



Karakterisasi Bahan Bakar Dari Sampah Plastik Jenis *High Density Polyethelene (HDPE)* Dan *Low Density Polyethelene (LDPE)*

Eddy Kurniawan^{*}, Nasrun

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355

*E-mail: ediekur@gmail.com

Abstrak

Plastik merupakan salah satu jenis polimer yang bahan dasarnya secara umum adalah Polipropilena (PP), Polietilena (PE), Polistirena (PS), Poli Metil Metakrilat (PMMA), High Density Polyethylene (HDPE) dan Low Density Polyethylene (LDPE). Plastik adalah senyawa polimer yang terbentuk dari polimerisasi molekul-molekul kecil (monomer) hidrokarbon. Penggunaan sampah plastik sebagai bahan untuk menghasilkan bahan bakar minyak merupakan suatu alternatif yang dapat meningkatkan nilai ekonomis dari sampah plastik, disamping itu juga dapat menyelesaikan salah satu masalah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa karakteristik bahan bakar minyak yang dihasilkan dari sampah plastik jenis High Density Polyethylene (HDPE) dan Low Density Polyethylene (LDPE) dengan proses pirolisis. Variabel metodologi penelitian yang dilakukan meliputi; waktu pirolisis selama 60 menit dan suhu pirolisis adalah 400, 420, 440, 460, 480^oC. Pengujian terhadap bahan bakar minyak didasarkan pada standar mutu bahan bakar minyak di Indonesia yaitu nilai kalor, titik nyala, kadar abu, dan kadar air. Hasil penelitian menunjukkan bahan bakar minyak memiliki nilai kalor sebesar 10.814,829 kcal/kg untuk minyak dari plastik HDPE dan 10.674,728 kcal/kg untuk minyak dari plastik LDPE, titik nyala 56,1^oC-60,5^oC, kadar abu 0,03%-0,17% dan kadar air yang diperoleh sebesar 0,01%-0,05%. Hasil analisa komposisi menggunakan GC-MS diperoleh komposisi yang paling dominan pada bahan bakar minyak dari plastik HDPE adalah C₉H₁₈ yaitu sebesar 54,61% dan untuk bahan bakar minyak dari plastik LDPE komposisi C₉H₁₈ yaitu sebesar 55,63%. Yield (produk) terbanyak diperoleh pada suhu pirolisis 480^oC yaitu 59,4% dari sampah plastik jenis HDPE dan 59,7% dari sampah plastik jenis LDPE.

Kata kunci: Sampah plastik, High Density Polyethylene (HDPE), low density Polyethylene (LDPE), pirolisis, bahan bakar minyak

1. Pendahuluan

Penggunaan bahan bakar minyak yang semakin meningkat ini menuntut suatu pemikiran dan gagasan untuk menggali serta mengembangkan potensi agar dapat menghasilkan sumber-sumber energi alternatif. Potensi untuk menghasilkan bahan bakar alternatif ditinjau dari beberapa aspek diantaranya adalah mencari bahan bakar yang lebih ekonomis, ramah lingkungan dan bahan baku yang melimpah. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan memanfaatkan sampah plastik sebagai sebagai bahan baku untuk diolah menjadi bahan bakar minyak (Puspita, 2013).

Plastik merupakan material yang sangat akrab dalam kehidupan manusia dan sudah dianggap sebagai bahan pokok kebutuhan rumah tangga ataupun domestik sehingga keberadaan sampah plastik semakin meningkat. Pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar minyak merupakan salah satu pengembangan dari ilmu pengetahuan yang memberikan manfaat positif untuk mengatasi masalah lingkungan, meningkatkan taraf hidup orang banyak, juga menjadi tawaran solusi mencari bahan bakar alternatif. Konversi yang dihasilkan dari proses ini mencapai 60% bahkan lebih, tergantung dari bahan plastik yang digunakan dan dengan penambahan zat kimia lain (Hakim, 2012). Plastik juga merupakan bahan anorganik buatan yang tersusun dari bahan-bahan kimia yang cukup berbahaya bagi lingkungan. Sampah plastik sangatlah sulit untuk diuraikan secara alami, untuk menguraikan sampah plastik membutuhkan kurang lebih 80 tahun agar dapat terdegradasi secara sempurna.

