

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK MELALUI PROSES PIROLISIS SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF

Helen Riupassa¹⁾ Muhammad Nur Baharuddin²⁾

¹⁾Staff Pengajar Program Studi Teknik Mesin

²⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Kebumihan, Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

Abstrak

Pirolisis adalah pemanasan dengan sedikit oksigen atau tanpa oksigen dan regan lainnya. Pada proses pirolisis bahan baku dipanaskan tidak bersentuhan langsung dengan api, sehingga gas sisa tidak mengandung bahan berbahaya bagi lingkungan, serta residu yang dihasilkan sangat sedikit. Tujuan dari penelitian adalah Mengetahui proses pengolahan sampah plastik sebagai bahan bakar alternatif, mengetahui jenis bahan bakar apa yang terkandung pada plastik PET (Polypropylene Terephtalate) dan PP (Polypropylene).

Metode yang digunakan penulis adalah metode eksperimen, yaitu hasil dari volume dari proses pirolisis untuk plastic PP 0,90166 L dan PET 0,000010 L. Setelah dilakukan uji coba secara visual antara bahan bakar alternatif dan bahan bakar fosil, didapat BBA temperature nyala api 242.67 °C dengan waktu nyala api 1 menit 44 sekon, dan BBF temperature nyala api 238,33 °C, dengan waktu nyala api 1menit 09 sekon.

Hasil yang diperoleh dari proses pirolisis ini yaitu Densitas bensin 629 kg/m³, sedangkan Densitas Miplas 678.25 kg/m³ pada suhu yang sama 28 °C. untuk nilai LHV 98316.5 kJ/mol, HHV 100746,5 kJ/mol, efisiensi yang dihasilkan untuk plastik PP sebesar 91,566 % dan plastik PET sebesar 35% dari bahan baku 1 kg plastik PP dan PET.

Kata kunci : plastik PET, plastik PP, bahan bakar, pirolisis

1. Pendahuluan

Energi fosil merupakan energi yang berasal dari alam seperti fosil-fosil yang menghasilkan gas, batu bara dan minyak bumi. Fakta baru terungkap dari hasil penelitian British Petroleum, disebutkan sisa energi fosil dunia (minyak bumi, gas dan batu bara) tersisa 52 tahun lagi. Di Indonesia, sisa energi nasional untuk gas bumi tersisa 103,3 triliun kubik feet atau sekitar 50 tahun. Sementara batu bara tersisa 136 miliar ton atau sekitar 83 tahun akan habis dan minyak bumi tersisa 3,7 miliar barrel, yang diperhitungkan sekitar 10 tahun akan habis.

Rancangan peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 79 tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional, salah satu adalah mengenai: Sumber Energi Terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Plastik dan barang terbuat dari plastik telah meningkat di hari ke hari. Meningkatnya penggunaan plastik adalah konsekuensi dari perkembangan teknologi, industri dan populasi. Di satu sisi, penemuan plastik memiliki dampak positif yang luar biasa, karena memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan bahan lainnya. Tapi di sisi lain, sampah plastik memiliki dampak negatif yang terlalu khawatir, sehingga solusi yang perlu diperhatikan yaitu mengatasinya. Salah satu alternatif penanganan sampah plastik yang saat ini banyak diteliti dan dikembangkan adalah mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar. Sampah di daerah masih belum efektif dan belum adanya keseriusan pemerintah kota dalam membangun kesadaran warganya untuk mengurangi sampah. Beberapa permasalahan dalam manajemen

