

UJI KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR ALTERNATIF HASIL PENGOLAHAN LIMBAH SAMPAH PLASTIK DENGAN METODE PIROLISASI BERTINGKAT

La Baride ¹⁾ ✉, Muhamad Iqbal Achmad ¹⁾, Tasman ¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin
Universitas Dayanu Ikhsanuddin
Sultan Dayanu Ikhsanuddin, 124,
Kota Baubau, Sulawesi Tenggara, 93724
labaride@unidayan.ac.id
Iqbal_jptek@gmail.com
tasmanengineblok@gmail.com

Abstract

This study aims to determine the characteristics and quantity of oil produced from first and second level pyrolysis. The method in this research is an experiment with a pyrolysis tool designed in two levels. The advantage of this pyrolysis tool compared to other pyrolysis tools is that it is expected to produce two fuels with different physical and chemical properties. The results of the study showed that for the first level of pyrolysis PP plastic, 855.7 grams of oil was produced with the following characteristics: density @15°C = 754 kg/m³, final boiling point = 264.9°C, distillation @200°C = 71.8% v/v. while in the second level pyrolysis for the PP plastic type, it produces 138.5 grams of oil with the following characteristics: density @15°C = 718.5 kg/m³, distillation at 10% evaporation volume = 74.4°C, distillation at 50% evaporation volume = 123°C, and distillation at 90% evaporation volume = 142.1°C, final boiling point = 189.7°C. The first level pyrolysis process on HDPE plastic initially only produced 418 grams of oil with the following characteristics: density @15°C = 751.5 kg/m³, final boiling point = 279.4°C, distillation @200°C = 70.9%v/v. The fuel produced from the first level pyrolysis process has characteristics comparable to kerosene, while the fuel produced in the second level pyrolysis process has characteristics equivalent to 88 octane fuel.

Keywords: Characteristic, Alternative Fuels, Plastics, Multilevel Pyrolysis.

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan bahan limbah dari suatu kegiatan atau proses produksi, baik skala rumah tangga, industri, maupun pertambangan yang tidak mempunyai nilai ekonomi serta berdampak buruk bagi lingkungan. Sampah dapat dibedakan antara lain sampah organik yang mudah membusuk, dapat terurai, dan diolah menjadi kompos serta sampah anorganik yang sulit membusuk dan tidak dapat terurai seperti plastik atau kaleng bekas. Meningkatnya timbunan sampah plastik menjadi masalah yang memerlukan penanganan dengan baik dan benar karena sampah plastik merupakan sampah yang tidak dapat terurai oleh mikroorganisme ^[1]. Sampah plastik merupakan sampah yang paling banyak ditemukan saat ini, karena hampir setiap barang dapat terbuat dari plastik seperti peralatan rumah tangga, peralatan transportasi, pembungkus makanan, dan lain sebagainya. Hal tersebut dikarenakan plastik merupakan suatu bahan yang bersifat serbaguna, murah, ringan, fleksibel, dan kuat ^[2].

Corresponding Author:

