

PENGARUH TEMPERATUR PADA PROSES PIROLISIS PLASTIK LDPE PADA PEMBUATAN BAHAN BAKAR ALTERNATIF

Sunyoto¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gunadarma

Email: ¹⁾sunyoto@staff.gunadarma.ac.id

ABSTRAK

Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah karbon dan hidrogen. Plastik LDPE dipakai untuk plastik kemasan, tempat makanan, dan yang paling umum digunakan yaitu sebagai kantong kresek. Oleh karena itu, perlu dipikirkan upaya lainnya agar sampah plastik bisa diolah menjadi bahan lain yang lebih bermanfaat, salah satunya menjadi bahan bakar minyak sintetis pengganti bensin, solar, atau bahan bakar minyak lainnya. Penelitian ini bertujuan diantaranya untuk menganalisa variasi temperatur pirolisis, mengetahui temperatur yang optimal serta mengetahui sifat fisik bahan bakar dari hasil pirolisis. Penelitian ini dilakukan dengan metode dibakar menggunakan mesin pirolisis yang dimasukkan ke dalam sebuah tabung reaktor yang dipanaskan sampai temperatur tertentu sampai menjadi uap, kemudian uap dikondensasi melalui kondensor agar berubah menjadi *fuel oil*. Penelitian ini menghasilkan volume minyak pirolisis yang dihasilkan paling banyak pada temperatur 400°C sebanyak 90 ml. Nilai densitas yang capai setara dengan bensin pada temperatur 350°C dan 400°C. Nilai viskositas pirolisis yang pada temperatur 300°C sama dengan nilai minyak tanah dan bensin, lalu pada temperatur 350°C dan 400°C setara dengan solar dan biodiesel. Pada nilai kalor pirolisis dianggap sama dengan hasil nilai kalor biodiesel. Titik nyala dari nilai flash point pirolisis berada di atas titik nyala bensin.

Kata kunci : *Fuel oil*, Pirolisis, Plastik LDPE, Temperatur.

1. Pendahuluan

Saat produksi limbah meningkat dari tahun ke tahun, masalah sampah semakin parah. Menurut angka dari Bank Dunia, jumlah limbah padat yang dihasilkan setiap tahun di kota-kota dunia akan meningkat dari 1.3 miliar ton pada tahun 2018 menjadi 2.2 miliar ton pada tahun 2025, meningkat sebesar 70 %. Sebagian besar peningkatan terjadi di kota-kota negara berkembang. Menurut data Bank Dunia, Indonesia menghasilkan 151.921 ton sampah padat nasional per hari. Hal ini menunjukkan bahwa setiap warga negara Indonesia rata-rata membuang 0.85 kg sampah padat setiap hari [1]. Pertumbuhan perkotaan secara logis mengarah pada peningkatan volume sampah perkotaan. Pertumbuhan teknologi industri dan populasi menjadi penyebab

meningkatnya penggunaan plastik. Kebutuhan plastik di Indonesia terus meningkat, rata-rata 200 ton per tahun. Sebanyak 1.9 juta ton dilaporkan pada tahun 2002, 2.1 juta ton pada tahun 2003, dan kemudian 2.3 juta ton per tahun pada tahun 2004. Menjadi 2.4 juta ton pada tahun 2010. Sampah plastik juga meningkat akibat kenaikan konsumsi plastik tersebut. Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) memperkirakan penduduk Indonesia menghasilkan 0.8 kg sampah per orang per hari atau 189 ribu ton sampah setiap hari. 15% dari total tersebut, atau total 28.4 ribu ton sampah plastik setiap harinya, merupakan sampah yang terbuat dari plastik [2].