Pemanfaatan sampah plastik sekarang ini sudah banyak ditemui, baik didaur ulang kembali ataupun dimanfaatkan untuk kebutuhan lainnya. Salah satu pemanfaatan sampah plastik yang bisa dilakukan adalah dengan mengolah untuk kepentingan sektor energi yaitu dengan dimanfaatkan menjadi bahan bakar minyak baik bensin, solar ataupun minyak tanah. Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Aprian Ramadhan dan Munawar Ali (2012), konversi sampah plastik menjadi produk cair berkualitas bahan bakar dapat menunjukkan hasil yang cukup prospektif untuk dikembangkan. Hal ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi sehingga tinggal dikembalikan ke

bentuk semula. Plastik juga memiliki nilai kalor cukup tinggi setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar, serta bisa memberikan solusi terhadap krisis energi bahan bakar fosil yang semakin menipis akibat dari eksploitasi secara terus menerus dan dapat mengurangi dampak pencemaran lingkungan (Syafitri, 2001).

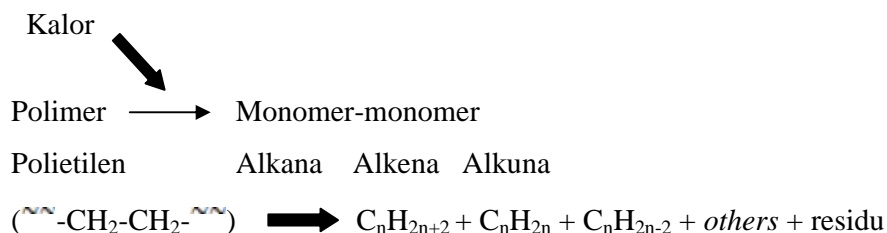
Proses pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar meliputi beberapa proses, diantaranya :

1. Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen kimia lainnya dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Teknik seperti ini mampu menghasilkan gas pembakaran yang berguna dan aman bagi lingkungan. Proses pirolisis ini akan memecah hidrokarbon rantai karbon panjang dari polimer plastik menjadi rantai hidrokarbon berantai pendek, selanjutnya molekul-molekul ini didinginkan menjadi fase cair.
2. Distilasi adalah pemisahan campuran dalam suatu larutan berdasarkan perbedaan titik didih.

Bahan bakar yang dihasilkan harus diketahui kualitasnya, yaitu perlu dilakukan pengujian lanjutan dalam menentukan sifat fisik ataupun kimianya diantaranya adalah densitas, *specific gravity*, viskositas, titik nyala, titik tuang, angka cetana, angka oktan, kadar abu, kadar air dan lain lain. Pengujian sifat fisik dan kimia ini mengacu pada pengujian yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi yang sesuai dengan standar Indonesia. Di Indonesia sendiri terdapat berbagai jenis bahan bakar minyak diantaranya, bensin, minyak tanah, solar, dan pertamax dengan karakteristiknya masing-masing. Pirolisis sampah plastik sebagai salah satu solusi yang menguntungkan dan lebih ramah lingkungan, dibandingkan dengan melakukan proses pembakaran sampah plastik yang tentunya sangat berdampak negatif bagi kesehatan dan mengakibatkan pencemaran lingkungan selain itu proses ini juga dianggap sebagai suatu solusi yang lebih ekonomis. Disamping itu perlu adanya penelitian untuk mengetahui jumlah konversi, kandungan kimia hasil konversi, sifat fisik dan kimia dari konversi yang dihasilkan. Pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar cair ini merupakan salah satu solusi, terdapat beberapa solusi lain yang dapat

dikembangkan dalam penerapan pada sektor energi. Oleh karena itu pengembangan ilmu pengetahuan sangatlah penting.

Rodiansono dkk., (2007) melakukan perengkahan sampah plastik jenis polipropilena dari kemasan air mineral dalam reaktor pirolisis terbuat dari *stainless steel*, dilakukan pada temperatur 475⁰C dengan dialiri gas nitrogen (100 ml/menit). Sebagai contoh, proses pirolisis plastik jenis polietilen ditunjukkan pada gambar 1 skema reaksi di bawah ini:



Gambar 1. Skema sederhana reaksi pirolisis plastik

Penggunaan distilasi merupakan salah satu cara untuk memisahkan campuran dalam suatu larutan berdasarkan perbedaan titik didih. Fungsi dari distilasi adalah untuk memisahkan larutan yang saling campur homogen dengan jalan menguapkan salah satu komponennya yang mudah menguap sehingga menjadi komponen yang mudah terpisah. Keuntungan dari distilasi adalah tidak memerlukan komponen tambahan. Biasanya setelah melakukan proses ekstraksi, maka untuk mengisolasi ekstrak dari larutannya digunakan proses distilasi. Distilasi yang dilakukan adalah distilasi sederhana, dimana seluruh cairan ekstraksi dimasukkan kedalam labu distilasi dan dipanaskan sehingga terjadi proses kondensasi yaitu fasa uap berubah menjadi fasa cair.