✉ La Baride

Received on: 2023-06-08

Revised on: 2024-09-21

Accepted on: 2024-11-11

Secara umum plastik dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu: plastik golongan termoplast dan plastik golongan termoset. Plastik termoplast adalah plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas. Yang termasuk plastik golongan termoplast antara lain: PE (*Polethylene*), ABS (*Acrolynitrit Butadiene Styrene*), PET (*Polyethylene terephthalate*), HDPE (*High Density Polyethylene*), PVC (*Polyvinyl Chloride*), LDPE (*LowDensity Polyethylene*), PP (*Polypropylene*), PS (*Polystyrene*), PC (*Poly Carbonate*) dan lain-lain^[3-5]. Salah satu teknologi alternatif terkait sampah plastik di Indonesia yang sekarang sedang dikembangkan adalah mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar yang digunakan sebagai bahan bakar yaitu dengan metode pirolisis atau proses *cracking* (perekahan)^[6-7]. Pirolisis berasal dari kata *pyro* (*fire/api*) dan *lyo* (*loosening/pelepasan*) untuk dekomposisi termal dari suatu bahan organik. Pirolisis merupakan suatu bentuk penguraian/perengkahan (*cracking*) bahan organik secara kimia melalui pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen. Proses pirolisis merupakan proses perengkahan plastik pada suhu tinggi^[8]. Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu material pada temperatur tinggi yang berlangsung tanpa adanya oksigen atau minim oksigen. Produk-produk yang dihasilkan oleh piroliser dapat digunakan dalam berbagai kebutuhan. Jenis-jenis fase bahan bakar yang dihasilkan dari proses konversi sampah plastik menjadi bahan bakar meliputi fase padat/arang, fase cair/ tar, dan *fase flammabel* gas, yang dimana bahan bakar tersebut dapat dikonversikan lagi menjadi energi panas maupun energi listrik^[2,9]. Pada proses pirolisis akan terjadi proses pengeringan yaitu menguapnya kadar air (*moisture content*) dan evolatilisasi yaitu zat yang mudah menguap (*volatile matter*) ke luar dari dalam bahan. Produk utama dari pirolisis adalah residu karbon (*char*), minyak pirolisis (*pyrolitic oil*) atau tar dan gas (*pyrogas*)^[10].

Alat konversi plastik menjadi bahan bakar minyak dengan metode pirolisis untuk penanganan sampah plastik. Tujuan penelitian untuk mengetahui perbandingan berat minyak hasil pirolisis dengan variasi temperatur kondenser antara 27°C, 14°C, dan 4°C. Sampah plastik yang digunakan dalam penelitian ini adalah plastik LDPE (*low density polyethylene*) yang berjenis kresak, dengan temperatur reaktor 200° C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin rendah temperatur kondenser maka berat minyak yang dihasilkan akan semakin tinggi, begitu juga sebaliknya semakin tinggi temperatur pada kondenser maka berat minyak yang dihasilkan semakin rendah^[2]. Produksi bahan bakar minyak dari limbah plastik HDPE dan PETE penelitian ini berhasil merancang alat pengolah limbah sampah plastik yang dapat berfungsi dengan baik dan menghasilkan bahan bakar minyak. Bahan bakar minyak yang dihasilkan sebanyak 450 ml dari limbah plastik HDPE 1,5 kg dengan waktu proses pirolisis selama 3 jam^[3]. Alat pirolisis sederhana untuk mengolah limbah plastik PP menjadi bahan bakar cair berhasil melakukan proses pirolisis jenis plastik PP dengan menggunakan reaktor sederhana berbahan bakar minyak tanah. Pirolisis ini menghasilkan bahan bakar cair dengan densitas 0,734 g/ml^[8]. Penelitian pirolisis 8 kg sampah plastik jenis polipropilena (PP) telah menghasilkan bahan bakar cair sebanyak 5070 ml dengan metode perengkahan termal pada suhu 330 °C. Hasil analisis nilai kalor menunjukkan bahan bakar cair hasil pirolisis memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan Premium yaitu 46,199 MJ/kg dan memiliki densitas 0,726 g/ml. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menghasikan produk pirolisis dengan rantai karbon yang lebih pendek agar diperoleh bahan bakar cair yang memiliki spesifikasi seperti Premium^[11]. Pengolahan sampah plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) dan PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebagai bahan bakar alternatif dengan proses pirolisis telah berhasil pengolahan 500 gram sampah plastik dengan parameter fisik volume, massa jenis, dan viskositas minyak hasil pirolisis dari sampah plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan rata-rata sebesar 74 ml, 769 kg/m³, dan 0,77 sentipoise (cP), sedangkan pada minyak hasil pirolisis dari sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan rata-