Proses daur ulang (*recycling*) menjadi sangat populer saat ini, dimana sampah plastik akan dilebur kembali menjadi bahan

baku plastik lagi dengan kwalitaas yang lebih rendah. Namun demikian, ada batasan kemampuan daur ulang plastik hingga kwalitasnya menurun dan tidak dapat didaur ulang kembali. Oleh karena itu, perlu diupayakan lainnya agar sampah plastik bisa diolah menjadi bahan lain yang lebih bermanfaat, salah satunya menjadi bahan bakar minyak sintetis pengganti bensin, solar, atau bahan bakar minyak lainnya. Hal ini sangat mungkin dilakukan karena plastik sendiri berasal dari minyak bumi, sehingga hanya mengembalikannya ke bentuk semula [3,4].

Pirolisis merupakan salah satu proses yang dapat digunakan untuk menghasilkan suatu bahan bakar minyak dari material berbahan dasar plastik (*polymer*). Pirolisis merupakan suatu metode dekomposisi bahan kimia organik maupun non-organik melalui proses pemanasan dengan tanpa atau sedikit oksigen atau zat reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas [5, 6]. Untuk memanfaatkan sampah plastik yang terlalu banyak dan dapat mencemari lingkungan, penelitian mencoba untuk mengolah sampah plastik tersebut menjadi bahan bakar minyak [7, 8].

Pada bahasan diatas, penelitian mengenai proses pirolisis plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap perolehan minyak hasil pirolisis, mengetahui pengaruh temperatur terhadap sifat fisik dari minyak hasil pirolisis, serta mengetahui pengaruh jenis plastik terhadap sifat fisik dari minyak hasil pirolisis [9, 10, 11].

2. Metodologi Penelitian

2.1. Material Penelitian

Material yang digunakan adalah sampah plastik berjenis LPDE. Plastik LDPE merupakan plastik bersifat termoplastik dan

dibuat dari minyak bumi. Plastik ini biasa dipakai untuk plastik kemasan, tempat makanan, dan yang paling umum digunakan yaitu kantong kresek. Senyawa yang terkandung dalam plastik antara lain Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Klorin (Cl), Belerang (S), Fluor (F), dan Nitrogen (N).

2.2. Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian menggunakan mesin pirolisis plastik dan bahan plastik LDPE, antara lain:

1. Tabung Reaktor

Tabung reaktor (Gambar 1) digunakan untuk membakar plastik dalam proses pirolisis. Bahan yang digunakan pada tabung reaktor yaitu alumunium 301.



Gambar 1. Tabung Reaktor Pirolisis

2. Kondensor

Kondensor pirolisis (Gambar 2) digunakan untuk mengembunkan uap dari hasil proses pirolisis.



Gambar 2. Kondensor Pirolisis

3. Pipa Saluran
Pipa saluran pirolisis (Gambar 3) dipakai untuk menyalurkan uap hasil pirolisis keluar kedalam tungku menuju kondensor.



Gambar 3. Pipa Saluran

4. Filter Uap
Filter uap pirolisis (Gambar 4) digunakan untuk menampung hasil uap dari proses pirolisis berlangsung.

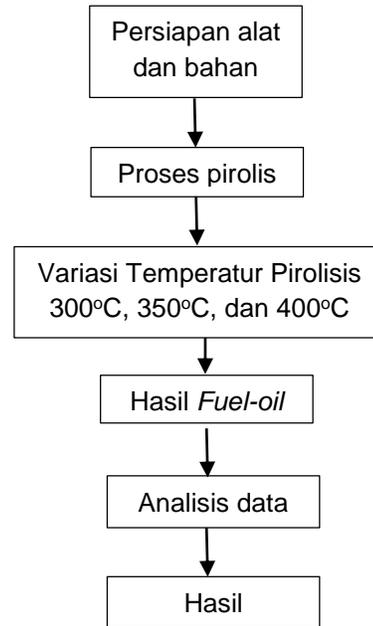


Gambar 4. Filter Uap

5. Alat-alat lainnya.
Penelitian ini juga menggunakan alat-alat lainnya, diantaranya: Kompor Gas LPG, Thermometer, Pknometer, Viscometer, Gelas Ukur, Stopwatch.