Corresponding Author : Helen Riupassa, Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin
Universitas Sains dan Teknologi Jayapura Jln. Raya Sentani Padang
Bulan Jayapura – Papua, Email: helen_riu@yahoo.com

pengelolaan sampah di Kota Jayapura adalah masih dijumpainya pola pembuangan sampah ke sungai; terbatasnya SDM, dan sarana prasarana; sampah yang terangkut ke TPA Nafri rendah dibandingkan dengan total produksi sampah; jangkauan pelayanan pengelolaan sampah masih terbatas; upah / gaji buruh tidak sesuai beban kerja; belum ada perencanaan, koordinasi dan pengawasan yang baik. Ada sekitar 3-5 ton sampah plastik yang menggenangi kawasan Teluk Yotefa di Kota Jayapura, Papua ini setiap harinya. Sampah plastik yang kami temui ini, bukan di saat Kota Jayapura diguyur hujan. Tidak adanya pengolahan sampah plastik di Jayapura membuat sampah plastik di Jayapura semakin banyak. Tidak seperti di kota-kota lain sampah plastik sangat jarang di jumpai dikarenakan banyaknya pemulung yang memungutnya untuk di jual ke penadah, dan mereka juga ada yang mendaur ulang sampah plastik.



Gambar 1. Jenis-jenis sampah plastik

Plastik jenis PET (*Polyethylene terephthalate*) pada bagian bawah kemasan botol plastik, tertera logo daur ulang dengan angka 1 di tengahnya dan tulisan PETE atau PET (*polyethylene terephthalate*) di bawah segitiga. Biasa dipakai untuk botol plastik yang jernih/transparan/tembus pandang seperti botol air mineral, botol jus, dan hampir semua botol minuman lainnya. Mayoritas bahan plastik PET di dunia untuk serat sintesis (sekitar 60 %), dalam pertekstilan PET biasa disebut dengan polyester (bahan dasar botol kemasan 30 %) Botol Jenis PET/PETE ini direkomendasikan hanya sekali pakai, Bila terlalu sering dipakai, apalagi digunakan untuk menyimpan air hangat apalagi panas, akan mengakibatkan lapisan polimer pada botol tersebut akan meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik (dapat menyebabkan kanker). Plastik PP (*polypropylene*) tertera logo daur ulang dengan angka 5 di tengahnya, serta tulisan PP adalah pilihan terbaik untuk bahan plastik, terutama untuk yang berhubungan dengan makanan dan minuman seperti tempat menyimpan makanan, botol minum dan terpenting botol minum untuk bayi. Karakteristik adalah biasa botol transparan yang tidak jernih atau berawan. *Polypropylene* lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap. Carilah dengan kode angka 5 bila membeli barang berbahan plastik untuk menyimpan kemasan berbagai makanan dan minuman.

Teknik pirolisis adalah pemanasan dengan sedikit oksigen atau tanpa oksigen regan lainnya. Pada proses pirolisis bahan baku dipanaskan tidak bersentuhan langsung dengan api, sehingga gas sisa tidak mengandung bahan berbahaya bagi lingkungan, serta residu yang dihasilkan sangat sedikit. Proses pirolisis terjadi karena adanya api yang ditentukan temperaturnya. Api tersebut akan memanaskan reactor, dimana reaktor ini adalah suatu alat proses tempat di mana terjadinya suatu reaksi berlangsung. Reaksi yang terjadi yaitu bahan

yang dipanaskan akan melebur / meleleh pada temperatur tertentu sesuai bahan, setelah bahan melebur selanjutnya terjadi penguapan, uap tersebut selanjutnya masuk ke kondensor, dimana kondensor ini berfungsi untuk merubah fasa dari uap / gas menjadi cair. Dikondensor ini uap dari reaktor akan dirubah fasanya menjadi cairan dengan temperatur yang ditentukan untuk menghasilkan cairan yang diinginkan.

