

PENGARUH SUHU KONDENSASI TERHADAP KONVEKSI MINYAK PROSES PIROLISIS PLASTIK SAMPAH PERKOTAAN

Ronal Ibanez ¹⁾ ✉, Bambang Sugiantoro ²⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin,
STT Wiworotomo Purwokerto
Jalan Semangkir No.1, Kabupaten
Banyumas, Jawa Tengah, INDONESIA –
53134
ronaldibanez2703@gmail.com

²⁾ Jurusan Teknik Mesin,
STT Wiworotomo Purwokerto
Jalan Semangkir No.1, Kabupaten
Banyumas, Jawa Tengah, INDONESIA –
53134

Abstract

An alternative for handling plastic waste that is widely developed is conversion into fuel through pyrolysis. This study aims to determine the effect of condensation temperature on the characteristics of oil from LDPE plastic pyrolysis and used oil with a focus on flash point and fire point. The results show that in LDPE Condenser 1, the flash point and fire point values are high at a duration of 1 hour (425.5 °C and 554.9 °C), but decrease significantly at a duration of 3 hours (278.5 °C and 316.3 °C). Condensers 2 and 3 produce lower values, namely flash points of 142.3–135.2 °C and 122.4 °C, with a fire point of 212.6–272.2 °C. Oil from used oil has higher values (flash point 388.2–416 °C; fire point 405.6–452.3 °C) so it is more stable. Overall, the condensation temperature has a significant effect on the quality of the pyrolysis oil.

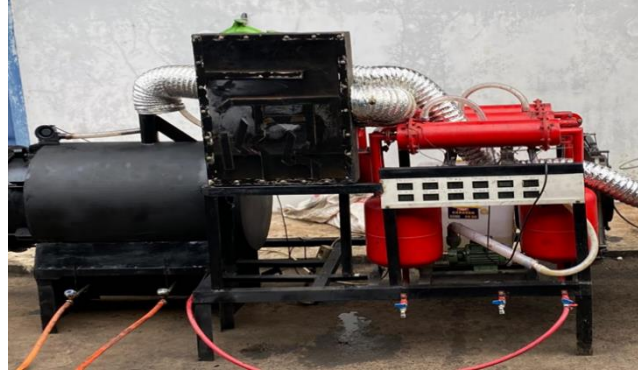
Keywords: pyrolysis, LDPE plastic, used cooking oil, condensation temperature, flash point, fire point

1. PENDAHULUAN

Limbah plastik menjadi permasalahan global yang berdampak serius terhadap lingkungan, termasuk di Kabupaten Banyumas yang menghasilkan sekitar 530-550 ton limbah per hari dengan porsi besar berasal dari plastik^[1]. Sifat plastik yang sulit terurai menyebabkan pencemaran tanah, air, dan udara, sementara produksi global yang terus meningkat memperparah akumulasi limbah^[2]. Salah satu solusi potensial adalah teknologi pirolisis, yaitu proses pemanasan tanpa oksigen untuk mengubah limbah plastik menjadi energi dalam bentuk gas, minyak, dan char^[3]. Namun, efektivitas proses ini sangat bergantung pada pengaturan suhu, waktu reaksi, serta kinerja kondensor sebagai alat pendingin gas menjadi cair. Oleh karena itu, penelitian mengenai peningkatan efisiensi sistem pirolisis dan desain kondensor yang optimal menjadi penting untuk mengurangi dampak limbah plastik sekaligus mendukung penyediaan energi alternatif yang berkelanjutan.

