

## Analisis Termoekonomi Pada Pemanfaatan Alat Pirolisis Dengan Menggunakan Kombinasi RDF Dan LPG

Hendra Nurcahya Putra<sup>1</sup>, As Natio Lasman<sup>1</sup>, Eka Maulana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

Email: [hendranurcahyaputra@gmail.com](mailto:hendranurcahyaputra@gmail.com), [asnatio@yahoo.com](mailto:asnatio@yahoo.com), [ekamaulana1212@gmail.com](mailto:ekamaulana1212@gmail.com)

### ABSTRAK

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengatasi sampah plastik yang sangat mengganggu dalam kehidupan kita sehari-hari. Proses pirolisis dapat mengurangi pencemaran limbah plastik dan sekaligus dapat berkontribusi untuk menurunkan biaya pengelolaan lingkungan. Dengan menggunakan metode pirolisis, yaitu memanfaatkan reaktor yang berfungsi untuk memanaskan tanpa menggunakan oksigen untuk menjadi uap, dapat merubah sampah plastik jenis *Polypropylane* menjadi bahan bakar minyak alternatif. Pada penelitian ini digunakan alat pirolisis yang mempunyai daya tampung ruang pirolisis yang dapat menampung hingga 10 kg sampah plastik jenis *Polypropylane*. Sampah plastik jenis *Polypropylane* tersusun atau terbuat dari hasil polimerisasi gas propilena, memiliki sifat transparan tidak jernih, mengkilap, tahan terhadap suhu tinggi, kuat, ringan, tahan terhadap bahan kimia, dan memiliki titik leleh yang relatif lebih tinggi. Penelitian ini dimaksudkan juga untuk mencari keseimbangan energi menggunakan bahan bakar kombinasi RDF dan LPG, sehingga dapat diketahui nilai keekonomiannya. Dengan menggunakan 3 (tiga) buah parameter suhu yang berbeda yaitu 200°C, 300°C dan 350°C dan bahan baku *Polypropylane* seberat 10 kg, proses pirolisis dilakukan selama 180 menit. Hasil minyak pirolisis yang didapat ada 3 jenis yaitu minyak pirolisis 1 sebanyak 2000 ml, minyak pirolisis 2 sebanyak 1500 ml, dan minyak pirolisis 3 sebanyak 5500 ml. Adapun  $\Delta Q_{\text{generated}} = -17.891,094 \text{ kJ/kg}$ ,  $\Delta Q_{\text{out}} = 1.972,35 \text{ kJ/kg}$ ,  $\Delta Q_{\text{in}} = 19.863,44 \text{ kJ/kg}$  serta energi netto sebesar 0,589 kW.

**Kata Kunci :** Plastik, Pirolisis, RDF, LPG, BBM

### ABSTRACT

*This research aims to overcome plastic waste becomes a very disturbing problem in our daily lives. This pyrolysis process can reduce plastic waste pollution and can simultaneously contribute to lowering environmental management costs. Using the pyrolysis method, which utilizes reactors that function to heat without using oxygen to become steam, can convert polypropylane plastic waste into alternative fuel oils. In this study used pyrolysis tools that have the capacity of pyrolysis space that can accommodate up to 10 kg of polypropylane plastic waste. Polypropylane plastic waste is composed or made from the polymerization of propylene gas, has transparent properties not clear, shiny, resistant to high temperatures, strong, light, resistant to chemicals, and has a relatively higher melting point. This research is also intended to look for energy balance using rdf and LPG combination fuel, so that economic value can be known. Using 3 (three) different temperature parameters namely 200°C, 300°C and 350°C and Polypropylane raw materials weighing 10 kg, the pyrolysis process is carried out for 180 minutes. The results of pyrolysis oil obtained there are 3 types, namely pyrolysis oil 1 as much as 2000 ml, pyrolysis oil 2 as much as 1500 ml, and pyrolysis oil 3 as much as 5500 ml.  $\Delta Q_{\text{generated}} = -17,891,094 \text{ kJ/kg}$ ,  $\Delta Q_{\text{out}} = 1,972.35 \text{ kJ/kg}$ ,  $\Delta Q_{\text{in}} = 19,863.44 \text{ kJ/kg}$  and net energy of 0.589 kW.*