rata sebesar 27 ml, 794 kg/m^3 , dan 1,2 *sentipoise* (cP) [12]. Rancang bangun alat pengkonversi sampah plastik menggunakan metode pirolisis menjadi bahan bakar minyak dalam upaya penanganan masalah lingkungan telah menghasilkan bahan bakar minyak limbah plastik HDPE sebanyak 460 ml minyak dengan temperatur pemanasan $606,9^\circ\text{C}$ dan kondensasi 26°C serta 1846,5 ml minyak dengan temperatur pemanasan $640,6^\circ\text{C}$ dan kondensasi 17°C , dimana semakin besar temperatur pemanasan dan rendahnya temperatur kondensasi maka kapasitas minyak yang dihasilkanpun akan semakin besar [14].

Analisis modifikasi desain reaktor pada rancang bangun alat pirolisis dan pengujian nilai kalor untuk plastik PP dan ABS. Tujuan penelitian melakukan analisis laju pertambahan panas dan volume hasil pirolisis dan uji nilai kalor dari dua versi alat pirolisis, alfa dan beta, untuk sampah plastik jenis PP dan ABS. Alat pirolisis versi alfa menghasilkan volume minyak 30 ml dari 3 kg plastik jenis PP, sedangkan pada alat pirolisis versi Beta, volume minyak yang dihasilkan adalah 55 ml dari 500 gram plastik jenis PP. Hal tersebut menunjukkan volume minyak hasil pirolisis versi Beta lebih baik dari versi sebelumnya [15].

Berdasarkan beberapa penelitian yang diuraikan diatas, maka peneliti merancang alat pirolisis bertingkat untuk mengolah sampah plastik yang diharapkan menjadi salah satu solusi untuk menyelesaikan permasalahan sampah plastik sekaligus dapat menghasilkan bahan bakar alternatif yang memiliki karakteristik berbeda untuk jenis plastik yang sama. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dan jumlah minyak hasil pirolisis pada tingkat pertama dan kedua menggunakan sampah plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) dan PP (*Polypropylene*).

