

Sintesis dan Karakterisasi Minyak Pirolisis Dari Sampah Kantong Plastik LDPE Menggunakan Reaktor Batch Sederhana

Andri Saputra^{1,*}, Iswahyuni², Aldillah Herlambang³

¹Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta, Jl. Ateka, Ngoto, Bangunharjo, Sewon, Bantul, Yogyakarta, 55187

²Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta, Jl. Ateka, Ngoto, Bangunharjo, Sewon, Bantul, Yogyakarta, 55187

³Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kab. Lampung Selatan, Lampung 35365

*E-mail: andri.saputra@atk.ac.id

Diterima: 20 11 2023

Direvisi: 04 12 2023

Disetujui: 31 01 2024

ABSTRAK

Meningkatnya penggunaan kantong plastik LDPE (Low Density Polyethylene) dalam kehidupan sehari-hari mengakibatkan peningkatan sampah kantong plastik dan dampak negatif yang ditimbulkannya. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi minyak pirolisis dari sampah kantong plastik LDPE menggunakan reaktor batch sederhana. Sampah kantong plastik LDPE disintesis dalam reaktor pirolisis sederhana yang menggunakan bahan bakar dari gas LPG (Liquified Petroleum Gas) yang beroperasi pada suhu 150°C dan tekanan atmosfer selama 55 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak pirolisis yang dihasilkan sebanyak 184 mL dengan yield proses sebesar 36,75%. Minyak pirolisis memiliki pH 5, berwarna kuning, dan berbau menyengat khas aromatik dengan densitas sebesar 786 kg/m³ dan viskositas 0,75 cP. Hasil uji FTIR menyatakan bahwa minyak pirolisis mengandung senyawa alkana dan alkena yang kualitas densitas dan viskositasnya sudah melewati minyak tanah dan mendekati kualitas minyak premium sehingga bisa dijadikan bahan bakar alternatif.

Kata kunci: kantong plastik, LDPE, pirolisis, reaktor, sampah.

ABSTRACT

The increasing use of LDPE (Low Density Polyethylene) plastic bags in daily life has led to an increase in plastic bag waste and its negative impacts. This study aims to synthesize and characterize pyrolysis oil from LDPE plastic bag waste using a simple batch reactor. LDPE plastic bag waste was synthesized in a simple pyrolysis reactor using fuel from LPG (Liquified Petroleum Gas) gas operated at 150°C and atmospheric pressure for 55 min. The results showed that the pyrolysis oil produced was 184 ml with a process yield of 36.75%. The pyrolysis oil has a pH of 5, yellow color, pungent odor typical of aromatics, density of 786 kg/m³ and viscosity of 0.75 cP. The FTIR test results indicate that the pyrolysis oil contains alkane and alkene compounds whose density and viscosity quality are superior to kerosene and close to the quality of premium oil, so it can be used as an alternative fuel.

Keywords: plastic bag, LDPE, pyrolysis, reactor, waste.

PENDAHULUAN

Penggunaan plastik tidak lepas dari kehidupan sehari-hari untuk kebutuhan industri, komersial, dan rumah tangga. Setiap tahun, rata-rata orang menggunakan 700 kantong plastik. Supermarket secara global menyediakan lebih dari 17 miliar kantong plastik setiap tahun [1]. Plastik dapat digunakan berkali-kali (*reuse*) dan dapat didaur ulang. Namun, kebanyakan plastik berakhir sebagai sampah. Sampah plastik sangat sulit terurai secara alami dan saat ini merupakan polutan terbesar di Bumi. Jika dibandingkan dengan jenis plastiknya, sampah plastik LDPE (Low Density Polyethylene) lebih banyak dan sering ditemukan di lingkungan masyarakat karena penggunaannya sebegini besar untuk membuat kantong kresek. Tanah, air, laut, dan bahkan udara dapat tercemari oleh sampah kantong plastik. Hewan pengurai di dalam tanah seperti cacing berpotensi terbunuh akibat keberadaan racun-racun dari partikel sampah kantong plastik. Serapan jalur air ke dalam tanah akan terganggu/tersumbat oleh sampah kantong plastik. Hewan laut seperti penyu dan lumba-lumba menganggap kantong plastik yang ada di laut sebagai makanan dan akibatnya hewan tersebut akan mati karena tidak bisa mencerna plastik tersebut. Hal ini dikarenakan kantong plastik memiliki sifat sulit terurai, ringan, dan mempunyai umur pakai yang panjang. Secara fisik, LDPE memiliki kerapatan molekul yang lebih kecil dan lebih fleksibel dibandingkan dengan HDPE (High Density Polyethylene), PP (Polypropylene), dan lainnya. LDPE banyak digunakan baik sebagai kantong plastik maupun sebagai kemasan makanan atau minuman dan berbagai macam plastik tipis lainnya. Keunggulan LDPE sebagai bahan pengemas adalah harganya yang murah, proses pembuatan yang mudah, fleksibilitas, dan mudah didaur ulang [2]. Massa jenis plastik LDPE tergolong rendah yaitu sekitar 0,742 gr/ml. LDPE memiliki viskositas sebesar 0,78 gram/ml dan titik leleh pada 115°C. LDPE memiliki ketahanan kimia yang sangat tinggi, namun mudah larut dalam tetrachlorocarbon dan benzena. Menurut Bell and Cave [3], penguraian alami sampah plastik oleh mikroorganisme membutuhkan waktu 400-1000 tahun, memiliki dampak negatif yang besar terhadap lingkungan.

