

KONVERSI LIMBAH PLASTIK MENJADI MINYAK SEBAGAI BAHAN BAKAR ENERGI BARU TERBARUKAN

Tinton Norsujianto

Jurusan Mesin Otomotif, Politeknik Negeri Tanah Laut
Email: tinton_norsujianto@politala.ac.id

Intisari— Dari tahun 2009 hingga tahun 2010 produksi plastik di seluruh dunia meningkat dari 15 juta ton hingga mencapai 265 juta ton. Hal ini menegaskan kecenderungan jangka panjang pertumbuhan produksi plastik yang hampir 5% per tahun. Dampak yang akan terjadi terhadap lingkungan menjadi perhatian khusus para pemerhati lingkungan dan para ilmuwan. Untuk itulah diperlukan pengolahan limbah plastik yang aman bagi manusia dan lingkungan. Proses pengolahan limbah plastik menjadi minyak setara bensin dan solar diharapkan menjadi solusi mengatasi masalah kebutuhan energi untuk kelangsungan hidup manusia. Reaktor yang digunakan adalah tipe batch dengan temperatur 400 oC. Bahan baku yang digunakan limbah plastik LDPE (Low Density Polyethylene). Minyak pirolisis dari bahan baku plastik tunggal memiliki properti minyak yang terbaik. Hasil uji GC-MS, terlihat bahwa sampel minyak pirolisis mengandung banyak senyawa. Lima unsur kimia dengan prosentase tertinggi adalah Benzene (C₆H₆) sebesar 3,26% diikuti oleh Heptyne (C₇H₁₂) 3,1%, Tricosane (C₂₃H₄₈) 2,66%, Butanol (C₅H₁₂) 2,21% dan Tricosane (C₂₃H₄₈) 1,64%. Distribusi tersebut bisa diasumsikan bahwa bisa diaplikasikan ke motor pembakaran dalam.

Kata kunci— Pirolisis, Limbah Plastik LDPE, Minyak Pirolisis, Katalis

PENDAHULUAN

Dari tahun 2009 hingga tahun 2010 produksi plastik di seluruh dunia meningkat dari 15 juta ton hingga mencapai 265 juta ton. Hal ini menegaskan kecenderungan jangka panjang pertumbuhan produksi plastik yang hampir 5% per tahun dalam 20 tahun terakhir. Industri plastik juga memainkan peranan dalam pertumbuhannya melalui inovasi dalam lingkup yang luas yaitu kunci dari industri di Eropa seperti otomotif, alat elektronik, konstruksi dan bangunan serta sektor kemasan makanan dan minuman.

Dari sekian banyaknya plastik yang beredar maka dapat dipastikan akan banyak pula limbah plastik yang akan tercipta. Hal ini yang menjadi perhatian masyarakat dunia akhir-akhir ini. Limbah plastik ini tidak mudah terurai di lingkungan dan memerlukan perlakuan khusus untuk pengolahannya. Dampak yang akan terjadi terhadap lingkungan menjadi perhatian khusus para pemerhati lingkungan dan para ilmuwan. Untuk itulah diperlukan pengolahan limbah plastik yang aman bagi manusia dan lingkungan (Wardhana, 2014).

Proses pengolahan limbah plastik menjadi minyak setara bensin dan solar diharapkan menjadi solusi mengatasi masalah kebutuhan energi untuk kelangsungan hidup manusia. Cara ini sejalan dengan program di negara-negara maju yaitu tentang pengembangan energi terbarukan atau energi baru terbarukan.

METODE

A. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah plastik LDPE (Low Density Polyethylene). Sebagai katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit

alam (natural zeolite fresh), didapatkan dari Klaten Jawa Tengah.

