

## PENGOLAHAN LIMBAH SAMPAH PLASTIK *POLYTHYLENE TEREPHTHALATE (PET)* MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK DENGAN PROSES PIROLISIS

Tia Novia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Samudra  
Jln. Kampus Meurandeh No. 1, Kecamatan Langsa Lama, Kota Langsa, Propinsi Aceh, 24416  
Email Korespondensi: tianovia20112@gmail.com

### ABSTRAK

*Sampah plastik saat ini semakin banyak digunakan mengingat semakin meningkatnya jumlah penduduk di Indonesia. Pirolisis merupakan proses degradasi termal bahan-bahan polimer seperti plastik maupun material organik seperti biomassa dengan pemanasan atau pembakaran tanpa melibatkan oksigen didalamnya. Asap cair merupakan senyawa kimia dari asap hasil pirolisis biomassa yang kemudian terkondensasi dengan membentuk cairan yang merupakan hasil dari pendinginan dan pencairan yang dibakar tabung tertutup. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengolahan sampah plastik Polythylene Terephthalate (PET) menjadi bahan bakar minyak dengan proses pirolisis. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode experimental yang terdiri dari tahap persiapan, tahap proses pirolisis dan tahap analisis. Hasil penelitian ini berupa 90 ml minyak pirolisis yang berasal dari 500 gram sampah plastik Polythylene Terephthalate (PET) yang memakan waktu pembakaran selama 6 jam. Berdasarkan analisis yang dilakukan didapatkan massa jenis minyak pirolisis sebesar 0,688 g/ml. Waktu yang diperlukan untuk membakar habis suatu benda selama 6,51 menit. Pemanasan air memperoleh temperatur sebesar 75,6°C. Volume air yang hilang (menguap) selama 5 menit dari proses pemanasan air sebesar 5,1 ml. Dari keempat parameter yang diamati, maka kualitas minyak pirolisis berada di antara minyak tanah dan minyak premium.*

*Kata kunci: Asap Cair, Pirolisis, Plastik*

### ABSTRACT

*Plastic waste is currently increasingly being used, given the increasing population in Indonesia. Pyrolysis is a process of thermal degradation of polymer materials such as plastics and organic materials such as biomass by heating or burning without involving oxygen in it. Liquid smoke is a chemical compound from smoke resulting from pyrolysis of biomass which then condenses to form a liquid which is the result of cooling and liquefaction which is burned by closed tubes. The purpose of this study was to determine the processing of Polythylene Terephthalate (PET) plastic waste into fuel oil by a pyrolysis process. The research method used in this research is an experimental method which consists of the preparation stage, the pyrolysis process stage and the analysis stage. The results of this study were 90 ml of pyrolysis oil from 500 grams of Polythylene Terephthalate (PET) plastic waste which took 6 hours of burning time. Based on the analysis conducted, it was found that the density of pyrolysis oil was 0.688 g / ml. The time it takes to completely burn an object is 6.51 minutes. Heating water gets a temperature of 75.6 °C. The volume of water lost (evaporated) for 5 minutes from the water heating process is 5.1 ml. Of the four parameters observed, the quality of pyrolysis oil is between kerosene and premium oil.*

*Keywords: Liquid Smoke, Pyrolysis, Plastic*

### A. PENDAHULUAN

Saat ini plastik telah menjadi material yang penting di kehidupan modern dan banyak digunakan untuk berbagai macam

aplikasi. Plastik masih menjadi bahan yang sulit tergantikan dalam berbagai kebutuhan sehari-hari seperti kemasan makanan, kemasan minuman, tas, produk-produk elektronik, otomotif dan mainan.

Penggunaan plastik ini akan terus meningkat sejalan dengan waktu yang akan datang mengingat kelebihan yang dimilikinya antara lain ringan dan kuat, tahan terhadap korosi, transparan, mudah diwarnai dan sifat insulasinya yang cukup baik (Mochamad Syamsiro, 2015:47).