Alur penelitian pada proses pirolisis dengan memvariasikan temperatur pirolisis

sesuai dengan Gambar 5.

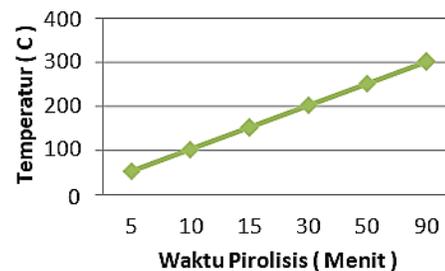


Gambar 5. Diagram alir penelitian.

3. Hasil Dan Pembahasan.

3.1 Proses Pirolisis Temperatur 300°C

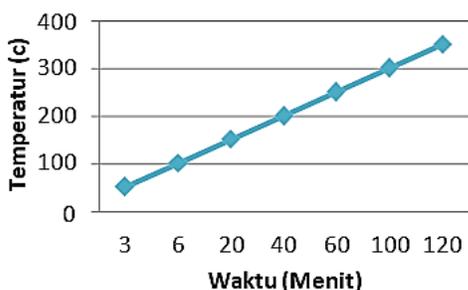
Pengujian proses pirolisis pada temperatur 300°C dibutuhkan waktu 90 menit agar temperatur tercapai. Lama durasi temperatur 300°C dikarena-kan kurangnya energi untuk memutuskan ikatan molekul plastik sehingga memerlukan waktu yang cukup lama untuk plastik terkondensasi. Pada proses ini tetesan minyak pertama pada temperatur 150°C, pada menit ke -15 yang jatuh ke gelas ukur. Grafik waktu pirolisis temperatur 300 °C dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Waktu Pirolisis dengan Temperatur 300 °C

3.2 Proses Pirolisis Temperatur 350°C

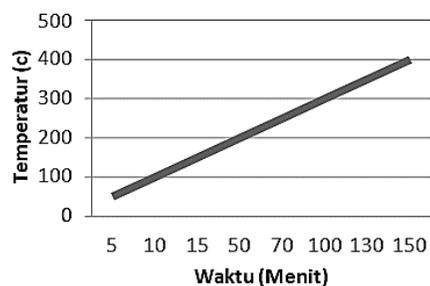
Pengujian ke dua, membutuhkan waktu yang lebih lama agar bisa plastik terdekomposisi dengan sempurna. Pada pengujian waktu yang dibutuhkan untuk proses pirolisis mencapai suhu 350°C selama 120 menit. Tetesan minyak pertama pada pengujian ini mulai jatuh pada menit ke 20 dengan temperatur 150°C. Hal ini dikarenakan plastik telah terdekomposisi terlebih dahulu sebelum menyentuh temperatur pemanasan sehingga minyak sudah dihasilkan walaupun belum menyentuh temperatur pemanasan pirolisis. Grafik waktu pirolisis temperatur 350°C dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Waktu Pirolisis dengan Temperatur 350°C.

3.3 Pirolisis Temperatur 400°C

Pengujian ke tiga ini dengan temperatur yang lebih tinggi yaitu 400°C, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 400°C selama 150 menit. Pada proses pirolisis ini tetesan pertama yang jatuh ke gelas ukur pada menit ke 15 dengan suhu yang dicapai sebesar 150°C. Proses ini membutuhkan waktu yang lebih lamadan temperatur yang tinggi agar plastik bisa terdekomposisi dengan sempurna serta minyak yang dihasilkan akan lebih banyak dibandingkan dengan temperatur yang lebih rendah. Grafik waktu pirolisis temperatur 400°C dapat dilihat pada Gambar 8.

