



Kajian Karakteristik dan Energi pada Pirolisis Limbah Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE)

Novarini¹, Sigit Kurniawan², Rusdianasari^{3*}, Yohandri Bow⁴

¹ Department of Mechanical Engineering, Politeknik Jambi, Jl. Lingkar Barat 2, Jambi 36361, Indonesia

² Department of Electronic Engineering, Politeknik Jambi, Jl. Lingkar Barat 2, Jambi 36361, Indonesia

³ Department of Chemical Engineering, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Sriwijaya Negara, Palembang 30139, Indonesia

⁴ Department of Energy Engineering, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Sriwijaya Negara, Palembang 30139, Indonesia

*E-mail: rusdianasari@polsri.ac.id

ABSTRAK

Limbah plastik *Low Density Poly Ethylene* (LDPE) tidak dapat terurai oleh mikroorganisme, tidak bernilai jual sehingga tertimbun di Tempat Pembuangan Sampah Akhir. Salah satu metoda pengolahan limbah plastik adalah proses pirolisis. Tujuan penelitian ini menentukan jenis bahan bakar minyak (BBM) produk pirolisis dan menentukan efisiensi tertinggi yaitu nilai tertinggi energi yang dihasilkan terhadap penggunaan bahan bakar untuk proses pirolisis. Peralatan pirolisis yang digunakan adalah 1 unit reaktor dan 1 unit kondensor. Karakteristik BBM yang dianalisa adalah *cetane index*, *density*, *sulfur content*, *kinematic viscosity*, *flash point*, dan *caloric value* dari proses pirolisis yang memvariasikan temperatur pembakaran di reaktor 200°C, 250°C, 300°C dan proses di reaktor dengan dan tanpa penggunaan 1% katalis zeolit alam terhadap 2,5 kg limbah plastik LDPE selama 6 jam. Setelah BBM yang dihasilkan teridentifikasi jenisnya, dilakukan pengkajian efisiensi energi produk BBM terhadap penggunaan bahan bakar pada proses pirolisis. Hasil analisa terhadap karakteristik produk BBM yang dihasilkan di setiap variasi temperatur pirolisis dengan dan tanpa penggunaan katalis merupakan bahan bakar jenis kerosin. Efisiensi tertinggi sebesar 72,51% adalah pada kerosin yang dihasilkan pada pirolisis menggunakan katalis pada temperatur 250°C dengan perbandingan nilai energi 20.402 kkal untuk kerosin hasil pirolisis limbah plastik LDPE dan 28.137 kkal untuk penggunaan bahan bakar *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) pada proses pirolisis. Pirolisis dengan penggunaan katalis zeolit 1% pada suhu 250°C terbukti menjadi cara yang efisien dan berkelanjutan untuk pengolahan limbah LDPE menjadi BBM jenis kerosin.

Kata kunci: Bahan bakar minyak, katalis, LDPE, pirolisis, temperatur.

ABSTRACT

Low-Density Poly Ethylene (LDPE), plastic waste cannot be broken down by microorganisms in the soil, has no sale value, so it is buried in the final waste disposal site. One of the plastic waste treatment methods is the pyrolysis process. The purpose of this study was to determine the type of fuel oil from pyrolysis products and to determine the energy efficiency produced against the highest fuel use. The pyrolysis equipment used is 1 reactor unit and 1 condenser unit. The characteristics of the fuel oil product analyzed are the cetane index, density, sulfur content, kinematic viscosity, flash point, and caloric value of the pyrolysis process which varies the combustion temperature in the reactor by 200°C, 250°C, 300°C and the process in the reactor, with and without the use of natural zeolite catalysts 1% against 2.5 kg of LDPE plastic waste for 6 hours. After the type of fuel produced is identified, an energy efficiency assessment of the fuel product is carried out on the use of fuel in the pyrolysis process. The results analysis show that the all product of fuel oil is a kerosene-type of fuel. The highest efficiency of 72.51% is the kerosene produced in pyrolysis using a catalyst at a temperature of 250°C with an energy value ratio of 20,402 kcal for kerosene from pyrolysis of LDPE plastic waste and 28,137 kcal for the use of Liquefied Petroleum Gas (LPG) fuel in the pyrolysis process. Pyrolysis using a 1% zeolite catalyst at 250°C has proven to be an efficient and sustainable way to treat LDPE waste into kerosene fuel.

Keywords: Catalyst, fuel oil, LDPE, pyrolysis, temperature.



1. PENDAHULUAN

Pemusnahan limbah plastik dengan cara pembakaran (*incineration*) menghasilkan *Polychlorinated dibenzo- p - dioxine* merupakan jenis bahan kimia karsinogen penyebab kanker serta polutan dari emisi gas buang NO_x, CO_x, SO_x, partikulat, dioksin, furan dan uap plastik yang meningkatkan polusi udara serta menambah pemanasan global [1-3].

Cara pengolahan yang lebih tepat dibutuhkan untuk solusi ini. Pirolisis merupakan 1 dari 4 teknologi *recycle* plastik (*mechanical recycle, inceneration, chemical recycle dan pirolisis*) yang lebih efektif dalam melakukan *recycle* limbah plastik sehingga dapat diterapkan dalam mengolah limbah plastik guna menghasilkan BBM. Proses *recycle* limbah plastik membutuhkan energi sebagai sumber kalor dalam mengkonversi limbah plastik yang juga akan memiliki nilai energi. Jenis BBM yang dihasilkan diidentifikasi berdasarkan karakteristik dan sifat-sifat fisiknya yaitu *cetane index*, berat jenis, viskositas, kandungan sulfur, titik nyala dan nilai kalor [4-6].

Kajian sifat-sifat fisik dan karakteristik minyak hasil pirolisis dengan memvariasikan temperatur pada *range* temperatur 250°C hingga 500°C menunjukkan bahwa ada hasil pirolisis yang memenuhi kriteria sebagai *kerosene, gasoline, solar dan bensin* [7].

Proses konversi limbah plastik dapat dilakukan dengan dan tanpa penggunaan katalis. Katalis yang seringkali digunakan dalam mengkonversi limbah plastik melalui proses pirolisis adalah jenis zeolit. Katalis zeolit dapat meningkatkan konversi produk yang dihasilkan serta lebih meningkatkan produk gas dibanding produk cair. Kenaikan produk gas mencapai 36,83% pada proses menggunakan *reactor batch* karena katalis zeolit berperan dalam membantu proses degradasi sehingga mempercepat laju reaksi [8,9].

Jenis limbah LDPE yang dikonversi menjadi bahan bakar minyak melalui *thermal cracking* tanpa adanya penambahan katalis menghasilkan minyak hidrokarbon yang

memiliki rantai yang lebih panjang yaitu setara dengan kerosin [10,11].

Peningkatan temperatur berpengaruh terhadap volume bahan bakar minyak serta karakteristiknya. Penelitian dengan melakukan pirolisis limbah plastik sejumlah 500 gram dengan memvariasikan temperatur di reaktor pirolisis pada 250°C, 300°C dan 350°C memperbesar *yield, spesific gravity, density, heating value dan flash point* [12-15].

Penelitian tentang optimasi waktu dan rasio katalis terhadap umpan limbah plastik *polypropylene* dengan proses pirolisis pada temperatur di bawah 150°C menghasilkan fraksi karbon dengan rantai C7-C11 dan pada temperatur 150°C-250°C menghasilkan fraksi karbon dengan rantai C12-C16 [16,17].

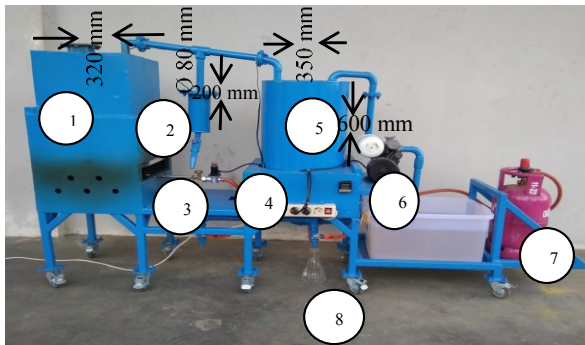
2. METODE PENELITIAN

2.1. BAHAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2,5 kg limbah plastik jenis LDPE dan 1% katalis zeolite alam [11].

2.2. DISAIN ALAT PIROLISIS

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 unit peralatan pirolisis berbahan bakar LPG terdiri dari reaktor, penampungan tar dan kondensor. Reaktor dilengkapi dengan kontrol temperatur terbuat dari bahan *stainless steel* dengan ketebalan 3 mm berkapasitas 2,5 kg dan berdimensi tinggi 450 mm dan berdiameter 320 mm dan dilapisi dengan *glasswool* untuk menahan *transfer* kalor ke lingkungan. Penampungan tar berbahan baja berdimensi tinggi 200 mm dan berdiameter 80 mm. Sisi *shell* kondensor berbahan baja berdimensi tinggi 600 mm dan berdiameter 350 mm, sisi *tube* merupakan pipa tembaga berdiameter 0,5 in dan panjang 5.000 mm yang dibentuk dalam lilitan spiral. *Outlet* kondensor merupakan produk bahan bakar minyak yang dihasilkan. Peralatan yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.



Keterangan gambar:

- | | |
|--------------------|----------------------------|
| 1. Reaktor | 5. Kondensator |
| 2. Penampung tar | 6. Pompa |
| 3. Katup Selenoid | 7. LPG sebagai bahan bakar |
| 4. Pengontrol Suhu | 8. Penampung BBM |

Gambar 1. Peralatan pirolisis.

2.3 PROSES PIROLISIS DAN METODE ANALISIS PRODUK

Limbah plastik LDPE ditimbang sebanyak 2,5 kg dan dimasukkan dari bagian atas reaktor, jika digunakan katalis, katalis dimasukkan bersamaan dengan limbah plastik. Lalu *gas regulator* dioperasikan dan diatur temperatur yang diinginkan yaitu variasi 200°C, 250°C, dan 300°C. Kemudian pompa aliran air pendingin kondensator dioperasikan. Pengoperasian peralatan dilakukan selama 6 jam, kemudian diukur volume BBM yang terkondensasi serta dianalisis karakteristik BBM meliputi *cetane index, density, sulfur content, kinematic viscosity, flash point, dan caloric value*. Setelah diketahui spesifikasi BBM yang dihasilkan maka dihitung kalor LPG yang dibutuhkan untuk menghasilkan BBM tersebut dan kalor yang dihasilkan sejumlah volume yang didapatkan dari hasil pirolisis limbah plastik LDPE guna menghitung efisiensi kalor proses pirolisis.

Energi yang dihasilkan dari produk BBM ditentukan dari jumlah BBM yang diperoleh dikalikan dengan nilai kalor kerosin (nilai kalor kerosin adalah 10.475,95 kkal/kg). Energi yang dibutuhkan dalam produksi produk BBM ditentukan dengan mengkalikan kebutuhan LPG dalam proses pirolisis dengan nilai kalor LPG (nilai kalor LPG adalah 11.254,61 kkal/kg). Efisiensi

energi produk BBM terhadap penggunaan bahan bakar diperoleh dengan membagi energi yang dihasilkan dari produk BBM terhadap energi yang dibutuhkan dalam produksi BBM.

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam menentukan efisiensi energi produk BBM terhadap penggunaan bahan bakar yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$\text{massa BBM (kg)} = \text{volume BBM (m}^3\text{)} \times \text{density kerosin} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \quad (1)$$

$$\text{Energi produk BBM (kcal)} = \text{massa BBM (kg)} \times \text{caloric value BBM} \left(\frac{\text{kkal}}{\text{kg}}\right) \quad (2)$$

$$\text{Energi yang dibutuhkan (kcal)} = \text{massa LPG (kg)} \times \text{caloric value LPG} \left(\frac{\text{kkal}}{\text{kg}}\right) \quad (3)$$

Efisiensi (μ) energi produk BBM terhadap penggunaan bahan bakar LPG ditentukan dengan rumus:

$$\mu = \frac{\text{Energi produk BBM (kcal)}}{\text{Energi yang dibutuhkan (kcal)}} \times 100(\%) \quad (4)$$

Metode analisis karakteristik BBM hasil pirolisis dilakukan menggunakan metode *American Society for Testing and Materials* (ASTM) dengan jenis metode sesuai dengan parameter analisisnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode analisa

No	Parameter Analisa	Metode
1	<i>Cetane index</i>	ASTM D 4737
2	<i>Density</i> pada 5°C	ASTM D 1298/D 4052
3	<i>Sulfur Content</i>	ASTM D 4294
4	<i>Kinematic Viscosity</i> pada 40°C	ASTM D 445
5	<i>Flash Point</i>	ASTM D 93
6	<i>Caloric Value</i>	ASTM D 240

Nama dan merk alat untuk analisa no :

- Unit peralatan destilasi merk *pyrex* dan dikalkulasi dari destilasi menggunakan metode ASTM D85 dan *density* menggunakan metode ASTM D 1298
- Picnometer* merk *pypex*
- Spectrofotometer* PANalytical Epsilon 3 XFR
- HAAKE *Falling Ball Viscometer*
- KOEHLER *Flash Point Tester*
- Bom Calorimeter* PARR 6400

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

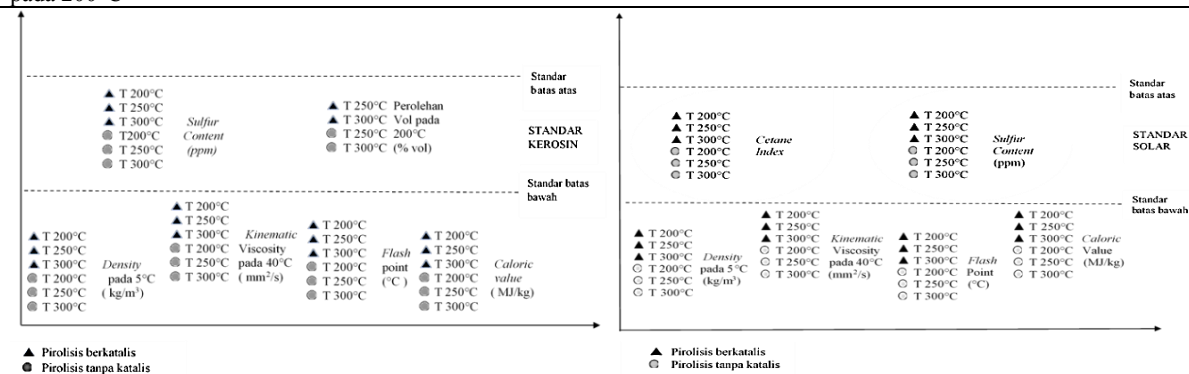
3.1. KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR MINYAK

Temperatur pirolisis berpengaruh dalam menentukan jenis BBM. Peningkatan temperatur meningkatkan jumlah atom karbon produk pirolisis atau fraksi atom karbon, dengan jenis bahan bakar ditentukan oleh jenis fraksi atom karbon [16,17].

Tabel 2 menunjukkan hasil analisis karakteristik bahan bakar minyak hasil pirolisis limbah plastik LDPE menggunakan katalis dan tanpa menggunakan katalis. Hasil analisis dalam bentuk grafik yang mengacu ke standar kerosin ditunjukkan pada Gambar 2 (A) dan hasil analisis yang mengacu ke standar solar ditunjukkan pada Gambar 2 (B).

Tabel 2. Hasil analisis karakteristik BBM

Parameter Analisa	Satuan	Standar Kerosine	Standar Solar	BBM hasil pirolisis berkatalis pada temperatur			BBM hasil pirolisis tanpa katalis pada temperatur		
				200°C	250°C	300°C	200°C	250°C	300°C
<i>Cetane index</i>	-		min 45	64	69	74	56	66	71
<i>Density</i> pada 5°C	kg/m ³	max 836	min 815, max 860	759	779	783	755	776	788
<i>Sulfur Content</i>	ppm	max 2.500	max 500	124	21	275	53	81	102
<i>Kinematic Viscosity</i> pada 40°C	mm ² /s		min 2, max 4.5	0,47	0,61	0,56	0,42	0,98	0,42
<i>Flash Point</i>	°C	min 38	min 52	31,2	29,2	28,3	29,5	30,1	28,1
<i>Caloric Value</i>	MJ/kg	min 46,5	43,5-55,7	32,69	27,20	28,75	31,68	28,76	26,92
Perolehan volume pada 200°C	% vol	min 18		14,57	91,01	43,69	8,01	36,41	10,93



Gambar 2. Karakteristik BBM berdasarkan standar kerosin (A) dan standar solar (B).

Hasil analisis karakteristik produk bahan bakar minyak yang mengacu ke standar kerosin menunjukkan bahwa karakteristik *sulfur content* dan perolehan volume pada 200°C telah memenuhi standar hasil karakteristik kerosin. *Density*, *kinematic viscosity*, *flash point* dan *caloric value* sudah sangat mendekati nilai standar karakteristik kerosin. Hasil analisis karakteristik produk bahan bakar minyak yang mengacu ke standar solar menunjukkan bahwa karakteristik *cetane index* dan *sulfur content* telah memenuhi standar hasil karakteristik solar. *Density*, *kinematic viscosity*, *flash point* dan *caloric value* masih cukup jauh

dari nilai standar karakteristik solar. Dengan demikian, produk bahan bakar minyak telah mendekati karakteristik spesifikasi standar kerosin yang telah ditetapkan oleh ASTM Standar [18].

3.2 KARAKTERISTIK *CETANE INDEX* BAHAN BAKAR MINYAK

Cetane index merupakan indikator kecepatan pembakaran untuk bahan bakar solar. Pada Tabel 2 terlihat bahwa kenaikan temperatur diikuti dengan kenaikan *cetane index*, hal ini dikarenakan dengan meningkatnya temperatur maka terbentuk senyawa *non volatile* yang meningkatkan *cetane index* [7].

Cetane index bahan bakar yang dihasilkan telah memenuhi standar spesifikasi bahan bakar solar untuk proses pirolisis berkatalis maupun tanpa katalis untuk semua variasi temperatur. *Cetane index* pada Tabel 2 tidak bisa mengkategorikan bahan bakar yang dihasilkan berspesifikasi kerosin karena *cetane index* kerosin standarnya adalah di bawah 45 yaitu 41 [7].

3.3 KARAKTERISTIK *DENSITY* BAHAN BAKAR MINYAK

Dari Tabel 2 dapat dilihat *density* semakin meningkat seiring dengan kenaikan temperatur dikarenakan massa hidrokarbon akan semakin banyak, karena peningkatan temperatur menaikkan konversi. Pada Tabel 2 untuk temperatur yang sama nilai *density* lebih besar dengan adanya penggunaan katalis. BBM yang dihasilkan memiliki nilai *density* yang telah memenuhi standar bahan bakar jenis kerosin namun jika mengacu ke spesifikasi standar solar, nilai *density* belum memenuhi. Penelitian yang sama yang dilakukan oleh R. Miandad, dkk [3] dalam melakukan pirolisis limbah plastik menggunakan *reactor batch* berbahan stainless pada temperatur lebih dari 400°C mendapatkan nilai *density* 778 kg/m³ pada bahan bakar minyak yang dihasilkan. Penambahan persentase rasio penggunaan katalis terhadap umpan limbah plastik LDPE diperlukan guna memenuhi standar spesifikasi bahan bakar solar.

3.4 KARAKTERISTIK *SULFUR CONTENT* BAHAN BAKAR MINYAK

Sulfur content merupakan salah satu karakteristik bahan bakar yang berefek terhadap gas hasil pembakaran karena akan membentuk SO₂ yang bisa meningkatkan nilai kalor. *Flue gas* bahan bakar *diesel* yang juga berfungsi sebagai pelumas bila memiliki *sulfur content* yang melebihi standar berpengaruh buruk terhadap lingkungan [18]. Pada Tabel 2, standar *sulfur content* pada BBM yang dihasilkan telah memenuhi standar karakteristik kerosin dan solar namun

sulfur content lebih banyak jumlahnya pada bahan bakar yang dihasilkan melalui pirolisis menggunakan katalis, kecuali pada temperatur pembakaran 250°C. Penggunaan katalis zeolit alam bisa meningkatkan *sulfur content* karena katalis zeolit alam sendiri membawa endapan lemak hewan, sisa tumbuhan di hutan serta sisa industri makanan yang yang terbawa selama pembentukannya [7].

3.5 KARAKTERISTIK *KINEMATIC VISCOSITY* BAHAN BAKAR MINYAK

Kinematic viscosity menentukan dalam penanganan BBM pada tangki penampungan, proses pembakaran dan penentuan jenis *burner* serta menjadi pertimbangan dalam memilih jenis pompa. Pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai *kinematic viscosity* belum memenuhi standar untuk bahan bakar solar untuk setiap variasi temperatur dan variasi perlakuan pemanasan menggunakan dan tanpa menggunakan katalis. Perlu peningkatan temperatur pembakaran hingga 620°C untuk memenuhi standar bahan bakar solar [9].

3.6 KARAKTERISTIK *FLASH POINT* BAHAN BAKAR MINYAK

Pada Tabel 2 nilai *flash point* BBM yang dihasilkan belum memenuhi standar karakteristik kerosin dan solar. Penelitian serupa yang pernah dilakukan dilakukan oleh R. Miandad, dkk [3] dalam melakukan pirolisis limbah plastik menggunakan *reactor batch* berbahan *stainless steel* pada temperatur lebih dari 400°C mendapatkan nilai *flash point* 30,5°C, yang juga belum memenuhi standar karakteristik kerosin dan diesel. Pada Tabel 2 terlihat bahwa penggunaan katalis dengan jumlah 1% diikuti dengan turunnya temperatur dapat meningkatkan nilai *flash point* pada BBM yang dihasilkan, namun tanpa menggunakan katalis nilai *flash point* tidak dapat terlihat kecenderungannya. Hal ini dikarenakan penggunaan katalis dapat meningkatkan stabilitas reaksi. Penelitian terkait tentang

penggunaan katalis terhadap mutu biodiesel dari limbah minyak goreng memperlihatkan bahwa dengan peningkatan penggunaan katalis setiap 0,1% dapat meningkatkan nilai *flash point* hingga 1°C [14]. Pada BBM yang dihasilkan dapat diprediksi memenuhi standar parameter *flash point* dengan meningkatkan jumlah pemakaian katalis hingga minimum 1,7%.

3.7 KARAKTERISTIK *CALORIC VALUE* BAHAN BAKAR MINYAK

Caloric value merupakan salah satu karakteristik BBM yang menunjukkan jumlah energi setiap massa jenis bahan bakar. Pada Tabel 2 terlihat bahwa untuk setiap variasi temperatur dan variasi perlakuan pemanasan menggunakan dan tanpa menggunakan katalis belum memenuhi standar karakteristik kerosin maupun solar. Penelitian yang pernah dilakukan dilakukan oleh R. Miandad, dkk [19] dalam melakukan pirolisis limbah plastik menggunakan *reactor batch* berbahan *stainless steel* pada temperatur lebih dari 400°C mendapatkan *caloric value* berkisar 33,6 – 53,4 MJ/kg. Daur ulang limbah plastik LDPE pada temperatur 350°C menggunakan katalis zeolit mendapatkan *caloric value* 38,3 MJ/kg dengan perbandingan katalis dan umpan 10% [20]. Produksi BBM dari limbah plastik *Polystyrene* (PS), *Polypropylene* (PP) dan *Polyetylena* (PE) pada temperatur 450°C menggunakan katalis zeolit sintesis mendapatkan nilai kalor 40,2 – 45 MJ/kg [21-24]. Perlu penambahan perbandingan katalis dan umpan limbah plastik atau peningkatan temperatur untuk meningkatkan *caloric value* agar standar karakteristik BBM yang dihasilkan memenuhi standar kerosin dan solar.

3.8 ENERGI YANG DIHASILKAN DAN DIBUTUHKAN DALAM PRODUKSI BAHAN BAKAR MINYAK LIMBAH PLASTIK LDPE

Jumlah BBM yang diperoleh di setiap variasi temperatur dan proses pirolisis tanpa dan dengan menggunakan katalis ditunjukkan

pada Tabel 3. Adapun jumlah LPG dan energi yang di setiap variasi temperatur pada proses pirolisis ditunjukkan pada Tabel 4.

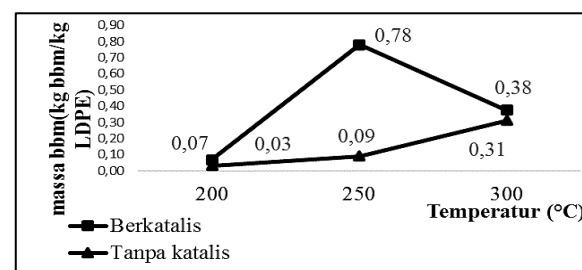
Tabel 3. Jumlah produk bahan bakar minyak dari proses pirolisis

T(°C)	Volume (ml)		Massa (kg)	
	Berkatalis	Tanpa katalis	Berkatalis	Tanpa Katalis
200	220	100	0,17	0,08
250	2.500	300	1,95	0,23
300	1.200	1.000	0,94	0,78

Tabel 4. Jumlah LPG dan energi yang dibutuhkan dalam proses pirolisis

T(°C)	Massa LPG(kg)	Energi yang Dibutuhkan (kkal)
200	2	22.509
250	2,5	28.137
300	2,75	30.950

Jumlah produk BBM yang dihasilkan dinyatakan dalam massa BBM hasil pirolisis dibagi massa limbah plastik LDPE dalam satuan kg BBM/kg limbah plastik LDPE, jumlah ini terlihat pada Gambar 3.

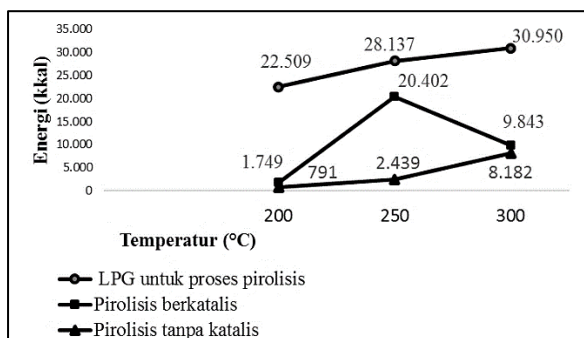


Gambar 3. Jumlah produk bahan bakar minyak yang dihasilkan

Gambar 3 memperlihatkan bahwa jumlah BBM yang dihasilkan dari limbah plastik LDPE ini optimum pada temperatur 250°C pada kondisi pembakaran menggunakan katalis maupun tanpa penggunaan katalis. Penggunaan katalis memperbanyak massa bahan bakar yang dihasilkan yang terlihat pada temperatur 250°C pembakaran menggunakan katalis jumlah yang dihasilkan 0,78 kg BBM/kg limbah plastik LDPE dan tanpa penggunaan katalis hanya 0,09 kg

BBM/kg limbah plastik LDPE. Penggunaan katalis meningkatkan volume 60% lebih tinggi karena katalis dapat menurunkan energi aktivasi sehingga laju reaksi akan meningkat dan *yield* produk juga meningkat [9,11,16].

Energi produk BBM hasil pirolisis limbah LDPE dan Energi LPG yang dibutuhkan untuk pirolisis limbah LDPE ditunjukkan pada Gambar 4.

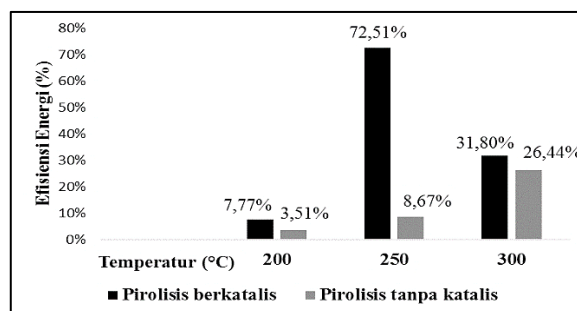


Gambar 4. Perbandingan jumlah energi yang dihasilkan produk bahan bakar minyak terhadap energi yang dibutuhkan.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa pemakaian katalis pada proses pirolisis lebih meningkatkan energi yang dihasilkan oleh produk BBM untuk setiap variasi temperatur. Solusi untuk menekan jumlah energi yang dibutuhkan adalah dengan meningkatkan jumlah penggunaan katalis karena peningkatan pemakaian katalis dapat meningkatkan stabilitas reaksi serta menurunkan energi aktivasi.

Energi aktivasi yang menurun dapat mempersingkat laju reaksi dan temperatur yang dibutuhkan tidak terlalu tinggi karena temperatur yang terlalu tinggi hanya akan menaikkan konsumsi energi. Disamping itu, meskipun saat ini belum optimal namun penggunaan pirolisis bisa lebih bermanfaat karena dapat menekan biaya yang ditimbulkan karena dampak pencemaran lingkungan oleh plastik lebih besar. Energi yang dihasilkan lebih tinggi pada temperatur 250°C dibandingkan dengan temperatur lainnya dan energi optimum yang dihasilkan

pada kondisi pirolisis menggunakan katalis pada temperatur 250°C sebesar 20.402 kkal. Efisiensi energi yang dihasilkan kerosin sebagai produk pirolisis limbah LDPE terhadap energi yang dibutuhkan pada proses pirolisis diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Efisiensi energi yang dihasilkan terhadap energi yang dibutuhkan pada pirolisis.

Efisiensi energi produk BBM terhadap penggunaan bahan bakar pada proses pirolisis akan semakin meningkat dengan semakin tingginya temperatur, ini terlihat pada Gambar 5 proses pirolisis tanpa penggunaan katalis. Efisiensi energi produk BBM terhadap penggunaan bahan bakar pada pirolisis tanpa menggunakan katalis dengan temperatur 200°C adalah 3,51%, pada temperatur 250°C adalah 8,67%, dan pada pirolisis bertemperatur 300°C senilai 26,44%. Temperatur yang semakin tinggi mempercepat laju reaksi sehingga jumlah produk BBM yang dihasilkan semakin banyak. Jika jumlah produk BBM jumlahnya banyak, maka energi produk BBM juga semakin besar (persamaan 2).

Karena kebutuhan energi untuk melakukan proses pirolisis di setiap temperatur yang tidak terlalu besar selisih penggunaannya, maka dengan meningkatnya temperatur menghasilkan efisiensi energi produk BBM terhadap penggunaan bahan bakar LPG yang semakin meningkat juga (persamaan 4). Pada Gambar 5 proses pirolisis dengan menggunakan katalis, kenaikan temperatur hanya meningkatkan efisiensi energi produk BBM terhadap penggunaan bahan bakar hingga temperatur 250°C karena pada

temperatur 300°C efisiensi energi produk BBM terhadap penggunaan bahan bakar mulai mengalami penurunan. Nilai efisiensi energi produk BBM terhadap penggunaan bahan bakar pada 200°C adalah 7,77%, pada 250°C adalah 72,51% dan pada 300°C adalah 31,80%. Peningkatan temperatur di 300°C tidak meningkatkan nilai efisiensi energi produk BBM terhadap penggunaan bahan bakar karena limbah plastik LDPE telah maksimal terkonversi pada temperatur 250°C. Penelitian tentang optimasi waktu dan rasio katalis terhadap umpan limbah plastik *Polypropylene* dengan proses pirolisis pada temperatur di bawah 150°C menghasilkan fraksi karbon dengan rantai C7–C11 dan pada temperatur 150°C–250°C menghasilkan fraksi karbon dengan rantai C12–C16. Kerosin berada pada fraksi karbon C12–C18 [16,17].

4. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa analisa terhadap karakteristik produk BBM yang dihasilkan di setiap variasi temperatur pirolisis dengan dan tanpa penggunaan katalis didapatkan bahwa produk BBM merupakan bahan bakar jenis kerosin. Efisiensi tertinggi energi produk BBM terhadap penggunaan bahan bakar 72,51% adalah pada kerosin yang dihasilkan pada pirolisis menggunakan katalis pada temperatur 250°C dengan perbandingan nilai energi 20.402 kkal untuk kerosin hasil pirolisis limbah plastik LDPE dan 28.137 kkal untuk penggunaan bahan bakar LPG pada proses pirolisis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kemenristek/BRIN atas kesempatan dan fasilitas dana dalam penelitian ini, Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah memberikan bimbingan arahan sebagai TPM dan memfasilitasi analisa produk, Pertamina Refinery Unit III Plaju Sumatera Selatan yang telah memfasilitasi analisa produk serta Politeknik Jambi yang telah memfasilitasi dalam pembuatan alat serta pengambilan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Joshi, Rambir, R. Punia, Conversion of Plastic Waste Into Liquid Fuels-a Review, in *Recent Advances in Bioenergy Research*, 3rd ed., S. Kumar, A. K. Sarma, S. K. Tyagi, and Y. K. Yadav, Eds. India: Sardar Swaran Singh National Institute of Renewable Energy, 2013, hal. 444–454.
- [2] Novarini, Darmuji, H. Porawati, Analisa Temperatur and Waktu Terhadap Hasil Bahan Bakar Minyak Dengan Proses Pirolisis Sampah Kantong Plastik, *Jurnal Inovator*, vol.1, no. 2, hal. 18–21, 2018.
- [3] R. Miandad, M. Rehan, A. S. Nizami, M. A. El-Fetouh Barakat, I. M. Ismail, The energy and value-added products from pyrolysis of waste plastics, in *Recycling of Solid Waste for Biofuels and Bio-chemicals, Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes*, O. P. Karthikeyan, K. Heimann, and S. S. Muthu, Eds, Singapore: Springer Science and Business Media, 2016, hal. 333–355.
- [4] C. Marculescu, Thermal-Chemical Treatment of Solid Waste Mixtures, *Energy Procedia*, vol. 6, hal. 558–564, 2011.
- [5] M. N. Alam, C. Charisma, Suaedi, Pyrolysis of Polypropylene (PP) Into Liquid Fuel Using Cao Catalyst, in: *ICONSS (International Conference on Natural and Social Sciences)*, vol. 1, 2019, hal. 68–73.
- [6] R. Ploetz, Rusdianasari, E. Eviliana, Renewable Energy: Advantages and Disadvantages, *Proceeding Forum in Research, Science, and Technology (FIRST)*, [Palembang:Indonesia], vol. 1, 2016, hal. 76.

- [7] M. Hissa, S. Niemi, K. Sirviö, A. Niemi, T. Ovaska, Combustion Studies of a Non-Road Diesel Engine With Several Alternative Liquid Fuels, *Energies*, vol. 12, no. 12, hal. 1–15, 2019.
- [8] B. N. Jati, R. Ermawati, Aplikasi Katalis Dalam Mengkonversi Limbah Plastik Menjadi Energi, *Jurnal Kimia dan Kemasan*, vol. 32, no. 2, hal. 67–72, 2010.
- [9] R. Pratiwi, W. Dahani, Pengaruh Penggunaan Katalis Zeolit Alam Dalam Pirolisis Limbah Plastik Jenis HDPE Menjadi Bahan Bakar Cair Setara Bensin, in: Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Jakarta Indonesia, vol. 4, 2015, hal. 1–5.
- [10] S. Susumu, R. Rusdianasari, S. Yusi, Biodiesel Production from Waste Cooking Oil using Electrostatic Method, *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, vol. 3, no. 3, hal. 443–448, 2018.
- [11] Rusdianasari, A. Syarif, M. Yerizam, M.S. Yusi, L. Kalsum, Y. Bow, Effect of Catalyst on the Quality of Biodiesel from Waste Cooking oil by Induction Heating, *Journal of Physics: Conf. Series 1500 012052*, hal. 1-7, 2020.
- [12] Y. Bow, Rusdianasari, L. S. Pujiastuti, Pyrolysis of Polypropylene Plastic Waste Into Liquid Fuel, *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 347, 012128, 2019.
- [13] E. Anzar, M. S. Yusi, Y. Bow, Purification of Crude Glycerol for Biodiesel By-product by Adsorption using Bentonite, *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, vol. 3, no. 3, hal. 83–88, 2018.
- [14] Novarini, Rusdianasari, Y. Bow, S. Kurniawan, Study of Temperature and Use of Catalysts in the Pyrolysis of LDPE Plastic Waste on the Quantity of Oil Fuel Products Produced, In: FIRST-T1-T2-2021 (Proceeding of the 4th Forum in Research, Science, and Technology), Atlantis Highlights in Engineering, vol. 7, 2021, hal. 24–28.
- [15] S. Yunsari, Rusdianasari, A. Husaini, CPO Based Biodiesel Production using Microwaves Assisted Method, *Journal of Physics: Conf. Series*, vol. 1, issue. 1, 012036, 2019.
- [16] W. Trisunaryanti, Optimization of Time and Catalyst/Feed Ratio in Catalytic Cracking of Waste Plastics Fraction to Gasoline Fraction Using Cr/Natural Zeolite Catalyst, *Indones. J. Chem.*, vol. 2, no. 1, hal. 30–40, 2002.
- [17] Rusdianasari, Y. Bow, R. A. N. Moulita, Temperature Effect on the Biodiesel Quality from Waste Cooking Oil by Induction Heating, *Journal of Physics: Conf. Series*, vol. 1450, 012003, hal. 1–7, 2020.
- [18] R. Thahir, A. Altway, S. R. Juliastuti, Susianto, Production of Liquid Fuel from Plastic Waste Using Integrated Pyrolysis Method With Refinery Distillation Bubble Cap Plate Column, *Energy Reports*, vol. 5, hal. 70–77, 2019.
- [19] R. Miandad, M. A. Barakat, M. Rehan, A. S. Aburizaiza, I. M. I. Ismail, A. S. Nizami, Plastic Waste to Liquid Oil Through Catalytic Pyrolysis Using Natural And Synthetic Zeolite Catalysts, *Waste Manag*, vol. 69, hal. 66–78, 2017.

- [20] Y. Bow, Pengolahan sampah Low Density Polyethylene (LDPE) dan Polypropylene (PP) Menjadi Bahan Bakar Cair Alternatif Menggunakan Prototipe Pirolisis Thermal Cracking, *Jurnal Kinetika*, vol. 9, no. 3, hal. 1–6, 2020.
- [21] E. S. Yusmartini, Rusdianasari, Separation Process Biodiesel from Waste Cooking Oil Using Ultrafiltration Membranes, in: FIRST (Proceeding Forum in Research, Science, and Technology), [Palembang:Indonesia], vol.1, 2016.
- [22] R. A. N. Moulita, R. Rusdianasari, L. Kalsum, Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using Induction Heating Technology, *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, vol. 5, no.1, hal. 13–17, 2020.
- [23] S. Yunsari, A. Husaini, R. Rusdianasari, Effect of variation of Catalyst Concentration in the producing of biodiesel from Crude Palm Oil using Induction Heater, *Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment*, vol. 3, no. 1, hal. 24–27, 2019.
- [24] J. U. Putra, L. Kalsum, Y. Bow, Effect of DC Voltage on Prototype of Biodiesel Electrostatic Separator with Glyserin from Waste Cooking Oil, *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, vol. 3, no. 3, hal. 89–93, 2018.