2. Bahan dan Metode

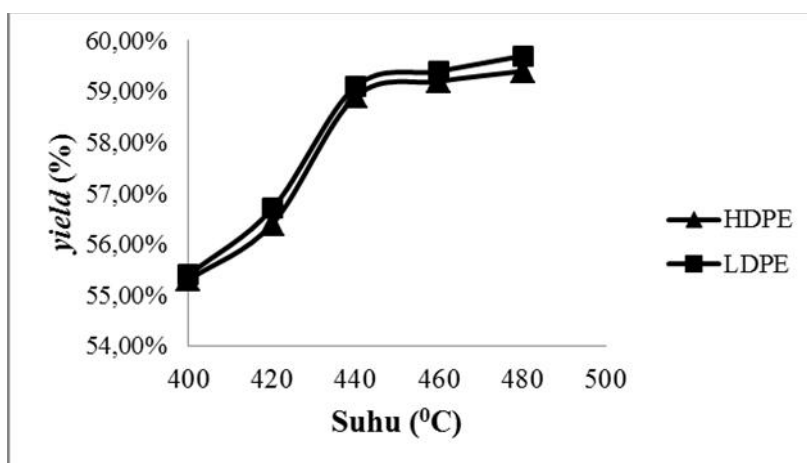
Bahan penelitian yang digunakan adalah plastik jenis HDPE: botol sampo dan botol kosmetik dan LDPE: tutup botol minuman dan botol infus. Alat yang digunakan dapur pirolisis, oven, timbangan, kompressor, bomb kalorimeter, cawan dan tungku pembakaran. Cara kerja penelitian ini dilakukan 3 (tiga) tahap proses penelitian, yaitu persiapan bahan baku 1000 gram dan ukuran 1-2 cm²

dengan varian, pembuatan, dan analisis terhadap produk baik secara fisika maupun kimia. Tahap pembuatan ialah proses produksi bahan bakar yaitu dari limbah plastik dengan menggunakan metode pirolisis pada suhu : 400, 420, 440, 460, 480⁰C dan tahap analisis adalah tahap menganalisa *yield* (produk), nilai kalor pembakaran, titik nyala (*flash point*), kadar abu, kadar air dan analisa komposisi kimia yang terkandung dalam produk bahan bakar minyak.

3. Hasil dan Diskusi

a. *Yield* (Produk)

Yield produk dari pengolahan sampah plastik jenis HDPE dan LDPE menjadi bahan bakar minyak pada penelitian ini antara 50-60%.



Gambar 2. Hubungan pengaruh suhu pirolisis terhadap *yield* produk Bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis HDPE dan LDPE

Kenaikan persentase yang signifikan pada *yield* produk terjadi pada suhu pirolisis 400⁰C-440⁰C, sedangkan pada suhu pirolisis 460⁰C dan 480⁰C kenaikan persentase *yield* produk tidak jauh berbeda. Semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin tinggi juga persentase *yield* produk yang didapat untuk kedua jenis plastik. Hal ini sesuai dengan teori Arrhenius yaitu suhu sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan, semakin tinggi suhu makin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan *yield* naik. Penelitian ini memang belum mencapai *yield* produk yang optimal, dikarenakan

kurangnya efisiensi alat yang dipakai pada saat penelitian sehingga menyebabkan bahan baku yang menjadi yield produk tidak terlalu banyak. Yield produk yang dihasilkan dari bahan baku sampah plastik menjadi produk minyak pirolisis secara optimal mencapai 70-80% (Sakata,1999).