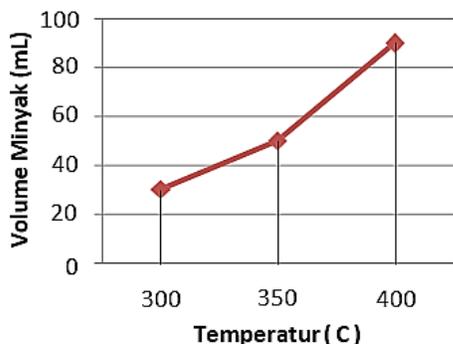


Gambar 8. Grafik Waktu Pirolisis dengan Temperatur 400°C

3.4 Hubungan Temperatur dengan Volume Hasil Produk Pirolisis

Semakin tinggi temperatur pemanasan pada proses pirolisis maka semakin menghasilkan uap yang dapat terkondensasi atau mungkin tidak. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur pemanasan maka plastik mengalami *thermal cracking* sehingga plastik tersebut akan terdekomposisi menjadi gas. Semakin banyak gas yang dapat terkondensasi maka akan semakin banyak juga minyak yang dihasilkan sehingga akan meningkatkan massa minyak pirolisis.

Pada proses pirolisis dengan plastik LDPE didapatkan hasil volume minyak pada temperatur 300°C sebanyak 35 ml, pada temperatur 350°C sebanyak 50 ml, dan pada temperatur 400°C sebanyak 90 ml. Dari pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa gas yang terkondensasi lebih banyak dari gas yang tidak terkondensasi, sehingga minyak yang dihasilkan lebih banyak semakin meningkatnya temperatur. Dapat disimpulkan bahwa minyak paling sedikit dihasilkan pada temperatur 300°C dengan jumlah 35 ml, sedangkan volume minyak tertinggi dihasilkan pada temperatur 400°C dengan jumlah 90 ml. Grafik volume minyak hasil pirolisis dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Volume Minyak Hasil Pirolisis

3.5 Hasil Minyak Pirolisis

Proses pirolisis plastik LDPE menghasilkan bahan bakar serta menawarkan alternative pengganti gas. Namun secara umum komposisi produk pirolisis dapat berbeda-beda tergantung dari jenis bahan baku dan parameter prosesnya. Hasil dari produk pirolisis diperoleh dalam kisaran 300°C-400°C dari bahan baku LDPE (*Low Density Polyethylene*). Di bawah merupakan minyak dari hasil proses pirolisis dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Volume Minyak Hasil Pirolisis

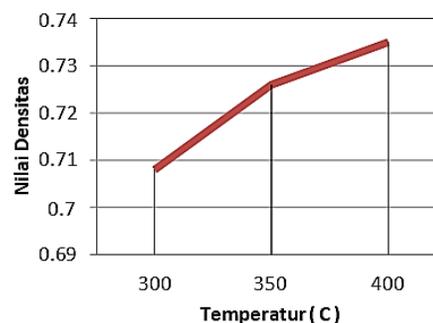
Hasil akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu karena laju reaksi yang lebih cepat pada suhu tinggi. Pada suhu 300°C produk pirolisis menghasilkan minyak yang berwarna cerah, kemudian pada suhu 350°C produk pirolisis menghasilkan minyak yang berwarna coklat muda, lalu pada proses 400°C produk pirolisis menghasilkan minyak yang berwarna coklat gelap. Faktor yang menyebabkan suhu tinggi pirolisis akan menghasilkan minyak yang

berwarna gelap yaitu adanya degradasi thermal yang lebih intensif, pembentukan senyawa aromatik, mengalami karbonisasi, dan kotaminasi oksigen.

3.6 Hubungan Temperatur dengan Nilai Densitas Produk Pirolisis.

Pada proses pirolisis dapat dilihat bahwa minyak hasil pirolisis plastik LDPE memiliki nilai densitas yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur pemanasan dari pirolisis. Perengkahan tersebut menyebabkan pemecahan rantai hidrokarbon lebih lanjut sehingga gas yang terkondensasi memiliki ikatan rantai hidrokarbon yang lebih pendek. Ikatan hidrokarbon yang lebih pendek tersebut mengakibatkan minyak yang dihasilkan akan memiliki massa jenis yang lebih rendah dan fraksi yang lebih ringan.