2. METODE DAN BAHAN

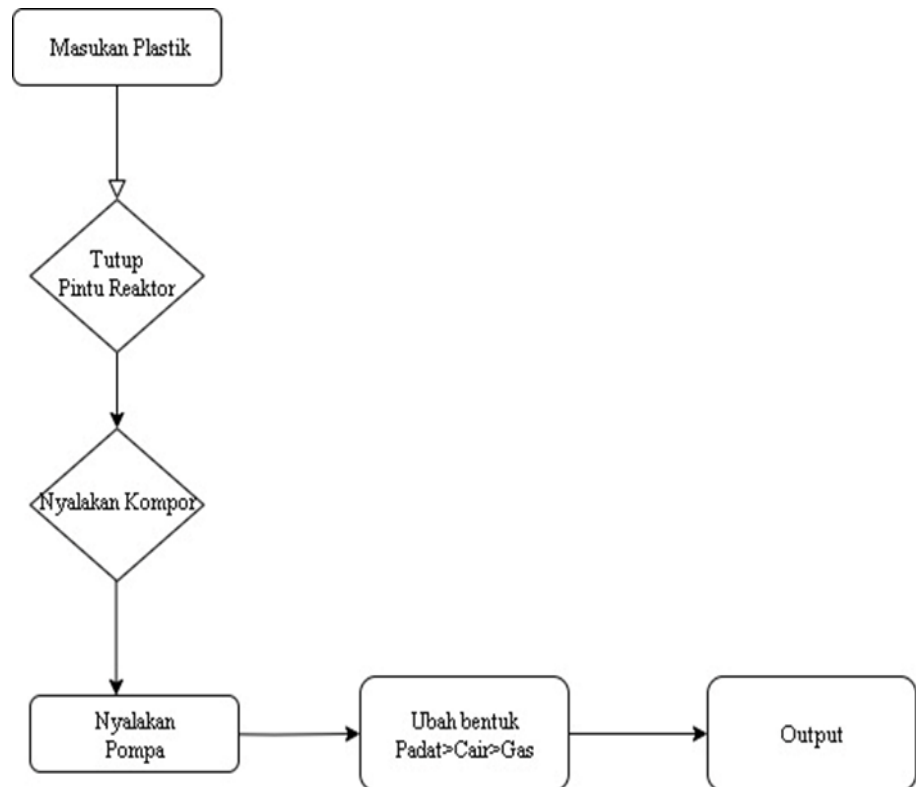
Metode yang digunakan adalah kuantitatif dengan pendekatan eksperimen. Proses pirolisis dilakukan dengan variasi suhu kondensor antara 30 °C hingga 100 °C serta durasi waktu pirolisis selama 60, 120, dan 180 menit.



Gambar 1. Mesin Pirolisis

Hasil pirolisis berupa cairan kondensat dikumpulkan untuk dianalisis meliputi *yield*, *flash point*, *fire point*, dan densitas. Setiap parameter diukur menggunakan peralatan laboratorium standar untuk mengetahui pengaruh variasi suhu dan waktu terhadap karakteristik bio-oil yang dihasilkan. Data yang diperoleh kemudian diolah, disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, serta dianalisis untuk menarik kesimpulan mengenai kondisi optimum proses pirolisis.

Pada penelitian ini terdapat prosedur dan alur penelitian yang di sajikan dalam bentuk diagram alur pirolisis dibawah ini :



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar berikut menyajikan hasil pengukuran densitas dan viskositas pada LDPE kondensor serta oli kondensor. Penyajian data ini dimaksudkan untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perbandingan karakteristik fisik antara kedua sampel tersebut. Hasil penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 3. Hasil Densitas LDPE Kondensor 1, 2 dan 3 serta Oli Kondensor 1

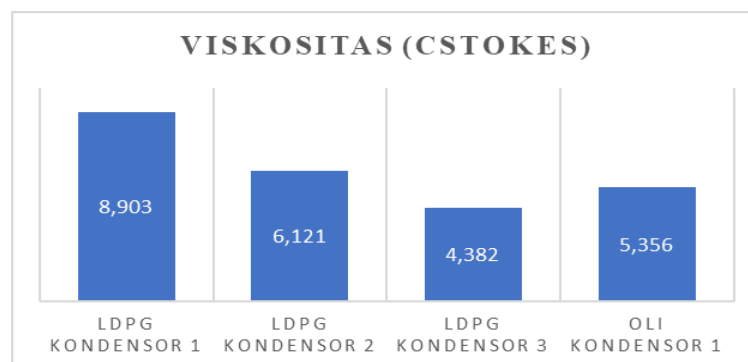


Gambar 4. Hasil Viskositas LDPE Kondensor 1, 2 dan 3 serta Oli Kondensor 1

Pembahasan analisa nilai yield, flash point, fire point, dan densitas dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini :

Tabel 1. Analisa Data Nilai Viskositas

Sampel	Viskositas (CStokes)
LDPE Kondensor 1	8,903
LDPE Kondensor 2	6,121
LDPE Kondensor 3	4,382
Oli Kondensor 1	5,356



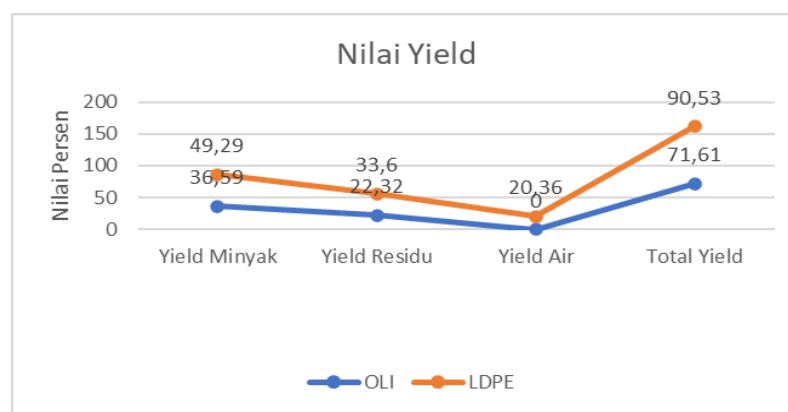
Gambar 5. Grafik Nilai Viskositas

Berdasarkan hasil pengujian viskositas, terlihat adanya perbedaan karakteristik fraksi cairan pada setiap kondensor. LDPE kondensor 1 memiliki viskositas tertinggi yaitu sebesar 8,903 cSt, menunjukkan kandungan hidrokarbon rantai panjang atau fraksi

berat yang menyerupai minyak pelumas ringan. Pada LDPE kondensor 2, nilai viskositas menurun menjadi 6,121 cSt yang menandakan lebih ringan dengan dominasi hidrokarbon rantai pendek. Kondensor 3 menghasilkan viskositas terendah, yaitu sebesar 4,382 cSt, sehingga fraksi cairannya lebih encer dan sifatnya mendekati bahan bakar ringan seperti kerosin atau solar ringan. Sementara itu, fraksi cairan dari oli pada kondensor 1 memiliki viskositas sebesar 5,356 cSt yang berada di antara nilai LDPE 1 dan LDPE 3, menunjukkan karakteristik yang lebih stabil serta cenderung mendekati sifat bahan bakar solar ringan.

Tabel 2. Analisa Data Nilai *Yield*

No	Jenis	Massa bahan baku (g)	Berat minyak (g)	Berat residu (g)	Berat air (g)	Yield minyak (%)	Yield residu (%)	Yield air (%)	Total yield (%)
1	LDPE	8000	2925	2688	1629	49,29	33,6	20,36	90,53
2	Oli	4167	2049	928	-	0.8	22,32	0	71,61