Meskipun dalam pemulihan energi melalui proses pembakaran plastik, pembakaran terbuka atau langsung (*combustion*) dapat mengurangi jumlah sampah plastik, namun menimbulkan masalah baru dalam hal emisi yang dihasilkan berupa gas beracun [4]. Gas beracun seperti senyawa dioksin dihasilkan dari pembakaran terbuka sampah plastik. Dalam penelitian ini, dilakukan pengolahan sampah plastik LDPE menggunakan metode pirolisis. Pirolisis merupakan metode alternatif mengolah sampah plastik dengan proses degradasi sampah plastik secara termal atau membutuhkan temperatur tanpa oksigen. Produk yang dihasilkan adalah arang, gas dan minyak. Komposisi gas hasil pirolisis terdiri dari hidrogen, karbon monoksida, karbon dioksida, metana, etana, propana, butana, dan pentana [5]. Melalui rangkaian alat pirolisis, emisi gas hasil pirolisis plastik yang tidak termanfaatkan dapat dimitigasi agar tidak langsung lepas ke udara dengan dilewatkan melalui *absorber* (biasanya air).

Studi pirolisis sampah plastik LDPE telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, antara lain pirolisis plastik LDPE dan PET pada suhu 250°C dan tekanan 2 bar [6], pirolisis plastik LDPE dan PP pada suhu 300-400°C [7], pirolisis plastik LDPE pada suhu 200-300°C [8]. Namun, dari beberapa studi yang telah dilakukan tersebut, terdapat beberapa kelemahan dari studi sebelumnya, seperti rangkaian alat pirolisis yang tidak sederhana dan mahal, serta suhu proses dan tekanan yang digunakan saat pirolisis cukup tinggi.

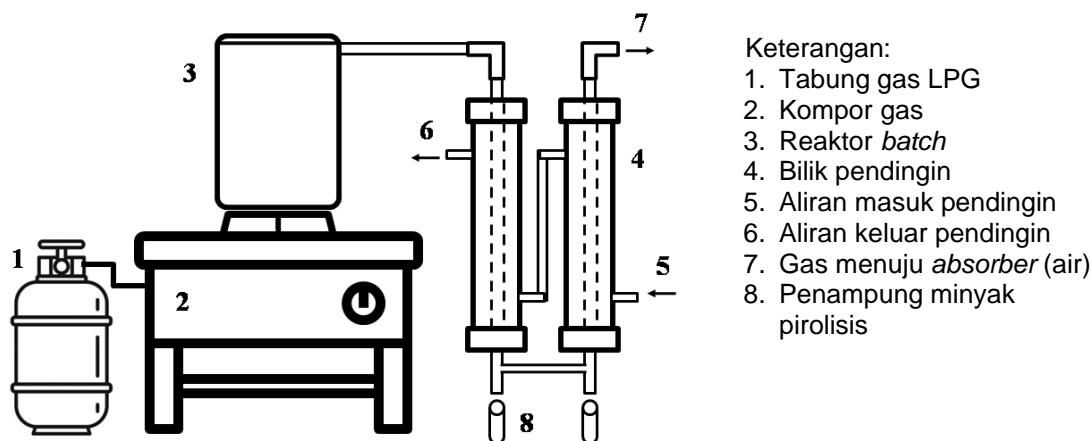
Menurut Santo dkk [8], proses pirolisis plastik dapat dilakukan pada kisaran suhu 100-400°C dengan waktu reaksi 0-60 menit, dan tetesan pertama umumnya terjadi pada suhu sekitar 120°C. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis sekaligus mengetahui karakteristik minyak pirolisis yang dibuat menggunakan rangkaian alat pirolisis sederhana. Rangkaian alat pirolisis sederhana tersebut terdiri dari kompor gas dan rangkaian bilik pendingin dari pipa paralon, serta dioperasikan pada tekanan atmosfer dan pada suhu yang lebih rendah dari penelitian yang telah ada sebelumnya. Melalui penelitian ini, kedepannya diharapkan pengolahan sampah kantong plastik melalui proses pirolisis diharapkan dapat menjadi alternatif dalam mengurangi pencemaran lingkungan yang sederhana dan aplikatif untuk diterapkan oleh bank sampah yang di masyarakat, serta menghasilkan produk yang mempunyai nilai tambah sebagai penghasil bahan bakar alternatif.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain neraca analitik, piknometer, gelas ukur, kertas pH