B. Alat Pengujian

Penelitian pirolisis limbah plastik menjadi bahan bakar minyak dilakukan menggunakan reaktor tipe Batch pada temperatur 400 oC. Pemanasan dilakukan menggunakan kawat nikelin (dilapisi keramik) mengelilingi dinding reaktor, insulator castable, glasswool dan aluminium foil digunakan untuk meminimalkan kalor yang terbuang dari reaktor ke lingkungan. Kondenser vertikal digunakan untuk menurunkan temperatur gas cair yang dihasilkan dari proses pirolisis. Produk cair yang dihasilkan ditampung di penampung minyak pirolisis (oil container) dan gas yang tidak terkondensasi dibuang melalui saluran gas buang (flare). Produk padat (residue) yang terbentuk sebagai sisa proses pirolisis plastik dapat diambil di feedstock reactor. Secara umum alat pengujian bisa dilihat pada gambar 1.

C. Metode Pengujian

Limbah plastik yang sudah ditimbang dimasukan ke dalam reaktor, langkah selanjutnya reformer yang sudah diisi katalis natural zeolite seberat 100 gr dipanaskan terlebih dahulu hingga 450 oC dengan tujuan mengaktifkan katalis dan selanjutnya menyalakan reaktor hingga temperaturnya 400 oC. Proses pemanasan ini disebut proses pirolisis karena proses pemberian kalornya tanpa disertai oleh adanya udara atau oksigen dan murni karena adanya perpindahan panas, konduksi, konveksi dan radiasi. Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis degradasi termal kemudian mengalir melalui kondensator menuju ke penampung minyak. Dalam kondensator terjadi kondensasi

paksa, karena gas melewati tabung yang dialiri air pada temperatur ruangan dengan debit tertentu yang konstan. Setelah gas mulai berkurang dan tidak ada lagi tetesan minyak pada tabung penampung, proses dihentikan, selanjutnya minyak dan padatan ditimbang untuk menghitung mass balance. Massa fraksi gas dapat dicari dengan cara mengurangi massa total bahan baku dengan massa fraksi minyak dan padatnya. Pada pengujian produk cair atau bisa disebut minyak pirolisis diuji untuk menentukan properties bahan bakar seperti specific gravity, kinematic viscosity at 40 oC, Pour point dan flash point. Penentuan senyawa kimia minyak pirolisis dan persentase distribusi nomor karbon senyawa kimia diperoleh dari pengujian menggunakan GC-MS (Gas Chromatography Mass Spectroscopy). Nilai kalor diperoleh dari pengujian menggunakan Automatic Bomb Calorimeter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Minyak pirolisis limbah plastik

Distribusi produk cair, gas dan padat pirolisis limbah plastik LDPE ditunjukkan pada gambar 2. Pirolisis menggunakan katalis natural zeolite fresh yang sudah dikalsinasi menghasilkan produk cair sebesar 24,64%, produk gas sebesar 51,65% dan produk padat sebesar 24,64 % (persentase massa). Penyebab meningkatnya fraksi padat dan gas pada proses pirolisis temperatur 400 oC diduga karena kekurangan energi termal untuk cracking (memutus ikatan) limbah plastik LDPE sehingga waktu reaksi pun menjadi lebih lama (Kumar, 2011 dan Panda, 2011). Waktu proses yang lebih lama menyebabkan laju perpindahan kalor () dari gas keair pendingin juga kecil, sehingga gas yang sebagian terkondensasi menjadi fraksi cair lebih sedikit dari pada gas yang tidak terkondensasi. Selain itu penggunaan katalis pada proses pirolisis dapat menurunkan produk cair dan meningkatkan produk gas (Wardhana, 2014)

Hasil pengujian properties minyak pirolisis limbah plastik LDPE dapat dilihat pada tabel 2. Umumnya, bahan bakar harus mempunyai viskositas yang relatif rendah agar dapat mudah mengalir dan teratomisasi. Hal ini dikarenakan putaran mesin yang cepat membutuhkan injeksi bahan bakar yang cepat pula. Namun harus ada batas minimal karena diperlukan sifat pelumasan yang cukup baik untuk mencegah terjadinya keausan akibat gerakan piston yang cepat. Minyak pirolisis plastik sudah menyala pada temperatur 10 oC.