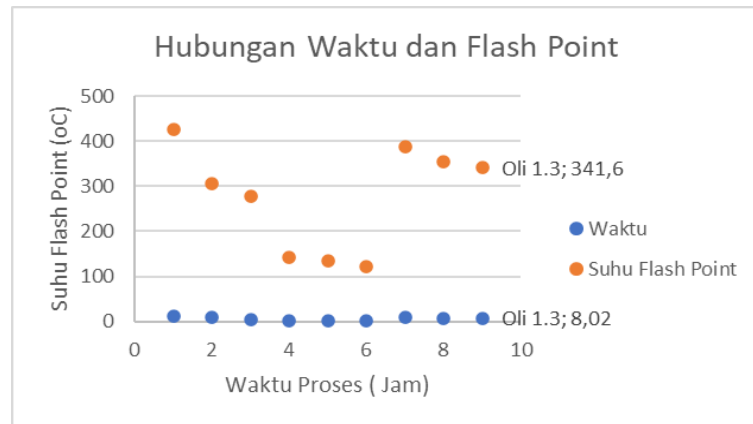


Gambar 6. Grafik Nilai *Yield*

Hasil pirolisis menunjukkan perbedaan distribusi *yield* antara LDPE dan oli bekas. LDPE menghasilkan minyak dalam jumlah tinggi, yaitu sebesar 49,29% dari massa awal, dengan residu padat sebesar 33,60% yang kemungkinan berupa karbon sisa, serta kandungan air 20,36% yang berasal dari fraksi cair polar atau uap air. Total *yield* LDPE hanya mencapai 90,53%, sehingga sisanya hilang sebagai gas tak terkondensasi. Sebaliknya, oli bekas menghasilkan minyak lebih rendah (36,59%) karena kandungan komponennya lebih berat dan sulit menguap, dengan residu sebesar 22,32% berupa fraksi berat (*sludge*) dan tidak ada kandungan air karena sifatnya yang hidrofobik. Total *yield* oli bekas hanya sebesar 71,61%, menunjukkan pelepasan gas tak terkondensasi lebih besar dibanding LDPE. Secara keseluruhan, LDPE lebih unggul dalam menghasilkan minyak pirolisis dan memiliki total *yield* lebih tinggi, sedangkan oli bekas cenderung menghasilkan lebih banyak gas dan residu yang lebih ringan. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan sifat awal bahan baku keduanya.

Tabel 3. Analisa Data Suhu *Flash Point*

No.	Jenis	Kode Spesimen	Waktu	Suhu <i>Flash Point</i>
1	LDPE Kondensor 1 (Durasi 1 jam)	LDPE 1.1	11.55	425.5
2	LDPE Kondensor 1 (Durasi 2 jam)	LDPE 1.2	8.45	305.2
3	LDPE Kondensor 1 (Durasi 3 jam)	LDPE 1.3	4.49	278.5
4	LDPE Kondensor 2 (Durasi 2 jam)	LDPE 2.2	1.56	142.3
5	LDPE Kondensor 2 (Durasi 3 jam)	LDPE 2.3	1.32	135.2
6	LDPE Kondensor 3 (Durasi 3 jam)	LDPE 3.3	1.06	122.4
7	Oli Kondensor 1 (Durasi 1 jam)	Oli 1.1	9.13	388.2
8	Oli Kondensor 1 (Durasi 2 jam)	Oli 1.2	8.34	354.2
9	Oli Kondensor 1 (Durasi 3 jam)	Oli 1.3	8.02	341.6



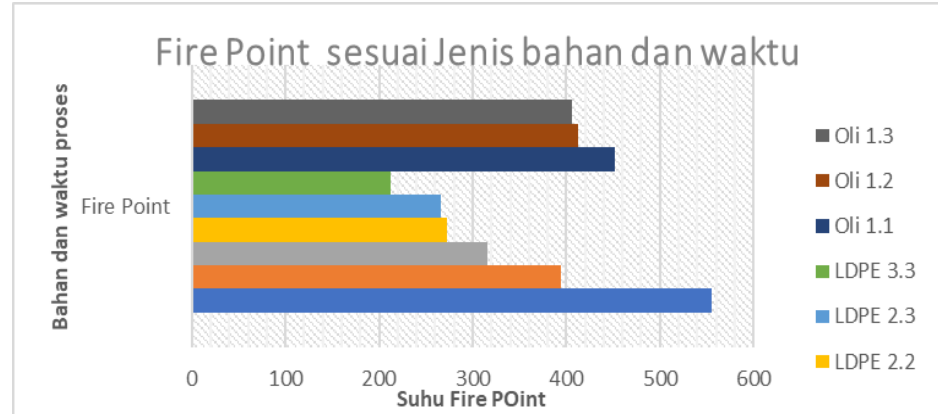
Gambar 7. Grafik Hubungan Waktu dan *Flash Point*