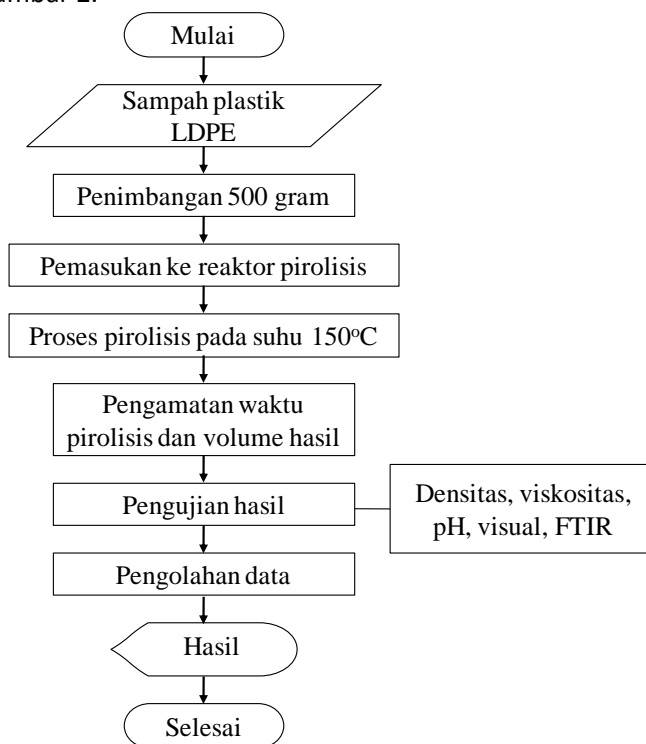
indikator, instrumen uji *Transform Infrared Spectrometer* (FTIR) PerkinElmer 1000, viskometer oswald, dan rangkaian alat pirolisis yang terdiri dari reaktor batch, tabung gas LPG, kompor gas, bilik pendingin, *absorber* (air), dan alat penampung minyak pirolisis (gelas ukur). Gambar rangkaian alat pirolisis seperti yang tertampil pada Gambar 1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah kantong plastik jenis LDPE dan *silicone sealant*.



Gambar 1. Rangkaian sederhana alat pirolisis

Sintesis Minyak Pirolisis

Alat pirolisis dirangkai seperti pada Gambar 1. Tahapan penelitian secara keseluruhan disajikan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Sampah kantong plastik sebanyak 500 gram dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Pada bagian tutup reaktor dikunci (dilem) menggunakan *silicone sealant* untuk mencegah gas hasil pirolisis keluar reaktor. Proses pirolisis dilakukan dengan sistem *batch* pada suhu 150°C dan tekanan atmosfer selama 1 jam. Air dialirkan ke dalam bilik pendingin selama proses pirolisis berlangsung untuk mengkondensasi gas pirolisis yang bersifat *condensable*

menjadi minyak pirolisis. Minyak pirolisis ditampung, dicatat volume pada satuan interval waktu tertentu, dan dikarakterisasi.

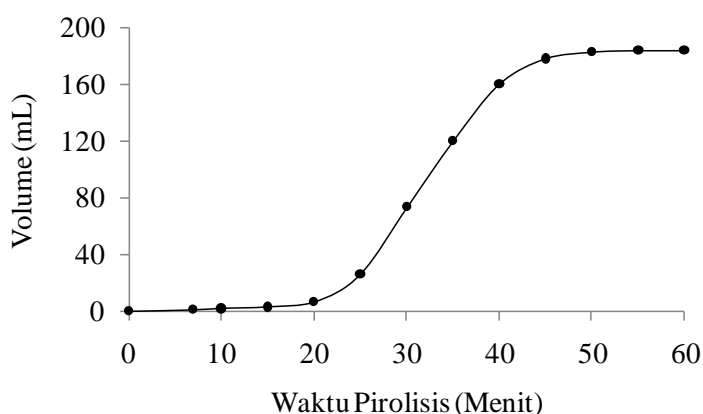
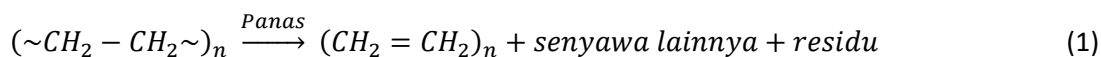
Karakterisasi Minyak Pirolisis

Minyak pirolisis diukur pH, viskositas, dan densitasnya. Pengukuran pH minyak pirolisis menggunakan kertas indikator pH. Densitas minyak pirolisis diukur menggunakan piknometer, sedangkan viskositas minyak pirolisis diukur menggunakan viskometer Oswald. Pengukuran tersebut dilakukan dengan sistem triplo pada suhu kamar. Minyak pirolisis juga diamati warna dan aromanya. Selain itu, gugus fungsi yang terdapat dalam minyak pirolisis dikarakterisasi menggunakan uji *Transform Infrared Spectrometer* (FTIR) PerkinElmer 1000 pada rentang panjang gelombang 600-4000 cm^{-1} .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Volume Bahan Bakar Alternatif

Hasil penelitian berupa pengaruh waktu pirolisis terhadap volume minyak yang dihasilkan disajikan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 3. Tetesan pertama minyak pirolisis diperoleh pada waktu 7 menit pertama. Pada Gambar 3 juga terlihat bahwa dari waktu awal (0 menit) hingga 20 menit jumlah volume minyak yang dihasilkan mengalami sedikit peningkatan. Hal ini dikarenakan rentang suhu operasi pirolisis berkisar 120°C hingga dibawah 150°C. Menurut Santo dkk. [9], proses pirolisis plastik dapat dilakukan pada kisaran suhu 100-400°C dengan waktu reaksi 0-60 menit, dan tetesan pertama umumnya terjadi pada suhu sekitar 120°C. Selama proses pirolisis, rantai-rantai polimer plastik LDPE akan terpecah menjadi senyawa yang lebih sederhana (monomer) serta senyawa lain seperti tar dan residu karena adanya energi panas. Adapun reaksi yang terjadi pada saat pirolisis seperti pada Persamaan 1.