Pengujian dibawah temperatur 10 oC tidak bisa dilakukan karena properties bahan bakar sudah terukur pada temperatur 10 oC. Titik nyala (flash point) berkaitan dengan keamanan dan penanganan seperti distribusi dan penyimpanan. Dengan titik nyala yang rendah (< 25 oC@1atm), minyak pirolisis plastik bersifat mudah terbakar.



Gambar 1. Reaktor tipe batch dan reaktor kalsinasi

Beberapa sumber penyalan bahan bakar yang perlu dihindari seperti permukaan dinding yang panas, gas atau uap yang mudah terbakar, arus listrik dan gelombang kejut. Namun apabila titik nyala terlalu tinggi, maka pada temperatur lingkungan yang rendah motor sulit dihidupkan (Munawir, 2006).

Minyak pirolisis temperatur 400 oC kandungan air yang teramati sebesar 1,04 %vol, sedangkan kandungan air yang disyaratkan untuk biosolar maksimal 0,02 %vol. Uap air ini muncul diduga akibat penggunaan bahan baku limbah plastik yang masih lembab sehingga sebagian uap air yang menguap dalam reaktor tidak dapat keluar dan terkondensasi di dalam penampung minyak.

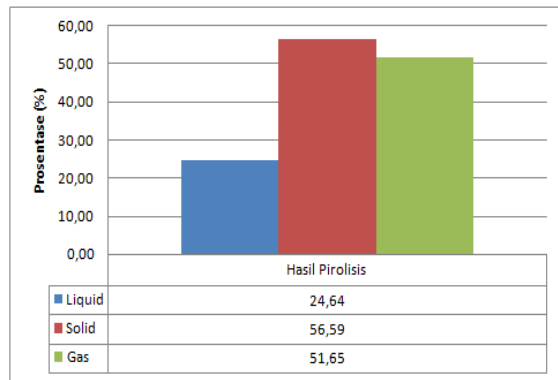
Tabel 2. Properties minyak pirolisis dan biosolar

Karakteristik	Satuan	Biosolar	WPO
<i>Specific Gravity at 60/60 °f</i>	-	0.8445	0,7993
<i>Viscosity Kinematic at 40 °C</i>	mm ² /s	4.012	1,836
<i>Flash Point PM.c.c</i>	°C	66.5	*)
<i>Pour Point</i>	°C	6	27
<i>Cloud Point</i>	°C	4.0	**)
<i>Water Content</i>	% vol	Trace	1,04
<i>Ash Content</i>	% wt	0.076	0,065
<i>Density</i>	kg/l	0.8445	0,7993
Nilai Kalor	MJ/kg	45,22	45,79

*) Pada suhu 10 oC sudah menyala

***) Cloud point tidak dapat diamati contoh berwarna gelap

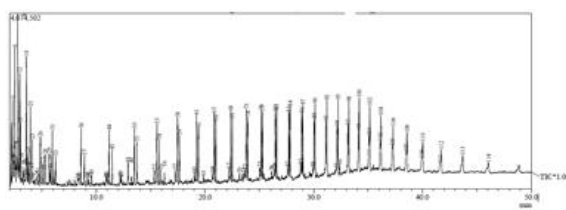
Trace : teramati namun tidak dapat diukur