Temperatur nyala api merupakan peranan penting dalam proses pirolisis, karena tergantung temperaturlah hasil dari pirolisis didapatkan. Berikut beberapa temperatur nyala api berdasarkan warna :

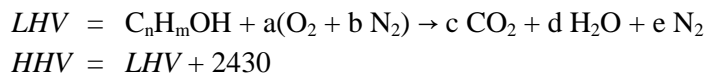
- 1) Api berwarna merah / kuning ini biasanya bersuhu dibawah 1000 derajat celcius. Api jenis ini termasuk api yang "kurang panas" dikarenakan jarang atau kurang sering digunakan di pabrik-pabrik industri baja / material. Kalau pada matahari, api ini berada pada bagian paling luarnya, yaitu bagian yang paling dingin.
- 2) Api berwarna biru merupakan api yang mungkin sering kita jumpai di dapur. Biasanya api ini sering kita lihat di kompor gas. Rata-rata suhu api yang berwarna biru kurang dari 2000 derajat celcius. Api ini berbahan bakar gas dan mengalami pembakaran sempurna. Jadi tingkatan api biru diatas merah.
- 3) Api putih Ini merupakan api paling panas yang ada di bumi. Warna putihnya itu dikarenakan suhunya melebihi 2000 derajat celcius. Api inilah yang berada di dalam inti matahari, dan muncul akibat reaksi fusi oleh matahari. Api ini paling banyak digunakan di pabrik-pabrik yang memproduksi material besi dan sejenisnya.
- 4) Api kuning Api berwarna kuning ini biasanya bersuhu < 1200 °C. Api jenis ini termasuk api yang "kurang panas" dikarenakan jarang atau kurang sering digunakan di pabrik-pabrik industri baja / material. Kalau pada matahari, api ini berada pada bagian paling luarnya, yaitu bagian yang paling dingin.



Gambar 2. Warna temperatur nyala api

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dan metode deskripsi, dimana dilakukan eksperimen melalui proses pirolisis dari sampah plastic jenis PET dan PP untuk dijadikan bahan bakar. Metode deskripsi untuk menentukan densitas bahan bakar miplas yang dihasilkan dari plastic dan membandingkan dengan bahan bakar konvensional dalam hal ini yang digunakan adalah premium/bensin. Kemudian mencari nilai *LHV* (*low heating value*) dan *HHV* (*high heating value*) dari bahan bakar miplas serta mencari titik nyala adiabatic dari miplas tersebut. Nilai pemanasan dari bahan bakar merupakan angka positif yang sejajar dengan besarnya entalpi pembentukannya. Dua nilai pemanasan sering dinamakan dengan : nilai pemanasan atas (*HHV*) dan nilai pemanasan bawah (*LHV*). Nilai pemanasan atas diperoleh dari seluruh air yang dibentuk dari seluruh pembakaran berupa uap. Nilai pemanasan atas melebihi nilai pemanasan bawah oleh energy yang diperlukan untuk menguapkan cairan yang dibentuk. Nilai pemanasan untuk *HHV* dan *LHV* juga bergantung pada apakah bahan bakar tersebut berupa cairan atau gas.



Temperatur Nyala Adiabatik.

Daya bekerja W_{cv} dan cukup besarnya jumlah kinetik serta efek energi potensial yang menyebabkan energi yang terlepas dalam pembakaran ditransferkan ke reaktor hanya dalam 2 cara : oleh energi yang mendampingi hasil pembakaran yang ada dan oleh energi panas yang ditransferkan disekelilingnya. transfer panas lebih kecil sedangkan energi yang lebih besar dibawah bersama-sama dengan hasil pembakaran dan demikian pula temperatur dari hasil pembakaran tersebut. Temperatur yang dapat dicapai oleh produk/hasil dalam batas operasi adiabatik dari reaktor disebut nyala adiabatik atau temperatur pembakar adiabatik.

