar kecepatan pengadukan, maka *yield* yang dihasilkan akan semakin besar pula. Hal ini dikarenakan tumbukan yang sering terjadi antara pereaksi akan semakin banyak jika kecepatan pengadukan semakin besar, sehingga kecepatan reaksi akan bertambah besar. Akan tetapi, dalam proses pemurnian yang telah dilakukan mengalami sedikit perbedaan, di mana semakin besar kecepatan pengadukan maka semakin menurun *yield* yang dihasilkan. Salah satu hal yang menyebabkan terjadinya penurunan *yield* dimungkinkan karena bahan aditif yang digunakan adalah metanol yang digunakan sebagai bahan pencampur dalam minyak di mana pencampuran metanol dengan minyak tidak bereaksi secara sempurna.

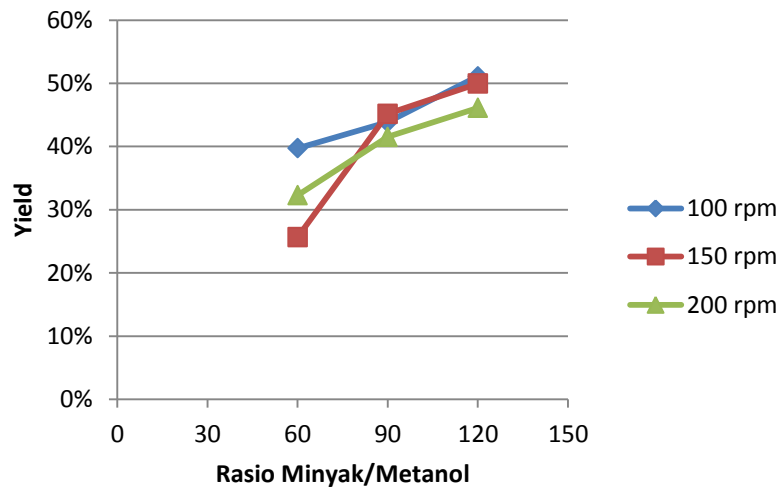


Gambar 5. Grafik Hubungan antara kecepatan pengadukan dengan *yield* MP2

Pengaruh Variasi Rasio Minyak/Metanol terhadap *Yield* MP2

Pada grafik di bawah ini merupakan hasil data percobaan dengan pengaruh variasi rasio Minyak/Metanol terhadap *yield* MP2 yang dihasilkan sebagai berikut. Gambar 6 merupakan grafik yang menghubungkan antara perbandingan minyak/metanol dengan *yield* yang dihasilkan. Semakin besar perbandingan minyak/metanol maka akan semakin besar pula *yield* yang dihasilkan. Pada kecepatan pengadukan yang sama dengan perbandingan minyak/metanol yang bervariasi menghasilkan perolehan *yield* yang meningkat.

Pada penelitian yang telah dilakukan, warna yang dihasilkan pada minyak menjadi semakin terang dengan ditambahkan bahan aditif metanol. Hal ini dimungkinkan karena metanol yang mudah bereaksi dengan minyak sehingga zat pengotor yang ada di dalamnya telah larut sehingga warna minyak pirolisis berubah dari coklat kehitaman menjadi coklat muda.



Gambar 6. Grafik hubungan antara rasio minyak/metanol dengan yield MP2

Untuk uji sifat fisik lainnya, seperti viskositas, densitas, titik nyala dan titik tuang, diperoleh hasil bahwa sifat-sifat fisik MP2 yang didapatkan mendekati sifat-sifat fisik bahan bakar bensin. Perbandingan hasil uji MP2 dengan bahan bakar bensin ditunjukkan pada Tabel 3. Dengan sifat yang mendekati sifat bahan bakar bensin, maka MP2 memiliki peluang untuk dapat mensubstitusi bensin. Meskipun demikian, kajian lebih lanjut terhadap kelayakannya perlu dilakukan uji aplikasi yang lebih spesifik.