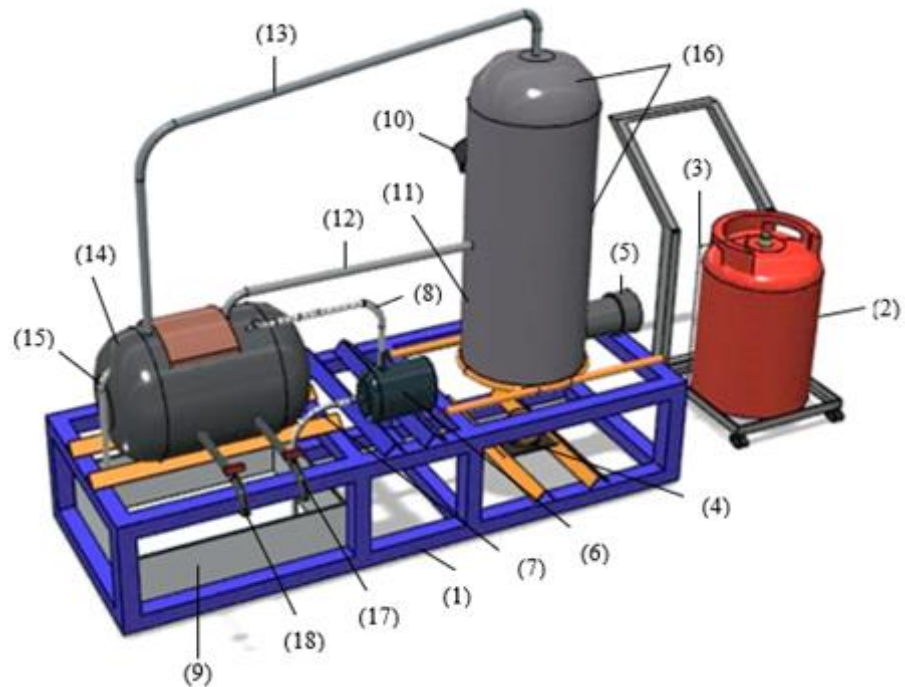
2. METODE DAN BAHAN

2.1. Alat dan Bahan

Alat pirolisis didesain dua tingkat yang diharapkan masing-masing tingkat dapat menghasilkan jenis bahan bakar alternatif yang memiliki karakteristik berbeda. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari termometer, termokopel, timbangan digital, tabung minyak tanah bertekanan, burner, dan alat pirolisis sebagaimana pada gambar 2. Bahan-bahan yang digunakan adalah minyak tanah, sampah plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) dan PP (*Polypropylene*). Sampah plastik terlebih dahulu dicacah menjadi potongan berukuran kecil setelah itu dikeringkan sebelum dimasukkan kedalam reaktor untuk dipanaskan. Sampah plastik hasil dicacahan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1: Plastik HDPE (kiri), Plastik PP (kanan)



Gambar 2. Alat pirolisis plastik.

Keterangan gambar :

1. Rangka alat pirolisis
2. Tabung bahan bakar
3. Saluran bahan bakar
4. Burner
5. Saluran keluar sisa pembakaran
6. Pompa
7. Pipa isap pompa
8. Pipa tekan popa
9. Wadah penampung air pendingin
10. Saluran pemasukan plastik
11. Reaktor
12. Pipa tingkat pertama
13. Pipa tingkat kedua
14. Wadah pendingin
15. Pipa keluar air pendingin
16. Ruang penguapan
17. Saluran keluar minyak tingkat pertama
18. Saluran keluar minyak tingkat kedua

2.2. Prosedur Pengujian

Prosedur pada proses pirolisis plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) dan plastik PP (*Polypropylene*) dilakukan dengan tahapan sama sebagai berikut:

1. Sampah plastik terlebih dahulu dicacah menjadi bagian-bagian yang kecil.
2. Hasil cacahan selanjutnya dilakukan proses pencucian untuk membersihkan sampah plastik dari kotoran, dan selanjutnya dikeringkan.
3. Menyiapkan alat pirolisasi dan kelengkapan lainnya seperti kompor tekan, termometer, termokopel dan lain-lain.
4. Timbang sampah plastik yang akan di gunakan sebanyak 2,5 kg.
5. Melakukan pengisian air pada penampung air pendingin.
6. Masukkan sampah plastik yang telah disiapkan kedalam reaktor.
7. Tutup rapat reaktor untuk mencegah terjadinya kebocoran saat proses pirolisasi berlangsung.
8. Nyalakan kompor tekan yang berbahan bakar minyak tanah untuk memanaskan sampah plastik yang berada didalam reaktor.
9. Hidupkan pompa untuk mensirkulasikan air pendingin pada ruang kondensor dan penampung air.
10. Siapkan wadah penampung minyak hasil pirolisasi.
11. Lakukan pengambilan data temperatur setiap 15 menit sampai proses pirolisasi tidak lagi menghasilkan minyak.
12. Matikan kompor tekan dan tunggu tabung reaktor dingin, kemudian buka penutup reaktor dan keluarkan limbah proses pirolisasi melalui saluran pada bagian bawah reaktor.
13. Melakukan pengujian laboratorium minyak hasil pirolisasi sampah plastik jenis HDPE dan PP dengan tujuan mengetahui karakteristik masing-masing minyak hasil pirolisasi pada Laboratorium PT. Pertamina (Persero) Terminal BBM Baubau.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Hasil Pengujian.