**Keywords:** Plastic, Pyrolysis, RDF, LPG, BBM

### PENDAHULUAN

Sampah plastik masih menjadi masalah yang sukar dipecahkan. Data Badan Pusat Statistik (BPS) 2021 menyebutkan limbah plastik Indonesia mencapai 66 juta ton per tahun. Studi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) di tahun 2018 memperkirakan sekitar 0,26 juta-0,59 juta ton plastik ini mengalir ke laut. Indonesia pun dinobatkan sebagai negara penghasil sampah plastik laut terbesar ke dua di dunia berdasarkan

penelitian yang dilakukan. Energi hilang dapat dibangkitkan kembali menggunakan proses Pirolisis [1].

Pengujian minyak pirolisis yang dilakukan oleh Dwi Arisandi dengan bahan baku plastik jenis HPDE yang dapat menghasilkan Produk dari sistim pirolisis menggunakan plastik *High Density polyethylene* (HDPE) sebanyak 5 kg dan LPG 3kg sebanyak 6 buah selama 2,5 jam dengan temperatur 25°C sampai 325°C yaitu 4 liter. Pada pengujian lab di dapat hasil dari

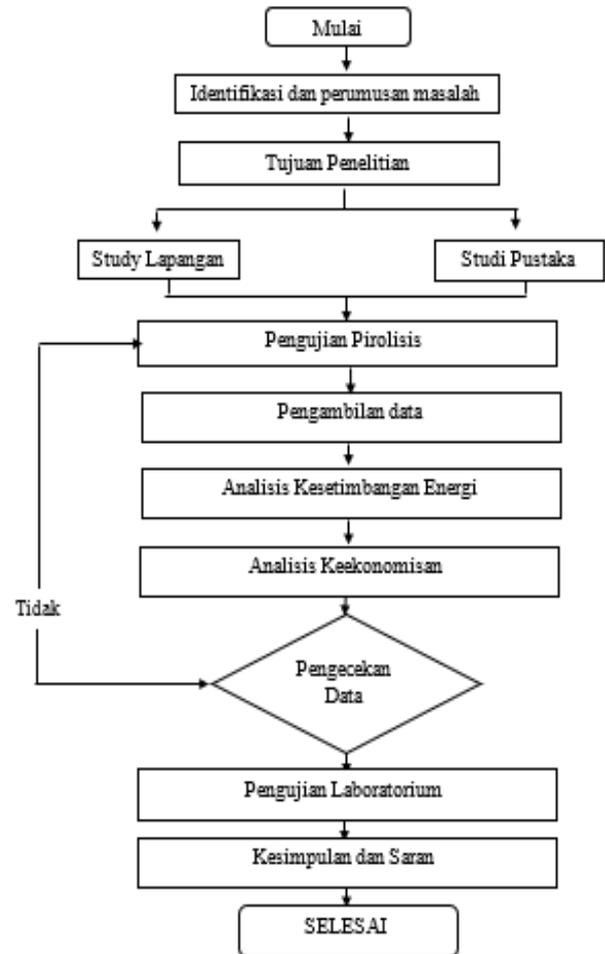
minyak pirolisis dengan nilai angka Setananya sebesar 38,1 dan berat jenis pada 15°C sebesar 781,3 kg/m<sup>3</sup> [2-3]. Penelitian yang dilakukan oleh Enjang Patriatna dengan teknologi pembakaran (*burner*) dengan menggunakan RDF, dengan pemanasan awal menggunakan LPG masih menemukan banyak kendala sehingga pembakaran kurang merata dikarenakan debu yang dihasilkan pada proses penambahan bahan bakar RDF yang belum maksimal dan efisien [4]. *PolyPropylene* adalah plastik yang tersusun atau terbuat dari polimerisasi gas propilena dan memiliki titik leleh sekitar 130°C - 300°C. Plastik jenis Polypropylene tersusun atau terbuat dari hasil polimerisasi gas propilena, memiliki sifat transparan tidak jernih, mengkilap, tahan terhadap suhu tinggi, kuat, ringan, tahan terhadap bahan kimia, dan memiliki titik leleh yang relatif lebih tinggi [5]. Pada jurnal ini akan membahas tentang analisis termoekonomi yang meliputi proses pengujian pirolisis dari bahan baku plastik *Polypropylene* yang padat menjadi cair dengan menggunakan kombinasi pembakaran LPG dan RDF serta untuk mengetahui neraca energi serta neraca massa yang dihasilkan pada setiap dari pemanfaatan alat pengujian pirolisis dan untuk mendapatkan mengetahui nilai ekonomian dari hasil minyak didapatkan Adapun tujuan dari penelitian ini yang ingin di capai adalah untuk menurunkan suhu mencapai 10% dan agar performa mesin genset dapat stabil dan masa pakai menjadi lebih lama. Dikarenakan saat ini mesin genset mengalami panas yang berlebih disebabkan dari sistim pendinginan yang kurang maksimal. Maka dari itu desain helixchanger diaplikasikan karena berdasarkan dari beberapa referensi dapat menurunkan suhu lebih optimal. Berdasarkan penjelasan di latar belakang diketahui permasalahan pada penelitian ini.

