

KAJIAN EFISIENSI UNIT *PROTOTYPE* PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS KONVERSI SAMPAH PLASTIK *POLYPROPYLENE* MENGUNAKAN BAHAN BAKAR TEMPURUNG KELAPA PADA REAKTOR PIROLISIS

REVIEW OF EFFICIENCY PROTOTYPE OF POWER PLANT UNIT BASED ON CONVERSION OF POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE USING COCONUT SHELL FUEL IN PYROLYSIS REACTOR

Zurohaina^{1,a)}, Lety Trisnaliani¹, Ridho Anugerah^{1,b)}

(Program Studi Teknik Energi / Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya)

Jl. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139, Telp +620711353414 / fax +62711355918
e-mail : ^{a)}zurohaina@polsri.ac.id, ^{b)}ridho.an4@gmail.com

ABSTRACT

Based on Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) data declares that the total waste in Indonesia, 2019 will reach 68 million tons and plastic waste is estimated to reach 9.52 million tons or 14% of existing waste total. Indonesia is ranked second in the world production plastic waste into the sea that reached 187.2 million tons after China reach 262.9 million tons. The research is about the process of pyrolysis of plastic waste into liquid fuel with polypropylene as a raw material usage. Pyrolysis process decomposes into shorter hydrocarbon chains. Decomposition occurs due to the thermal energy system provides over the energy that binds to hydrocarbon chain of molecules. Pyrolysis is done in prototype of plastic waste power plant unit using coconut shell as its fuel. Liquid fuels pyrolysis products are then used as a fuel generator to convert into electrical energy with a maximum load of 900 watt. The result of this research is obtained by efficiency of cycle is 39.26%.

Key words: Plastic, Polypropylene, Pyrolysis, Liquid Fuels, and Efficiency of Cycle

1. PENDAHULUAN

Sejak ditemukan pertama kali pada tahun 1907, penggunaan plastik dan barang-barang berbahan dasar plastik semakin meningkat. Peningkatan penggunaan plastik ini merupakan konsekuensi dari berkembangnya teknologi, industri dan jumlah populasi penduduk. Di Indonesia kebutuhan plastik terus meningkat dari tahun ke tahun. Akibat dari peningkatan penggunaan plastik ini adalah bertambahnya pula sampah plastik. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menyebutkan bahwa total jumlah sampah di Indonesia pada 2019 akan mencapai 68 juta ton, dan sampah plastik diperkirakan akan mencapai 9,52 juta ton atau 14 persen dari total sampah yang ada. Indonesia berada di peringkat kedua dunia penghasil sampah plastik ke laut mencapai sebesar 187,2 juta ton setelah cina yang mencapai 262,9 juta ton (Purwaningrum, 2016).

Salah satu jenis plastik yang paling banyak digunakan adalah PP (*polypropylene*). PP memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi. Plastik jenis ini hanya direkomendasikan hanya untuk sekali pakai sehingga berpotensi meningkatkan jumlah sampah plastik yang ada. Sampah plastik PP memiliki sifat sulit

terdegradasi (*non-biodegradable*) sehingga dapat mencemari lingkungan dan menurunkan kesuburan tanah. Semakin meningkatnya sampah plastik ini akan menjadi masalah serius bila tidak dicari penyelesaiannya.

Teknologi pengolahan sampah plastik yang banyak digunakan saat ini adalah teknologi daur ulang plastik seperti perajangan plastik, pelelehan plastik dan pencetakan plastik. Hasil dari proses daur ulang tersebut adalah bijih plastik sebagai bahan baku untuk pabrik plastik. Walaupun sampah plastik sudah ditangani dengan baik dan hati-hati akan tetapi resiko terkontaminasi plastik saat dibuang tetap ada. Campuran dari setiap jenis plastik yang berbeda juga akan mengakibatkan terjadinya ketidaktetapan dalam proses, sehingga karakteristik produk daur ulang cenderung berubah-ubah.