Hasil uji pirolisis dan kondensasi menunjukkan bahwa karakteristik minyak dari LDPE dan oli bekas sangat dipengaruhi oleh lama proses serta posisi kondensor. Pada LDPE kondensor 1, semakin lama durasi pirolisis, waktu uji dan suhu *flash point* cenderung menurun, di mana nilai tertinggi diperoleh pada durasi 1 jam dengan flash point sebesar 425,5 C, sedangkan pada durasi lebih lama nilainya semakin rendah. Kondensor 2 dan 3 menghasilkan *flash point* jauh lebih rendah yaitu sebesar 142,3 C hingga 122,4 C, mengindikasikan dominasi fraksi minyak yang lebih ringan dan mudah menguap. Sementara itu, oli hasil pirolisis pada kondensor 1 jika menunjukkan tren penurunan *flash point* seiring bertambahnya durasi (dari 388,2 C menjadi 31,6 C), namun penurunannya tidak signifikan LDPE. Secara umum, minyak hasil pirolisis oli memiliki *flash point* lebih tinggi dibandingkan LDPE pada kondensor 2 dan 3, yang menunjukkan kandungan hidrokarbon rantai lebih panjang serta lebih sedikit senyawa volatil, sehingga sifatnya cenderung lebih stabil dibandingkan fraksi ringan pada LDPE. Hasil uji titik nyala yang terkandung dalam minyak solar murni adalah 66°C, sedangkan hasil pengujian dari limbah plastik LDPE jenis diesel adalah 40°C, untuk memblender 30% solar. -minyak limbah plastik jenis LDPE dengan bio-diesel 70% menghasilkan titik kilap senilai 53°C, dan untuk pencampuran setengah minyak limbah plastik LDPE diesel dengan setengah biodiesel menghasilkan titik nyala senilai 48°C, pengujian ini membutuhkan 100 ml untuk bahan uji. Dengan melihat akibat dari pengujian ini, dapat dilihat bahwa efek samping dari titik kilap minyak solar plastik mendekati kelas titik nyala bahan bakar solar sesuai dengan norma dan sifat bahan bakar solar tipe 48 nomor 28.K/ 10/DJM.T/2016 dengan standar minimal 52 (Endang K. 2016)

Tabel 4. Analisa Data Suhu *Fire Point*

No.	Jenis	Spesimen	<i>Fire Point</i>
1	LDPE Kondensor 1 (Durasi 1 jam)	LDPE 1.1	554.9
2	LDPE Kondensor 1 (Durasi 2 jam)	LDPE 1.2	394.3
3	LDPE Kondensor 1 (Durasi 3 jam)	LDPE 1.3	316.3
4	LDPE Kondensor 2 (Durasi 2 jam)	LDPE 2.2	272.2
5	LDPE Kondensor 2 (Durasi 3 jam)	LDPE 2.3	265.4

6	LDPE Kondensor 3 (Durasi 3 jam)	LDPE 3.3	212.6
7	Oli Kondensor 1 (Durasi 1 jam)	Oli 1.1	452.3
8	Oli Kondensor 1 (Durasi 2 jam)	Oli 1.2	412.9
9	Oli Kondensor 1 (Durasi 3 jam)	Oli 1.3	405.6