Pada proses pirolisasi jumlah plastik yang digunakan sebanyak 2,5 kg, baik plastik jenis PP (*Polypropylene*) maupun plastik jenis HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan lama pengujian berturut-turut 240 menit dan 210 menit, dimana pada waktu tersebut alat pirolisasi sudah tidak menghasilkan minyak. Selama proses pirolisasi temperatur reaktor tidak dapat dipertahankan konstan, hal ini disebabkan sumber panas yang menggunakan kompor tekan dengan tabung yang berisi minyak tanah dan udara dengan tekanan dalam tabung sering berubah seiring bertambahnya waktu pengujian sehingga mempengaruhi besarnya nyala api saat memanaskan reaktor. Disamping hal tersebut diatas, pengujian juga dilakukan pada ruang terbuka sehingga udara disekitar dapat juga mempengaruhi nyala api.

Berdasarkan penelitian ini diperoleh minyak hasil pirolisasi pada jenis plastik PP (*Polypropylene*) yaitu pada tingkat pertama sebanyak 855,7 gram dan pada tingkat kedua sebanyak 138,5 gram, sedangkan plastik jenis HDPE (*High Density Polyethylene*) minyak yang dihasilkan hanya terjadi pada tingkat pertama sebanyak 418 gram. Untuk lebih jelasnya hasil pirolisasi plastik jenis PP (*Polypropylene*) disajikan pada tabel 1, hasil pirolisasi plastik jenis HDPE (*High Density Polyethylene*) disajikan pada tabel 2.

Tabel 1. Hasil Pengujian Plastik Jenis PP (*Polypropylene*)

Waktu (Menit)	Temperatur Reaktor (°C)	Hasil Pirolisasi (gram)	
		Tingkat 1	Tingkat 2
15	214,3		
30	218,6		
45	280,1	47,9	
60	331,3	100,7	28,6
75	321,8	106,9	17,1
90	312,9	93,7	13,1
105	307,7	75,1	12,6
120	303,2	52,5	10,4
135	301,1	51,9	11,2
150	301,7	56,5	10,5
165	296,2	49,3	7,7
180	298,9	49,5	6,9
195	296,6	40	20,4
210	298	48,3	
225	297,7	55,2	
240	297,5	28,2	
Jumlah		855,7	138,5

Tabel 2. Hasil Pengujian Plastik Jenis HDPE (*High Density Polyethylene*)

Waktu (Menit)	Temperatur Reaktor (°C)	Hasil Pirolisasi (gram)	
		Tingkat 1	Tingkat 2
15	213,6		-
30	219,9		-
45	291,3		-
60	315,6	23,2	-
75	350,1	66,6	-
90	397,9	65,5	-
105	390,1	57,1	-
120	384,6	50,9	-
135	383,1	42,2	-
150	384,7	40,9	-
165	382,1	36,3	-
180	378,7	19,8	-
195	378,6	9	-
210	378,3	6,5	-
Jumlah		418	

Untuk mengetahui karakteristik minyak hasil pirolisasi baik pada tingkat pertama maupun tingkat kedua dilakukan pengujian pada Laboratorium PT. Pertamina (Persero) Terminal BBM Baubau sebagaimana disajikan pada tabel 3 berikut:

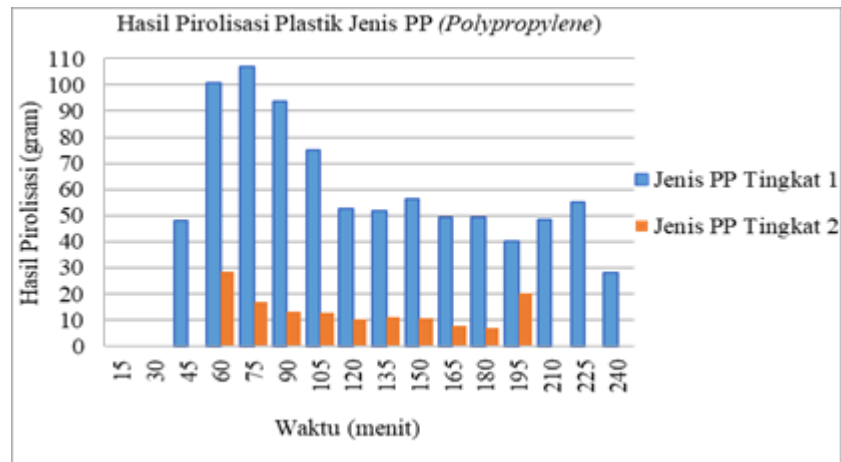
Tabel 3. Hasil Uji Minyak Hasil Pirolisisasi [Lab. PT. Pertamina (persero)Terminal BBM Baubau].