Gambar 3. Pengaruh waktu terhadap volume minyak pirolisis

Setelah melewati waktu 20 menit, suhu operasi konstan mencapai 150°C dan volume minyak pirolisis yang dihasilkan meningkat signifikan hingga pada waktu 25 menit. Hal ini sejalan dengan Hariadi, dkk [10] yang menyatakan bahwa proses dekomposisi melalui pirolisis terjadi lebih dari 150 °C. Proses pirolisis dimulai pada temperature sekitar 150°C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan *volatile matters* pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan *polyaromatic hydrocarbon* [11]. Volume bahan bakar alternatif dalam penelitian ini terus meningkat hingga waktu pirolisis 55 menit. Namun peningkatan tersebut tidak signifikan karena jumlah bahan baku plastik LDPE semakin berkurang atau dengan kata lain senyawa-senyawa yang diuraikan berkurang. Dengan demikian diketahui bahwa waktu optimum proses pirolisis plastik LDPE dalam penelitian ini adalah 55 menit dengan volume bahan bakar sebesar 184 mL. Setelah waktu lebih dari 55 menit, volume bahan bakar alternatif yang dihasilkan konstan. Hal

ini menandakan bahwa bahan baku plastik LDPE yang terdapat reaktor sudah terdekomposisi semua. *Yield* proses pirolisis yang diperoleh dalam penelitian ini sebesar 36,75%. Hal ini menandakan bahwa produk samping proses pirolisis plastik LDPE berupa arang dan *syngas* seperti yang disampaikan oleh Hariadi, dkk [10]. *Yield* minyak pirolisis pada penelitian ini lebih tinggi (lebih baik) dibandingkan literatur yang menyatakan persen hasil pirolisis kantong kresek pada suhu 425°C sebesar 20,26%. Penelitian yang dilakukan oleh Sarker dkk [12] pirolisis LDPE pada suhu 150°C pada tekanan atmosferis dan tanpa katalis dihasilkan minyak plastik setara kerosin dengan *yield* kurang lebih sebesar 30%. Pada suhu pirolisis yang sama, *yield* minyak pirolisis pada penelitian ini lebih besar dibandingkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sarker dkk [12].

Waktu tinggal dan tekanan merupakan faktor ketergantungan suhu yang mungkin memiliki pengaruh potensial pada distribusi produk pirolisis plastik pada suhu yang lebih rendah. Informasi dari literatur menyatakan beberapa peneliti melakukan studi pirolisis plastik lebih berfokus pada faktor suhu dan pada tekanan atmosfer [13]. Baik faktor suhu dan waktu tinggal dalam reaktor, keduanya perlu dipertimbangkan dari sisi keekonomisan pengoperasian. Pada penelitian ini, pirolisis bisa dilakukan pada tekanan atmosferis dan suhu sekitar 150°C. Namun, proses pirolisis tersebut membutuhkan waktu tinggal di dalam reaktor yang cukup lama, yaitu 55 menit. Waktu pirolisis yang dibutuhkan ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan dan Ali [14]. Pirolisis LDPE menunjukkan hasil konstan pada waktu 50 menit, namun pada suhu pirolisis yang lebih tinggi yaitu 250°C. Sehingga untuk mempersingkat waktu pirolisis dengan metode yang sama dengan penelitian ini maka diperlukan peningkatan suhu pirolisis di atas 150°C. Suhu sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan karena sesuai dengan persamaan Arrhenius, suhu makin tinggi nilai konstanta dekomposisi termal semakin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi naik. Alternatif untuk mempersingkat waktu pirolisis adalah dengan memperkecil ukuran kantong plastik LDPE yang diumpangkan. Pada penelitian ini kantong plastik yang digunakan tidak mengalami pencacahan/ pengecilan ukuran atau kantong plastik tetap utuh sesuai dengan ukuran aslinya. Menurut Ramadhan dan Ali [14], ukuran partikel berpengaruh terhadap hasil. Semakin besar ukuran partikel, luas permukaan per satuan berat semakin kecil sehingga proses akan menjadi lambat.

Densitas, pH, dan Viskositas Minyak Pirolisis

Minyak pirolisis yang diperoleh dalam penelitian ini memiliki pH 5, berwarna kuning (Gambar 4), dan berbau menyengat khas aromatik. Bilangan asam di dalam bahan bakar dapat mempengaruhi korosinya terhadap mesin. Semakin tinggi bilangan asam maka korosivitasnya semakin tinggi [15]. Minyak pirolisis pada penelitian ini memiliki pH 5 yang cenderung asam. Sifat asam minyak pirolisis disebabkan terdapatnya senyawa asam seperti asam karboksilat dan senyawa asam lainnya. Hal ini terbukti dengan adanya serapan asam karboksilat pada hasil analisis FTIR yang akan dibahas pada sub 3.3. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh Sumarni dan Purwanti [16]. Salah satu cara untuk menaikkan bilangan asam pada minyak pirolisis adalah dengan proses esterifikasi, sehingga minyak pirolisis perlu diproses lebih lanjut [17]. Namun jika kondisi asam dari bahan bakar tidak dapat dikelola, bahan bakar masih dapat digunakan untuk sistem injeksi bahan bakar yang terbuat dari *stainless steel* [18].

Minyak berwarna kuning kecokelatan, tetapi sudah biasa untuk bahan bakar kompor. Minyak dari plastik bekas ini memiliki sifat tidak jenuh. Artinya, perbandingan antara karbon dan hidrogen tidak seimbang sehingga ada mata rantai yang tidak terisi. Hasil lainnya yang pernah dilakukan oleh Iswadi, dkk. [6] juga menyatakan bahwa minyak hasil pirolisis mudah terbakar dan baunya merangsang. Seperti yang terlihat pada Gambar 4, jika dibandingkan dengan warna minyak pirolisis hasil penelitian yang dilakukan oleh Wisnujati dan Yudhanto [19] (Gambar 4b), minyak pirolisis yang dihasilkan dalam penelitian ini lebih kuning cerah dan jernih (Gambar 4a). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun proses pirolisis dilakukan pada suhu lebih rendah (150°C) kualitas warna bahan bakar lebih baik dibandingkan hasil pirolisis pada suhu 200-300°C yang dilakukan oleh Wisnujati dan Yudhanto [19].