- Bagaimana neraca massa dari alat pirolisis kombinasi RDF dan LPG?
- Bagaimana neraca energi dari proses pirolisis kombinasi RDF dan LPG?
- Bagaimana kelayakan teknis dan ekonomis (termoekonomi) setelah dilakukan optimasi alat pirolisis dengan bahan bakar kombinasi RDF dan LPG?

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah untuk menentukan komposisi bahan bakar LPG dan RDF dan memiliki nilai keekonomian serta untuk mengurangi limbah sampah plastik.

## METODE PENELITIAN

Berikut diagram alir penelitian dalam penyusunan jurnal thesis:



**Gambar 1** Diagram Alur Metode Penelitian

Langkah awal dalam penelitian ini yaitu dengan mengidentifikasi dan merumuskan masalah yang dituangkan pada bagaian latar belakang penelitian mengenai permasalahan sampah plastik yang ada selama ini, dengan memanfaatkan proses pirolisis yang merubah limbah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak.

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah untuk menentukan komposisi bahan bakar LPG dan RDF dan memiliki nilai keekonomian serta untuk mengurangi limbah sampah plastik yang masih menjadi sesuatu permasalahan di kehidupan.

Pengambilan data yang dilakukan melalui 2 cara yaitu Studi literatur dan studi lapangan, untuk studi literatur ialah dengan

melalui jurnal-jurnal ilmiah yang mencakup mengenai teori dasar yang mendukung dalam penelitian ini. Sedangkan studi lapangan ialah melakukan langsung proses pengujian serta untuk mendapatkan data yang diperlukan untuk melakukan menganalisis suatu proses yang diuji.

Sebelum memulai proses pirolisis dengan menggunakan limbah sampah plastik *Polypropylene*, peneliti akan menentukan parameter suhu yang digunakan untuk proses pirolisis dengan acuan parameter suhu dari jurnal ilmiah, yaitu parameter suhu 200°C, 300 °C dan 350 °C dengan waktu proses pirolisis selama 180 menit menggunakan bahan baku plastik *Polypropylene* sebesar 10 kg. Selama proses pirolisis berlangsung peneliti mencatat data yang berkaitan dengan suhu ruang bakar dengan waktu per 20 menit selama 3 jam proses pembakaran, serta mengamati jumlah minyak yang keluar dari hasil proses pirolisis.