Parameter	Unit	Plastik PP		Plastik HDPE
		Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 1
Berat Jenis@ 15 °C	kg/m ³	754,8	718,5	751,5
Distilasi@200 °C	% v/v	71,8	-	70,9
Distilasi : Titik didih akhir	°C	264,9	189,7	279,4
Kandungan Sulfur	% m/m	0,005	0,012	0,01
Distilasi :10% vol penguapan	°C	-	74,4	-
Distilasi :50% vol penguapan	°C	-	123	-
Distilasi :90% vol penguapan	°C	-	142,1	-

3.2. Plastik Jenis PP (*Polypropylene*)

Pada pengujian ini temperatur rektor terendah terjadi pada menit ke 15 sebesar 214,3°C dan tertinggi 331,3 °C dimenit ke 60. Proses pirolisisasi dilakukan selama 240 menit pada plastik jenis PP menghasilkan minyak sebanyak 994,2 gram dengan rincian sebagai berikut: pada tingkat pertama (1) sebanyak 855,7 gram dan pada tingkat kedua (2) sebanyak 138,5 gram.

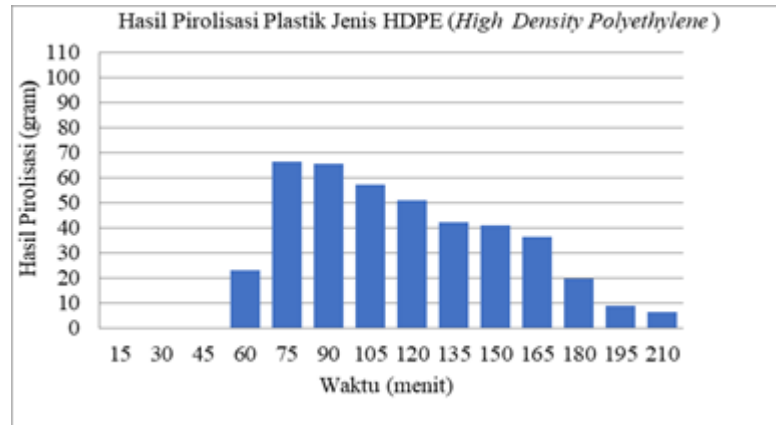
Hasil pengujian karakteristik minyak hasil pirolisisasi pada tingkat pertama (1) diketahui berat jenis @ 15 °C = 754 kg/m³, titik didih akhir = 264,9 °C, kandungan sulfur = 0,005 % m/m, dan distilasi @200°C = 71,8% v/v. Pada tingkat kedua (2) diketahui berat jenis @15°C = 718,5 kg/m³, distilasi 10% vol penguapan = 74,4°C, distilasi 50% vol penguapan = 123°C, distilasi 90% vol penguapan = 142,1 °C titik didih akhir = 189,7 °C, dan kandungan sulfur = 0,012 % = m/m.

**Gambar 3.** Grafik Hasil Pirolisisasi Plastik Jenis PP (*Polypropylene*).

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik tersebut diatas, maka hasil pirolisisasi tingkat pertama (1) setara dengan karakteristik minyak tanah yaitu berat jenis @ 15 °C maksimum = 835 kg/m³, titik didih akhir maksimum = 310 °C, kandungan sulfur maksimum = 0,2 % m/m, dan distilasi @200°C minimal = 18 % v/v, sedangkan hasil pirolisisasi tingkat kedua (2) setara dengan karakteristik premium yaitu berat jenis @15°C = 715 - 770 kg/m³, distilasi 10% vol penguapan maksimum = 74°C, distilasi 50% vol penguapan = 75 - 125°C, distilasi 90% vol penguapan maksimum = 180 °C titik didih akhir maksimum = 215 °C, dan kandungan sulfur maksimum = 0,05 % = m/m [14,16].