Densitas minyak pirolisis dari pirolisis LDPE yang dihasilkan dalam penelitian ini dan perbandingannya dengan jenis bahan bakar lain seperti tertera pada Tabel 1. Minyak pirolisis hasil penelitian ini memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan dengan minyak tanah, minyak solar, dan minyak Pertamina Dex. Namun, minyak pirolisis hasil penelitian ini memiliki densitas yang lebih besar dibandingkan dengan minyak premium dan minyak Pertamina. Densitas minyak pirolisis hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Bow, dkk [20].

Hasil penelitian Bow, dkk [20] menyatakan minyak pirolisis LDPE memiliki densitas sekitar 782 kg/m^3 . Untuk menaikkan atau menurunkan densitas produk cair LDPE bisa dengan mengubah suhu pirolisis. Berdasarkan Liestiono, dkk [21] Semakin besar temperatur maka akan mengurangi terjadinya reaksi sekunder uap hidrokarbon menjadi gas, sehingga fraksi-fraksi berat semakin banyak yang terikut ke dalam kondensor dan terkondensasi menjadi minyak. Banyaknya fraksi berat tersebut juga menyebabkan cairan menjadi lebih pekat maka semakin berat densitas produk cair pirolisis.



(a) Hasil penelitian ini
 (b) Wisnujati dan Yudhanto [14]
Gambar 4. Perbandingan warna bahan bakar alternatif hasil Pirolisis LDPE

Tabel 1. Perbandingan densitas beberapa jenis bahan bakar

No.	Jenis Bahan Bakar	Densitas (kg/m^3)	Referensi
1.	Minyak Tanah	790-830	[22]
2.	Minyak Premium	710-770	[23]
3.	Minyak Solar	815-880	[23]
4.	Minyak Peralite	729	[24]
5.	Minyak Pertamina Dex	835	[24]
6.	Minyak Pirolisis LDPE	786	Penelitian ini

Karakteristik viskositas suatu sampel merupakan hal yang perlu diketahui dalam suatu analisis bahan bakar cair. Uji ini dilakukan untuk mengetahui kekentalan dari suatu sampel yang digunakan. Viskositas minyak pirolisis dari pirolisis LDPE yang dihasilkan dalam penelitian ini dan perbandingannya dengan jenis bahan bakar lain seperti tertera pada Tabel 2. Semakin rendah viskositas minyak, semakin mudah memompa dan menyemprotkan dan mencapai tetesan halus [25]. Minyak pirolisis hasil penelitian ini memiliki viskositas yang lebih kecil dibandingkan dengan minyak tanah dan minyak solar. Namun, minyak pirolisis hasil penelitian ini memiliki viskositas yang lebih besar dibandingkan dengan minyak premium, minyak peralite, dan pertamina dex. Berdasarkan viskositas dan densitas terlihat bahwa minyak pirolisis yang dihasilkan dalam penelitian ini kualitasnya sudah melewati minyak tanah dan mendekati kualitas minyak premium. Sama halnya dengan densitas, viskositas minyak pirolisis bisa ditingkatkan atau diturunkan melalui parameter suhu pirolisis. Berdasarkan Liestiono, dkk [21] Semakin besar temperatur maka akan mengurangi terjadinya reaksi sekunder uap hidrokarbon menjadi gas, sehingga fraksi-fraksi berat semakin banyak yang terikut ke dalam kondensor dan terkondensasi menjadi minyak. Banyaknya fraksi berat tersebut juga menyebabkan cairan menjadi lebih pekat maka semakin besar viskositas produk cair pirolisis.

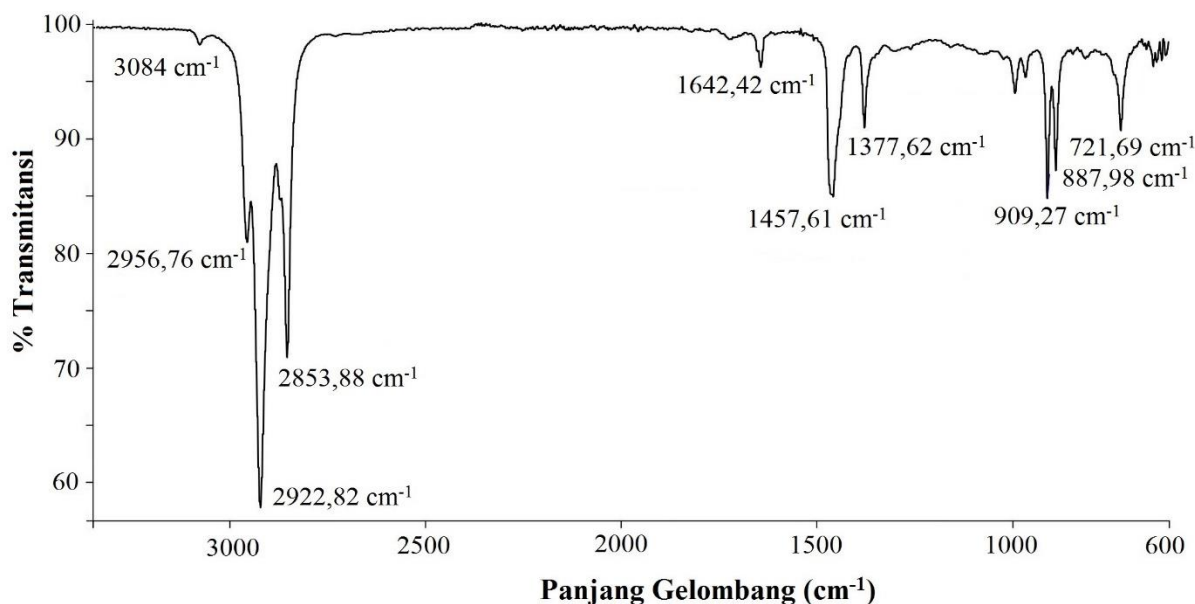
Tabel 2. Perbandingan viskositas beberapa jenis bahan bakar