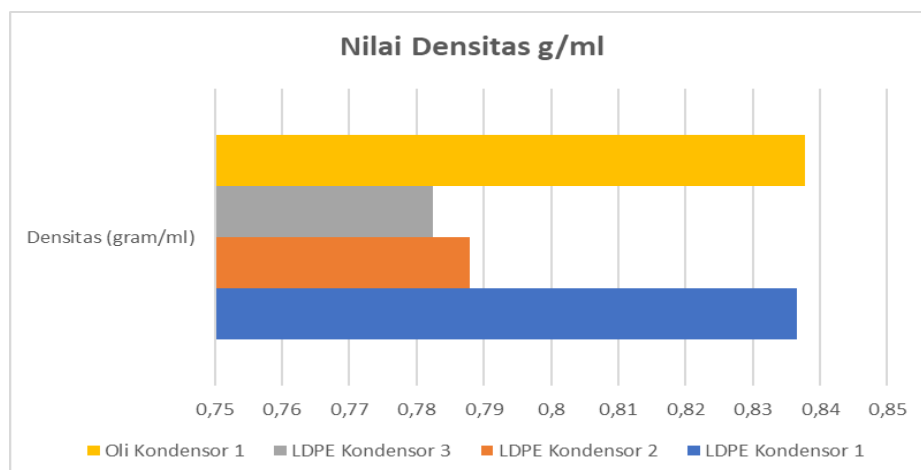


Gambar 8. Grafik *Fire Point* Jenis dan Bahan Baku

Hasil pengujian *fire point* pada produk pirolisis menunjukkan bahwa nilai titik nyala lanjut cenderung menurun seiring bertambahnya durasi proses dan semakin tinggi urutan kondensor yang digunakan. Pada LDPE kondensor 1, *fire point* awalnya sangat tinggi pada durasi 1 jam yaitu sebesar 554,9 °C, namun mengalami penurunan signifikan pada durasi 2 jam yaitu sebesar 394,3 °C dan 3 jam sebesar 316,3 °C, sedangkan pada kondensor 2 dan 3 nilainya lebih rendah, masing-masing berkisar 272,2-265,4 °C dan 212,6 °C. Hal ini mengindikasikan bahwa kondensor dengan urutan lebih tinggi menghasilkan fraksi hidrokarbon lebih ringan dan volatil. Sementara itu, oli hasil pirolisis menunjukkan *fire point* relatif lebih tinggi dan stabil, yaitu sebesar 452,3 °C pada durasi 1 jam dan sedikit menurun hingga 405,6 °C pada durasi 3 jam, yang menandakan dominasi fraksi menengah hingga berat. Secara umum, perbedaan pola ini memperlihatkan bahwa LDPE menghasilkan produk dengan volatilitas lebih tinggi dibandingkan oli, khususnya pada kondensor 2 dan 3, sedangkan oli lebih konsisten mempertahankan kandungan fraksi berat.

Tabel 5. Analisa Data Nilai Densitas

Sampel	Berat pikno kosong (gram)	Volume pikno (ml)	Berat pikno isi (gram)	Densitas (gram/ml)
LDPE Kondensor 1	15,8060	10	24,1715	0,83655
LDPE Kondensor 2	15,8060	10	23,6851	0,78791
LDPE Kondensor 3	15,8060	10	23,6304	0,78244
Oli Kondensor 1	15,8060	10	24,1836	0,83776