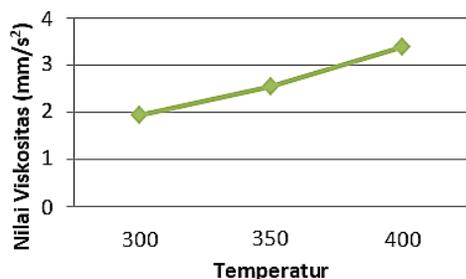
Berdasarkan hasil pengujian menggunakan piknometer nilai densitas didapatkan hasil dengan temperatur 300°C menghasilkan densitas minyak sebesar 0.708 gr/mm³. Pada pirolisis dengan temperatur 350°C menghasilkan densitas minyak sebesar 0.726 gr/mm³. Pada pirolisis dengan temperatur 400°C menghasilkan densitas minyak sebesar 0.735 gr/mm³. Di bawah merupakan grafik nilai densitas ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Nilai Densitas

3.7 Hubungan Temperatur dengan Nilai Densitas Produk Pirolisis

Nilai viskositas dapat meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur pada proses pirolisis. Semakin tinggi temperatur maka minyak yang dihasilkan juga akan memiliki ikatan struktur hidrokarbon yang lebih panjang sehingga nilai viskositas dar minyak hasil pirolisis juga akan semakin meningkat. Pada hasil penelitian pirolisis plastik LDPE didapatkan hasil semakin tinggi temperatur pirolisis maka viskositas fuel oil yang dihasilkan juga semakin tinggi. Nilai viskositas yang didapatkan dengan pengujian *viscometer* yaitu pada pirolisis dengan temperatur 300°C menghasilkan viskositas minyak sebesar 1.934 mm/s². Pada pirolisis dengan temperatur 350°C menghasilkan viskositas minyak sebesar 2.541 mm/s². Pada pirolisis dengan temperatur 400°C menghasilkan viskositas minyak sebesar 3.376 mm/s². Hal itu disebabkan karena viskositas juga dipengaruhi oleh ikatan struktur kimia. Semakin panjang ikatan struktur kimianya maka nilai viskositas juga akan semakin besar. Semakin tinggi temperatur maka minyak yang dihasilkan juga akan memiliki ikatan struktur hidrokarbon yang lebih panjang sehingga nilai viskositas dari minyak hasil pirolisis juga akan semakin meningkat. Di bawah merupakan grafik nilai viskositas ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Nilai Viskositas

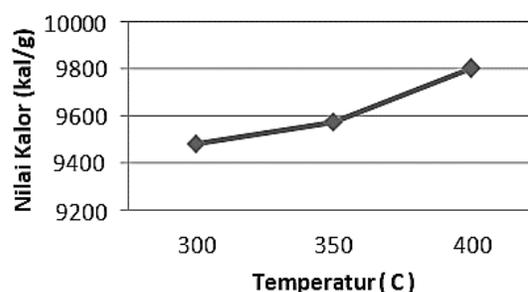
3.8 Hubungan Temperatur Terhadap Nilai Kalor Produk Pirolisis.

Nilai kalor akan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya temperatur pada proses pirolisis. Kenaikan nilai kalor

dipengaruhi oleh kandungan senyawa yang terdapat pada minyak itu sendiri. Semakin tinggi angka cetane suatu bahan bakar maka bahan bakar tersebut akan lebih mudah terbakar.

Pada proses pirolisis 300°C didapatkan nilai kalor sebesar 9479.32 kal/g. Pada proses pirolisis 350°C didapatkan nilai kalor sebesar 9570.64 kal/g. Pada proses pirolisis 400°C didapatkan nilai kalor sebesar 9798.94 kal/g. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan hasil yang didapat bahwa semakin meningkatnya temperatur maka nilai densitas akan semakin tinggi.

Hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa kandungan *polycyclic aromatic hydrocarbon* juga bertambah sehingga nilai kalor minyak hasil pirolisis plastik LDPE juga ikut bertambah seiring meningkatnya temperatur pirolisis. Grafik kenaikan nilai kalor dapat dilihat pada Gambar 12.