Temperatur nyala adiabatik dapat ditentukan dengan mengadakan perubahan massa dan perubahan prinsip-prinsip. Untuk mengilustrasikan prosedur tersebut, maka kita memperbandingkan perbandingan antara udara pembakaran hasil-hasil pembakaran setiap bentuk ideal campuran gas kemudian, dengan beberapa asumsi dasar diatas, keseimbangan kecepatan energinya direduksi ke bentuk :

$$T_{ad} = LHV \times 1000 / (2C \times CO_2 + C \times H_2O + a \times 3,76 \times 28 \times 36)$$

Untuk suatu bahan bakar spesifik dan temperatur dan tekanan khusus dari produk, temperatur nyala adiabatik maksimum adalah untuk pembakaran lengkap dengan jumlah udara yang digunakan sesuai dengan teori yang ada

Massa Jenis (Densitas)

Massa jenis atau densitas adalah suatu besaran kerapatan massa benda yang dinyatakan dalam berat benda per satuan volume benda tersebut. Besaran massa jenis dapat membantu menerangkan mengapa benda yang berukuran sama memiliki berat yang berbeda. maka rumus untuk menghitung massa jenis adalah:

$$\rho(kg/m^3) = \frac{m(kg)}{v(m^3)}$$

Dimana :

- ρ = massa jenis kg/m^3
- m = massa benda
- v = volume benda m^3

Peralatan yang digunakan antara lain thermometer bimetal untuk mengukur suhu selama proses berlangsung, IR thermometer untuk mengukur temperatur nyala api, timbangan untuk menimbang berat plastic, gelas ukur untuk mengukur hasil miplas yang diperoleh dan peralatan kompor beserta reaktornya.



Gambar 3. Set up peralatan reaktor untuk proses pirolisis

Set up peralatan selama proses pirolisis berlangsung antara lain :

1. Tabung reaksi
2. Thermometer analog

3. Pipa penghubung
4. Burner
5. Kondensor
6. Pipa tembaga penyalur bahan bakar ke kompor
7. Tabung gas penampung bahan bakar
8. Pompa untuk menambah tekanan udara pada tabung gas.



Gambar 4. Plastik yang telah dibersihkan dan dicacah

Prosedur penelitian sebagai berikut :

- a) Membersihkan plastic yang akan digunakan setelah itu plastic di cacah kecil untuk selanjutnya ditimbang sesuai dengan jenis plastic.
- b) Plastik selanjutnya dimasukan ke dalam reactor dan dipanaskan sehingga plastic meleleh menjadi cair dan selanjutnya menguap.
- c) Selama proses pirolisis uap dari reactor diteruskan ke penampungan melalui pipa penyalur dan kondensor supaya terjadi proses kondensasi sehingga uap tersebut menjadi cair. Selama proses ini suhu kondensor di control, dicatat dan diamati volumenya.
- d) Setelah proses pirolisis, hasil dari pirolisis diukur berdasarkan jenis plastic yang dipanaskan didalam reactor dan residu di timbang.
- e) Selanjutnya hasil dari pirolisis akan diuji secara visual dengan membandingkan temperature terhadap waktu antara bahan bakar miplas dengan bahan bakar fosil dan mengujinya langsung pada kendaraan bermotor.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Pengambilan data

Plastik	Berat (gram)		Waktu	Temperatur			Vol. Penampung (ml)
	Plastik	Residu		Api	Tabung	Pipa	
PET	1000	350	30	715	240	55	0,01
			60	720	260	35	0,01
			90	726,5	302,5	12,5	0,01
PP	1000	14,87	30	713,667	170	66,67	57,5
			60	716	216,67	105	105
			90	720	253,33	133,33	283,33
			120	740,33	281,67	103,33	173,33
			150	723,50	300	90	195
			180	738	302,50	60	70
			210	737,50	310	12,5	17,5

Perhitungan densitas miplas dan bensin.

Massa jenis atau densitas adalah suatu besaran kerapatan massa benda yang dinyatakan dalam berat benda per satuan volume benda tersebut, secara matematis :

BB	Massa, kg	Volume, m ³
Miplas	0,068	0,0001
Premium	0,062	0,0001

Dari hasil pengukuran diperoleh :

$$\text{berat miplas} : 67,825 \text{ gr} = 0,0678 \text{ kg}$$

$$\text{Berat premium} : 62,925 \text{ gr} = 0,0629 \text{ kg}$$

$$\text{Volume gelas} : 100 \text{ ml} = 0,0001 \text{ m}^3$$

Perhitungan densitas miplas

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{0,068}{0,0001} = 678,25 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan densitas premium

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{0,063}{0,0001} = 629 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan nilai pemanasan atas *HHV* dan nilai pemanasan bawah *LHV*.