b. Nilai Kalor Bahan Bakar Minyak

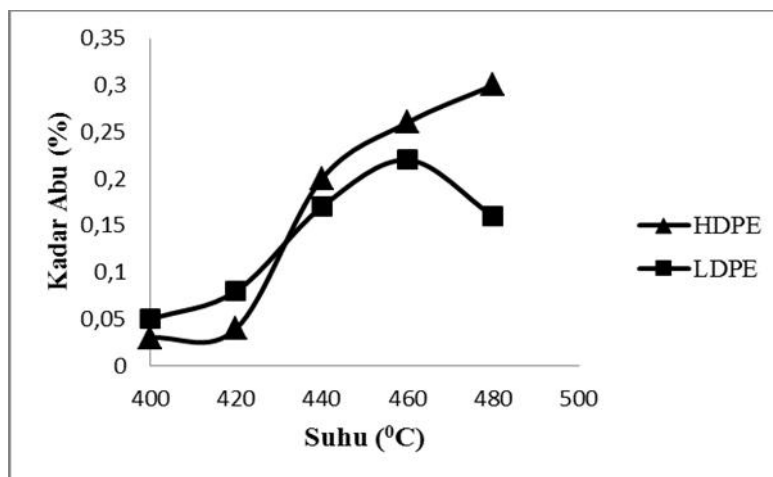
Pada penelitian ini nilai kalor bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis HDPE dan LDPE dihitung berdasarkan komposisi kimia dari hasil analisa GC-MS. Berdasarkan dari hasil perhitungan komposisi kimia yang terkandung dalam bahan bakar minyak, maka nilai kalor yang diperoleh untuk plastik jenis HDPE yaitu sebesar 10.814,829 kcal/kg dan nilai kalor yang diperoleh dari bahan bakar minyak untuk plastik jenis LDPE yaitu sebesar 10.674,728 kcal/kg. Nilai kalor yang diperoleh pada plastik jenis HDPE dan LDPE tidak jauh berbeda dan sesuai dengan standar mutu nilai kalor bahan bakar minyak pada umumnya yaitu antara 18.300-19.800 BTU/lb atau 10.160-11.000 kcal/kg (Syafari, 2011).

c. Pengaruh Suhu Pirolisis dan Jenis Plastik Terhadap Titik Nyala (*Flash Point*)

Semakin tinggi suhu pirolisis, nilai titik nyala yang diperoleh semakin menurun, namun masih mendekati standar mutu bahan bakar minyak. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya suhu pirolisis, maka semakin cepat pula api menyambar ketika disulut karena dipengaruhi oleh kandungan air dalam minyak. Menurut Tjokrowisastro dkk (1990), semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin sedikit kandungan air dalam minyak tersebut sehingga api cepat menyambar dan titik nyala yang diperoleh semakin kecil. Hal yang sama juga terjadi untuk plastik jenis LDPE walaupun hasil yang diperoleh agak sedikit berbeda dari HDPE, titik nyala tertinggi juga diperoleh pada suhu pirolisis terendah 400⁰C yaitu sebesar 59,4⁰C, pada suhu pirolisis 420⁰C titik nyala yang diperoleh 58,3⁰C, pada suhu pirolisis 440⁰C titik nyala yang diperoleh 56,1⁰C, pada suhu pirolisis 460⁰C titik

nyala yang diperoleh $52,8^{\circ}\text{C}$ dan titik nyala terendah diperoleh pada suhu pirolisis 480°C yaitu $50,6^{\circ}\text{C}$.

d. Pengaruh Suhu Pirolisis dan Jenis Plastik Terhadap Kadar Abu



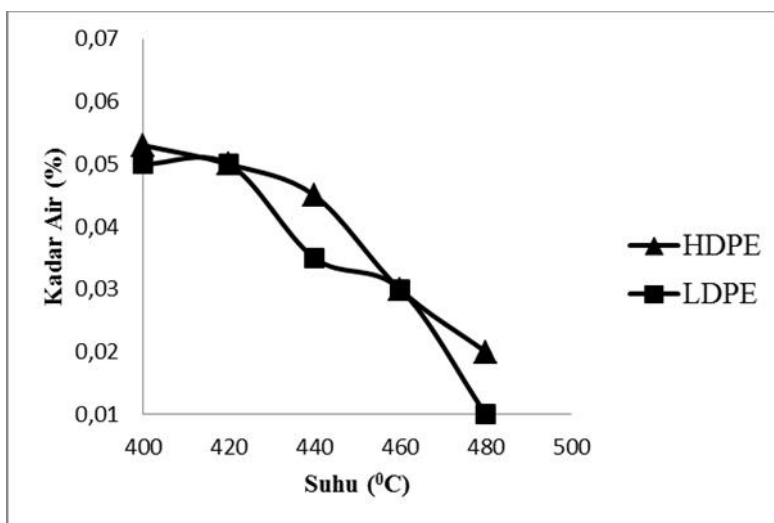
Gambar 3. Hubungan pengaruh suhu pirolisis terhadap kadar abu pada bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis HDPE dan LDPE

