

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK JENIS LDPE (*LOW DENSITY POLYETHYLENE*) SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF MELALUI PROSES PIROLISIS

Muhammad Hasan Febriansyah

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: muhammadhasan.21066@mhs.unesa.ac.id

Muhaji

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: muhaji61@unesa.ac.id

Abstrak

Penduduk manusia yang semakin meningkat sangat berpengaruh terhadap meningkatnya produksi dan penggunaan plastik yang dihasilkan sangat berpengaruh besar dalam pencemaran. Sehingga, pengolahan limbah plastik dapat dilakukan dengan mendaur ulang sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif dengan melalui proses pirolisis. Tujuan dari penelitian adalah untuk menganalisis karakteristik variasi temperatur di reaktor pembakaran terhadap densitas, viskositas, nilai kalor, dan flashpoint, serta menganalisis hasil minyak dari proses pirolisis dengan menggunakan bahan baku limbah dari plastik ber-jenis Low Density Polyethylene (LDPE). Penelitian ini menerapkan metode eksperimen dengan variasi temperatur reaktor 275°C, 300°C, dan 350°C. Jenis bahan yang digunakan limbah plastik berjenis Low Density Polyethylene (LDPE). Pengujian karakteristik bahan bakar menggunakan standar ASTM (densitas D1298, viskositas D1343, flash point D93). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Bakar dan Pelumas, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya. Analisa data dilakukan dengan jenis analisa deskriptif kuantitatif. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa proses pirolisis jenis plastik Low Density Polyethylene (LDPE) yang menghasilkan karakteristik nilai densitas yang mencapai setara dengan pertalite dengan temperatur 300°C dan 350°C memperoleh 0,76 kg/l dan 0,782 kg/l. Nilai viskositas pada temperatur 275°C serupa dengan minyak tanah memperoleh 2,8 cst. Pada nilai kalor dengan temperatur 300°C dan 350°C serupa dengan pertalite memperoleh 10956 cal/g dan 11107 cal/g. Titik nyala dari nilai flash point pirolisis berada diatas flash point pertalite. Dari hasil yang didapat nilai flash point dan viskositas dapat disimpulkan bahwa karakteristik minyak pirolisis LDPE (Low Density Polyethylene) termasuk jenis bahan bakar like minyak tanah dengan temperatur reaktor 275°C.

Kata Kunci: limbah plastik LDPE, bahan bakar alternatif, pirolisis

Abstract

The growing human population has significantly impacted the production and use of plastic, which significantly contributes to pollution. Therefore, plastic waste can be processed by recycling it into alternative fuels through the pyrolysis process. The objectives of this research were to analyze the characteristics of temperature variations in a combustion reactor on density, viscosity, calorific value, and flash point, and to analyze oil yield from the pyrolysis process using Low Density Polyethylene (LDPE) plastic waste as raw material. This research used an experimental method with reactor temperatures varying from 275°C, 300°C, and 350°C. The type of plastic waste used was Low Density Polyethylene (LDPE). Fuel characteristics were tested using ASTM standards (density D1298, viscosity D1343, flash point D93). The research was conducted at the Fuels and Lubricants Laboratory, Faculty of Engineering, Surabaya State University. Data analysis was conducted using quantitative descriptive analysis. The results of the study indicate that the pyrolysis process of Low Density Polyethylene (LDPE) plastic produces characteristics of density values that are equivalent to pertalite with temperatures of 300°C and 350°C obtaining 0.76 kg/l and 0.782 kg/l. The viscosity value at a temperature of 275°C is similar to kerosene obtaining 2.8 cst. At a calorific value with a temperature of 300°C and 350°C similar to pertalite obtaining 10956 cal/g and 11107 cal/g. The flash point of the pyrolysis flash point value is above the pertalite flash point. From the results obtained, it can be concluded that the characteristics of LDPE (Low Density Polyethylene) including a type of fuel like kerosene with a reactor temperature of 275°C.

Keywords: LDPE plastic waste, alternative fuels, pyrolysis.

PENDAHULUAN

Meningkatnya penduduk manusia menimbulkan banyaknya sampah yang dihasilkan oleh manusia salah satunya sampah plastik (Rapsing & Espinosa, 2016). Kontribusi limbah plastik pada keseluruhan sampah mencapai 15% dengan meningkatnya pertahun menjadikan limbah ini nomor dua setelah sampah organik menurut (Kholidah, 2018). Sampah plastik menjadi salah satu bagian dari polimer. Menurut Trisunaryanti (2018) polimer adalah molekul besar yang terbuat dari unit

berulang yang akan membentuk rantai yang sangat panjang dan biasanya memiliki massa molekul tinggi.