Gambar 2. Distribusi produk pirolisis

B. Distribusi Rantai Karbon

Setelah mengetahui propertis minyak pirolisis limbah plastik dan biosolar. Pengujian menggunakan GC-MS (Gas Chromatography Mass Spectroscopy) diperlukan untuk mengetahui jumlah dan kandungan unsur hidrokarbonnya. Hasil uji GC-MS, terlihat bahwa sampel minyak pirolisis mengandung banyak senyawa, hal ini bisa diketahui dari banyaknya puncak (peaks) dalam spektra GC tersebut. Setiap peaks menggambarkan senyawa kimia yang terkandung dalam sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel minyak pirolisis limbah plastik akan menghasikan kecenderungan pembentukan unsur hidrokarbon yang bervariasi dari proses pirolisis. Pengujian Chromatogram minyak pirolisis dengan temperatur 400 oC terdapat 114 peaks yang tercatat. Peaks ini menunjukkan variasi unsur kimia yang diprediksi terkandung dalam fraksi cair tersebut. Banyaknya peaks yang muncul mengindikasikan bahwa kandungan kimia yang terkandung dalam minyak pirolisis sangat bervariasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil chromatogram (114 peaks) WPO temperatur 400 oC

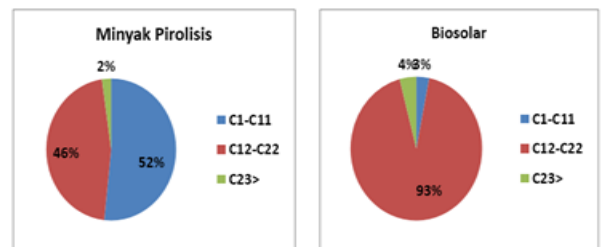
Jumlah peaks yang dihasilkan menunjukkan tingginya variasi kandungan senyawa hidrokarbon di dalam sampel. Berdasarkan data waktu retensi GC-MS dapat diolah menjadi data senyawa yang terkandung dalam minyak pirolisis, distribusi rantai karbon dan PONA (Bawase).

M.A, 2012 dan Nolan D, 1996). Tabel 3 menunjukkan lima unsur kimia dengan prosentase tertinggi. Prosentase tertinggi pertama adalah Benzene (C₆H₆) sebesar 3,26% diikuti oleh Heptyne (C₇H₁₂) 3,1%., Tricosane (C₂₃H₄₈) 2,66%., Butanol (C₅H₁₂) 2,21% dan Tricosane (C₂₃H₄₈) 1,64%.

Tabel 3. Data GC WPO temperatur 400 °C

Peaks	Area (%)	Nama Senyawa Kimia	Formula Kimia	Formula Dasar	Nomor Atom C	PONA
3	2,21	BUTANOL	C ₅ H ₁₂	C _n H _{n+2}	5	Paraffin
9	3,26	BENZENE	C ₆ H ₆	C _n H _n	6	Aromatic
13	3,1	HEPTYNE	C ₇ H ₁₂	C _n H _{2n-2}	7	Acetylene
58	1,64	TRICOSANE	C ₂₃ H ₄₈	C _n H _{2n+2}	23	Paraffin
92	2,66	TRICOSANE	C ₂₃ H ₄₈	C _n H _{2n+2}	23	Paraffin

Gambar 4. merupakan data yang didapatkan dari hasil pengujian GCMS. Tujuannya selain untuk mengetahui senyawa, juga diperlukan sebagai pendukung dari properties WPO/minyak pirolisis. Distribusi tersebut bisa diasumsikan bahwa bisa diaplikasikan ke motor pembakaran dalam.