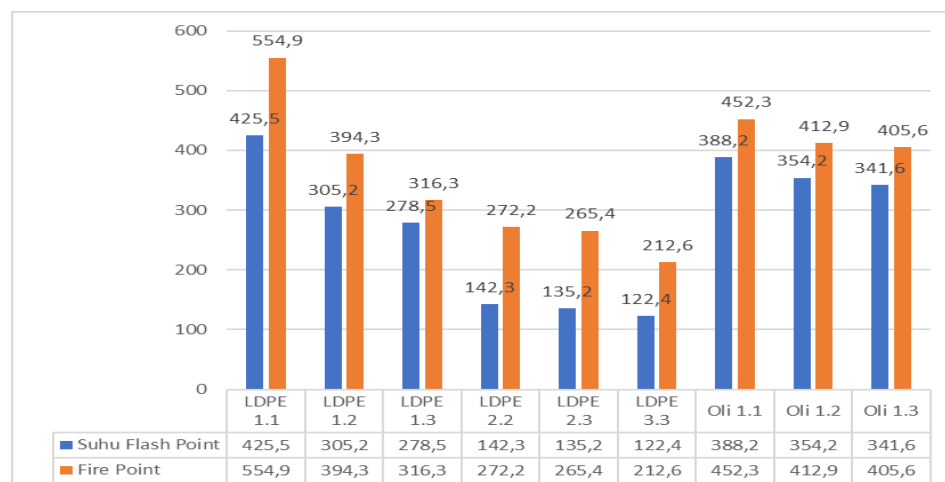


Gambar 9. Grafik Nilai Densitas

Hasil uji densitas pada LDPE Kondensor 1 sampai dengan 3 menunjukkan densitas yang berbeda meskipun berasal dari jenis polimer yang sama. Hal ini dipengaruhi oleh temperatur suhu dan waktu. Nilai densitas LDPE 0,782 sampai 0,837 g/ml masih berada dalam rentang densitas bahan bakar ringan (mendekati bensin atau kerosin). Oli Kondensor 1 memiliki densitas sedikit lebih tinggi 0,83776 g/ml dibandingkan LDPE, menandakan bahwa fraksi cairan ini lebih berat, mungkin mengandung molekul hidrokarbon rantai panjang. Nilai densitas bensin umumnya berada pada rentang 715 sampai 770 kg/m³ atau 0,715 sampai 0,770 g/ml, sedangkan densitas solar sekitar 820 sampai 870 kg/m³ atau 0,820 sampai 0,870 g/ml, yang berarti solar memiliki densitas lebih tinggi atau lebih berat dibandingkan bensin.

Tabel 6. Perbandingan Suhu *Flash Point* dan *Fire Point* Kondensasi

No.	Jenis	Kode Spesimen	Suhu <i>Flash Point</i>	Suhu <i>Fire Point</i>
1	LDPE Kondensor 1 (Durasi 1 jam)	LDPE 1.1	425.5	554.9
2	LDPE Kondensor 1 (Durasi 2 jam)	LDPE 1.2	305.2	394.3
3	LDPE Kondensor 1 (Durasi 3 jam)	LDPE 1.3	278.5	316.3
4	LDPE Kondensor 2 (Durasi 2 jam)	LDPE 2.2	142.3	272.2
5	LDPE Kondensor 2 (Durasi 3 jam)	LDPE 2.3	135.2	265.4
6	LDPE Kondensor 3 (Durasi 3 jam)	LDPE 3.3	122.4	212.6
7	Oli Kondensor 1 (Durasi 1 jam)	Oli 1.1	388.2	452.3
8	Oli Kondensor 1 (Durasi 2 jam)	Oli 1.2	354.2	412.9
9	Oli Kondensor 1 (Durasi 3 jam)	Oli 1.3	341.6	405.6



Gambar 10. Grafik Suhu *Flash Point* dan *Fire Point* Kondensasi

Hasil uji *flash point* dan *fire point* menunjukkan bahwa jenis kondensor dan durasi pendinginan sangat memengaruhi karakter minyak hasil pirolisis. Pada kondensor 1, nilai *flash point* dan *fire point* relatif tinggi pada durasi awal (425,5 °C dan 554,9 °C), menandakan dominasi fraksi berat, namun semakin lama pendinginan nilai tersebut menurun sehingga kandungan fraksi ringan meningkat dan minyak lebih mudah menguap. Kondensor 2 menghasilkan minyak dengan volatilitas lebih tinggi dibanding kondensor 1, ditunjukkan oleh nilai *flash point* dan *fire point* yang jauh lebih rendah (sekitar 142,3 °C dan 272,2 °C), bahkan pada durasi lebih lama nilainya semakin turun. Kondensor 3 memiliki nilai terendah di seluruh sampel (122,4 °C dan 212,6 °C), menunjukkan dominasi fraksi sangat ringan yang menyerupai bensin. Sementara itu, minyak dari oli bekas cenderung lebih stabil, dengan *flash point* dan *fire point* pada kisaran 341-388 °C yang menurun sedikit seiring waktu, mengikuti pola mirip LDPE kondensor 1. Secara umum, kondensor 1 menghasilkan minyak dengan karakter lebih berat dan aman disimpan, sedangkan kondensor 2 dan 3 menghasilkan minyak lebih ringan dan mudah terbakar, namun berisiko dalam penyimpanan. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan kondensor berjenjang dapat diarahkan untuk memisahkan fraksi bahan bakar sesuai kebutuhan aplikasi, misalnya fraksi ringan untuk bahan bakar cepat nyala dan fraksi berat untuk kebutuhan energi yang lebih stabil seperti pembangkit listrik.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