Kehidupan manusia saat ini tak lepas dari plastik. Pratiwi (2016) menegaskan bahwa sampah merupakan produk sampingan yang tak terelakkan dari segala aktivitas manusia. Jumlah sampah yang dihasilkan, yang terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk, merupakan masalah global yang belum terselesaikan (Sari, 2018). Pada dasarnya, Meskipun plastik dapat didaur ulang, tidak banyak orang yang menyadari fakta ini. Indonesia menghasilkan 189 kiloton sampah plastik per

hari, jauh lebih banyak daripada negara-negara Asia Tenggara lainnya (Kholidah dkk., 2018). Pengolahan dan penguraian sampah plastik di dalam tanah sangatlah sulit.

Kegunaan bahan plastik memiliki kelebihan dibandingkan material lain yang diantaranya ringan, kuat, fleksibel, tahan karat, mudah dibentuk dan isolator yang cukup baik (Reni & Ayani, 2017). Jenis plastik *thermosetting* terbuat dari plastik padat yang tidak dapat dicairkan kembali dengan pemanasan. Sebaliknya, plastik termoplastik adalah jenis plastik yang meleleh ketika dipanaskan hingga suhu tertentu dan dapat dibentuk ulang menjadi bentuk apa pun yang diinginkan (UNEP, 2009). Proses pengolahan pada sampah plastik berubah menjadi bahan bakar alternatif meliputi beberapa proses antara lain distilasi dan pirolisis (Nasrun dkk, 2015).

Pirolisis sampah adalah metode daur ulang yang mengubah plastik menjadi bahan bakar. Pirolisis sampah tidak hanya menghasilkan bahan bakar bernilai energi tinggi tetapi juga mengurangi sampah. Indonesia merupakan salah satu negara yang paling banyak menggunakan bahan bakar fosil (Biologi, 2017). Satu kilogram plastik poliolefin, seperti polipropilena, polietilena, dan polistirena, biasanya dapat dipirolisis untuk menghasilkan sekitar 950 mililiter bahan bakar minyak (Thorat dkk., 2013). Dalam proses pirolisis, ukuran partikel dan luas permukaan per satuan berat merupakan hal yang perlu diperhatikan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan (Fatimura, 2019) diperoleh hasil bahwa proses daur ulang dapat menjadi alternatif yang menjanjikan untuk pengolahan limbah gelas plastik. Proses mengubah sampah plastik menjadi mendekati minyak bensin dan minyak tanah. Karena plastik pada dasarnya terbuat dari minyak. Selain itu, plastik memiliki nilai kalor yang sebanding dengan bahan bakar fosil seperti solar, bensin, dan minyak tanah. Sebanyak 193 mililiter sampah kantong plastik pada suhu 369°C merupakan hasil paling sering dari konversi pirolisis produk minyak. Nilai karakteristik densitas dan viskositas minyak yang terbuat dari sampah plastik masing-masing adalah 0,84 g/ml dan 0,88 cp, yang sebanding dengan bensin dan minyak tanah.

Alternatif penanganan sampah plastik adalah dengan melakukan proses daur ulang. Sehingga, tujuan penelitian ini adalah untuk mengurangi sampah plastik yang berjenis LDPE (Low Density Polyethylene) seperti sampah plastik atau sampah penutup makanan dan memproduksi bahan bakar alternatif dari proses pirolisis dan menghasilkan minyak dari limbah kantong plastik yang memiliki kandungan bahan bakar mendekati bensin. Dan juga untuk menganalisis karakteristik variasi temperatur pembakaran terhadap densitas, viskositas, nilai kalor, dan flash point.

METODE

Jenis Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan pada penelitian ialah metode uji eksperimen (*experimental research*). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik pada minyak pirolisis dari limbah gelas plastik. Ada beberapa faktor-faktor yang diteliti yaitu mencakup massa jenis, sementara karakteristik kimia yang diteliti yaitu denistas viskositas nilai kalor dan *flash point*. Penelitian diadakan pada jenis plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) di proses pirolisis dalam reaktor pada suhu 275°C, 300°C dan 350°C.