Kebutuhan plastik di Indonesia mengalami peningkatan hingga rata-rata 200 ton per tahun. Pada tahun 2002 tercatat sebesar 1,9 juta ton, tahun 2003 naik menjadi 2,1 juta ton dan pada tahun 2004 terus mengalami peningkatan menjadi 2,3 juta ton pertahunnya. Pada tahun 2010 penggunaan plastik mencapai 2,4 juta ton dan pada tahun 2011 terus meningkat menjadi 2,6 juta ton. Akibat dari peningkatan jumlah pemakaian plastik ini maka bertambah pula sampah plastik (Didi Iswadi, 2017:1).

Pengolahan sampah menjadi plastik memiliki masalah yang cukup serius dikarenakan material yang tidak bias terdekomposisi secara alami sehingga pengolahan sampah plastik dengan *landfill* maupun *open dumping* tidak dapat dilakukan. Pengolahan sampah plastik saat ini sudah banyak dilakukan salah satunya dengan cara pembakaran, tetapi pembakaran sampah memiliki dampak negatif terhadap lingkungan sekitar yaitu terjadinya pencemaran udara (Jamiko Wahyudi, 2018:59).

Pengolahan sampah plastik yang lainnya adalah dengan mendaur ulang sampah plastik dimana sampah plastik diolah dan diubah menjadi bahan plastik yang baru. Namun proses daur ulang ini hanya akan membuat bentuk plastik menjadi bentuk yang baru bukan untuk mengurangi jumlah limbah sampah plastik. Maka dari itu diperlukan metode yang lain yang dapat menanggulangi limbah sampah plastik. Salah satu penanganannya dengan menggunakan metode pirolisis. Kelebihan dari proses pirolisis ini adalah dapat bekerja pada tekanan atmosfer dan pada suhu sekitar 500°C (Endang K, 2016:1).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Jatmiko Wahyudi yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Alternatif” menunjukkan bahwa minyak pirolisis berada dibawah minyak tanah nampun

berada diatas minyak solar. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Endang K, dkk dengan judul “*Pengolahan Sampah Plastik dengan Metode Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak*” menunjukkan bahwa viskositas dari minyak hasil pirolisis mendekati nilai viskositas dari minyak bensin. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Didik Iswandi, dkk yang berjudul “*Pemanfaatan Sampah Plastik LDPE dan PET menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis*” menunjukkan bahwa nilai kalor hasil pirolisis dengan bahan PET mendekati nilai kalor minyak tanah, dengan suhu 250°C sebanyak 1 kg sampah plastik PET menghasilkan 368,47 mL.

Dari masalah diatas, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **Pengolahan Limbah Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis.**

## KAJIAN PUSTAKA

### 1. Plastik

Plastik merupakan salah satu produk turunan dari minyak bumi. Oleh karena itu, plastik mempunyai kandungan energi yang tinggi seperti bahan bakar pada umumnya seperti bensin, solar dan minyak tanah (Mochamad Syamsiro, 2015:1). Plastik merupakan material terbuat dari nafta yang merupakan produk turunan minyak bumi yang diperoleh melalui proses penyulingan. Karakteristik plastik memiliki ikatan kimia yang sangat kuat sehingga banyak material yang dipakai oleh masyarakat berasal dari plastik. Namun plastik merupakan material yang tidak bias terdekomposisi secara alami (*non biodegradable*) sehingga setelah digunakan, material yang berbahan baku plastik akan menjadi sampah yang sulit diuraikan oleh mikroba tanah dan akan mencemari lingkungan (Jatmiko Wahyudi, 2018:56).

Beberapa jenis plastik yang biasa digunakan sebagai bahan baku adalah *PolyEthylene Terephthalate* (PET), *High Density PolyEthylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density PolyEthylene* (LDPE), *Poly Propylene* (PP) dan *Poly Styrene* (PS). Dari berbagai jenis plastik, jenis plastik yang sering digunakan adalah PET yang

digunakan sebagai bahan baku botol air mineral (Endang K, 2016:1).