Pada suhu pirolisis tinggi 480°C terjadi penurunan kadar abu yaitu sebanyak 0,16% dikarenakan pada saat pengujian kadar abu pada bahan bakar sangat banyak atom C yang terkonversi sehingga menghasilkan kadar abu yang sedikit. Semakin banyak atom C tinggi yang terkandung, maka kadar abu juga semakin tinggi. Karena kadar abu adalah atom C yang tidak terkonversi saat reaksi oksidasi berlangsung. Hasil kadar abu yang didapat pada penelitian ini memang belum memenuhi standar mutu bahan bakar minyak, namun ada beberapa produk yang didapat sudah mendekati standar mutu bahan bakar minyak di Indonesia. Umumnya, kadar abu berada pada kisaran 0,03-0,7% (Tjokrowisastro dkk, 1990).

e. Pengaruh Suhu Pirolisis dan Jenis Plastik Terhadap Kadar Air

Kandungan air yang terdapat pada produk bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis HDPE dan LDPE semakin menurun, karena semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin sedikit kadar air yang diperoleh Hal ini

disebabkan oleh banyaknya kadar air yang hilang pada suhu pirolisis yang semakin tinggi. Beberapa produk bahan bakar minyak yang didapatkan sudah memenuhi standar mutu bahan bakar minyak di Indonesia yang memiliki kandungan air maksimal sebesar 0,05% (Dirjen Migas, 2004).



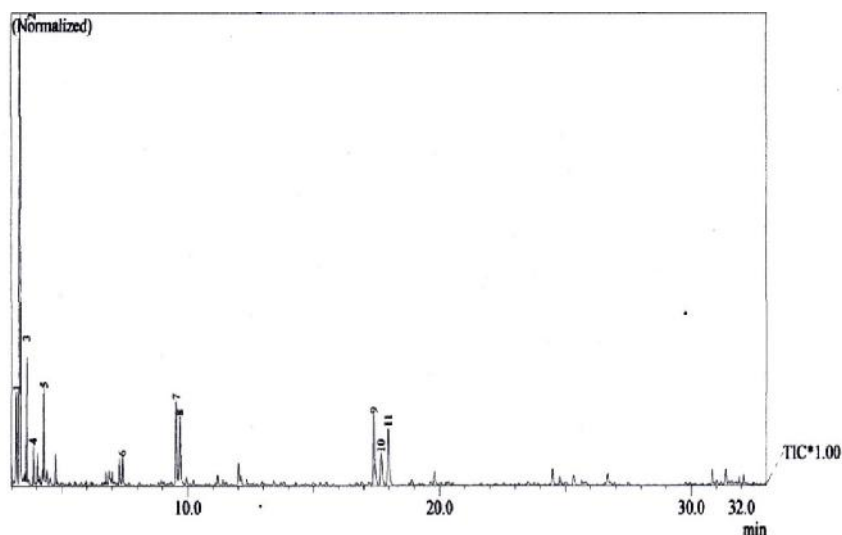
Gambar 4. Hubungan pengaruh suhu pirolisis terhadap kadar air pada bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis HDPE dan LDPE

f. Pengujian Komposisi Kimia

Bahan bakar minyak yang sudah didistilasi selanjutnya dianalisa dengan menggunakan alat Gas Cromatografi-Mass Spektrofotometer (GC-MS) untuk mengetahui komposisi kimia dari bahan bakar minyak.

1. Hasil analisa GC-MS bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis HDPE

Kromatogram GC-MS menunjukkan 11 komposisi yang terdapat pada bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis HDPE. Komposisi tersebut adalah terdiri dari, C₈H₁₀ sebanyak 16,95%, C₉H₁₈ sebanyak 54,61%, C₉H₂₀ sebanyak 7,06%, C₁₀H₂₀ sebanyak 8,67%, C₁₀H₂₂ sebanyak 4,82%, C₁₁H₂₀ sebanyak 5,56% dan C₁₄H₂₈ sebanyak 2,33%. Gambar/peak hasil analisa GC-MS dapat dilihat pada gambar 5.