No.	Jenis Bahan Bakar	Viskositas (cP)	Referensi
1.	Minyak Tanah	0,79	[26]
2.	Minyak Premium	0,65	
3.	Minyak Solar	0,93	
4.	Minyak Peralite	0,65	
5.	Minyak Pertamina Dex	0,65	
6.	Minyak Pirolisis LDPE	0,75	Penelitian ini

Gugus Fungsi Minyak Pirolisis

Pengujian FTIR dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi senyawa yang terkandung dalam bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik LDPE. Pada interaksi sinar inframerah dengan minyak (bahan bakar alternatif), ikatan kimia dapat menyerap radiasi inframerah dalam rentang panjang gelombang tertentu yang mengabaikan struktur molekul lainnya. Pengujian FTIR minyak pirolisis LDPE dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Teknik Polimer Politeknik ATK Yogyakarta menggunakan spektrofotometer FTIR. Spektra FTIR bahan bakar alternatif dalam penelitian ini seperti yang terlihat pada Gambar 5. Ringkasan dan identifikasi gugus fungsi minyak pirolisis disajikan dalam Tabel 3.

Spektra pada Gambar 5 menunjukkan adanya =C-H regangan yang memiliki sifat gugus fungsi berupa senyawa aromatik pada panjang gelombang 3084 cm^{-1} . Spektra pada Gambar 5 juga menunjukkan puncak antara 3000 cm^{-1} dan 2800 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi -CH_3 , -CH_2 , dan -CH yang merupakan indikasi gugus alkana senyawa alifatik dan metil simetris. Senyawa alkena dengan tipe vibrasi C-H *rock* ditemukan dalam minyak pirolisis pada puncak 721 cm^{-1} . Berdasarkan hasil penelitian Budsareechai, dkk. [30], puncak-puncak tersebut menunjukkan sifat produk minyak pirolisis yang sangat alifatik.



Gambar 5. Spektra FTIR minyak pirolisis

Tabel 3. Komposisi gugus fungsi minyak pirolisis

No	Panjang Gelombang (cm ⁻¹)	Tipe Vibrasi [27,28,29]	Sifat Gugus Fungsi
1	3084	=C–H regangan	Aromatik
2	2956,76	C–H regangan	Alkana (alifatik)
3	2922,83	C–H regangan	Alkana (alifatik)
4	2853,88	C–H regangan	Alkana (metil simetris)
5	1642,42	C=C regangan	Alkena/ <i>Fingerprint</i> cincin fenil
6	1457,61	C=C regangan	Alkena/ <i>Fingerprint</i> cincin fenil
7	1377,62	C–H putusan dan ikatan	Alkana
8	909,27	=C–H ikatan	Alkena
9	887,98	C–H di luar bidang ikatan	Alkena
10	721,69	C–H <i>rock</i>	Alkana

Puncak pada panjang gelombang 1457 cm⁻¹ dan 1642 cm⁻¹ berhubungan dengan keberadaan senyawa alkena atau *fingerprint* cincin fenil. Senyawa alkena dengan tipe vibrasi C–H ditemukan dalam minyak pirolisis pada puncak 909 cm⁻¹ dan 887 cm⁻¹. Puncak pada panjang gelombang 1377 cm⁻¹ menandakan getaran deformasi ikatan C–H dari senyawa alkana. Doğan dan Kayacan [31] menyatakan serapan pada 1370-1380 cm⁻¹ menunjukkan asam karboksilat. Hasil FTIR dalam penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Budsareechai, dkk. [30] dan Abbas dan Mohamed [32] yang menyatakan bahwa cairan yang diperoleh dari pirolisis termal limbah plastik LDPE dalam reaktor *batch* pada suhu rendah sebagian besar terdiri dari alkana dengan rentang bilangan karbon (C₉ hingga C₂₄).

Potensi Sampah Plastik LDPE Sebagai Bahan Bakar Alternatif

Berdasarkan hasil analisis yang telah dibahas pada sub sebelumnya, jika dilihat dari karakteristik minyak pirolisis bahwa sampah kantong plastik memiliki potensi sebagai bahan bakar minyak. Polimer plastik jenis PE terdiri dari karbon dan hidrogen dengan produk utama hidrokarbon cair ini diizinkan sebagai bahan baku bahan bakar minyak. Karbon dan hidrogen pada PE merupakan bahan baku khas untuk produksi bahan bakar karena nilai panas tinggi dan gas buang yang bersih [33]. Mengacu hasil penelitian yang dilakukan oleh Wisnujati dan Yudhanto [19] Minyak hasil pirolisis sampah kantong plastik LDPE dapat dinyalakan melalui percikan api dan dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif. Sejalan dengan penelitian tersebut, minyak pirolisis hasil penelitian ini juga dapat dinyalakan melalui percikan api sehingga minyak pirolisis ini juga dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif.