**Tabel 1.** Karakteristik Jenis Plastik

Jenis Plastik	Kode	Titik Leleh (°C)	Beberapa penggunaan plastik
<b>PET</b> (polyethylene terephthalate)	 PET	250	Botol minuman ringan dan air mineral, bahan pengisi kantong tidur dan serat tekstil
<b>HDPE</b> (high density polyethylene)	 HDPE	200-250	Kantong belanja, kantong freezer, botol susu dan krim, botol sampo dan pembersih
<b>PVC</b> (polyvinyl chloride)	 PVC	160-180	Botol juice, kotak pupuk, pipa saluran
<b>LDPE</b> (low density polyethylene)	 LDPE	160-240	Kotak ice cream, kantong sampah, lembar plastik hitam
<b>PP</b> (polypropylene atau polypropylene)	 PP	200-300	Kotak ice cream, kantong kentang goreng, sedotan, kotak makanan, minuman gelas plastik atau cup plastik
<b>PS</b> (polystyrene)	 PS	180-260	Kotak yoghurt, plastik meja, cangkir minuman panas, wadah makanan siap saji, baki kemasan
<b>OTHER</b>	 OTHER	180-310	Botol minum olahraga, acrylic dan nylon

(Sumber : Gina Lova Sari, 2017)

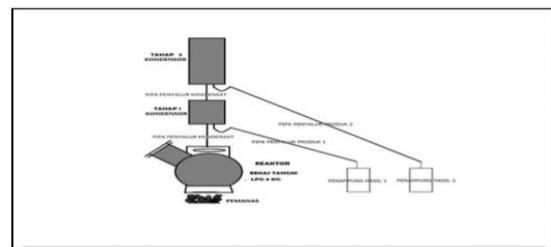
## 2. Pirolisis

Pirolisis adalah proses degradasi termal bahan-bahan polimer seperti plastik maupun material organik seperti biomassa dengan pemanasan tanpa melibatkan oksigen di dalamnya. Proses ini umumnya berlangsung pada temperatur antar 300-800°C (Aguado, 2007:1). Pada suhu

tersebut, plastik akan meleleh dan kemudian berubah menjadi gas. Pada saat proses tersebut, rantai panjang hidrokarbon akan terpotong menjadi rantai pendek. Selanjutnya proses pendinginan dilakukan pada gas tersebut sehingga akan mengalami kondensasi dan membentuk cairan. Cairan inilah yang nantinya menjadi bahan bakar, baik berupa bensin maupun bahan bakar diesel (Mochamad Syamsiro, 2015:1).

Metode yang dapat digunakan untuk mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar cair antara lain: *pyrolysis, thermal cracking, and catalytic cracking*. Dari ketiga metode tersebut metode pirolisis merupakan metode yang sangat menjanjikan. Pirolisis berasal dari dua kata yakni, *pyro* yang berarti panas dan *lysis* yang berarti penguraian atau degradasi, sehingga pirolisis merupakan penguraian biomassa oleh panas pada suhu lebih dari 150°C (Jatmiko Wahyudi, 2018:61).

Metode pirolisis dapat digunakan untuk mengolah sampah yang berasal dari rumah tangga, seperti sampah kertas, sampah plastik, dan sampah tekstil. Cairan yang dihasilkan dari proses pirolisis merupakan campuran kompleks senyawa organik antara lain stirena, etil-benzena, toluena, dan lain-lain. Proses pirolisis menghasilkan padatan yang mengandung char atau residu dan bahan organik yang terkandung dalam bahan baku. Selain itu, pirolisis juga menghasilkan gas yang terdiri dari hidrokarbon, CO dan CO<sub>2</sub> yang memiliki nilai kalor yang tinggi (Qonita Rachmawati dan Welly Herumurti, 2015:1).