Teknologi yang saat ini banyak dikembangkan dalam pengolahan sampah plastik adalah teknologi pirolisis. Pirolisis adalah proses degradasi termal bahan-bahan polimer seperti plastik maupun material organik seperti biomassa dengan pemanasan tanpa melibatkan oksigen di dalamnya. Produk dari pirolisis ini terdiri dari fraksi gas, cair dan residu padatan (Syamsiro, 2015). Pada suhu tersebut akan terjadi pemotongan rantai panjang hidrokarbon secara *random*

menghasilkan hidrokarbon dengan rantai lebih pendek. Hidrokarbon rantai pendek tersebut selanjutnya menguap dan dilakukan proses kondensasi sehingga membentuk bahan bakar cair.

Thahir (2013), telah melakukan penelitian proses pirolisis sampah plastik *polypropylene* dengan persen konversi sebesar 50%. Pada penelitian tersebut belum sampai kepada perancangan *prototype* untuk skala besar. Dalam Penelitian ini akan dilakukan rancang bangun *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Plastik jenis PP berbahan bakar tempurung kelapa. Untuk mencapai pembangkit listrik dari hasil pirolisis sampah plastik yang baik, dibutuhkan kajian mengenai kelayakan pengembangan untuk tingkat yang lebih tinggi.

Polypropylene (PP)

Sifat *polypropylene* ini lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap, yang lentur, keras dan resisten terhadap lemak. Rumus molekulnya : $(-CHCH_3-CH_2-)_n$. PP memiliki densitas 0,91-0,92 gr/mL dan titik lebur pada temperatur 239°C.

Pirolisis dan Energi Disosiasi

Pirolisis adalah proses perengkahan termal (*Thermal Cracking*) atau pemecahan rantai hidrokarbon panjang menjadi hidrokarbon dengan rantai yang lebih kecil melalui bantuan panas. Pada reaksi pirolisis akan terjadi pemutusan ikatan rantai C – C pada hidrokarbon sehingga menjadi rantai yang lebih pendek. Pirolisis dilakukan pada reaktor dengan kondisi tanpa atau dengan sedikit oksigen. Dari proses ini akan dihasilkan arang, minyak dari kondensasi gas seperti parafin, isoparafin, olefin, *naphthene* dan aromatik, serta gas yang memang tidak bisa terkondensasi (Untoro, 2013).

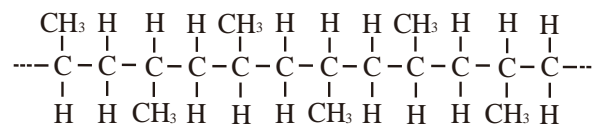
Pirolisis plastik melibatkan tiga mekanisme dekomposisi yaitu : 1) pemotongan secara *random* rantai polimer yang menyebabkan terbentuknya rantai polimer yang lebih pendek, 2) pemotongan pada ujung rantai dimana molekul kecil dan rantai panjang polimer akan terbentuk, 3) pemisahan rantai polimer membentuk molekul-molekul kecil.

Dekomposisi termal dari bahan plastik merupakan proses endotermik sehingga dibutuhkan energi minimal sebesar energi disosiasi ikatan rantai C – C di dalam rantai plastik. Energi disosiasi adalah energi yang diperlukan untuk memutus satu buah ikatan pada suatu molekul. Contohnya energi disosiasi untuk melepas ikatan H_2 menjadi $2H^+$ adalah sebesar 436 KJ/mol. Energi disosiasi ikatan rantai hidrokarbon yang lain dapat dilihat pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Energi disosiasi ikatan rantai hidrokarbon

Ikatan	Energi Ikatan Kj mol ⁻¹
C – H	415
C – C	345

Di atas titik lebur, PP akan mengalami pembesaran *volume* sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Pada temperatur lebur PP akan melunak dan berubah menjadi cair. Pada kondisi tersebut PP akan mengalami dekomposisi dan mengalami perubahan fase menjadi cair. Dekomposisi terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul (energi disosiasi). Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur lelehnya (Budiyantoro, 2010). Struktur ikatan kimia PP dapat dilihat pada Gambar 1. berikut.