Setelah proses pirolisis diatas selesai dan peneliti mendapatkan hasil dari proses tersebut, setelah dilakukan destilasi hasil dari semua temperatur. Maka didapat temperatur optimal yaitu 350°C dengan melihat hasil dari minyak yang sudah di destilasi sebelumnya. Setelah data yang didapat cukup pada saat proses pirolisis, kemudian peneliti menghitung dan menganalisis keseimbangan energi pada proses pirolisis tersebut, serta menganalisis keekonomisan yang didapat dari proses awal sampai proses akhir dengan menghitung pemasukan yang didapat dari bahan bakar minyak yang diperoleh dengan biaya yang sudah dikeluarkan meliputi alat dan bahan yang digunakan. Jika data yang diperoleh masih mengalami kekurangan peneliti dapat melakukan proses pirolisis dari awal sehingga didapat data yang sesuai dengan keperluan analisis.

Pada proses pirolisis di atas peneliti dapat hasil dari minyak pirolisis sebanyak 9000 ml dengan rincian 2000 ml untuk minyak pirolisis 1, 1500 ml untuk minyak pirolisi 2 dan 5500 ml untuk minyak pirolisis 3, kemudian hasil dari minyak pirolisis tersebut dilakukan destilasi sebelum diproses untuk melakukan pengujian dari hasil minyak tersebut di Laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi (PPPTMGB) "LEMIGAS" Jakarta. untuk mengetahui nilai dari hasil minyak yang diujikan dan guna untuk menghitung kelayakan nilai ekonomian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan proses pirolisis pada plastik jenis *Polypropylene*, perlu ada data untuk menghitung nilai kalor yang dibutuhkan *Iseenerator* Pirolisis, oleh karena itu diperlukan karakteristik *thermal* dari plastik jenis *Polypropylene* yang ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1** Karakteristik Thermal

No	Karakteristik Termal Plastik Jenis <i>Polypropylene</i>	Plastik Jenis <i>Polypropylene</i>
1	Massa Jenis	920 kg/m <sup>3</sup>
2	Titik Leleh	130 °C
3	<i>Spesific Heat Capacity (Cp)</i>	1,64 kJ/kg°C
4	<i>Heat of Fusion (L)</i>	207 kJ/kg
5	<i>Heat of Vaporization (U)</i>	4240 kJ/kg

Pada penelitian ini dilakukan juga proses perhitungan keseimbangan energi untuk reaktor pirolisis pada suhu sekitar 50°C sampai dengan 350°C hampa udara untuk mencapai keseimbangan input dan output dari sistem ini. Sehingga mendapatkan data awal yang digunakan untuk melakukan analisis selanjutnya, data tersebut meliputi beberapa aspek dari parameter pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2** Parameter Pengujian

No	Parameter Pengujian Pada Proses Pirolisis	
1	Jenis Plastik	<i>Polypropylene</i>
2	Kapasitas Plastik	10 Kg
3	Laju Pemanasan	3,33 kg/jam
4	Suhu Maksimal Pemanasan	350°C
5	Suhu Maksimal Ruang Bakar	847 °C
6	Waktu Pemanasan	3 Jam/180 menit

Pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5 diuraikan tentang data pada proses pirolisis yang menggunakan bahan baku plastik jenis *Polypropylene* data yang diperoleh bersumber pada waktu, suhu dan hasil minyak. Pengambilan data dilakukan per 20 menit dengan lamanya proses pirolisis selama 180 menit dengan suhu yang bervariasi antara 200°C, 300°C dan 350°C dengan menggunakan bahan bakar kombinasi LPG dan RDF