3.3. Plastik Jenis HDPE (*High Density Polyethylene*)

Pada pengujian plastik HDPE temperatur rektor terendah 213,6°C dimenit ke 15 dan tertinggi 397,6 °C dimenit ke 90. Proses pirolisasi dilakukan selama 210 menit, dimana minyak yang dihasilkan selama proses pengujian hanya terjadi pada tingkat pertama (1) sebanyak 418 gram.



Gambar 4. Grafik hasil pirolisasi plastik jenis HDPE (*High Density Polyethylene*)

Hasil pengujian karakteristik minyak hasil pirolisasi diketahui berat jenis @ 15 °C = 751,5 kg/m³, titik didih akhir = 279,4 °C, kandungan sulfur = 0,01 % m/m, dan distilasi @200°C = 70,9% v/v. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik tersebut, maka hasil pirolisasi setara dengan karakteristik minyak tanah yaitu berat jenis @ 15 °C maksimum = 835 kg/m³, titik didih akhir maksimum = 310 °C, kandungan sulfur maksimum = 0,2 % m/m, dan distilasi @200°C minimal = 18 % v/v ^[14,16].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian alat pirolisasi bertingkat dapat disimpulkan bahwa hasil pirolisasi jenis plastik PP (*Polypropylene*) menghasilkan minyak pada tingkat pertama (1) sebanyak 855,7gram dengan karakteristik: berat jenis @ 15 °C = 754 kg/m³, titik didih akhir = 264,9 °C, kandungan sulfur = 0,005 % m/m, dan distilasi @200°C = 71,8% v/v yang setara dengan karakteristik minyak tanah. Pada tingkat kedua (2) sebanyak 138,5 gram dengan karakteristik : berat jenis @15°C = 718,5 kg/m³, distilasi 10% vol penguapan = 74,4°C, distilasi 50% vol penguapan = 123°C, distilasi 90% vol penguapan = 142,1 °C titik didih akhir = 189,7 °C, dan kandungan sulfur = 0,012 % = m/m. yang setara dengan karakteristik premium RON 88. Pirolisasi plastik jenis HDPE (*High Density Polyethylene*) hanya menghasilkan minyak pada tingkat pertama (1) sebanyak 418 gram dengan karakteristik: berat jenis @ 15 °C = 751,5 kg/m³, titik didih akhir = 279,4 °C, kandungan sulfur = 0,01 % m/m, dan distilasi @200°C = 70,9% v/v yang setara dengan karakteristik minyak tanah. Alat pirolisasi dua tingkat ini menghasilkan minyak hasil pirolisasi yang memiliki karakteristik berbeda berdasarkan beberapa karakteristik diatas. Keterbatasan dari penelitian ini belum menguji nilai kalor minyak hasil pirolisasi.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pengelola Laboratorium PT. Pertamina (Persero) Terminal BBM Baubau, dan semua pihak yang telah berkontribusi dalam menyelesaikan dan menyempurnakan penelitian ini, semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat dalam bidang pengolahan limbah plastik melalui metode pirolisis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. L. Savira and Okik. H., “Pirolisis sampah plastik sebagai bahan bakar alternatif dengan penambahan sampah ranting,” *Jurnal Envirotek*, v. 9, n. 2, 2018
- [2] I. G. N. N. Santhiarsa, “Rancang bangun alat konversi plastik menjadi bahan bakar minyak dengan metode pirolisis untuk penanganan sampah plastik,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 13, n. 1, pp. 189–196, 2022.