**Gambar 1.** Ilustrasi Sederhana Proses Pirolisis

(Sumber : Jatmiko Wahyudi, 2018)

## 3. Asap Cair

Asap cair merupakan senyawa kimia dari asap hasil pirolisis biomassa kemudian terkondensasi disana dengan membentuk cairan (Ketut Budaraga, 2019:1). Bahan

baku yang banyak digunakan untuk membuat asap cair adalah tempurung kelapa, kayu, bongkol kelapa sawit, ampas hasil penggergajian kayu, dan biomassa lainnya. Asap cair bisa juga berarti hasil pendinginan dan pencairan asap dari bahan biomass yang dibakar dalam tabung tertutup. Asap yang semula partikel padat didinginkan dan kemudian menjadi cair itu disebut dengan asap cair (Sugeng Slamet, 2015).

Menurut Demaji (dalam Mamik Sarwendah, 2019) asap cair mempunyai berbagai sifat fungsional, meliputi:

- a) Memberikan aroma, rasa, dan warna karena adanya senyawa fenol dan karbonil
- b) Menjadi bahan pengawet alami karena mengandung senyawa fenol dan asam yang berperan sebagai antibakteri dan antioksidan

Sifat asap cair dipengaruhi oleh komponen utama yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin yang proporsinya bervariasi tergantung pada jenis bahan yang akan di pirolisis (Komarayati, 2018). Asap cair juga mengandung senyawa yang merugikan yaitu tar dan senyawa benzopiren yang bersifat toksik dan karsinogenik serta menyebabkan kerusakan asam amino esensial dari protein dan vitamin. Pengaruh tersebut disebabkan adanya sejumlah senyawa kimia di dalam asap cair yang dapat bereaksi dengan komponen bahan makanan. Upaya yang dilakukan untuk memisahkan komponen berbahaya di dalam asap cair dapat dilakukan dengan cara redistilasi, yaitu proses pemisahan kembali suatu larutan berdasarkan titik didihnya (Mamik Sarwendah, 2019:23).

## B. METODE PENELITIAN

### 1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian pemanfaatan limbah sampah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) menjadi bahan bakar minyak dengan proses pirolisis dilaksanakan di lingkungan Universitas Samudra pada bulan November 2020.

### 2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada pirolisis sampah plastik merupakan metode experimental yang terdiri dari beberapa tahap berkesinambungan agar tujuan dapat tercapai. Tahap pertama adalah tahap persiapan awal. Persiapan yang dilakukan meliputi pembersihan, pengeringan serta pencacahan sampah plastik. Tahap kedua adalah proses pirolisis sampah plastik. Tahap ketiga adalah analisis minyak pirolisis. Analisis dilakukan dengan membandingkan minyak pirolisis, minyak tanah dan minyak premium yang menggunakan empat parameter yaitu mengukur massa jenis minyak, lama pembakaran, suhu temperatur dan volume air yang hilang.

### 3. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian pemanfaatan limbah sampah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) menjadi bahan bakar minyak dengan proses pirolisis ini antara lain:

**Tabel 2.** Alat

Alat	Jumlah
Gunting	1 buah
Gelas ukur	1 buah
Stopwatch	1 buah
Termometer <i>Infrared</i>	1 buah
Timbangan	1 buah

**Tabel 3.** Bahan

Bahan	Jumlah
Lem besi	1 buah
Besi Paralon	1 meter
Selang	2 meter
Cincin selang gas	2 buah
Ember	1 buah
Kaleng roti bekas	1 buah
Air	Secukupnya
Limbah plastik tipe <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET)	500 gram
Minyak tanah	90 ml
Minyak premium	90 ml
Kayu	3 x 1 cm
Kaleng susu	3 buah
Wadah obor	3 buah

- a. Limbah plastik yang digunakan sebagai bahan baku penelitian ini adalah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) berupa botol minuman plastik yang digunakan sebagai botol air minum yang diperoleh dari tempat pengumpulan barang rongsokan
- b. Minyak tanah dan minyak premium sebagai bahan bakar pembeding diperoleh dari Stasiun Pompa Bensin Umum (SPBU) Pertamina sehingga spesifikasi sesuai dengan standar Pertamina
- c. Air digunakan sebagai kondensor (pendingin)