Dengan asumsi bahwa pengumpulan sampah plastik dalam sehari diperoleh jumlah berat bersih sampah plastik minimum 500 gram. Jika hasil pirolisis diperoleh *yield* proses 36,75%, maka minyak rata-rata dari keseluruhan sampel sebesar 184 mL dalam 500 gram maka perkiraan potensi minimum volume minyak hasil pirolisis yang diperoleh dalam sehari dan hari berikutnya ditunjukkan seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Perkiraan Potensi Minyak Pirolisis Dari Sampah Kantong Plastik

Hari	Massa Sampah Kantong Plastik (gr)	Volume Minyak Pirolisis (mL)
Sehari (1)	500	184
Seminggu (5)	2500	920
Sebulan (20)	10000	3680

Tabel 4 menunjukkan perkiraan potensi minyak pirolisis sampah kantong plastik yang dihasilkan dalam perkiraan waktu tertentu. Dalam sehari, minyak pirolisis dapat diproduksi sebanyak 184 mL dan dapat mengatasi permasalahan sampah kantong plastik sebanyak 500 gram. Masalah sampah kantong plastik sebanyak 2500 gram (2,5 kg) dapat diatasi jika pirolisis dilakukan tiap harinya selama 5 hari berturut-turut. Minyak yang dihasilkan

selama 5 hari tersebut diperoleh perkiraan sebanyak 920 mL. Dengan perkiraan 20 hari kerja (proses pirolisis) dalam sebulan, masalah sampah kantong plastik di Lingkungan Kampus Politeknik ATK sebanyak 10000 gram (10 kg) dapat diatasi dan dicegah berakhir di tong sampah (pembuangan akhir di *landfill*) dan diperkirakan menghasilkan minyak pirolisis sebanyak 3680 mL (3,68 L). Perhitungan ini menggunakan asumsi untuk berat sampah plastic LDPE di satu lingkungan saja yakni Politeknik ATK Yogyakarta. Jika menggunakan sampah plastik dari unit lainnya, misalnya bank sampah, maka diperkirakan semakin banyak sampah plastik LDPE yang dapat diolah.

KESIMPULAN

Minyak pirolisis dari bahan baku sampah kantong plastik LDPE berhasil disintesis menggunakan reaktor pirolisis sederhana yang beroperasi pada suhu 150°C dan tekanan atmosfer dengan waktu optimum 55 menit. Minyak pirolisis yang dihasilkan sebanyak 184 mL dengan *yield* proses sebesar 36,75%. Minyak pirolisis memiliki pH 5, berwarna kuning, dan berbau menyengat khas aromatik dengan densitas sebesar 786 kg/m³ dan viskositas 0,75 cP. Hasil uji FTIR menyatakan bahwa minyak pirolisis mengandung senyawa alkana dan alkena yang kualitas densitas dan viskositasnya sudah melewati minyak tanah dan mendekati kualitas minyak premium sehingga bisa dijadikan bahan bakar alternatif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ekawati, S., 2016. Mengkritisi kebijakan penanganan kantong plastik di Indonesia. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Sosial, Ekonomi, Kebijakan dan Perubahan Iklim*, 10 (6), pp.1-4.
- [2] Billmeyer, F W., 1984. *Textbook of polymer science*. New York: John Wiley & Sons.
- [3] Bell, K., dan Cave, S., 2011. Comparison of environmental impacts of plastic, paper and cloth bags, *Research and Library Service Briefing Note*, pp.1-21.
- [4] Aguado, J., Serrano, D. P., San Miguel, G., Castro, M. C., dan Madrid, S., 2007. Feedstock recycling of polyethylene in a two-step thermo-catalytic reaction system. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 79 (1-2), pp.415-423.
- [5] Kuncser, R., Paraschiv, M., Tazerout, M., and Bellettre, J., 2010. Liquid fuel recovery through pyrolysis of polyethylene waste. *Environmental Engineering and Management Journal*, 9 (10), pp.1371-1374.
- [6] Iswadi, D., Nurisa, F., dan Liastuti, E., 2017. Pemanfaatan sampah plastik LDPE dan PET menjadi bahan bakar minyak dengan proses pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 1 (2), pp.1-9.
- [7] Nugroho, A. S., 2020. Pengolahan limbah plastik LDPE dan PP untuk bahan bakar dengan cara pirolisis. *Jurnal Litbang Sukowati: Media Penelitian dan Pengembangan*, 4 (1), pp.91-100.
- [8] Novarini, N., Kurniawan, S., Rusdianasari, R., dan Bow, Y., 2021. Kajian karakteristik dan energi pada pirolisis limbah plastik low density polyethylene (LDPE), *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 5 (1), pp.61-70.
- [9] Gitakarma, M. S., Krisnawati, L., Sutaya, I. W., Ariawan, K. U., dan Adiarta, A., 2016. Pengembangan teknik pengolahan sampah plastik menjadi minyak di TPST Desa Anturan, Buleleng, *Proceeding Semnasvoktek*, 1, pp.253-260.
- [10] Hariadi, D., Saleh, S. M., Yamin, R. A., dan Aprilia, S., 2021. Utilization of LDPE plastic waste on the quality of pyrolysis oil as an asphalt solvent alternative. *Thermal Science and Engineering Progress*, 23 (1), pp.100872.
- [11] Sapriyanto, A., 2011. *Mesin Pengubah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. Depok: PKMT PNJ.
- [12] Sharuddin, S. D. A., Abnisa, F., Daud, W. M. A. W., dan Aroua, M. K., 2018. Pyrolysis of plastic waste for liquid fuel production as prospective energy resource. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 334 (1), pp.012001.
- [13] Sarker, M., Rashid, M. M., Rahman, M. S., dan Molla, M., 2012. Environmentally harmful low density waste plastic conversion into kerosene grade fuel. *Journal of Environmental Protection*, 3, pp.700-708.
- [14] Ramadhan P., A., dan Ali, M., 2012, Pengolahan sampah plastik menjadi minyak menggunakan proses pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 4 (1), pp.44-53.
- [15] Haryanto, A., Silviana, U., Triyono, S., dan Prabawa. S., 2015. Produksi biodiesel dari transesterifikasi minyak jelantah dengan bantuan gelombang mikro: Pengaruh intensitas daya dan waktu reaksi terhadap rendemen dan karakteristik biodiesel. *AGRITECH*, 35 (2), pp.234-240.
- [16] Sumarni, S., dan Purwanti, A., 2008. Kinetika reaksi pirolisis plastik low density polyethylene (LDPE). *Jurnal Teknologi*, 1 (2), pp.135-140.