Waktu dan Tempat Penelitian

➤ Waktu Penelitian

Penelitian tentang pemanfaatan limbah gelas plastik sebagai bahan bakar alternatif melalui proses pirolisis dilakukan setelah Tugas akhir telah disidangkan dan disetujui untuk dilaksanakan sehingga segala data yang diperlukan terpenuhi.

➤ Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya, Gedung A8 Lantai 4, Laboratorium Fenomena Dasar Mesin.

Bahan, Alat, dan Instrumen Penelitian

➤ Bahan

- Limbah plastik berjenis LDPE
- Gas LPG 3kg

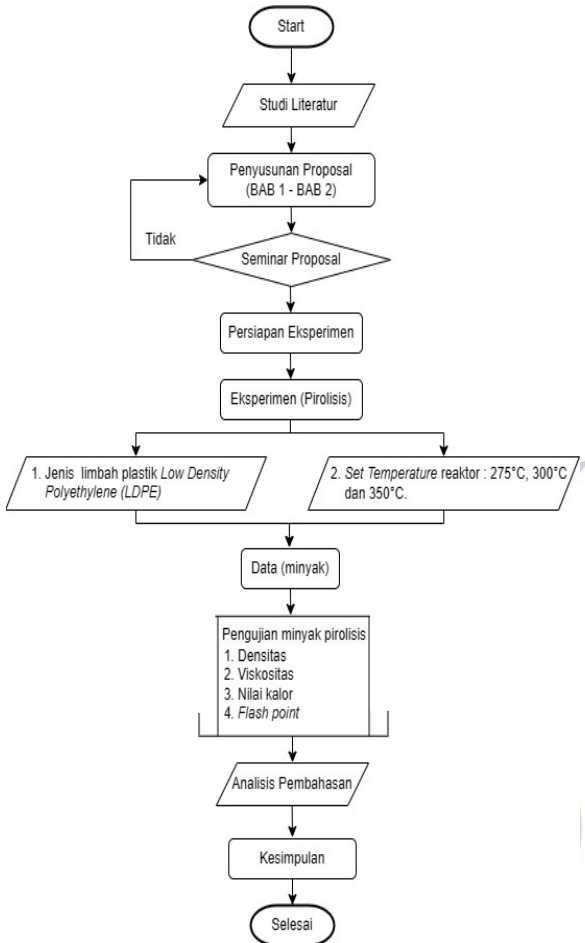
➤ Alat

- Bak air
- Botol kaca
- kipas angin

➤ Instrumen

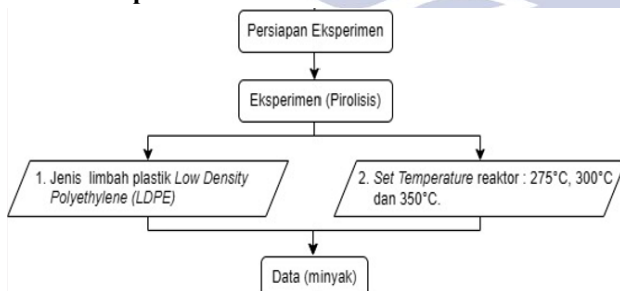
- Timbangan digital
- Termokopel batang tipe K
- *Digital thermocouple* (data longer)
- *Stopwatch*
- Gelas ukur
- Kamera handphone

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Diagram rancangan penelitian

Desain Eksperimen



Gambar 2. Desain eksperimen

Variabel Penelitian

➤ Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini yaitu variasi temperatur dari reaktor yang digunakan (275°C, 300°C dan 350°C).

➤ Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini yaitu sifat fisik dan kimia minyak pirolisis, meliputi densitas, viskositas, nilai kalor, *flash point*.

➤ Variabel Kontrol

- Bahan bakar yang digunakan dalam pengujian adalah *liquid petroleum gas* (LPG).
- Kantong plastik yang digunakan dalam pengujian termasuk jenis plastik *polyethylene terephthalate* (PET).
- Proses pembuatan pada minyak pirolisis dilakukan selama waktu 200 menit.
- Volume bahan baku limbah gelas plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) yang digunakan sebanyak 1500 gram.
- Proses pendinginan memakai kondensor yang memiliki kapasitas 31 liter air dan arah aliran *counter flow*.

Perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata

Teknik Analisis Data

Metode analisis data yang diterapkan dalam studi ini adalah kualitatif deskriptif. Dalam Penelitian ini, alat ukur digunakan untuk mengumpulkan data, yang kemudian dimasukkan ke dalam tabel, perhitungan teoritis dilakukan, dan hasilnya disajikan dalam bentuk informasi tentang kinerja optimal instrumen dan hubungan antara variabel dan fenomena yang diamati dalam penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN Campuran Bahan Bakar



Gambar 3. Minyak pirolisis LDPE (*Low Density Polyethylene*) a) pembakaran reaktor temperatur 275°C, b) pembakaran reaktor tempertur 300°C, c) pembakaran reaktor temperatur 350°C

Hasil minyak pirolisis dari bahan baku kantong plastik yang berjenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) dengan variasi temperatur pengujian untuk massa plastik yang diterapkan adalah 1500 gram ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Volume minyak pirolisis

No	Temperatur Reaktor	Volume minyak
1	275°C	90 ml
2	300°C	112 ml
3	350°C	127 ml

Karakteristik Bahan Bakar

Pengujian karakteristik minyak pirolisis meliputi uji densitas, viskositas, nilai kalor, dan *flash point*. Hasil pengujian karakteristik minyak pirolisis ditunjukkan pada tabel 2 dan standar bahan bakar minyak ESDM dipaparkan pada tabel 3.

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik minyak pirolisis

Karakteristik	Temperatur Pirolisis	Jenis Bahan		
		Plastik LDPE 1	Plastik LDPE 2	Plastik LDPE 3
Densitas (kg/l)	275°C	0,730	-	-
	300°C	-	0,760	-
	350°C	-	-	0,782
Viskositas (cst)	275°C	2,2	-	-
	300°C	-	2,8	-
	350°C	-	-	3,5
Nilai Kalor (cal/g)	275°C	10956	-	-
	300°C	-	11107	-
	350°C	-	-	11308
Flash point (°C)	275°C	14,5	-	-
	300°C	-	15	-
	350°C	-	-	16,5

Tabel 3. Standar bahan bakar minyak ESDM

Karakteristik	Jenis Bahan Bakar		
	Pertalite*	Minyak Tanah**	Solar***
Densitas (kg/l)	0,780	0,830	0,870
Viskositas (cst)	0,8	2,0	5,0
Nilai Kalor (cal/g)	10994	9000	10348
Flash point (°C)	-20	38	52

Sumber: *Energi dan Sumber Daya Mineral ESDM (2017), **Direktorat Jenderal Minyak dan Gas DJM (2020), ***Direktorat Jenderal Minyak dan Gas DJM (2020)

Kualitas Minyak Pirolisis

Berdasarkan pada gambar 1 menunjukkan warna minyak pirolisis temperatur terendah sampai dengan temperatur tertinggi memiliki warna yang berbeda. Gambar 4.1 a) mempunyai warna kuning cerah dan jernih

hasil dari minyak pirolisis temperatur 275°C, b) mempunyai warna kuning gelap hasil dari minyak pirolisis temperatur 300°C dan c) mempunyai warna kuning keruh dan kecoklatan dari hasil minyak pirolisis dengan temperatur 350°C. Peningkatan temperatur cenderung meningkatkan fraksi hidrokarbon yang lebih berat dan aromatik yang secara visual akan terlihat lebih gelap. Penelitian dari Nugroho (2023) menyebutkan juga warna minyak juga dipengaruhi oleh temperatur pirolisis, semakin tinggi temperatur semakin keruh minyaknya. Pada penelitian Demirbas (2004) menunjukkan bahwa bagaimana perubahan temperatur mempengaruhi hidrokarbon.

Volume Minyak Pirolisis

Pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa volume minyak pirolisis dengan jenis plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) pada temperatur 275°C menghasilkan volume minyak sebanyak 90 ml, pada temperatur 300°C menghasilkan 112 ml dan pada temperatur 350°C menghasilkan 127 ml. Volume minyak pirolisis yang paling rendah pada 275°C dan paling tinggi 350°C.

Pada pengujian minyak pirolisis dengan meningkatnya temperatur pemanasan pada reaktor dapat menghasilkan volume minyak pirolisis meningkat yang dapat terkondensasi. Semakin banyak gas yang dapat terkondensasi maka akan semakin banyak juga minyak yang dihasilkan sehingga akan meningkatnya volume hasil minyak pirolisis Lestari dkk (2017).