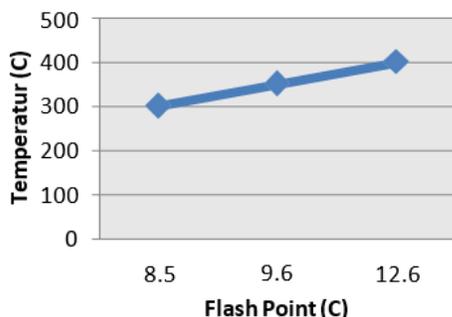


Gambar 12. Grafik Nilai Kalor

3.9 Hubungan Temperatur Terhadap Nilai Flash Point Produk Pirolisis

Flash point merupakan titik temperatur terendah senyawa dapat menyala apabila dikenai sumber api. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan menggunakan *flash point tester* hasil yang didapatkan pada temperatur 300°C nilainya sebesar 8,5°C, pada temperatur 350°C nilainya sebesar 9,6°C, dan pada temperatur 400°C nilainya sebesar 12,6°C.

Pada pengujian ini dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya laju temperatur minyak yang dihasilkan memiliki *flash point* akan semakin meningkat juga. Hal ini karena minyak yang memiliki temperatur yang lebih rendah memiliki rantai karbon yang sederhana dan begitu juga sebaliknya. Grafik *flash point* ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Nilai *Flash Point*

3.10 Analisa Perbandingan Nilai Densitas

Pada pengujian kali ini densitas minyak hasil pirolisis dari plastik LDPE memiliki nilai yang hampir sama dengan massa jenis atau densitas minyak komersial BBM. Tabel 1 di bawah merupakan tabel perbandingan nilai densitas.

Tabel 1. Perbandingan Nilai Densitas

Bahan	Densitas (gr/mm ³)	Referensi
LDPE 300°	0.708	Penelitian Sekarang
LDPE 350°	0.726	Penelitian Sekarang
LDPE 400°	0.735	Penelitian Sekarang
Minyak Tanah	0.76-0.84	Standar Pertamina
Bensin	0.715-0.77	Standar Pertamina
Solar	0.815-0.860	Standar Pertamina
Bio Diesel	0.85 – 0.89	SNI 7182:2015

Berdasarkan tabel 1 didapat nilai densitas pada penelitian hasil pirolisis plastik LDPE ini memiliki nilai pada temperatur 300°C memiliki nilai 0.708 gr/mm³, pada nilai ini masih jauh berada dibawah nilai standar densitas bbm komersial. Pada temperatur 350°C dengan nilai 0.726 gr/mm³ dan juga pada temperatur 400°C dengan nilai

0.735 gr/mm³ yang sama dengan nilai densitas bensin. Sehingga dapat disimpulkan berdasarkan nilai densitas, minyak hasil pirolisis plastik LDPE ini dapat dikategorikan setara dengan bensin. Semakin tinggi temperatur maka akan semakin menghasilkan nilai densitas yang lebih tinggi.

3.11 Analisa Perbandingan Nilai Viskositas

Nilai viskositas dari hasil pengujian proses pirolisis plastik LDPE ini mempunyai nilai yang sama dengan nilai viskositas BBM komersial. Hal ini disebabkan karena pirolisis dengan temperatur yang rendah akan mendekomposisi fraksi mol yang ringan dan memiliki ikatan rantai hidrokarbon yang pendek. Tabel 2. di bawah merupakan tabel perbandingan nilai viskositas.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Viskositas

Bahan	Viskositas (mm/s ²)	Referensi
LDPE 300°	1.94	Penelitian Sekarang
LDPE 350°	2.54	Penelitian Sekarang
LDPE 400°	3.38	Penelitian Sekarang
Minyak Tanah	1.0-2.0	Standar Pertamina
Bensin	0.81-0.91	Standar Pertamina
Solar	2.0-4.5	Standar Pertamina
Bio Diesel	2.3-6.0	SNI 7182:2015