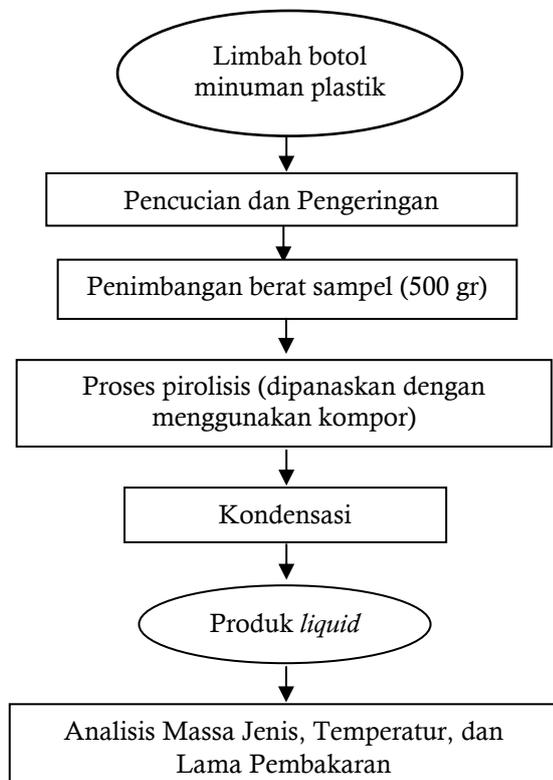
#### 4. Perancangan Alat

Perancangan dan pembuatan alat pirolisis sebagai berikut :



**Gambar 2.** Rangkaian Alat Pirolisis  
(Sumber : Nusmasyitah, 2020)

#### 5. Langkah-Langkah Penelitian



**Gambar 3.** Prosedur Pirolisis

Botol minuman dikumpulkan dalam keadaan kondisi kering dan bersih sebanyak 500 gram yang kemudian dimasukkan kedalam tungku pembakaran alat pirolisis. Botol minuman pada fase padat diubah menjadi fase cair dengan menggunakan proses pirolisis.

Proses perubahan fase dari padat ke cair berlangsung dalam dua tahap, yaitu tahap pertama perubahan fase padat menjadi gas dikarenakan proses pembakaran dari kompor LPG. Selanjutnya tahap kedua, perubahan dari fase gas menjadi cair yaitu dengan proses kondensasi (pendinginan) dengan bantuan air yang telah disediakan.

#### 6. Analisis

##### a. Massa Jenis

Analisis massa jenis dilakukan dengan mengambil sampel minyak pirolisis, minyak tanah dan minyak premium sebanyak 90 ml menggunakan gelas ukur. Selanjutnya dilakukan dengan cara mengukur volume dan massa pada masing-masing sampel. Massa jenis sampel dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Dengan :

$\rho$  = Massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$m$  = Massa sampel (kg)

$v$  = Volume sampel ( $\text{m}^3$ )

##### b. Lama Pembakaran

Analisis lama pembakaran dilakukan dengan mengambil masing-masing sampel sebanyak 10 ml kemudian dimasukkan kedalam masing-masing tungku yang berbeda. Waktu yang dibutuhkan masing-masing sampel bahan bakar untuk membakar material sampai habis akan dihitung dan dianalisis, dimana material yang digunakan adalah kayu ukuran 3x1 cm.

##### c. Temperatur Air

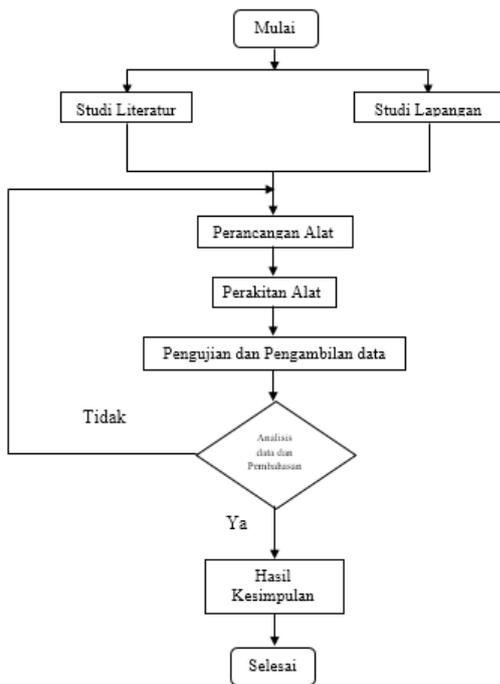
Analisis yang dilakukan untuk temperatur air adalah dengan memanaskan air sebanyak 10 ml menggunakan masing-masing sampel