Tabel 3. Perbandingan sifat fisik antara bensin dan MP2

Jenis uji	Bensin	MP2
Viskositas	0,65 cP	0,54 cP
Densitas	0,68 kg/L	0,77 kg/L
Titik nyala	-43°C	<20°C
Titik tuang	-3°C	-21°C

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian pemurnian minyak pirolisis dari limbah plastik PE yang sudah dilakukan dengan variasi kecepatan pengadukan dan rasio minyak/metanol, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengaruh rasio perbandingan minyak/metanol terhadap *yield* yang dihasilkan tidak signifikan, karena nilai *yield* yang diperoleh memiliki selisih yang tidak terlalu besar. Namun semakin besar rasio perbandingan minyak/metanol, maka semakin besar *yield* yang dihasilkan.
2. Kondisi paling baik untuk MP1 diperoleh pada kecepatan pengadukan 150 rpm dengan rasio perbandingan minyak/metanol = (1:4) dan menghasilkan bahan bakar minyak yang mendekati sifat-fisik bahan bakar minyak pada umumnya.

3. MP1 memiliki sifat-sifat fisik seperti minyak pada umumnya, dengan densitas sebesar 0,81 g/mL, viskositas sebesar 0,69 cP, titik nyala minyak sebesar $<20^{\circ}\text{C}$, dan titik tuang minyak sebesar $<21^{\circ}\text{C}$.
4. Untuk hasil MP2 yang optimal diperoleh pada kondisi kecepatan pengadukan 100 rpm dan rasio minyak/metanol sebesar (1:4).
5. MP2 memiliki sifat-sifat fisik yang hampir setara dengan bahan bakar bensin dengan densitas minyak sebesar 0,77 kg/L, viskositas minyak sebesar 0,54 cP, titik nyala minyak sebesar $<20^{\circ}\text{C}$, dan titik tuang minyak sebesar -21°C . MP2 berpeluang untuk mensubstitusi bahan bakar bensin.

PERSANTUNAN

Penelitian ini terselenggara melalui skim Penelitian Kolaboratif Pengembangan Individual Dosen (PID) Prodi Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta tahun 2014/2015 dengan melibatkan dua peneliti mahasiswa, Indra Setiawan dan Indra Gunawan. Peneliti mengucapkan terima kasih atas pembiayaan yang diberikan oleh UMS dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Angga A., Husin Bugis, dan Subagsono, 2007, Pengaruh Jumlah Ignition Booster pada Kabel Busi dan Penambahan Metanol dalam Premium terhadap Konsumsi Bahan Bakar pada Yamaha Mio Sporty Tahun 2007, *Jurnal Penelitian Jurusan Pendidikan Teknik Mesin*, FKIP UNS.
- Aprian, Ramadhan P., dan Ali Munawar, 2012, Pengolahan Sampah Plastik menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis, *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 4(1), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UPN Jatim.
- Burhanudin, Harmen, 2005, Pengaruh Penambahan Zat Aditif Berbahan Dasar Metanol pada Bahan Bakar terhadap Prestasi Motor Bensin Empat Langkah Satu Silinder, *Jurnal Penelitian Jurusan Teknik Mesin*, Fakultas Teknik Unila.
- Ermawati, Rahyani, 2011, Konversi Limbah Plastik sebagai Sumber Energi Alternatif, *Jurnal Riset Industri*, Vol. V No. 3, Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian.
- Febri, J., dan Novesar, Z., 2003, Pengaruh Katalis dalam Pengolahan Limbah Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) dengan Metode Pirolisis, *Jurnal Kimia Unand*, Vol. 2 No. 2, Jurusan Kimia FMIPA. Universitas Andalas.
- Ma, F., dan Hanna, M.A., 1999, Biodiesel Production a Review, *Biosource Technology*, 70(1), 1-15
- Maier, Karyn, 2014, Polyethylene, <http://www.wisegeek.org/what-is-polyethylene.htm> diakses tanggal 21 Maret 2014
- Rafli, Rusdi, 2008, Karakteristik Matriks Termoplastik Polietilena Terplastisasi Poligliserol Asetat, *Ilmu Kimia*, Universitas Sumatera Barat.
- Ramadhan, Rahmad, 2013, Pembuatan BBM dari Limbah Plastik dengan Metode Pirolisis, http://rahmad1989.blogspot.com/p/blog-page_1793.html diakses tanggal 20 Maret 2014
- Sukseswati, Dini D., 2010, Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia Minyak Hasil Pirolisis Lambat Campuran Sampah Kertas dan Daun, *Jurnal Penelitian Jurusan Teknik Mesin*, Fakultas Teknik, UNS.