- [17] Mawiney, Y., 2017. *Esterifikasi bio-oil dari pirolisis CPO Parit dalam rangka mendapatkan biofuel*. Skripsi Sarjana. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- [18] Kalargaris, I., Tian, G., dan Gu, S., 2017. Experimental evaluation of a diesel engine fuelled by pyrolysis oils produced from low density polyethylene and ethylene–vinyl acetate plastics. *Fuel Processing Technology*, 161, pp.125-131.
- [19] Wisnujati, A., dan Yudhanto, F., 2020. Analisis karakteristik pirolisis limbah plastik low density polyethylene (LDPE) sebagai bahan bakar alternatif. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 9 (1), pp.102-107.
- [20] Bow, Y., Zulkarnain., Lestari, S. P., Sihombing, S. R. M., Kharissa, S. A., dan Salam, Y. A., 2018. Pengolahan sampah low density polyethylene (LDPE) dan polypropylene (PP) menjadi bahan bakar cair alternatif menggunakan prototipe pirolisis thermal cracking. *Jurnal Kinetika*, 9 (3), pp.1-6.
- [21] Liestiono, R. P., Cahyono, M. S., Widyawidura, W., Prasetya, A., dan Syamsiro, M., 2017. Karakteristik minyak dan gas hasil proses dekomposisi termal plastik jenis low density polyethylene. *Jurnal Offshore*, 1 (2), pp.1-9.
- [22] Wahyudi, J., Prayitno, H. T., dan Astuti, A. D., 2018. Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan dan IPTEK*, 14 (1), pp.58-67.
- [23] Pertamina, 2023. Spesifikasi produk BBM, BBN, & LPG. Tersedia di https://onesolution.pertamina.com/Product/Download?filename=20201201035120atc_spesifikasi.pdf. Diakses tanggal 22 November 2023.
- [24] Yanuar, S., 2018. *Karakterisasi jenis bahan bakar minyak dengan gelombang ultrasonik 40 KHz berdasarkan parameter massa jenis*. Disertasi Doktor. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [25] Sharma, M.C., Soni, N., dan Bhatele, S., 2014. Production of alternative fuel from waste engine oil for 4-S diesel engine. *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*, 4 (4), pp.635-643.
- [26] Purwanti, L., 2015. *Uji viskositas bahan bakar cair alami dengan menggunakan viskosimeter ostwald*. Disertasi Doktor. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [27] Panda, A. K., dan Singh, R. K., 2011. Catalytic performances of kaoline and silica alumina in the thermal degradation of polypropylene. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 39 (3), pp.198-202.
- [28] Miandad, R., Barakat, M. A., Aburizaiza, A. S., Rehan, M., Ismail, I. M. I., dan Nizami, A. S., 2017. Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 119, pp.239-252.
- [29] Rehan, M., Miandad, R., Barakat, M. A., Ismail, I. M. I., Almeelbi, T., Gardy, J., dan Nizami, A. S., 2017. Effect of zeolite catalysts on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 119, pp.162-175.
- [30] Budsareechai, S., Hunt, A. J., dan Ngernyen, Y., 2019. Catalytic pyrolysis of plastic waste for the production of liquid fuels for engines. *RSC advances*, 9 (10), pp.5844-5857.
- [31] Doğan, Ö. M., dan Kayacan, I., 2008. Pyrolysis of low and high density polyethylene. Part II: Analysis of liquid products using FTIR and NMR spectroscopy. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30 (5), pp.392-400.
- [32] Abbas, A. S., dan Mohamed, F. A., 2015. Production and evaluation of liquid hydrocarbon fuel from thermal pyrolysis of virgin polyethylene plastics. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 16 (1), pp.21-33.
- [33] UNEP (United Nations Environment Programme), 2009. *Converting Waste Plastics into a Resource*. Osaka: Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre.