



Karakteristik Bahan Bakar Minyak dari Limbah Plastik dan Aplikasinya pada Motor Bensin Empat Langkah

Characteristics of Fuel Oil from Plastic Waste and Its Application on Four Stroke Gasoline Engine

AMIRAL AZIZ^{1,2*}, IRFAN SUSANTO¹

¹Departemen Teknik Mesin Universitas Islam Assyafi'iyah - Jakarta

²Balai Besar Teknologi Konversi Energi - BRIN

Gedung 625 Puspiptek Serpong Tangerang Selatan

*amiralaziz58@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 March 2021

Accepted 16 December 2021

Published 23 January 2022

Keywords:

Gasoline engine

RON 92

RON 90

Plastic oil

Performance parameter

ABSTRACT

Plastics play an essential role in improving people's lifestyles in various sectors such as household, health, construction, packaging, electronics, automotive, and others. The use of plastics that are not in accordance with health and environmental standards will cause various health problems and pollution to the environment. Plastic can be converted by pyrolysis process to produce liquid fuel as an alternative fuel for a gasoline engine. The objective of this research was to compare the performance of parameters of the four-stroke gasoline engine single cylinder using the mixture of plastic oil (MIPLAS) as testing fuels and 2 (two) Pertamina's products ie. Peralite has RON (Research Octane Number) 90 and Pertamina, which has RON 92 as reference fuels. The first phase of this research used a dynamometer machine with testing using 100% each Peralite (RON 90), Pertamina (RON 92) and MIPLAS. The engine performance parameters such as Brake Power, Specific Fuel Consumption (SFC), Brake Mean Effective Pressure and Engine Speed were investigated. Then the second phase of testing uses the mixture of plastic oil (MIPLAS), Peralite (RON 90), Pertamina (RON 92) with a certain percentage as the fuel. The research results for all types of fuels and fuel mixtures show that the minimum SFC does not occur at the maximum Brake Power (BP) generated. This means that the Internal Combustion Engine never happens in a condition of maximum power generated with minimum specific fuel consumption or vice versa. It can be concluded that the design and operation of a gasoline engine is a trade-off between the maximum Brake Power generated and the minimum Specific Fuel Consumption.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 23 Maret 2021

Disetujui 16 Desember 2021

Diterbitkan 23 Januari 2022

Kata kunci:

Motor bakar bensin

RON 92

RON 90

Minyak plastik

Parameter kinerja

ABSTRAK

Plastik memainkan peran penting dalam meningkatkan gaya hidup masyarakat di berbagai sektor seperti rumah tangga, kesehatan, konstruksi, pengemasan, elektronik, otomotif, dan lain-lainnya. Plastik merupakan salah satu bahan yang paling banyak digunakan oleh masyarakat, khususnya dalam sektor rumah tangga. Penggunaan plastik yang tidak sesuai standar kesehatan dan lingkungan hidup akan menimbulkan berbagai gangguan kesehatan dan pencemaran terhadap lingkungan. Plastik dapat diubah melalui proses pirolisis untuk menghasilkan bahan bakar cair sebagai bahan bakar alternatif motor bensin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan parameter unjuk kerja motor bakar bensin empat langkah silinder tunggal dengan bahan bakar campuran minyak plastik (MIPLAS) dan 2 (dua) produk Pertamina yaitu. Peralite yang memiliki RON (*Research Octane Number*) 90 dan Pertamina yang memiliki RON 92 sebagai bahan bakar pembandingan Tahap pertama penelitian ini menggunakan mesin dinamometer dengan pengujian menggunakan 100% Peralite (RON 90), 100% Pertamina (RON 92), dan 100% MIPLAS. Parameter kinerja mesin seperti daya efektif (*brake power*), konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*), tekanan efektif rata-rata (*brake mean effective pressure*) dan putaran mesin diinvestigasi. Kemudian pengujian tahap kedua menggunakan campuran minyak plastik (MIPLAS) dan Peralite (RON 90), MIPLAS dan Pertamina (RON 92) dengan persentase tertentu sebagai bahan bakarnya. Dari hasil penelitian untuk semua jenis bahan bakar dan campuran bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik minimum tidak terjadi pada daya efektif maksimum yang dihasilkan, hal ini berarti bahwa pada motor bensin tidak pernah terjadi kondisi di mana daya yang dihasilkan maksimum dengan konsumsi bahan bakar spesifik minimum atau sebaliknya. Dapat disimpulkan bahwa desain dan pengoperasian motor bensin merupakan *trade-off* antara daya efektif maksimum yang dihasilkan dan konsumsi bahan bakar spesifik minimum.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Plastik memainkan peran penting dalam meningkatkan gaya hidup masyarakat di berbagai sektor seperti rumah tangga, kesehatan, konstruksi, pengemasan, elektronik, otomotif, dan lain-lainnya. Jumlah sampah plastik yang menumpuk di lingkungan setiap tahun berada pada tingkat yang mengkhawatirkan, karena sebagian besar plastik dibuang setelah sekali pakai.

Tahun 2016 jumlah timbulan sampah di Indonesia mencapai 65.200.000 ton per tahun dengan penduduk sebanyak 261.115.456 orang (BPS, 2018) Proyeksi penduduk Indonesia menunjukkan angka penduduk yang terus bertambah dan tentunya akan meningkatkan jumlah timbulan sampah. Berdasarkan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) persentase komposisi sampah terdiri dari sisa makanan 39,33%, kayu/ranting 14,23%, kertas/karton 12,72%, plastik 17,95%, logam 3,2%, kain 2,5%, karet/kulit 1,8%, kaca 2,39% dan 5,88% lain-lain (SIPSN, 2021).

Timbulan sampah plastik dan buangan limbah berdampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan, oleh karena itu perlu dilakukan langkah penanganan (Nurhenu, 2013). Limbah padat plastik menjadi salah satu perhatian global karena memberi dampak ke lingkungan dan dalam jangka panjang dapat menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah (Ana *et al.*, 2019). Meningkatnya kuantitas sampah plastik menjadi masalah serius bila tidak dilakukan upaya secara substansial mengurangi timbulan sampah. Hal ini dapat dilakukan melalui pencegahan, pengurangan, daur ulang, dan penggunaan kembali sehingga target SDGs 12,5% pada tahun 2030 dapat dicapai (BPS, 2018).

Sampah plastik dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair yang bernilai ekonomis karena berasal dari sumber petrokimia yang memiliki nilai kalor yang signifikan. Konversi tersebut dapat dimungkinkan melalui beberapa teknologi perlakuan termal seperti gasifikasi, pirolisis, proses plasma dan insinerasi (Ana *et al.*, 2019). Di antara semua metode ini, pirolisis adalah proses yang paling diinginkan karena volume awal limbah akan berkurang secara signifikan, lebih banyak energi yang dihasilkan dengan memproduksi berbagai produk, suhu dekomposisi yang lebih rendah, dan biaya modal yang lebih murah (Irene *et al.*, 2021; Sharuddin *et al.*, 2018).

Beberapa periset telah melakukan penelitian mengenai konversi berbagai jenis limbah plastik menjadi bahan bakar cair dengan proses pirolisis pada interval suhu 250–600 °C (Covey *et al.*, 2001; Purwanti *et al.*, 2008; Aprian *et al.*, 2012; Arif *et al.*, 2018). Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu merupakan *variable* yang sangat mempengaruhi kuantitas dan kualitas bahan bakar cair yang dihasilkan (Covey *et al.*, 2001; Nasruddin *et al.*, 2017; Juliya *et al.*, 2021). Jumlah bahan bakar cair yang dihasilkan berbanding lurus dengan kenaikan suhu (Purwanti *et al.*, 2008; Aprian *et al.*, 2012) serta lamanya proses berlangsung (Purwanti *et al.*, 2008). Pada suhu reaktor yang lebih tinggi akan dihasilkan bahan bakar cair yang lebih banyak (Purwanti *et al.*, 2008; Aprian *et al.*, 2012). Kekentalan

minyak yang dihasilkan juga akan meningkat dengan naiknya suhu reaktor (Aprian *et al.*, 2012), akan tetapi residu padat yang dihasilkan lebih sedikit dengan adanya kenaikan suhu dan waktu proses (Purwanti *et al.*, 2008; Aprian *et al.*, 2012). Padatan atau arang yang dihasilkan cenderung semakin sedikit dengan adanya kenaikan suhu dan waktu proses (Covey *et al.*, 2001). Warna minyak pirolisis pada suhu reaktor 400 °C kurang jernih dibandingkan dengan suhu 300 °C dan 350 °C (Aprian *et al.*, 2012).