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai viskositas hasil pirolisis plastik LDPE memiliki nilai yang sama dengan nilai viskositas bahan bakar komersial. Pada temperatur 300°C memiliki nilai viskositas sebesar 1.93 mm/s² yang setara dengan nilai viskositas ke dalam minyak tanah dan bensin. Pada temperatur 350°C juga memiliki nilai viskositas sebesar 2.54 mm/s² yang juga nilainya masuk kedalam nilai viskositas setara solar dan bio diesel. Temperatur 400°C dengan nilai viskositas sebesar 3.38 mm/s² juga memiliki nilai yang sama setara dengan solar dan bio diesel. Hal ini disebabkan oleh suhu pembakaran dan lama pembakaran dalam reaktor pada proses pirolisis

berpengaruh terhadap viskositas dari minyak BBM.

3.12 Analisa Perbandingan Nilai Kalor

Nilai kalor adalah karakteristik bahan bakar yang dapat menunjukkan jumlah energi dan massa jenis bahan bakar. Tabel 3 di bawah ini merupakan tabel perbandingan nilai kalor.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Kalor

Bahan	Kalor (kal/gr)	Referensi
LDPE 300°	9479.32	Penelitian Sekarang
LDPE 350°	9570.64	Penelitian Sekarang
LDPE 400°	9798.94	Penelitian Sekarang
Minyak Tanah	10222.61	Standar Pertamina
Bensin	11414.45	Standar Pertamina
Solar	11106.33	Standar Pertamina
Bio Diesel		SNI 7182:2015

Pada pengujian pirolisis plastik yang telah dilakukan dengan menggunakan plastik LDPE telah didapatkan nilai kalor pada temperatur 300°C dengan nilai 9479.32 kal/gr, kemudian pada temperatur 350°C dengan nilai 9570.64 kal/gr, dan temperatur 400° dengan nilai 9798.94 kal/gr. Pada pengujian ini nilai kalor yang mendekati dengan nilai kalor minyak tanah yaitu pada temperatur 400°C sebesar 9798.94 kal/gr.

Namun, nilai kalor pada pengujian ini dapat dikategorikan sebagai biodiesel karena berdasar-kan SNI 7182:2015, karena biodiesel tidak mem-punyai nilai kalor yang spesifik. Pencampuran bahan bakar hasil pirolisis akan dapat meningkat apabila dicampurkan dengan diesel.

3.13 Analisa Perbandingan Nilai Viskositas

Nilai *flash point* tinggi maka akan memudahkan untuk menyimpan bahan bakar karena minyak tersebut tidak mudah terbakar. Nilai *flash point* diuji menggunakan *flash point* tester. Tabel 4 di bawah

merupakan tabel perbandingan nilai *flash point*.

Tabel 4. Perbandingan Nilai *Flash point*

Bahan	<i>Flash point</i> (°C)	Referensi
LDPE 300°	8.5	Penelitian Sekarang
LDPE 350°	9.6	Penelitian Sekarang
LDPE 400°	12.6	Penelitian Sekarang
Minyak Tanah	38	Standar Pertamina
Bensin	-43	Standar Pertamina
Solar	52	Standar Pertamina
Bio Diesel	>130	SNI 7182:2015

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan pada proses pirolisis plastik LDPE, terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan diantaranya:

1. Semakin tinggi temperatur pada pirolisis akan menghasilkan minyak hasil pirolisis semakin banyak dan nilai sifat fisik plastik seperti densitas, viskositas, titik nyala, dan nilai kalor juga ikut meningkat.
2. Temperatur yang semakin tinggi akan mem-pengaruhi dari nilai sifat fisik suatu minyak. Temperatur tinggi akan mendekomposisi plastik LDPE dengan sempurna yang mengakibatkan pengaruh dari suatu nilai dari minyak yang akan dihasilkan. Temperatur optimal pada pengujian ini yaitu temperatur 400°C dengan massa berat yang sama karena hasil dari volume minyak dan nilai sifat fisik pirolisis jauh diatas temperatur dibawahnya.
3. Hasil pengujian minyak pirolisis plastik LDPE ini memiliki nilai densitas yang sama dengan nilai densitas bensin yaitu pada temperatur 350°C dan 400°C dengan nilai densitas bensin. Pada pengujian viskositas hasil dari pirolisis ini mempunyai nilai yang masuk dalam katagori bensin pada suhu 300°C,