**Tabel 3** Pengujian Pirolisis 200°C

No	Waktu (menit)	Suhu Ruang (°C)	Pemasakan LPG (kg)	Hasil Minyak (ml)		
				Minyak Pirolisis 1	Minyak Pirolisis 2	Minyak Pirolisis 3
1	0	30	0	0	0	0
2	20	175	0,2	0	0	10
3	40	117	0,25	105	20	100
4	60	645	0,3	850	125	520
5	80	161	0,45	850	240	840
6	100	1017	0,6	1100	625	1700
7	120	782	0,7	1300	720	2300
8	140	812	0,8	1500	1400	4500
9	160	191	0,85	1750	1750	5000
10	180	734	0,9	2000	2500	5500

**Tabel 4** Pengujian Pirolisis 300°C

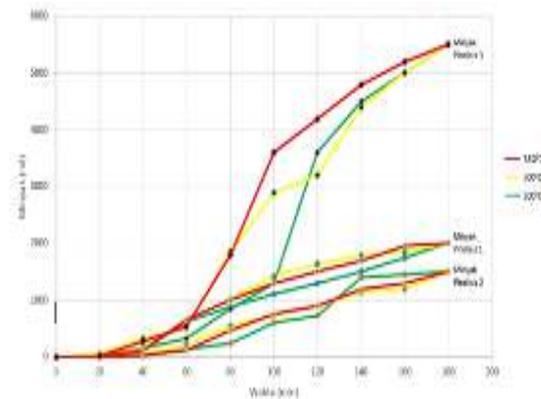
No	Waktu (menit)	Suhu Ruang (°C)	Pemasakan LPG (kg)	Hasil Minyak (ml)		
				Minyak Pirolisis 1	Minyak Pirolisis 2	Minyak Pirolisis 3
1	0	30	0	0	0	0
2	20	117	0,2	0	0	10
3	40	651	0,25	120	40	520
4	60	778	0,3	650	220	520
5	80	1114	0,45	1020	520	1250
6	100	832	0,6	1420	720	2100
7	120	1018	0,7	1620	920	3200
8	140	1111	0,8	1750	1120	4100
9	160	822	0,85	2000	2200	5000
10	180	802	0,9	2000	2500	5500

**Tabel 5** Pengujian Pirolisis 350°C

No	Waktu (menit)	Suhu Ruang (°C)	Pemasakan RDF (kg)	Pemasakan LPG (kg)	Hasil Minyak (ml)		
					Minyak Pirolisis 1	Minyak Pirolisis 2	Minyak Pirolisis 3
1	0	30	1	0	0	0	0
2	20	523	1	0,3	0	0	20
3	40	612	1	0,5	120	70	250
4	60	742	1	0,7	850	120	520
5	80	247	1	1,3	1000	450	1500
6	100	425	1	1,7	1200	750	2000
7	120	306	1	2,0	1500	900	4100
8	140	320	1	2,4	1700	1200	4500
9	160	816	1	2,6	1950	1700	5200
10	180	798	1	2,8	2000	1800	5500

Gambar 2. menunjukkan keluaran minyak dari ketiga temperatur yaitu 200°C, 300°C dan 350°C, dimana pada keluaran minyak pirolisis 3 memulai keluaran pertama pada menit ke 20 dengan suhu ruang bakar yang berbeda pada tiap

temperaturnya sehingga terjadi peningkatan jumlah minyak pada menit berikutnya.



**Gambar 2.** Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil

Produk minyak terbanyak terjadi pada menit ke 100 dengan jumlah minyak sebanyak 1300 ml Setelah hasil proses pirolisis mencapai waktu 180 menit terjadi persamaan jumlah perolehan minyak pada semua temperatur, jumlah minyak yang diperoleh sekitar 9000 ml dengan rincian, 2000 ml untuk minyak pirolisis 1, 1500 ml untuk minyak pirolisis 2 sedangkan untuk minyak pirolisis 3 sebesar 5500 ml. Untuk proses pirolisis dengan temperatur 350°C memiliki kualitas lebih baik dibandingkan temperatur 200°C maupun 300°C dari segi warna maupun fisik minyak itu sendiri.