1. Suhu kondensasi berpengaruh signifikan terhadap sifat minyak hasil pirolisis plastik sampah perkotaan. Semakin lama waktu kondensasi dan semakin rendah suhu kondensasi, nilai *flash point* dan *fire point* minyak cenderung menurun. Hal ini menunjukkan meningkatnya kandungan fraksi ringan yang lebih mudah terbakar.
2. Minyak hasil pirolisis LDPE pada Kondensor 1 (durasi singkat) memiliki *flash point* dan *fire point* tinggi (425,5 °C dan 554,9 °C), menandakan dominasi fraksi berat yang lebih stabil. Namun, pada Kondensor 2 dan 3, minyak yang dihasilkan memiliki *flash point* lebih rendah (122,4 sampai 142,3 °C) sehingga cenderung menyerupai fraksi bensin yang mudah menguap dan mudah terbakar.
3. Minyak hasil pirolisis dari oli bekas memiliki karakteristik berbeda dengan LDPE. Nilai *flash point* dan *fire point* berada pada kisaran lebih tinggi (341,6 sampai 388,2 °C dan 405,6 sampai 452,3 °C), sehingga lebih mendekati karakteristik fraksi berat seperti minyak pelumas atau solar.
4. Secara keseluruhan, suhu kondensasi menentukan fraksi minyak yang terbentuk. Kondensasi pada suhu tinggi menghasilkan minyak berat dengan stabilitas termal tinggi. Kondensasi pada suhu rendah menghasilkan minyak ringan yang lebih reaktif dan mudah terbakar.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Melalui pernyataan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pembimbing Bambang Sugiantoro, S.T., M.T yang telah membantu penulis dalam merampungkan artikel pada Jurnal Rekayasa Mesin ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Neysaputri Rahmadanty. "Pirolisis Sampah Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE) Menggunakan Katalis Pasir Merapi sebagai Alternatif Bahan Bakar Minyak (BBM)". 2022.
- [2] Sofiana, Y. "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Alternatif Bahan Pelapis Pada Produk Interior". 2010.
- [3] Aprian, R. P. "Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis". Jawa Timur: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran". 2011.
- [4] Dirjen Pengelola Sampah, Limbah, dan B3 LHK. "Laporan Tahunan 2015. Jakarta

Timur: Dirjen Pengelola Sampah, Limbah, dan B3 LHK”. 2015.

- [5] Endang K. “Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak. Bandung: Politeknik Negeri Bandung”. 2016.
- [6] Hermono, Ulli. “Inspirasi dari Limbah Plastik. Kawan Pustaka”. Jakarta. 2009.
- [7] Mustofa K, D. “Pirolisis Sampah Plastik Hingga Suhu 900oC Sebagai Upaya Menghasilkan Bahan Bakar Ramah Lingkungan. Jakarta”. Politeknik Negeri Jakarta. 2014.
- [8] Prasetyo, H. “Mesin Pengolah Limbah Menjadi Bahan Bakar Alternatif. Semarang: Universitas Negeri Semarang”. 2015.
- [9] Rachmawati, Q., & Herumurti, W. “Pengolahan sampah secara pirolisis dengan variasi rasio komposisi sampah dan jenis plastik (Doctoral dissertation, Sepuluh Nopember Institute of Technology)”. 2015.
- [10] Riandis, J. A., Setyawati, A. R., & Sanjaya, A. S. “Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak”. Jurnal Chemurgy, 5(1), 8-14. 2021.
- [11] Trisunaryanti, Wega. Dari Sampah Plastik Menjadi Bensin dan Solar. Yogyakarta: UGM Press
- [12] Wiratmaja, I. G. “Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni”. 2010.