Densitas

Densitas menunjukkan jumlah zat yang terkandung pada satuan unit volume. Densitas pada bahan bakar yang seharusnya rendah, Di sisi lain, kepadatan bahan bakar yang berlebihan akan menyebabkan keausan dan kerusakan mesin.

Berdasarkan tabel 1 dan tabel 2 dapat dijelaskan bahwa densitas yang diperoleh bervariasi seiring dengan kenaikan suhu reaktor, dengan hasil terendah terjadi pada suhu 275°C, atau 0,736 kg/l. Dengan nilai densitas 0,782 kg/l, densitas maksimum dicapai pada suhu reaktor 350°C. Namun, nilai densitas yang diperoleh pada suhu reaktor 300°C adalah 0,760 kg/l. Nilai densitas 0,782 kg/l yang diperoleh dari pengujian plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) pada suhu reaktor 350°C sebanding atau mendekati sifat bahan bakar jenis pertalite seperti yang dipaparkan pada tabel 3 penelitian ESDM (2020), yang memiliki densitas standar 0,78 kg/l. Nilai densitas akan semakin tinggi seiring meningkatnya temperatur pirolisis.

Penelitian Sunyoto (2024), minyak yang dihasilkan dari pirolisis plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) menunjukkan peningkatan densitas yang semakin signifikan seiring dengan bertambahnya temperatur pada

proses pemanasan pirolisis, sehingga terjadi siklik dan ikatan rangkap yang meningkat (Prurapak dkk 2020).

Viskositas

Viskositas adalah angka yang menyatakan besarnya kemampuan aliran bahan bakar cair. Viskositas berperan menjadi suatu parameter dasar apakah bahan bakar minyak mudah atau tidaknya dalam mengalir.

Berdasarkan tabel 1 dan tabel 2 disajikan hasil pengujian viskositas minyak pirolisis. Hasil uji viskositas menunjukkan bahwa viskositas minyak pirolisis yang dihasilkan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur reaktor. Viskositas sangat mempengaruhi mudah tidaknya dalam mengalir, dan dalam perihail penyalaaan. Pada temperatur reaktor 275°C viskositas yang diperoleh sebesar 2,2 cst, sedangkan pada reaktor temperatur 300°C viskositas sebanyak 2,8 cst dan viskositas pada reaktor yang bertemperatur 350°C memperoleh 3,5 cst. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa viskositas dari minyak pirolisis plastik jenis LDPE (*Low Density Polyethylene*) pada temperatur reaktor 275°C dengan nilai viskositas 2,2 cst mendekati karakteristik bahan bakar jenis minyak tanah sesuai dengan standar yang di miliki DJM (2020) dengan nilai viskositas 2,0 cst.

Marison & Christopher (2020), menjelaskan bahwa saat temperatur pirolisis naik, minyak mengandung rantai hidrokarbon lebih panjang dan lebih banyak ikatan rangkap. Sehingga viskositasnya naik dengan temperatur reaktor pirolisis yang meningkat.

Nilai Kalor

Nilai kalor adalah angka yang menunjukkan berapa banyak kalori atau panas yang dihasilkan ketika sejumlah bahan bakar dibakar dengan udara atau oksigen.

Berdasarkan pada tabel 1 dan tabel 5 dapat dijelaskan bahwa hasil pengujian minyak pirolisis pada tempertur 275°C mendapatkan karakteristik nilai kalor yaitu 10956 kkal/kg, selanjutnya pada temperatur reaktor 300°C nilai kalor yang diperoleh yaitu 11107 kkal/kg, selanjutnya pada temperatur reaktor 350°C nilai yang diperoleh yaitu 11308 kkal/kg. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa nilai kalor dari minyak pirolisis plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) dengan temperatur 275°C mempunyai nilai kalor 10956 kkal/kg yang rendah dari bahan bakar pertalite 10994 kkal/kg dari standar ESDM (2017).

Penelitian Sunyoto (2024), menjelaskan kandungan pada *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH) meningkat seiring dengan kenaikan temperatur pirolisis. Peningkatan kandungan PAH ini berkontribusi terhadap naiknya nilai kalor pada hasil minyak pirolisis *Low Density Polyethylene* (LDPE).

Flash Point

Flash Point adalah suatu suhu terendah pada bahan bakar akan menyala bila disulut menggunakan api.