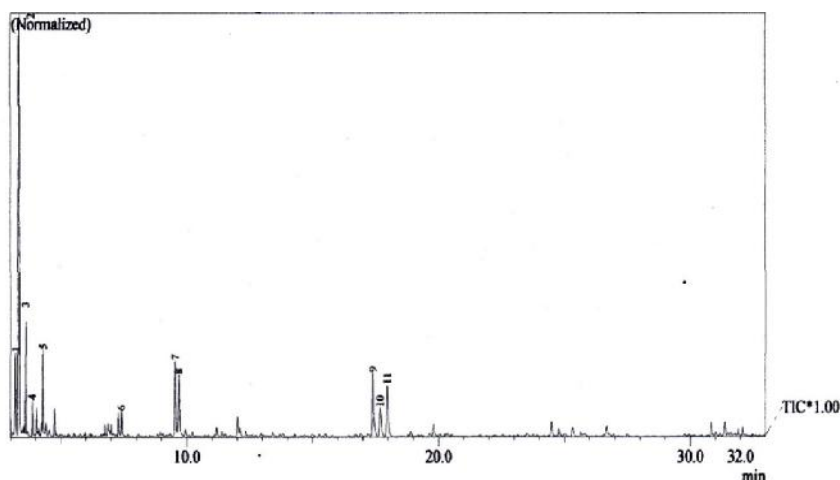
Gambar 5. Chromatogram dari bahan bakar minyak pirolisis plastik HDPE

Peak	% mol	Nama Senyawa Kimia	Formula Kimia	Nomor Atom C	Nomor Atom H	H/C	MW	C (%wt)	H (%wt)
1	5.58	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl	C ₉ H ₁₈	9	18	2.00	126	85.71	14.29
2	41.78	2,4-Dimethyl-1-heptene	C ₉ H ₁₈	9	18	2.00	126	85.71	14.29
3	6.90	Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	8	10	1.25	106	90.57	9.43
4	2.34	Benzene, 1,2-dimethyl	C ₈ H ₁₀	8	10	1.25	106	90.57	9.43
5	5.56	5,6-Undecadiene (CAS)	C ₁₁ H ₂₀	11	20	1.81	152	86.84	13.16
6	7.25	1-Nonene	C ₉ H ₁₈	9	18	2.00	126	85.71	14.29
7	7.71	Benzene, 1,4-dimethyl	C ₈ H ₁₀	8	10	1.25	106	90.57	9.43
8	7.06	Nonane (CAS) n-Nonane	C ₉ H ₂₀	9	20	2.22	128	84.37	15.63
9	8.67	1-Decene n-1-Decene	C ₁₀ H ₂₀	10	20	2.00	140	85.71	14.29
10	4.82	Decane (CAS) n-Decane	C ₁₀ H ₂₂	10	22	2.20	142	84.51	15.49
11	2.33	3-Tetradecene, (Z)	C ₁₄ H ₂₈	14	28	2.00	196	85.1	14.29

2. Hasil analisa GC-MS bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis LDPE

Kromatogram GC-MS juga menunjukkan 11 komposisi yang terdapat pada bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis LDPE. Komposisi

tersebut adalah terdiri dari, C_8H_{10} sebanyak 19,29%, C_9H_{18} sebanyak 55,63%, C_9H_{20} sebanyak 7,52%, $C_{10}H_{20}$ sebanyak 7,31%, $C_{10}H_{22}$ sebanyak 4,42%, $C_{11}H_{20}$ sebanyak 2,76% dan $C_{14}H_{28}$ sebanyak 3,07%. Gambar/peak hasil analisa GC-MS dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Chromatogram dari bahan bakar minyak pirolisis plastik LDPE

Peak	% mol	Nama Senyawa Kimia	Formula Kimia	Nomor Atom C	Nomor Atom H	H/C	MW	C (%wt)	H (%wt)
1	9.54	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl	C_9H_{18}	9	18	2.00	126	85.71	14.29
2	39.54	2,4-Dimethyl-1-heptene	C_9H_{18}	9	18	2.00	126	85.71	14.29
3	8.18	Ethylbenzene	C_8H_{10}	8	10	1.25	106	90.57	9.43
4	3.59	Benzene, 1,2-dimethyl	C_8H_{10}	8	10	1.25	106	90.57	9.43
5	2.76	5,6-Undecadiene (CAS)	$C_{11}H_{20}$	11	20	1.81	152	86.84	13.16
6	6.55	1-Nonene	C_9H_{18}	9	18	2.00	126	85.71	14.29
7	7.52	Benzene, 1,4-dimethyl	C_8H_{10}	8	10	1.25	106	90.57	9.43
8	7.52	Nonane (CAS) n-Nonane	C_9H_{20}	9	20	2.22	128	84.37	15.63
9	7.31	1-Decene n-1-Decene	$C_{10}H_{20}$	10	20	2.00	140	85.71	14.29
10	4.42	Decane (CAS) n-Decane	$C_{10}H_{22}$	10	22	2.20	142	84.51	15.49
11	3.07	3-Tetradecene, (Z)	$C_{14}H_{28}$	14	28	2.00	196	85.1	14.29