Gambar 1. Ikatan kimia *polypropylene*

Pada Gambar 1, ikatan struktur molekul *polypropylene* hanya terdapat dua jenis atom yang berikatan, yaitu ikatan C – C dan C – H. Ikatan paling lemah diantara dua jenis atom tersebut adalah ikatan antara atom C – C. Sehingga kemungkinan produk yang diperoleh dari proses pirolisis *polypropylene* sangat banyak. Produk yang mungkin diperoleh dari proses pirolisis PP berdasarkan energi disosiasi ikatan paling lemah antara lain produk gas $C_1 - C_4$, produk Minyak ringan $C_5 - C_{12}$, dan produk minyak berat dengan $C > 12$ (Thahir, 2013).

Generator

Generator set adalah sebuah perangkat yang berfungsi menghasilkan daya listrik. Disebut sebagai generator set dengan pengertian satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu *engine* dan generator atau alternator. *Engine* dapat berupa perangkat mesin berbahan bakar solar atau mesin berbahan bakar bensin, sedangkan generator atau alternator merupakan kumparan atau gulungan tembaga yang terdiri dari stator (kumparan statis) dan rotor (kumparan berputar) yang dapat membangkitkan listrik (Yulianto, dkk, 2016).

Cara kerja generator set adalah dengan menyalakan diesel *engine* dari generator set. Penggerak mula (*Prime mover*) merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Ketika bahan bakar disemprotkan dalam silinder yang bertemperatur dan bertekanan tinggi melebihi titik nyala bahan bakar maka bahan bakar (dalam penelitian ini adalah bahan bakar cair, bensin atau *premium*) akan menyala secara otomatis.

Tempurung Kelapa

Buah kelapa terdiri dari sabut kelapa, tempurung kelapa, daging kelapa dan air kelapa. Sabut kelapa merupakan bahan berserat dengan ketebalan sekitar 5 cm, dan merupakan bagian terluar dari buah kelapa Tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa

yang fungsinya secara biologis adalah pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabut dengan ketebalan berkisar antara 3–6 mm. Ukuran buah kelapa dipengaruhi oleh ukuran tempurung kelapa yang sangat dipengaruhi oleh usia dan perkembangan tumbuhan kelapa. Tempurung kelapa dikategorikan sebagai kayu keras tetapi mempunyai kadar lignin yang lebih tinggi dan kadar selulosa lebih rendah dengan kadar air sekitar 6-9 % (dihitung berdasarkan berat kering) dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa (Tilman, 1981).

Tempurung kelapa beratnya antara 15 – 19 % berat kelapa. Tempurung kelapa memiliki sifat difusi termal yang baik. Sebagian besar dipedesaan Sabut dan Tempurung Kelapa ini dimanfaatkan untuk bahan bakar, baik dalam bentuk tempurung kering atau arang tempurung. *Heating Value* dari tempurung kelapa adalah 3900 kkal/kg. Data komposisi kimia tempurung kelapa dapat kita lihat pada Tabel 2. berikut.

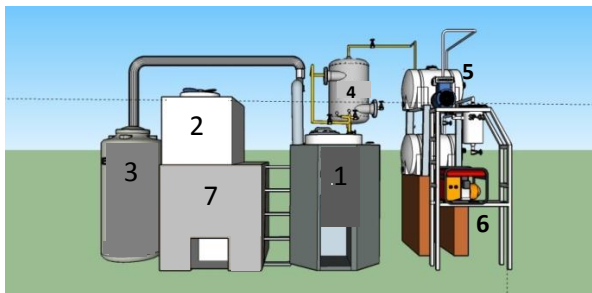
Tabel 2. Analisa *ultimate* tempurung kelapa

No.	Komponen	% Berat
1.	C	47,59
2.	H	6,0
3.	O	45,52
4.	N	0,22
5.	S	0,05

(Vidian, 2008)

2. METODOLOGI PENELITIAN

Alat yang digunakan adalah seperangkat unit *Prototype* Pembangkit Listrik Sampah plastik, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. rancangan desain fungsional peralatan

Keterangan :

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. Reactor Furnace | 5. Condensor |
| 2. Cooling Tower | 6. Generator |
| 3. Emergency Tank | 7. Plastic Storage |
| 4. Separator | |

Penelitian ini diawali dengan menyiapkan berbagai macam keperluan untuk pengoperasian alat seperti menyiapkan bahan baku berupa plastik jenis PP yang telah di cacah atau yang telah diremukkan, menyiapkan tempurung kelapa yang kering sebagai bahan bakar memanaskan reaktor, memastikan *valve* yang harus dibuka dan ditutup, menyiapkan air untuk *cooler* dan

kondenser, menghidupkan pompa dan kompresor sebagai salah satu alat pendukung pada unit *Prototype*.

Dari proses pirolisis plastik pada reaktor di dapat hasil bahan bakar cair berupa minyak bakar, kemudian dilakukan pengujian dengan menggunakan metode distilasi ASTM D-86 untuk melihat kualitas minyak hasil proses pirolisis terhadap bensin (*premium*). Selanjutnya bahan bakar cair tersebut akan di jadikan bahan bakar pada generator set (*genset*). Parameter yang diamati pada uji kinerja genset adalah beban listrik yang diberikan selama genset dinyalakan, Hasil pengamatan dan pengukuran selama proses di tabulasikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk dilakukan evaluasi guna melihat berbagai fenomena ilmiah yang terjadi sesuai dengan tujuan penelitian.

Perlakuan dan Analisis Statik Sederhana

Dalam penelitian ini terdapat dua jenis bahan bakar cair hasil pirolisis sampah plastik jenis yaitu FRA dan FRB yang akan dibandingkan dengan bahan bakar bensin (*premium*). Variabel yang akan digunakan yaitu variabel tetap dan variabel tak tetap. Variabel tetap sebagai objek penelitian berupa lama waktu penyalaan dari genset dan %*volume* distilat. Sedangkan variabel tak tetap berupa beban listrik yang di berikan kepada generator set dan temperatur saat destilasi. Beban listrik yang ditetapkan diantaranya 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; dan 900 Watt. Dari data tersebut akan diperoleh efisiensi siklus peralatan dengan membandingkan antara daya *Qout* dari generator terhadap *Qin* dari tempurung kelapa. Lalu selanjutnya dilakukan analisa hubungan antara %*volume* distilat terhadap temperatur didih FRA dan FRB untuk dibandingkan dengan bahan bakar bensin (*premium*).

Percobaan pada unit *Prototype* PLTSa

- Persiapan unit *prototype*, antara lain :
 - Mengontrol *valve* pada unit *prototype*
 - Melakukan pengisian air pada *cooling tower*
 - Mengisi *furnace* dengan bahan bakar tempurung kelapa
- Memasukan sampah plastik PP yang telah dicacah sebanyak 11,746 kg secara manual dengan cara membuka tutup *reactor top effluent*. Selanjutnya reaktor ditutup kembali.
- Menyalakan bahan bakar tempurung kelapa dan melakukan proses pirolisis.
- Menghidupkan pompa melalui *panell box*.
- Pada *separator* (SP-01) didapatkan *bottom product* berupa FRB dan lilin. *Top product* akan diteruskan ke *Cooler* (C-01) untuk mendinginkan uap. Selanjutnya *top product* dikirim ke *compressor* (K-01) untuk mengatur tekanan dan diteruskan ke *separator* (SP-02) untuk memisahkan antara komponen cairan dan uap. Dari *separator* (SP-02) didapatkan *bottom product* berupa FRA dan lilin.
- Menghentikan proses ketika tetesan dari produk FRA dan FRB telah habis. Proses dihentikan dengan cara mematikan bahan bakar dan

menurunkan temperatur pada *furnace* dan reaktor dengan air.

7. Selanjutnya memasukan bahan bakar cair yang diperoleh kedalam tangki generator set sebanyak 200 ml.
8. Menyalakan mesin dan melakukan pemanasan tanpa beban selama 2 menit.
9. Mesin diberi pembebanan dengan cara menghidupkan saklar yang ada pada generator set dan memasang bola lampu sampai pada posisi beban pengujian yang berbeda-beda (masing-masing pengujian beban yaitu 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, dan 900 watt)
10. Mesin dimatikan dengan terlebih dahulu menghilangkan beban pada mesin dengan menurunkan saklar pada mesin.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN HASIL

Berdasarkan hasil pirolisis sampah plastik jenis *Polypropylene* (PP) pada unit *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Plastik menggunakan bahan bakar tempurung kelapa diperoleh produk berupa dua jenis minyak, yaitu minyak fraksi A (FRA) dan Fraksi B (FRB). FRA adalah fraksi minyak ringan yang berasal dari keluaran *separator* II (SP-02), sedangkan FRB adalah fraksi minyak berat yang berasal dari keluaran *separator* I (SP-01). Data analisa sifat fisik masing-masing fraksi minyak FRA dan FRB dapat dilihat pada Tabel 3. Berikut :

Tabel 3. Sifat fisik minyak FRA dan FRB hasil pirolisis

No	Sifat Fisik	FRA	FRB
1	Densitas (kg/m^3)	751,80	866,50
2	Titik nyala ($^{\circ}\text{C}$)	28,00	64,00
3	GHV (Btu/lb)	20165	19130
4	NHV (Btu/lb)	18828	18130
Total		100	100

Pada Tabel 3, diketahui bahwa nilai densitas minyak FRA atau fraksi minyak ringan hasil pirolisis lebih kecil dibandingkan dengan nilai densitas minyak FRB. Densitas adalah besaran kerapatan massa minyak yang dinyatakan dalam berat minyak per satuan *volume* minyak.

Minyak FRA memiliki titik nyala yang lebih rendah dibandingkan dengan minyak FRB. Titik nyala adalah temperatur terendah saat minyak menguap untuk membuat campuran yang bisa menyulut api. Dari percobaan analisa titik nyala yang dilakukan, diperoleh nilai titik nyala fraksi minyak FRA sebesar 28°C . Sedangkan nilai titik nyala fraksi minyak FRB sebesar 64°C .

PEMBAHASAN

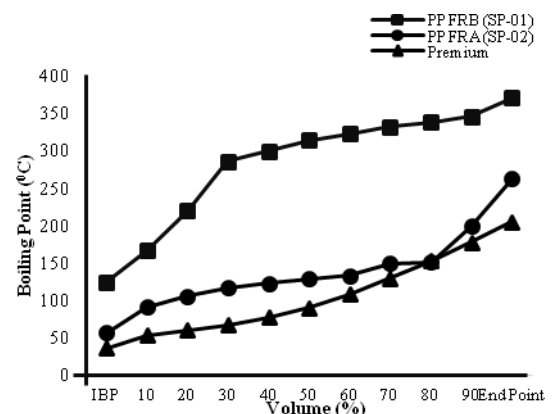
Proses konversi sampah plastik menjadi bahan bakar cair pada penelitian ini adalah menggunakan teknologi pirolisis. Pirolisis adalah teknologi yang

digunakan untuk proses perengkahan thermal komponen senyawa hidrokarbon dari rantai hidrokarbon panjang menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek dengan sedikit udara atau tanpa udara. Pada proses pirolisis ini akan terjadi proses dekomposisi senyawa hidrokarbon akibat dari perlakuan panas yang diberikan sehingga menyebabkan ikatan rantai hidrokarbon yang paling lemah akan terputus dan terbentuk senyawa hidrokarbon baru dengan rantai karbon yang lebih pendek.

Polypropylene (PP) memiliki rumus molekul $(\text{C}_3\text{H}_6)_n$ atau $(-\text{CHCH}_3-\text{CH}_2-)_n$. Dekomposisi termal dari bahan plastik *Polypropylene* (PP) membutuhkan energi minimal sebesar energi disosiasi ikatan rantai C – C dan C – H. Energi disosiasi ikatan rantai PP adalah ikatan antar molekul C-C sebesar 345 KJ/mol dan ikatan antar molekul C-H sebesar 415 KJ/mol.

Analisis Hubungan *Volume* Distilat (%) terhadap *Boiling Point* ($^{\circ}\text{C}$) Pada Produk Hasil Pirolisis

Dari data hasil analisa yang telah didapatkan, diperoleh tabel hubungan *volume* distilat (%) terhadap *boiling point* ($^{\circ}\text{C}$). Secara grafik, hubungan *volume* distilat (%) terhadap *boiling point* ($^{\circ}\text{C}$) dapat dilihat pada Gambar 3. berikut.



Gambar 3. Grafik hubungan *volume* distilat (%) terhadap *boiling point* ($^{\circ}\text{C}$)

Pada Gambar 3, diperoleh hubungan *volume* distilat (%) terhadap *boiling point* ($^{\circ}\text{C}$) untuk tiga jenis minyak, yaitu fraksi minyak FRA dari *separator* (SP-02), fraksi minyak FRB dari *separator* (SP-01), dan fraksi minyak *premium*. Dari data tersebut diketahui bahwa *initial boiling point* dari FRA dimulai dari temperatur 56°C dan selesai pada temperatur 262°C . Sedangkan *initial boiling point* dari FRB dimulai dari temperatur yang lebih tinggi yaitu 124°C dan berakhir pada temperatur 370°C . Dari data tersebut juga menunjukkan sifat *boiling point* minyak FRA mendekati *premium* sedangkan FRB memiliki *initial boiling point* jauh diatas *premium*.

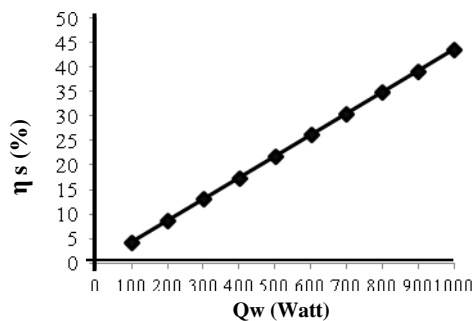
Initial boiling point dari minyak adalah suhu terendah saat minyak menguap untuk membentuk campuran yang bisa menyulut api. Semakin rendah nilai *initial boiling point* suatu cairan maka semakin mudah cairan tersebut untuk menyala dan terbakar. *Initial boiling point* dapat digunakan sebagai acuan

dalam penentuan kualitas minyak. Semakin rendah *initial boiling point* suatu minyak maka kualitas minyak tersebut semakin baik (Zainal, 2013).

Pengaruh Kerja Generator Terhadap Efisiensi Siklus

Parameter unjuk kerja pada generator dapat ditunjukkan dengan daya mesin maksimal atau pembebanan yang mampu dicapai oleh generator untuk menghasilkan listrik. Selama beroperasi dengan jenis minyak yang berbeda dengan desain awal generator, diperkirakan efisiensi generator akan mengalami penurunan akibat beberapa faktor seperti terjadinya penurunan beban (*derating*), atau unit *shutdown (trip)*. Hal ini menunjukkan kualitas minyak yang digunakan tidak sesuai standar dengan desain awal generator (Zainal, 2013).