**Tabel 6** Neraca Energi Pirolisis

RDF dan LPG		LPG [26]		
$\Delta Q_{\text{pembakaran}}$	Kalori yang dibebaskan	kJ/jam	17.891.004	14.331,5
$\Delta Q_{\text{u}}$	Kalori yang masuk	kJ/jam	19.863,44	16.303,85
$\Delta Q_{\text{kel}}$	Kalori yang keluar	kJ/jam	1.972,35	1.972,35

Tabel 6. menunjukkan perbandingan hasil neraca energi pirolisis dan membandingkan dengan penelitian sebelumnya, bahwa proses pirolisis dengan menggunakan bahan bakar kombinasi RDF dan LPG mempunyai hasil yang lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar LPG.

**Tabel 7** Ringkasan Neraca Energi

Energi Keluar	RDF dan LPG		LPG [26]	
	Energi Potensial		Energi Potensial	
	kJ/jam	Kw	kJ/jam	Kw
<b>Energi Konsumsi</b>		<b>40,71</b>		<b>39,33</b>
LPG	14.1243	39,23	14.1243	39,33
RDF	4819.220	1,33		
Listrik		0,15		0,1
<b>Energi (Produk)</b>		<b>41,569</b>		<b>41,569</b>
Bensin (premium)	64.798.5	17,99	64.798.5	17,99
Solar	82.789.875	22,99	82.789.875	22,99
Gas Buang	150.306	0,041	150.306	0,041
Kondensor	1.972.35	0,548	1.972.35	0,548
<b>Energi Netto</b>		<b>0,859</b>		<b>2,239</b>

Dari Tabel 7 menunjukkan hasil ringkasan neraca energi pada proses pirolisis dengan menggunakan bahan bakar kombinasi RDF dan LPG memberikan energi netto sebesar 0,859 kW melalui produk bahan bakar yang dihasilkannya beserta energi potensi kalor dari panas buangnya, sedangkan untuk bahan bakar hanya LPG memberikan energi netto sebesar 2,239 kW dengan produk bahan bakar yang dihasilkannya.

**Tabel 8** Hasil Perbandingan Biaya

Jenis	Pemakaian Biaya (Tarif Subsidi)	Pemakaian Biaya (Tarif non Subsidi)
Proses Pirolisis dengan bahan bakar LPG	Rp. 172,000,-	Rp. 187,000,-
Proses Pirolisis dengan bahan bakar LPG dan RDF	Rp. 190.406,-	Rp. 205,406,-

Tabel 8 menunjukkan hasil yang didapat baik itu proses pirolisis menggunakan bahan bakar subsidi maupun yang non subsidi dengan membandingkan bahan bakar kombinasi dan non kombinasi. Dan didapat perincian biaya dari pengoperasian proses pirolisis berbahan bakar LPG dan RDF dengan berbahan bakar LPG.sebagai berikut.

Dari hasil yang didapat pada proses pirolisis dengan bahan baku 10 kg plastik *Polypropylene* dengan proses pembakaran 180 menit menghasilkan minyak pirolisis yang berbeda yang ditunjukkan pada Tabel 9.

**Tabel 9** Total Hasil Pirolisis

No	Jumlah	Q <sub>in</sub>	W <sub>minyak</sub>	Jumlah
1	Minyak Pirolisis	9000ml	Rp. 172.000,-	Rp. 172.000,-
2	Minyak Pirolisis	1500ml	Rp. 24.200,-	Rp. 24.200,-
3	Minyak Pirolisis	5500ml	Rp. 107.600,-	Rp. 107.600,-
<b>Total</b>				<b>Rp. 303.800,-</b>

Total perhitungan bahan bakar RDF dan LPG subsidi dengan hasil minyak :  
Total Pemasukan – Total Pengeluaran  
= Rp. 71,105,- - Rp. 190.406,-  
= .Rp.-119.301,-