sedangkan pada temperatur 350°C dan 400°C memiliki nilai viskositas setara solar dan bio diesel. Hasil uji nilai kalor pirolisis plastik LDPE ini tidak ada nilai yang mendekati hasil BBM komersial akan tetapi, nilai kalor pada pengujian pirolisis plastik LDPE ini dikategorikan sebagai bio diesel karena biodiesel tidak memiliki nilai kalor yang spesifik. Pada pengujian nilai flash point dari hasil pirolisis plastik LDPE ini tidak ada yang mendekati hasil nilai *flash point* BBM komersial, namun nilai *flash point* pengujian ini diatas nilai standar *flash point* bensin.

Daftar Pustaka

1. Nuryosuwito, N., Soeparman, S., Wijayanti, W., & Sasongko, M. N. (2018). Pengaruh campuran sampah plastik dengan katalis alam terhadap hasil produk pyrolisis. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(2), 85-91.
<https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2018.009.02.3>
2. Surono, Untoro Budi. (2013) "Berbagai metode konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak." *Jurnal Teknik*, Vol. 3, No. 1 pp. 32-40.
<https://www.e-journal.janabadra.ac.id/index.php/jurnalteknik/article/viewFile/2676/1785>
3. Syamsiro, M., Arbiyantoro. (2014) "Pengolah-an Sampah Plastik dari TPA Piyungan menjadi Bahan Bakar Minyak". *Jurnal Riset Daerah* Vol XIII, No.3. pp.
<https://www.smkmuhimogiri.sch.id/opac/index.php>
4. Trisunaryanti, W. (2018). "Dari Sampah Plastik Menjadi Bensin Solar". UGM PRESS Yogyakarta.
https://play.google.com/store/books/details/Dari_Sampah_Plastik_Menjadi_Bensin_Solar?id=TzFTDwAAQBAJ&hl=en_US&gl=US
5. Yos Nofendri, Agus Haryanto. (2021). Perancangan alat pirolisis sampah plastik menjadi bahan bakar. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-11.
<https://doi.org/10.52447/jktm.v6i1.4454>
6. Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis*. Oxford: Elsevier Inc. ISBN 978-0-12-374988-8
7. Rr Bella Alda Restanti, Mohamad Mirwan. (2023). "Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Alternatif dengan Metode Pirolisis". *Jurnal Serambi Engineering*, Vol. 8, No. 4, pp. 7224- 7231.
<https://doi.org/10.32672/jse.v8i4.6789>
8. Andi Amran Sulaiman. (2019). *Biofuel B100 Menuju Energi Masa Depan*. IAARD Press, Jakarta ISBN. 978-602-344-256-0
9. Permana, Y. A., Mulyadi, S., Sutjahjono, H., & Rosyadi, A. A. (2020). Pengaruh Temperatur dan waktu pemanasan pada proses pirolisis PET/PP terhadap karakteristik bahan bakar. *ROTOR*, Vol. 12, No. 2, pp. 1-4.
<https://doi.org/10.19184/rotor.v12i2.15601>
10. Herawati, N., & Melani, A. (2019). Pembuatan Biogasoline dari AmpasTebu. *Jurnal Distilasi*, Vol. 3, No. 1, pp. 16-21.
<https://doi.org/10.32502/jd.v3i1.1874>
11. Sharuddin, F. A. (2016). *A Review on Pyrolysis of Plastic Waste*. Energy Conversion and Management. Malaysia: University of Malaya. pp. 308-326
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>