Efisiensi siklus dari unit PLTSa dapat dihitung dengan perbandingan antara energi keluaran atau daya yang dibangkitkan generator dengan energi masukan dari tempurung kelapa. Dari hasil perhitungan, diperoleh grafik hubungan pengaruh kerja generator terhadap efisiensi siklus seperti dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan antara beban kerja (Qw) generator dengan efisiensi siklus (η_s)

Pada Gambar 4, diketahui efisiensi siklus terbaik diperoleh dari beban generator pada beban maksimum. Beban maksimum yang mampu dicapai oleh generator adalah 900 watt dengan nilai efisiensi siklus 39,26%. Sedangkan dari perhitungan desain menggunakan minyak *premium* efisiensi siklus adalah sebesar 52,35% dengan beban maksimum dicapai sebesar 1000 watt. sehingga dari perhitungan diperoleh efisiensi peralatan sebesar 75%. Efisiensi peralatan tidak bisa mencapai 100% menunjukkan bahwa kualitas minyak hasil pirolisis masih dibawah standar dari minyak *premium*. Kualitas minyak yang rendah menyebabkan pembakaran pada mesin berjalan lambat dan menyebabkan pembakaran yang terjadi tidak efisien.

Beban maksimum generator akan mempengaruhi kinerja dari unit PLTSa. Semakin besar beban maksimum dari generator maka keandalan sistem juga akan semakin baik. Semakin besar daya atau kerja generator dalam menghasilkan listrik, maka efisiensi siklus yang didapat akan semakin besar (Manuhutu, dkk, 2010).

4. SIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan data yang diperoleh maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Efisiensi siklus maksimum yang diperoleh adalah sebesar 39,26%. Sedangkan efisiensi peralatan unit PLTSa adalah sebesar 75%. Efisiensi siklus berbanding lurus dengan energi listrik yang dihasilkan. Semakin tinggi energi listrik yang dihasilkan akan menyebabkan efisiensi siklus semakin meningkat.
2. Kapasitas listrik maksimum yang dihasilkan generator berbahan bakar campuran produk hasil pirolisis FRA dan FRB adalah sebesar 900 watt.
3. Dari grafik hubungan %*volume* distilat dengan *boiling point* diketahui minyak hasil pirolisis FRA memiliki sifat fisik mendekati sifat fisik bahan bakar cair *premium*.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiyantoro, C. 2010. *Termoplastik dalam industri*. Teknika Media. Surakarta.
- Hasan, M.H. 2015. *Simulation of Crude Distillation Unit of Eastern Refinery Limited (ERL) Using ASPEN PLUS*. Bangladesh University of Engineering and Technology. Bangladesh.
- Manuhutu, F., dan Triyana, K. 2010. *Otomatisasi alat uji kualitas premium sesuai standar ASTM D86*. Diss. Universitas Gadjah Mada.
- Purwaningrum, P. 2016. *Upaya Mengurangi Timbunan Sampah Plastik di Lingkungan*. Jurnal Teknik Lingkungan. 8. (1) : 141-147.
- Syamsiro, M. 2015. *Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik*. Jurnal Teknik. 5. (1). ISSN 2088 – 3676.
- Thahir, R. 2013. *Spesifikasi dan Analisa Kualitas Bahan Bakar Hasil Pirolisis Sampah Plastik Jenis Polypropylene*. Journal of Waste Management Technology. ISSN 1410-9565 Vol. 16. Politeknik Negeri Samarinda.
- Tilman, D. 1981. *Wood Combustion : Principles, Processes and Economics*. Academics Press Inc. New York.
- Untoro, S.B. 2013. *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair*. Jurnal Teknik. 3. (1).
- Vidian, F. 2008. *Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Varisasi Laju Alir Udara Pembakaran*. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Yulianto, R.N., dan Murni, M. 2016. *Modifikasi Sistem Bahan Bakar LPG Pada Genset 1100 Watt*. Doctoral dissertation. D3 Teknik Mesin Fakultas Teknik.

Zainal, A. 2013. *Pengujian Performance Motor Listrik AC 3 Fasa Dengan Daya 3 Hp Menggunakan Pembebanan Generator Listrik*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Wahid Hasyim. Semarang.