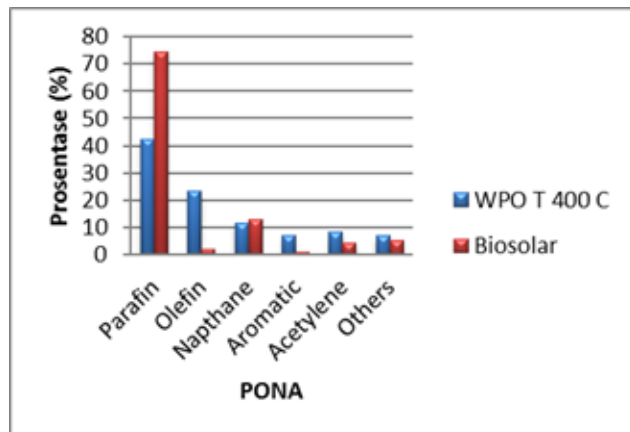


Gambar 4. Distribusi rantai karbon

C. Distribusi Senyawa Hidrokarbon (PONA : Parafin, Olefin, Napthane, Aromatic dan Acetylene)

Dilihat dari kandungan senyawa hidrokarbon, selain penentuan terhadap distribusi rantai karbon, pengamatan terhadap klasifikasi senyawa hidrokarbon juga telah dilakukan, seperti Gambar 5. Penentuan senyawa hidrokarbon ditentukan oleh formula dasar dari setiap senyawa hidrokarbon seperti Parafin (C_nH_{2n+2}), Olefin (C_nH_{2n}), Napthane (Cyclo C_nH_{2n}), Aromatic (C_nH_{2n-6} dan C_nH_n) dan Acetylene (C_nH_{2n-2}) (Heywood, 1988), senyawa selain dari kelima formula senyawa hidrokarbon tersebut dimasukan ke dalam kelompok senyawa others. Formula dan nama senyawa kimia dari minyak pirolisis limbah plastik diketahui dari hasil uji GCMS. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa komposisi bahan baku plastik pada proses pirolisis menentukan arah kecenderungan pembentukan senyawa-senyawa hidrokarbon yang dihasilkan. Fungsi parafin sendiri adalah sebagai pelumas pada mesin. Fungsi aromatik sebagai anti knocking yang tinggi dan stabilitas penyimpanan yang baik (Heywood, 1988; Zuhra.2003).

Senyawa parafin memiliki kualitas pembakaran terbaik, sebaliknya senyawa aromatic memiliki kualitas pembakaran yang buruk untuk motor diesel. Senyawa parafin biasanya cenderung memiliki massa jenis bahan bakar yang rendah namun memiliki nilai kalori yang lebih besar relatif dibandingkan dengan bahan bakar dari senyawa napthane (Speight, 2007).



Gambar 5. Grafik distribusi PONA (Parafin, Olefin, Naphtane, Aromatic dan Acetylene)

D. Kesetimbangan energi (energy balance) dari proses pirolisis

Perbandingan nilai energi termal dan konsumsi energi listrik yang diperlukan untuk mengoperasikan reaktor pirolisis juga diperhitungkan, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4. Potensi energi diukur dari perkalian antara nilai kalor WPO dan massa bahan baku limbah plastik. Untuk nilai konsumsi energi listrik dapat diperoleh dari perhitungan sederhana perkalian antara daya dan waktu proses pirolisis. Daya digunakan untuk menyalakan 3 buah elemen pemanas terdiri dari 2 elemen pemanas pada reaktor (masing-masing 1 kW) dan 1 elemen pemanas pada reformer berdaya 2 kW. Waktu pada reformer dan waktu reaktor memang berbeda karena reformer menyala terlebih dahulu sampai temperatur 450 °C selama ±70 menit, tujuannya agar katalis yang ada didalam reformer menjadi aktif. Setelah temperatur reformer mencapai Temperatur 450 °C, reaktor pirolisis dinyalakan sampai 400 °C hingga proses berakhir. Data daya ini bukan merupakan data aktual pemakaian daya listrik sebenarnya, untuk perhitungan konsumsi energi listrik sebenarnya dapat dilakukan menggunakan kWh meter. Daya yang dikeluarkan untuk proses pirolisis tidak terus menerus menyala. Pemanasan reaktor akan berhenti memberikan energi termal secara otomatis apabila temperatur sudah mencapai temperatur yang dikondisikan misalnya temperatur 400 °C dan akan memberikan energi termal lagi saat temperatur menjadi turun, sehingga konsumsi energi pada tabel 4, tidak 30 KWh tetapi lebih rendah. Energi termal yang dihasilkan tidak sebanding dengan energi listrik yang dibutuhkan meskipun secara kuantitatif memiliki jumlah yang sama (Saptoadi, 2013).