Temperatur api adiabatic dari pembakaran C_4H_{10}

Spesies C_{pi} (J/mol.K)

O₂ 29,18 – 37,28

N₂ 29,12 – 35,97

H₂O 33,58 – 51,1

CO₂ 37,22 – 60,35



$$\text{C} : b = 4$$

$$\text{H} : 2c = 10$$

$$c = 5$$

$$\text{O} : 2b + c = 2a$$

$$2 \times 4 + 5 = 2a$$

$$13 = 2a$$

$$a = 6,5$$

$$\text{N} : d = 3,76 a$$

$$d = 3,76 \times 6,5$$

$$d = 24,44$$

$$\text{LHV} = \text{C}_4\text{H}_{10} + 6,5 (\text{O}_2 + 3,76 \text{ N}_2) \rightleftharpoons 4\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O} + 24,44 \text{ N}_2$$

$$= \{1 \times (12 \times 4 + 10)(-126,150) + 0\} \text{ kJ} \rightleftharpoons$$

$$\{4 \times (12 + 32)(-393,52) + 5 \times (2 + 16)(-241,82) + 6,5 \times 3,76 \times 0\} \text{ kJ}$$

$$= 58 \times (-126,15) + 176 \times (-393,52) + 90 \times (-241,83) + 24,44$$

$$= -98316,5 \text{ kJ/mol}$$

$$= 98316,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2430$$

$$98316,5 \text{ kJ/mol} = \text{HHV} - 2430$$

$$\text{HHV} = 98316,5 \text{ kJ/mol} + 2430$$

$$= 100746,5 \text{ kJ/mol}$$

Temperatur nyala adiabatic C_4H_{10}

$$\text{Tad} = \text{LHV} \times 1000 / 2C \times \text{CO}_2 + C \times \text{H}_2\text{O} + a \times 3,76 \times 28 \times 36$$

$$= 98316,5 \times 1000 / \{176 \times 60,35 + 90 \times 51,1 + 6,5 \times 3,76 \times 28 \times 26\}$$

$$= 98316,5 \times 1000 / \{10621,6 + 4599 + 17792,32\}$$

$$= 98316,5 \times 1000 / \{33012,33\}$$

$$= 2978,175 \text{ K}$$



Efisiensi Plastik PP.

Diketahui hasil dari plastic PP = 901,66 ml
 = 0,90166 L
 Residu = 14,88 gr
 = 0,0148 L
 Berat masuk = 1 kg

$$\eta = \frac{0,90166+0,0148}{1} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{0,91568}{1} \times 100\%$$

$$\eta = 91,56 \%$$

Efisiensi Plastik PET

Diketahui hasil dari plastic PET = 0,010 ml
 = 0,00001 L
 Residu = 350 gr
 = 0,35 L
 Berat masuk = 1 kg

$$\eta = \frac{0,00001+0,35}{1} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{0,35001}{1} \times 100\%$$

$$\eta = 35 \%$$

Jadi efisiensi dari plastic PP 91, 56 % hasilnya berupa miplas dan efisiensi plastic PET 35 % yang menjadi miplas.

Pengujian visual antara premium miplas.

Pengujian dilakukan dengan cara membakar 2 kapas yang massanya sama, kemudian 1 kapas dibasahi dengan bensin dan 1 lagi dibasahi dengan miplas dengan volume yang sama. Kemudian dibakar bersamaan dan diukur temperature serta membandingkan lama waktu menyala antara premium dan miplas.