Berdasarkan dari tabel 1 dan tabel 2 dapat dijelaskan sebagai berikut hasil pengujian *flash point* menunjukkan bahwa pada temperatur reaktor 275°C dengan nilai *flash point* yang diperoleh yaitu 14,5°C, kemudian pada temperatur reaktor 300°C menghasilkan *flash point* yaitu 15 °C, dan pada *flash point* temperatur reaktor 350°C yaitu sebesar 16,5°C. *Flash point* dari hasil pirolisis berbahan bakar sampah plstik LDPE (*low Density Polyethylene*) memiliki nilai *flash point* diatas jenis bahan bakar pertalite -20°C dan dibawah dari jenis bahan bakar minyak tanah memiliki standar DJM (2020) yang mempunyai *flash point* 38 °C.

Wijayanti (2022) menjelaskan bahwa yang menyatakan titik nyala dipengaruhi oleh rantai karbon yang ada pada minyak yang dihasilkan. Rendemen minyak dengan rantai karbon yang lebih panjang akan memiliki nilai titik nyala yang lebih tinggi karena minyak lebih sulit menguap karena rantai karbon yang panjang mempengaruhi rendemen minyak.

Simpulan

Simpulan dari hasil penelitian, analisis, dan pembahasan mengenai pemanfaatan limbah LDPE sebagai bahan bakar alternatif melalui proses pirolisis adalah sebagai berikut.

- Warna minyak pirolisis dari plastik LDPE menjadi lebih keruh seiring meningkatnya temperatur pirolisis. Volume minyak juga bertambah dengan naiknya suhu reaktor. Densitas minyak pirolisis LDPE mendekati bahan bakar pertalite pada 300°C, yaitu 0,760 kg/l. Viskositasnya mendekati minyak tanah pada 275°C dengan nilai 2,2 cSt, lebih tinggi 0,2 cSt dari standar minyak tanah. Nilai kalor pada suhu 275°C mencapai 10.956 kkal/kg, mendekati nilai kalor pertalite. Flash point terendah terjadi pada 275°C yaitu 14,5°C, dan tertinggi pada 350°C yaitu 16,5°C, lebih mendekati karakteristik minyak tanah.
- Hasil dari variasi beberapa pengujian menunjukkan bahwa minyak pirolisis jenis LDPE (*Low Density Polyethylene*) like minyak tanah karena peran penting pada karakteristik bahan bakar yaitu dari *flash point* dan viskositas yang mempengaruhi pada proses pembakaran baik untuk kendaraan, industri atau keperluan lainnya.

Saran

Dari hasil penelitian, analisis, dan pembahasan yang telah dilakukan, berikut ini saran untuk penelitian di masa yang akan datang.

- Perlunya penyempurnakan pada alat pirolisis tersebut pada perpindahan uap yang lama karena tabung reaktor yang tinggi dan penambahan katup buka tutup pada netes minyak dari kondensor. Meneruskan penelitian untuk menguji nyala api.