Proses degradasi termal sampah plastik yang dilakukan dalam sebuah reaktor telah dikaji dan dievaluasi dengan metoda *exergy* oleh Marek S (Marek, 2017) Berdasarkan kajian ini dapat disimpulkan bahwa dari prospektif energi dan ekologi, daur ulang sampah plastik menjadi bahan bakar cair lebih menguntungkan dibandingkan dengan proses lainnya terutama proses insinerasi (Marek, 2017). Hasil perhitungan menunjukkan efisiensi *exergy* berkisar antara 70% hingga 82%.



Gambar1. Bahan bakar cair (minyak plastik dengan bahan baku LDPE (Rio *et al.*, 2020).

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini merupakan lanjutan dari proses rancang bangun dan pengujian alat pengubah limbah plastik menjadi bahan bakar cair yang telah dilakukan di laboratorium Universitas Islam Assyafiiyah (Rio *et al.*, 2020) seperti pada Gambar 1. Pada penelitian ini, bahan bakar cair yang dihasilkan (Rio *et al.*, 2020) dimanfaatkan sebagai bahan bakar dan campuran bahan bakar pada motor bensin empat langkah silinder tunggal.

Pengujian performa minyak plastik pada motor bensin ini bertujuan untuk menentukan kinerja motor bensin dengan menggunakan campuran minyak plastik (MIPLAS) sebagai bahan bakar uji dan dua produk Pertamina yaitu RON (*Research Octane Number*) 90 dan RON 92 sebagai bahan bakar pembanding.

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- Mengurangi penggunaan bahan bakar bensin.
- Mengurangi dampak sampah plastik terhadap kesehatan dan lingkungan.
- Meningkatkan nilai ekonomis sampah plastik.
- Hasil rancangan dan pengujian peralatan konversi sampah plastik menjadi bahan bakar cair ini merupakan sarana pengabdian kepada masyarakat oleh dosen dan mahasiswa untuk desa binaan LPPM Universitas Islam Assyafiiyah.

1.3. Parameter Kinerja Motor Bakar

Parameter-parameter kinerja yang penting dari Motor Bensin (*Gasoline Engine*) diantaranya: Daya Efektif (*Brake Power*), Tekanan efektif rata-rata (*Brake Mean Effective Pressure*), Pemakaian bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Consumption*) dan lain-lain (Gufta, 2013; Stone, 2012; Koswani *et al.*, 2017).

Brake Power

Daya efektif (*Brake Power*) adalah daya output dari motor bakar yang diukur pada poros dengan menggunakan alat dynamo meter yang dapat dihitung dengan Persamaan 1 (Gufta, 2013; Stone, 2012; Koswani *et al.*, 2017):

$$B_p = T \times \omega = \frac{2 \times \pi \times T \times N}{60} \dots (1)$$

Keterangan:

- B_p: Brake Power (Watt)
- T: Torsi (N.m)
- ω: putaran sudut (rad/s)
- N: putaran poros (rpm)

Brake Mean Effective Pressure (BMEP)

Brake Mean Effective Pressure dapat dihitung dengan Persamaan 2 (Gufta, 2013; Stone, 2012):

$$BMEP = \frac{B_p}{L \times A \times Z \times S} \dots (2)$$

Keterangan:

- BMEP = Brake Mean Effective Pressure (N)
- L: panjang langkah silinder (m)
- A: luas penampang silinder (m²)
- Z: jumlah silinder.
- S: jumlah siklus perdetik
- N: putaran poros (rpm)

Untuk motor 4 tak S = N/2 dan untuk motor 2 tak S = N

Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific Fuel Consumption (SFC) menyatakan jumlah pemakaian bahan bakar yang dikonsumsi oleh motor untuk menghasilkan daya 1 kW atau 1 HP selama 1 jam. Pemakaian bahan bakar spesifik dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3 (Gufta, 2013; Stone, 2012):

$$SFC = \frac{m_f \times 3600}{B_p} \dots (3)$$

Keterangan:

- SFC: *Specific Fuel Consumption* (kg/kWh)
- m_f: konsumsi bahan bakar (kg/s)

2. METODE

2.1. Bahan

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Motor bensin empat langkah SOHC (*Single Over Head Camshaft*), silinder tunggal. Spesifikasi teknis motor

bensin uji yang digunakan dalam penelitian ini tercantum pada Tabel 1.

- b. Gambar 2 menunjukkan *dynamometer* yang digunakan untuk mengukur torsi dan putaran mesin (RPM) secara bersamaan dari suatu mesin sehingga daya sesaatnya dapat dihitung. Spesifikasi dynamometer adalah *Dynojet* dengan model 250i. *Dynojet* dilengkapi dengan sebuah *Tachometer* untuk mengukur putaran mesin seperti dapat dilihat pada Gambar 3.
- c. Gelas ukur dan Stopwatch digunakan untuk menentukan banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi mesin uji dalam satuan milimeter/detik. Gambar 4 memperlihatkan gelas ukur yang digunakan pada pengujian ini.
- d. Spesifikasi bahan bakar RON 90, RON 92, dan minyak plastik yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Table 2.



Gambar 2. Chassis Dyno Test



Gambar 3. Tachometer



Gambar 4. Gelas Ukur

Tabel. 1. Spesifikasi teknis motor uji yang digunakan.

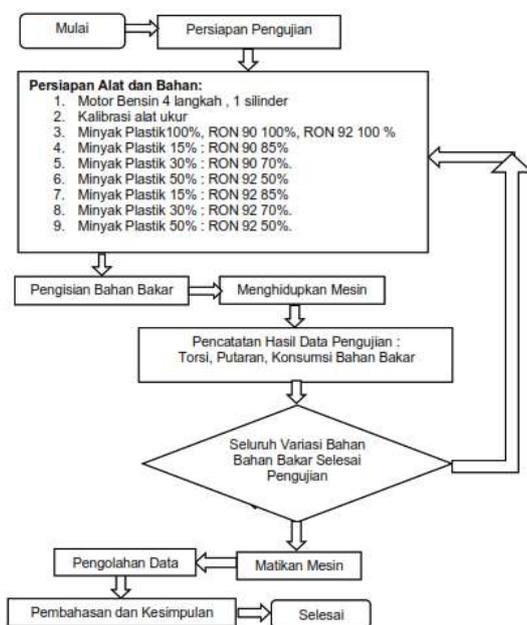
No	Parameter	Keterangan
1	Tipe Mesin	4-langkah SOHC, 2 katup
2	Perbandingan Kompresi	8,8:1
3	Sistem Pendinginan	Udara (kipas)
4	Volume silinder	113,7 cc
5	Diameter	50 mm
6	Langkah	57,9 mm
7	Jumlah silinder	1

Tabel 2. Karakteristik bahan bakar RON 90, RON 92 dan Minyak Plastik. (BPPT, 2020; Kementerian ESDM, 2017).

No	Parameter	Satuan	RON 92	RON 90	MIPLAS
1	Nilai Kalor	kal/g	10.533	10.533	11.074
2	Densitas (15 °C)	kg/m ³	715-770	715-770	764,1

2.2. Metode

Diagram alir pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4. Pengujian dilakukan dalam beberapa tahap. Tahap pertama dilakukan pengujian dengan menggunakan bahan bakar sebagai pembanding yaitu 100% minyak plastik, 100% RON 90 dan 100% RON 92. Tahap selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan variasi campuran bahan bakar antara MIPLAS dengan RON 90 serta campuran antara MIPLAS dengan RON 92. Variasi campuran dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir proses penelitian

a. Persiapan Pengujian

Setelah peralatan dan bahan uji telah siap, serta motor uji telah terpasang pada *dynamometer*, maka dilakukan pengecekan pada kondisi pemasangan motor dan pengecekan sensor-sensor ukur yang terhubung pada *dynamometer*.

b. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan mempunyai tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Kondisi dan tekanan ban kendaraan yang di uji harus sesuai dengan standard pabrik.
2. Sebelum melakukan pengujian oli dan pelumas pada kendaraan diganti terlebih dahulu.
3. Mempersiapkan *dynotest* dan melakukan *set up* agar tidak terjadi kesalahan dalam pengambilan data.

4. Mempersiapkan bahan uji dari Peralite, Pertamina dan minyak plastik dan campuran antara pertamax dan minyak plastik, Peralite dan minyak plastik.
5. Mesin kendaraan dihidupkan terlebih dahulu selama 10 menit agar mesin bekerja pada temperatur normal.
6. Setelah kendaraan dan mesin *dynotest* siap, kendaraan dinaikan diatas alat pengujian *dynotest*.
7. Roda kendaraan dikondisikan tepat diatas roller *dynotest*
8. Kabel pencatat putaran mesin dihubungkan ke kabel busi pada kendaraan.
9. Bahan bakar dimasukan yang mau dilakukan pengujian secara teratur.
10. Pengujian konsumsi bahan bakar dilakukan dengan *test drive* pada putaran konstan yaitu 3.000 rpm, 4.000 rpm, 5.000 rpm, 6.000 rpm dan 7.000 rpm. Pengujian dilakukan dengan konsumsi bahan bakar sebanyak 20 ml dan dicatat waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar tersebut.

c. Akhir Pengujian

Mematikan serta melepas alat yang terpasang pada motor uji serta menurunkan motor uji dari mesin *dynamometer*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik minyak plastik.

Karakteristik minyak plastik yang digunakan pada penelitian ini telah dilakukan uji laboratorium pada penelitian sebelumnya seperti dapat dilihat pada Tabel 3 (Rio *et al.*, 2020; BPPT, 2020). Minyak plastik dengan bahan baku LDPE mempunyai nilai kalor 11.074 kal/g dan densitas (15 °C) adalah 764,1 kg/m³ (Rio *et al.*, 2020; BPPT, 2020). Minyak plastik dengan bahan baku PET mempunyai nilai kalor adalah 10.230 cal/g dan densitas (15 °C) adalah 794,9 kg/m³ (Rio *et al.*, 2020; BPPT, 2020).

Tabel 3. Karakteristik minyak plastik hasil uji laboratorium (Rio *et al.*, 2020; BPPT, 2020).

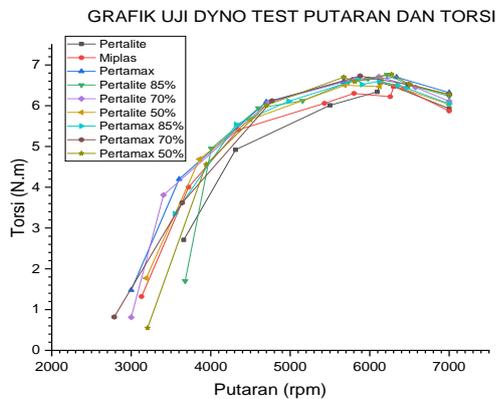
No	Parameter	Satuan	Nilai	Nilai
			Bahan baku LDPE	Bahan baku PET
1	Nilai Kalor	kal/gr	11.074	10.230
2	Densitas (15 °C)	kg/m ³	764,1	794,9

3.2. Parameter kinerja Motor Uji.

3.2.1. Torsi Mesin

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara torsi mesin dan putaran mesin untuk berbagai bahan bakar dan campuran bahan bakar. Pengujian mesin dengan menggunakan bahan bakar RON 90, torsi mesin meningkat dengan naiknya putaran mesin dari 3.660 rpm menjadi 6.135 rpm sampai mencapai nilai maksimum 6,57 Nm pada putaran 6.135 rpm dan kemudian torsi menurun dengan dipercepatnya putaran mesin secara bertahap ke 7.000 rpm ini terjadi karena penambahan kerugian mekanis.