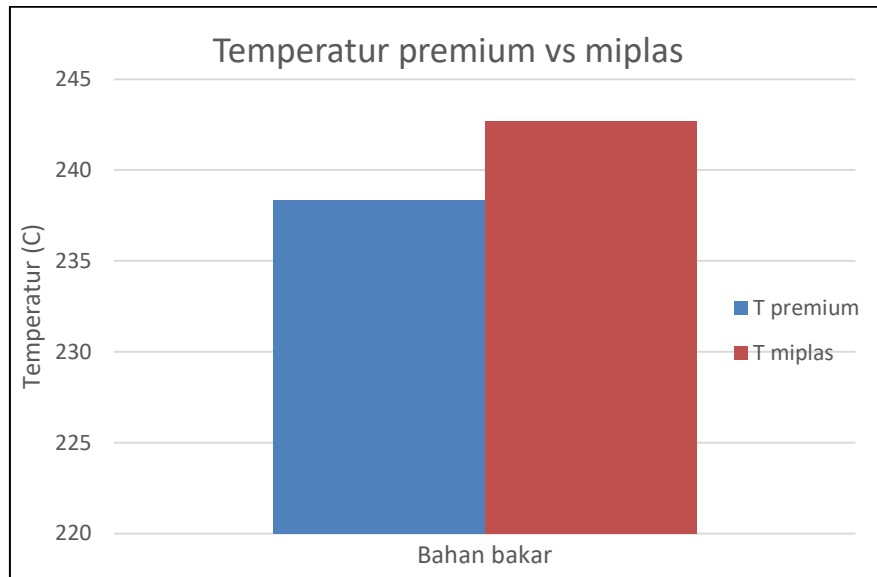
Gambar 5. Pengujian nyala api



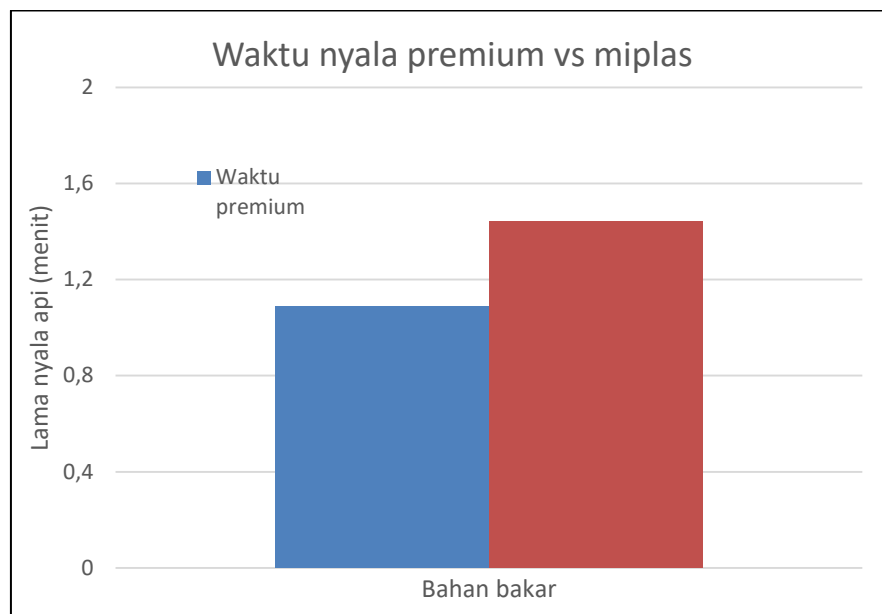
Gambar 6. Proses pengujian visual temperatur api dan warna api

Tabel 2. Hasil pengujian visual

Temperatur (°C)		Waktu nyala (menit)	
Premium	Miplas	Premium	Miplas
238,33	242,67	1,09	1,44