sebagai bahan bakar untuk memanaskan air. Proses akan dilakukan selama 5 menit dan selanjutnya dilakukan pengukuran terhadap temperature air yang telah dipanaskan dengan masing-masing sampel yang berbeda dengan menggunakan termometer *infrared*.

**d. Volume Air yang Hilang**

Analisis untuk kerja sampel bahan bakar dalam menguapkan air dilakukan dengan mengukur dan memanaskan air sebanyak 10 ml selama 5 menit. Selanjutnya volume air yang tersisa setelah dilakukan pemanasan terhadap masing-masing sampel yang berbeda diukur dan dianalisis.

Adapun tahapan yang dilakukan pada penelitian ini sebagaimana ditunjukkan dalam diagram alir pada gambar dibawah ini:



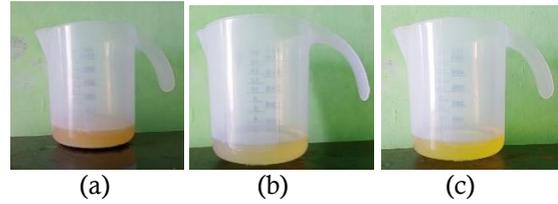
**Gambar 4.** Diagram Alir Penelitian

**C. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**1. Hasil Penelitian**

Hasil penelitian yang diperoleh dari pengolahan limbah sampah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebanyak 500 gram menghasilkan minyak pirolisis sebanyak 90 ml dengan lama waktu

pembakaran 6 jam serta suhu pembakaran (titik leleh) 270 °C-300 °C sebagai berikut :



**Gambar 5.** (a) Minyak Pirolisis, (b) Minyak Tanah dan (c) Minyak Premium



**Gambar 6.** Pembakaran Minyak Pirolisis



**Gambar 7.** Proses Pemanasan Air Minyak Pirolisis



**Gambar 8.** Suhu Temperatur Air Minyak Pirolisi

**Tabel 2.** Massa Jenis

No.	Jenis Bahan Bakar	Massa (m)	Volume (V)	Massa Jenis ( $\rho$ )
1.	Minyak Pirolisis	62 gram	90 ml	0,688 g/ml
2.	Minyak Tanah	73 gram	90 ml	0,811 g/ml
3.	Minyak Premium	65 gram	90 ml	0,722 g/ml

**Tabel 3.** Lama Pembakaran

No.	Jenis Bahan Bakar	Waktu Pembakaran (t)
1.	Minyak Pirolisis	6,51 menit
2.	Minyak Tanah	7,23 menit
3.	Minyak Premium	5,12 menit

**Tabel 4.** Temperatur Air

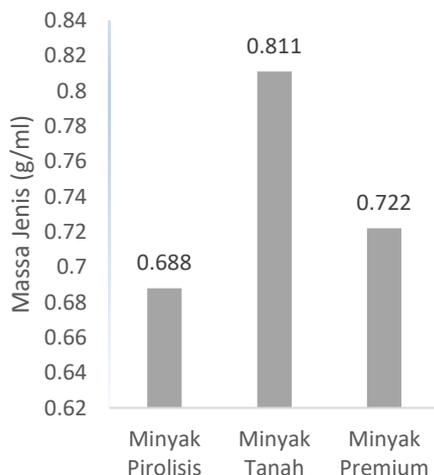
No.	Jenis Bahan Bakar	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )
1.	Minyak Pirolisis	75,6 $^{\circ}\text{C}$
2.	Minyak Tanah	72,2 $^{\circ}\text{C}$
3.	Minyak Premium	84,5 $^{\circ}\text{C}$