DAFTAR PUSTAKA

- Nasrun, N., Kurniawan, E., & Sari, I. (2015). Pengolahan Limbah Kantong Plastik Jenis Plastik Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurnal Energi Elektrik*, 4(1).
- Nasution, A. (2022). Analisa Performansi Bahan Bakar Biogas dan Bensin terhadap Kualitas Pembakaran pada Engine Genset 4 Tak 1 Silinder Kapasitas 80 Cc. *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 1(1), 66–74.
- Nolan, D. P. (2017). *Fire Pump Arrangements at Industrial Facilities*. Gulf Professional Publishing.
- Pahl, J. (2021). Retro-Diels–Alder Decomposition of Norbornadiene Mediated by a Cationic Magnesium Complex. *Chemical Communications*, 57(43), 5278–5281.
- Periyasamy, S., Isabel, J. B., Kavitha, S., Karthik, V., Mohamed, B. A., Gizaw, D. G., Sivashanmugam, P., & Aminabhavi, T. M. (2023). Recent Advances in Consolidated Bioprocessing for Conversion of Lignocellulosic Biomass Into Bioethanol—a Review. *Chemical Engineering Journal*, 453, 139783.
- Pertamina, M. (2020). *Crude and Products Procurement*. <https://www.pertamina.com/en/news-room/crude-and-products-procurement>
- Program, P. (2021). *Pertamina: Perubahan Peralite Jadi Pertamina Green 92 Masih Usulan, Belum Diputuskan*. <https://www.pertamina.com/id/news-room/news-release/pertamina-perubahan-pertalite-jadi-pertamax-green-92-masih-usulan-belum-diputuskan>
- Puspita, A. D. (2018). Perbandingan Kualitas Minyak Pirolisis, Minyak Tanah, dan Solar. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 3(02).
- Ramadhan, A., & Ali, M. (2012). Pengolahan Sampah Plastik menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 4(1), 44–53.
- Rapsing, E. C., & Espinosa, E. (2016). Design and Fabrication of Waste Plastic Oil Converter. *International Journal of Interdisciplinary Research and Innovations*, 4(2), 69–77.
- Ratnawati, D. (2020). Analisis Tegangan, Deformasi, dan Retak pada Gas Turbine Blade dengan Metode Elemen. *Jurnal Taman Vokasi*, 8(2), 47–54.
- Prurapark R, Owjaraen K, Saengphrom B, Limthongtip I and Tongam N (2020). Effect of Temperature on Pyrolysis Oil Using High-Density Polyethylene and Polyethylene Terephthalate Sources From Mobile Plant. research/articles/10.3389/fenrg.2020.541535/.
- Reni, M., & Ayani, A. (2017). Kajian Timbulan dan Komposisi Sampah sebagai Dasar Pengelolaan Sampah di Kampus II Universitas Bhayangkara Jakarta Raya. *Journal of Environmental Engineering and Waste Management*, 2(2), 69–78.
- Rosmainar, L., Tukan, D. N., & Deviyanti, M. (2021). Perbandingan Plastik dari Material-Material Bioplastik. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 3(1), 19–28.
- Rudy, Y. L., & Nani, A. (2019). Pemanfaatan Air Lindi sebagai Pupuk Cair dari Sampah Organik Skala Rumah Tangga dengan Penambahan Bioaktivator EM-4. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*, 4(1), 16–23.
- Ryšavý, J., Molchanov, O., Krpec, K., Horák, J., Ochodek, T., Kubonová, L., & Hopan, F. (2022). Optimising Parameters for Improved Electrostatic Precipitation of Fly Ash from Small-Scale Biomass Combustion. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132352.
- Saparudin, S. (2015). Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis terhadap Kadar Hasil dan Nilai Kalor Briket Campuran Sekam Padi-Kotoran Ayam. *Dinamika Teknik Mesin*, 5(1).
- Soebyakto, S., Yusuf, M., Wibowo, A., & Mirajhusnita, I. (2020). *Analisa Bahan Bakar Minyak dari Sampah Plastik dengan Mesin Pirolisis*.
- Speight, J. G. (2011). *Biofuels Handbook* (Vol. 5). Royal society of Chemistry.
- Sugiyono. (2017). *Penelitian Kombinasi (Mixed Methods)*. Alfabeta.
- Sugiyono. (2018). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Surono, U. B., & Ismanto, I. (2016). Pengolahan Spyrolysis Sampah Plastik Jenis PP, PET dan PE menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya. *Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal*, 1(1), 32–37.
- Tazi, I., & Sulistiana, S. (2012). Uji Kalor Bakar Bahan Bakar Campuran Bioetanol dan Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Neutrino*, 3(2), 163–174.
- Trisunaryanti, W. (2018). *Dari Sampah Plastik menjadi Bensin Solar*. UGM PRESS.
- UNEP. (2009). *UNEP - UN Environment Programme*. https://www.unep.org/topics/climate-action?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIInt3ZnJytigMVvs4JLBR3LvjbmeEAAYASAAEGZrPD_BwE
- Wibowo, D. A. (2016). *Analisis Proses Pirolisis Isothermal pada Sampah Kota Bandar Lampung*.
- Wiratmaja, I. G. (2014). Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2), 145–154.
- Yanel, K. (2022). Product Characteristics of 100% Recycled Polypropylene Plastic. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(1), 66–71.
- Yudandhiss, C. D. R., & Salmahaminati, S. (2022). Jaminan Mutu pada Pengujian Pour Point ASTM D-97, Flash Point PMcc ASTM D-93 dan Viskositas Kinematik ASTM D-445 di Laboratorium Minyak Bumi PPSDM Migas Cepu. *INDONESIAN JOURNAL OF CHEMICAL RESEARCH*, 17–26.
- Zulfadli, T., & Yusuf, M. (2020). Kaji Efisiensi Pemanfaatan Energi Bahan Bakar untuk Kasus Perebusan Air. *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*, 1(1), 25–35.