Gambar 7. Grafik temperatur nyala untuk premium dan miplas



Gambar 8. Grafik waktu nyala premium dan miplas

Pengujian pada kendaraan bermotor

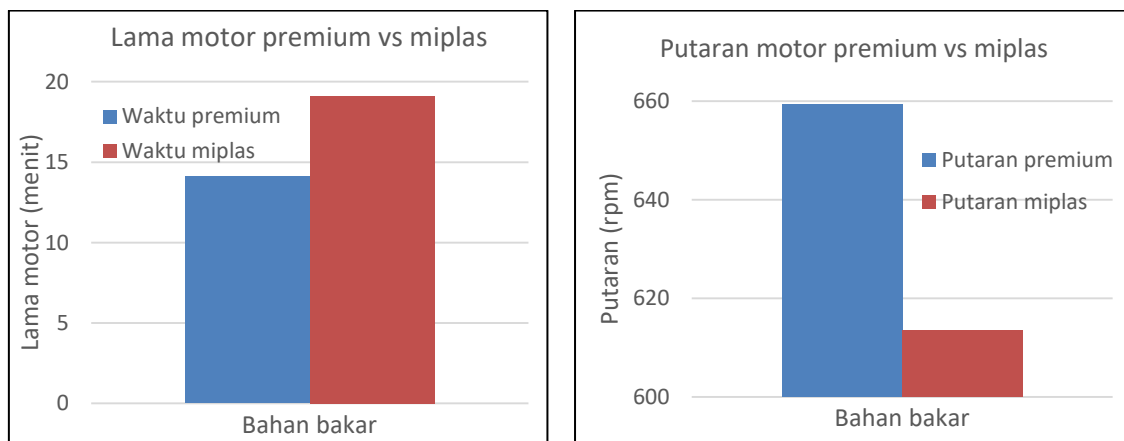
Pengujian dilakukan dengan membandingkan putaran mesin sepeda motor dengan menggunakan bahan bakar premium dan bahan bakar miplas terhadap waktu dengan jumlah volume bahan bakar yang sama yaitu 100 ml.



Gambar 9. Pengujian pada kendaraan bermotor

Tabel 3. Pengujian premium dan miplas pada kendaraan

BB	Vol (ml)	Waktu (s)	Put (rpm)	Kec, (km/h)
Premium	100	14.12	659.3	30
Miplas		19.1	613.6	



Gambar 10. Grafik pengujian pada sepeda motor

4. Penutup

Kesimpulan

Dari penelitian, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Dari proses pirolisis jenis plastic PP dan PET diperoleh banyaknya kandungan bahan bakar pada jenis PP lebih banyak yaitu 91,56 % dari 1 kg bahan baku sedangkan jenis PET 35 % dari 1 kg bahan baku.
2. Berdasarkan pengujian temperature nyala api, diperoleh miplas lebih tinggi temperaturnya yaitu 242,67 °C dan waktu nyalanya lebih lama 1,44 sek, sedangkan premium temperature nyala 238,33 °C Dan waktu nyala 0,48 sekon.
3. Berdasarkan pengujian pada kendaraan bermotor, putaran yang dihasilkan oleh premium lebih tinggi yakni 659,3 rpm sedangkan dengan miplas 613,6 rpm; sehingga miplas dapat dikembangkan sebagai bahan bakar alternative yang setara dengan premium.

Saran :

Perlu penelitian lanjutan mengenai jenis plastic lainnya dan sebaiknya pengujian baik pada motor dan visual menggunakan peralatan standar.

Daftar Pustaka

- Endang K, Muktar G, Abed Nego, F. X. Angga, Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak (2016). Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung.
- Kadir, Kajian Pemanfaatan Sampah Plastik sebagai Sumber Bahan Bakar Cair, (2012). Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Haluoleo.
- Michael J. Moran dan Howard N. Sapiro. (2006). Fundamentals Of Engineering Thermodynamics.
- Madyawati Latief, Suparjo dan Lince Muis. (2015). Teknologi Pengolahan Sampah Plastik di Pasar Angso Dou Jambi Sebagai Bahan Bakar Alternatif, Staff Pengajar Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
- Untoro Budi Surono dan Ismanto, Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET dan PE menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya, (2016). Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra.