- [3] Sumartono, “Produksi bahan bakar minyak dari limbah plastik HDPE dan PETE 1 kg,” *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, v. 2, n. 2, pp. 94–103, 2019.
- [4] B. Sugiarto, J. R. Arfianto, and K. Monika, “Pembuatan bahan bakar minyak (BBM) dari sampah plastik menggunakan proses pirolisis,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, pp.1- 6, Yogyakarta, Juli 2020.
- [5] J. A. Riandis, A. R. Setyawati, and A. S. Sanjaya, “Pengolahan sampah plastik dengan metode pirolisis menjadi bahan bakar minyak,” *Jurnal Chemurgy.*, v. 05, n. 1, pp. 8–14, 2021.
- [6] M. S. Cahyono, S. Haryono, and W. W. Mandala, “Proses pirolisis untuk mengkonversi limbah plastik menjadi bahan bakar minyak menggunakan penyaringan adsorban (arang dan zeolit),” *Jurnal Offshore*, v. 5, n. 2, pp. 77-81, 2021.
- [7] N. M. Wedayani, “Studi pengelolaan sampah plastik di pantai kuta sebagai bahan bakar minyak,” *Jurnal Presipitasi Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, v. 15, n. 2, pp. 122-126, 2018.
- [8] Nurhayati, S. Viridi, A.P. Asmara, Z. Aina, “Rancang bangun alat pirolisis sederhana untuk mengolah limbah plastik polipropilena (PP) menjadi Bahan bakar cair (BBC),” *Prosiding SNIPS*, pp. 116–122, Juli, 2018.
- [9] Y. H. A. Nofendri, “Perancangan alat pirolisis sampah plastik menjadi bahan bakar” *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, v. 6 n. 1, pp. 1–11, 2021.
- [10] Nuryosuwito, Sudjito, W. Wijayanti, M.N. Sasongko., “Pengaruh campuran sampah plastik dengan katalis alam terhadap hasil produk pyrolisis,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 9, n. 2, pp. 85–91, 2018.
- [11] A. Islami, S. Sutrisno, and H. Heriyanti, “Pirolisis sampah plastik jenis polipropilena (PP) menjadi bahan bakar cair-premium-like,” *JC-T (Journal Cis-Trans) Jurnal Kimia dan Terapannya.*, v. 3, n. 2, pp. 1–6, 2019.
- [12] D. Andreas Lubis, Y. Fitrianiingsih, S. Pramadita, and G. Christiadora Asbanu, “Pengolahan sampah plastik HDPE (High Density Polyethylene) dan PET (Polyethylene Terephthalate) sebagai bahan bakar alternatif dengan proses pirolisis,” *Jurnal Ilmu Lingkungan*, v. 20, n. 4, pp. 735–742, 2022.
- [13] A. D. Korawan, “Peningkatan kualitas hasil penyulingan minyak tradisional,” *Jurnal Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat UNSIQ*, v. 7, n. 3, pp. 305–308, 2020.
- [14] Dewi Amalia Ardianti, Aldy Amiruddin Najib, Faisal Nur Hakim, Uhti Setiorini, Sri Suryaningsih, “Rancang bangun alat pengkonversi sampah plastik menggunakan metode pirolisis menjadi bahan bakar minyak dalam upaya penanganan masalah lingkungan,” *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika.*, v. 3, n. 2, p. 91-96, 2019.
- [15] R. P. Wijayanto, F. R. Alhikam, and I. Hendrawan, “Analisis Modifikasi Desain Reaktor pada Rancang Bangun Alat Pirolisis dan Pengujian Nilai Kalor untuk Plastik PP dan ABS,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 1, pp. 247–256, 2024.
- [16] Pertamina, “Spesifikasi Produk BBM, BBN & LPG,” *Spesifikasi Prod. BBM, BBN LPG*, p. 23, 2020.