4. Simpulan dan Saran

1. Yield terbanyak diperoleh pada suhu pirolisis $480^{\circ}C$ yaitu sebanyak 59,4% pada bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis HDPE dan pada suhu

pirolisis yang sama, untuk bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis LDPE sebanyak 59,7%. Nilai kalor yang diperoleh dari hasil perhitungan komposisi kimianya adalah sebesar 10.814,829 kcal/kg untuk bahan bakar minyak dari plastik HDPE, 10.674,728 kcal/kg untuk bahan bakar minyak dari plastik LDPE.

2. Titik nyala dari beberapa sampel produk yang didapat memenuhi standar mutu bahan bakar minyak di Indonesia, diantaranya yang paling mendekati titik minimum adalah pada suhu pirolisis 440⁰C yaitu 58,3⁰C untuk plastik jenis HDPE dan pada suhu pirolisis yang sama yaitu 56,1⁰C untuk plastik jenis LDPE.
3. Semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin sedikit persen kadar air yang diperoleh yaitu berkisar antara 0,02-0,06% dan berbanding terbalik dengan kadar abu, dimana semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin banyak pula persen kadar abu yang dihasilkan, yaitu berkisar antara 0,03-0,26%.
4. Komposisi sampah plastik dapat mempengaruhi pembentukan distribusi jumlah atom C senyawa hidrokarbon minyak pirolisis. Plastik jenis HDPE dan LDPE dapat mengarahkan pembentukan fraksi atom C8-C14. Hasil dari analisa komposisi GC-MS diperoleh komposisi yang paling dominan adalah C9H18 yaitu sebesar 54,61% pada bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis HDPE dan 55,63% pada bahan bakar minyak dari sampah plastik jenis LDPE.
5. Kondisi operasi terbaik pada pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar minyak dengan menggunakan proses pirolisis yaitu pada range suhu 400⁰C-440⁰C dengan nilai-nilai pengujian yang didapat memenuhi standar mutu bahan bakar minyak di Indonesia.
6. Bahan bakar minyak pirolisis dari sampah plastik ini memiliki karakteristik bahan bakar minyak jenis bensin.

5. Daftar Pustaka

1. Aprian, R. P. dan Munawar A., 2012, "Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis", Jurnal Prodi Teknik Lingkungan FTSP UPN Veteran, Jatim.

2. AR Hakim, 2012, “Pemanfaatan Limbah Padat (plastik) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Pengganti Bensin”. Jurnal Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UPN “Veteran” Jatim.
3. Direktorat Jenderal Minyak Dan Gas Bumi, 2004, “Standar Mutu Bahan Bakar Minyak Indonesia”, Jakarta.
4. Puspita, 2013, “Informasi Energi Indonesia”, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UPN Veteran, Jatim.
5. Rodiansono, Trisunaryanti,W.,dan Triyono, 2007, “Pembuatan dan Uji Aktivitas Katalis NiMo/Z pada Reaksi Hidrorengkah Fraksi Sampah Plastik menjadi Fraksi Bensin”, Berkala MIPA, 17, 2.
6. Sakata, Y., Uddin, M.,A, & Muto, A. (1999). “Degradation of Polyethylene and Polypropylene into Fuel Oil by Using Solid Acid and Non-Acid Catalysts”. J. Anal. App. Pyrol., Vol 51, No. 1-2.P.135-155.
7. Syafari, 2011. “Proses Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Dengan Metode Transesterifikasi”, Skripsi Jurusan Teknik Kimia, Universitas Malikussaleh, Aceh.
8. Syafitri, C. 2001, “Analisis Aspek Sosial Ekonomi Pemanfaatan Limbah Plastik”, Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
9. Tjokrowisastro, E. H., dkk, 1990, “Teknik Pembakaran Dasar Dan Bahan Bakar”, Diktat ITS-Surabaya.