**Tabel 5.** Volume Air yang Hilang

No.	Jenis Bahan Bakar	Volume Air (ml)
1.	Minyak Pirolisis	5,1 ml
2.	Minyak Tanah	4,5 ml
3.	Minyak Premium	6,2 ml

## 2. Pembahasan

### a. Massa Jenis

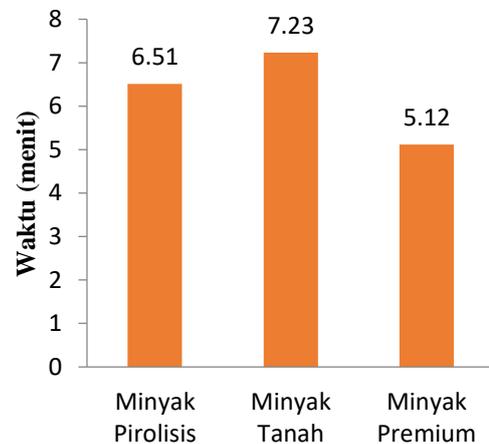
**Grafik Massa Jenis (g/ml)****Gambar 9.** Massa Jenis

Berdasarkan gambar 9 diperoleh hasil bahwa minyak pirolisis memiliki massa jenis paling rendah dibandingkan dengan massa jenis

minyak tanah dan massa jenis minyak premium. Minyak pirolisis memiliki massa jenis sebesar 0,688 g/ml, minyak tanah memiliki massa jenis sebesar 0,811 g/ml sedangkan minyak premium memiliki massa jenis sebesar 0,722 g/ml.

Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Minyak pirolisis memiliki massa jenis paling rendah dibandingkan dengan minyak tanah dan minyak premium.

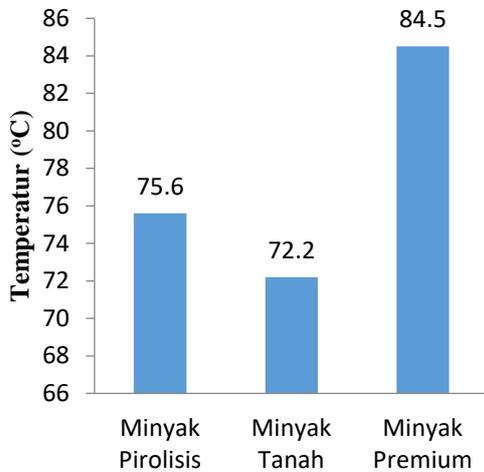
### b. Lama Pembakaran

**Grafik Lama Pembakaran (menit)****Gambar 10.** Lama Pembakaran

Berdasarkan gambar 4.6 diketahui bahwa minyak tanah menghasilkan waktu pembakaran lebih lama dibandingkan dengan minyak pirolisis dan minyak premium. Minyak pirolisis menghasilkan waktu pembakaran sebesar 6,51 menit, minyak tanah menghasilkan waktu pembakaran sebesar 7,23 menit dan minyak premium menghasilkan waktu pembakaran sebesar 5,12 menit.

### c. Temperatur Air

**Grafik Temperatur Air  
(°C)**

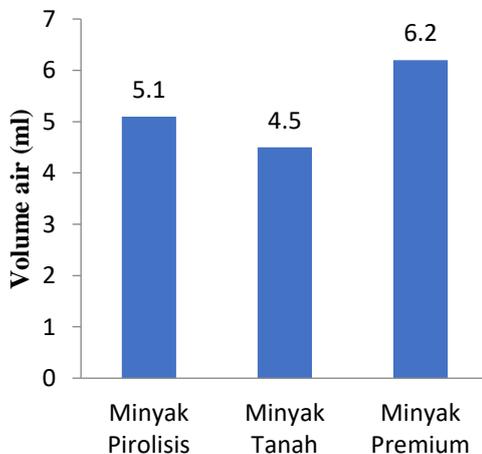


**Gambar 11.** Temperatur Air

Berdasarkan gambar 11 minyak premium menghasilkan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan temperature minyak pirolisis dan minyak tanah. Pemanasan air kali ini dilakukan selama 5 menit dimana minyak pirolisis menghasilkan temperatur air sebesar 75,6°C, minyak tanah menghasilkan temperatur air sebesar 72,2°C dan minyak premium menghasilkan temperatur air sebesar 84,5°C.