Tabel 4. Konsumsi energi listrik yang diperlukan pada proses pirolisis

Temperatur Pirolisis (°C)	Massa Sampel (kg)	Nilai Kalor (MJ/Kg)	Energi Termal (MJ)	Daya Reformer (kW)	Daya Reaktor (kW)	Waktu Reformer (jam)	Waktu Reaktor (jam)	Konsumsi Energi Listrik (kWh)	
								kWh	MJ
400	2,30	45,79	42,13	2	2	8,08	6,92	30,00	108,00

Energi termal adalah energi kualitas rendah, sementara energi listrik berkualitas tinggi. Secara sederhana energi termal harus dikalikan dengan 0,4 sebelum menyeimbangkan dengan energi listrik, mengingat efisiensi rata-rata pada pembangkit listrik tenaga uap yaitu 40%.

Hasil perhitungan pada tabel 4 menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik masih lebih besar jika dibandingkan dengan energi termal WPO yang dibutuhkan. Penggunaan gas pirolisis untuk proses pemanasan reaktor pirolisis diharapkan dapat meningkatkan energi termal dari produk pirolisis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Metode pirolisis dapat dikembangkan sebagai salah satu cara mengolah limbah plastik, metode ini selain dapat mengurangi jumlah limbah plastik juga dapat merubahnya menjadi minyak pirolisis plastik yang dapat dikembangkan menjadi bahan bakar minyak alternatif yang memiliki kualitas yang setara dengan bahan bakar minyak komersial.
- Penggunaan katalis menurunkan produk cair dan meningkatkan produk gas
- Minyak pirolisis dari bahan baku plastik tunggal memiliki properti minyak yang terbaik dilihat dari massa jenis yang rendah, viskositas kinematis yang rendah dan nilai kalori tinggi.
- Pengujian produk cair dari limbah plastik menggunakan GC-MS menunjukkan komponen hidrokarbon berada pada rentang C4-C44

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.A. Bawase, S.D. Reve, S.V. Shet and M.R. Saraf, Carbon Number Distribution by Gas Chromatography for Identifi Cation of Outlying Diesel Sample, Journal of AdMet Paper, 2012.
- [2] R. Ermawati, Konversi Limbah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif, Jurnal Riset Industri Vol V, No.3, 2011.
- [3] J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamental. McGraw Hill Publications p.491-667, 1998.
- [4] Istadi, Teknologi Katalis untuk Konversi Energi: Fundamental dan Aplikasi, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2011.
- [5] M.Z. Munawir, Sanda, Penambahan Bioaditif Untuk Peningkatan Kualitas BBM Blending Petrodiesel dan Biodiesel, Prosiding PPI – PDiptn Yogyakarta, 2006.

-
- [6] D. Nolan, Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical dan related facilities, Noyes Publications, New Jersey, USA, 1996.
- [7] T. Norsujianto and H. Saptoadi, performa motor diesel menggunakan bahan bakar campuran minyak hasil pirolisis limbah plastik dan biosolar sebagai bahan bakar alternative, Jurnal Termofluid V, UGM Yogyakarta, 2013
- [8] H. Saptoadi, K.A. Putra, W. Trisunaryanti, Z. Alimuddin, M. Syamsiro, K. Yosjikawa, Energy Balance of non-catalytic Pyrolysis of Plastic Wastes to produce Liquid Fuel, The 12th Annual National Seminar Of Mechanical Engineering, Bandar Lampung, 2013
- [9] L. Scheirs, W. Kaminsk, Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, UK, 2006.
- [10] J.G. Speight, The Chemistry and Technology of Petroleum 4th Edition, CRC Press. New York, 2007.
- [11] W. Wardana, Studi Eksperimental Pembuatan Bahan Bakar dari Limbah Plastik LDPE dengan Proses Pirolisis dan Uji Performansi Mesin Diesel, Tesis, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, UGM Yogyakarta, 2014
- [12] C.F. Zuhra, Penyulingan, Pemrosesan Dan Penggunaan Minyak Bumi, Digitized USU digital library, Medan, 2003.