Total pemasukan bahan bakar RDF dan LPG non subsidi dengan hasil minyak :  
Total Pemasukan – Total Pengeluaran  
= Rp. 71,105,- - Rp. 205.406,-  
= Rp. -134.301,-

Maka, bila proses menggunakan bahan bakar kombinasi RDF dan LPG biaya yang dikeluarkan cukup besar, bila dibandingkan menggunakan bahan bakar LPG. Tetapi untuk energi masuk bahan bakar kombinasi RDF dan LPG jauh lebih besar dibandingkan bahan bakar LPG.

## KESIMPULAN

Dari penelitian ini kesimpulan yang didapatkan adalah:

1. Hasil dari produk yang dihasilkan dari sistem pirolisis dengan bahan baku plastik *PolyPropylene* sebesar 10 kg dengan parameter suhu optimal 350°C menggunakan bahan bakar kombinasi RDF dan LPG selama 180 menit. Mendapatkan hasil minyak pirolisis sebanyak 9000 ml dengan rincian, 2000 ml untuk minyak pirolisis 1, 1500 ml untuk minyak pirolisis 2 dan 5500 ml untuk minyak pirolisis 3.
2. Pada perhitungan neraca energi didapat hasil  $\Delta Q_{\text{generated}} = 17.891,094$  kJ/jam,  $\Delta Q_{\text{out}} = 1.972,35$  kJ/kg, dan  $\Delta Q_{\text{in}} = 19.862,44$  kJ/kg

3. Pada perhitungan nilai keekonomian mendapatkan hasil sebesar Rp. 119.301,- untuk bahan bakar RDF dan LPG subsidi serta untuk bahan bakar RDF dan LPG non subsidi sebesar Rp. 134.301,- mengalami kerugian atau dengan kata lain tidak layak karena banyak komponen-komponen pendukung pada proses pirolisis kombinasi RDF dan LPG. Namun jika dipandang dalam kontribusi untuk menurunkan biaya pengolahan lingkungan bisa disebut layak.
4. Dari hasil pengujian Laboratorium didapatkan hasil dari minyak pirolisis dengan bahan baku plastik *PolyPropylene* dengan *cetana number* (ASTM 613) sebesar 33,6 dan *Density* (ASTM D-1298) sebesar 0,7727. Massa jenis Pirolisis tersebut lebih encer dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dengan menggunakan plastik HDPE sebesar 781kg/m<sup>3</sup>. yang menghasilkan minyak mudah tersaring sebelum masuk ke dalam motor bakar.
5. Dengan melakukan proses pirolisis dengan bahan baku plastik, kita telah mengurangi jumlah limbah sampah plastik yang selama ini selalu menjadi permasalahan dari lingkungan hidup.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] d. Endang K, (2016) "Pengolahan sampah plastik dengan metode pirolisis menjadi bahan bakar minyak," pp. 1-7.
- [2] Dwi Sandi, 'Analisis Energi pada pirolisis kapasitas 20 kg'
- [3] Mutiara Fadila Rania, I Gede Eka Lesmana, Eka Maulana (2019), Analisis potensi refuse derived fuel (rdf) dari sampah pada tempat pembuangan akhir (tpa) di kabupaten Tegal sebagai bahan bakar incinerator pirolisis
- [4] Endjang Patriatna. Pengembangan Purwarupa Tungku Bakar Terintegrasi Pirolisis Plastik. MT.Thesis. Magister Teknik Mesin. Universitas Pancasila. Jakarta Selatan. 2020.
- [5] P. Jumlah, K. Zeolit, A, "Pengaruh Jumlah Katalis Zeolit Alam Pada Produk Proses Pirolisis Limbah Plastik Polipropilen (Pp) "Jurnal Bahan Alam Terbarukan, vol. 4, no. 9, pp. 40-45, 2015.