### d. Volume Air yang Hilang

**Grafik Volume Air yang Hilang (ml)**



**Gambar 12.** Volume Air yang Hilang

Berdasarkan gambar 12 minyak premium menghasilkan jumlah volume air yang hilang lebih banyak dibandingkan dengan minyak pirolisis dan minyak tanah. Volume air yang menguap paling tinggi dihasilkan dari pemanasan air menggunakan minyak pirolisis sebesar 5,1 ml, minyak tanah sebesar 4,5 ml dan minyak premium sebesar 6,2 ml.

### D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian limbah sampah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) menjadi bahan bakar minyak dengan proses pirolisis dapat disimpulkan bahwa:

1. Minyak pirolisis dari sampah *Polyethylene Terephthalate* (PET) menghasilkan sebanyak 90 ml dari sampah *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebanyak 500 gram
2. Massa jenis minyak pirolisis adalah 0,688 g/ml
3. Titik nyala minyak pirolisis berada diantara minyak tanah dan minyak premium.
4. Pemanasan air menggunakan bahan bakar minyak pirolisis menghasilkan temperature sebesar 75,6°C.
5. Pada waktu pemanasan 5 menit dengan volume air yang hilang (menguap) sebesar 5,1 ml

### E. DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Nasruddin A. Raghda Novitaningrum., Imansyah Ibnu Hakim., Nandy Putra., dan Raldi A. Koestoer. 2018. *Investigasi Proses Pirolisis pada Non-Sweep Gas Fixed-Bed Reactor untuk Memproduksi Asap Cair dengan Bahan Baku Bio-Massa*, Vol. (18)(1), 09-16.
- Budaraga, Ketut. Dian Pramana Putra. 2019. *Study of the Physical Properties of Liquid Smoke from Cocoa Rind on Moisture Content and Different Pyrolysis Temperature*. IOP Conf. Ser : Earth and Environmental Science. 542 012045
- Endang K, Mukhtar G, Abed Nego, D X Angga Sugiyana. 2016. *Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak*. ISSN 1693-4393.

- Iswadi, Didik. Fatmi Nurisa., dan Erlina Liastuti. 2017. *Pemanfaatan Sampah Plastik LDPE dan PET menjadi bahan bakar minyak dengan Proses Pirolisis*, Vol. (1)(2).
- Komarayati, Sri. Gusmailina., dan Lisna Efiyanti. 2018. *Karakteristik dan Potensi Pemanfaatan Asap Cair Kayu Trema, Nani, Merbau, Matoa, dan Kayu Malas*, Vol. (36)(3), 219-288.
- Rachmawati, Qonita dan Welly Herumurti. 2015. *Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik*, Vol. (4)(12).
- Sari, Gina Lova. 2017. *Kajian Potensi Pemanfaatan Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Cair*, Vol. (3)(1), 06-13.
- Sarwendah, Mamik., Feriadi Feriadi., Tri Wahyuni., dan Tiffani Nindya. 2019. *Pemanfaatan Limbah Komoditas Perkebunan untuk Pembuatan Asap Cair*, Vol. (1), 22-30.
- Selamet, Sugeng dan Taufiq Hidayat. 2015. *Studi Eksperimen Pemilihan Biomassa untuk Memproduksi Gas Asap Ciar (Liquid Smoke Gases) sebagai Bahan Pengawet*, Vol. (6)(1).
- Syamsiro, Mochamad. 2015. *Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik*, Vol (5)(1), 47-56.
- Wahyudi, Jatmiko. Hermain Teguh Prayitno, Arieanti Dwi Astuti. 2018. *Pemanfaatan Llimbah Plastik sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Alternatif*, Vol. (14)(1), 58-67.