Dengan menggunakan minyak plastik (MIPLAS) sebagai bahan bakar mesin, torsi mesin meningkat dengan turunnya putaran mesin. Pada putaran 3.130 rpm torsi yang dihasilkan meningkat menjadi 6,47 Nm pada putaran 6.302 rpm, kemudian torsi secara bertahap menurun dengan dipercepatnya putaran mesin secara bertahap ke 7.000 rpm menjadi 5,87 Nm.



Gambar 6. Variasi torsi terhadap putaran

Pencampuran bahan bakar RON 90, RON 92 dengan MIPLAS mempengaruhi torsi mesin. Campuran 50% MIPLAS dan 50% RON 92 mempunyai torsi tertinggi yaitu 6,77 Nm pada putaran 6.273 rpm. Yang kedua campuran 15% MIPLAS dan 85% RON 90, torsi mesin yang dihasilkan 6,76 Nm pada putaran 6.219 rpm. Sebenarnya torsi mesin dari semua perpaduan MIPLAS dengan RON 90 dan RON 92 dapat bersaing dengan RON 90 maupun RON 92 karena

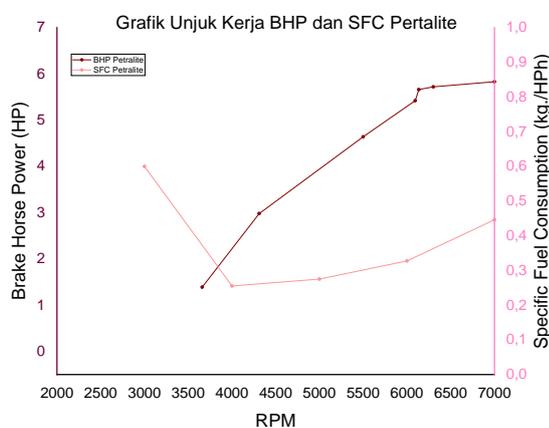
tidak ada perbedaan nilai yang signifikan di antara mereka. Torsi mesin maksimum dari RON 90 murni dan RON 92 murni masing-masing adalah 6,57 Nm pada putaran 6135 rpm dan 6,7 Nm pada putaran 6.337 rpm. Torsi maksimum untuk campuran 30% MIPLAS dan 70% RON 90 adalah 6,71 Nm pada putaran 6.115 rpm sedangkan torsi maksimum untuk campuran 50% MIPLAS dan 50% RON 90 adalah 6,6 Nm pada putaran 6.145 rpm.

3.2.2. Daya Efektif (Brake Power)

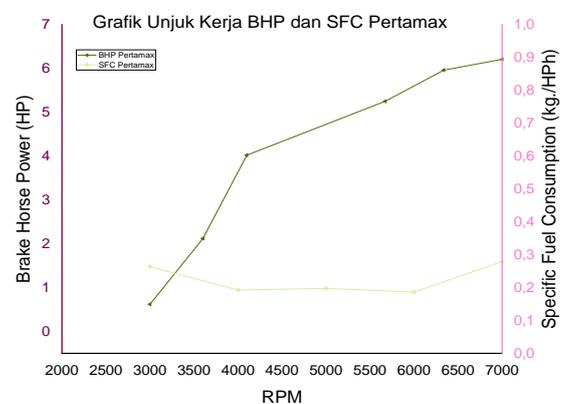
Daya efektif (*Brake Power*) dapat didefinisikan sebagai tenaga yang tersedia di poros engkol motor bensin (*Gasoline Engine*). *Brake Power* diukur pada poros dengan menggunakan alat *dynamometer*. Tabel 4, Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9 memperlihatkan kurva antara BHP (*Brake Horse Power*) dan SFC terhadap putaran masing-masing untuk pengujian dengan menggunakan bahan bakar RON 90, RON 92 dan MIPLAS. Untuk bahan bakar murni BHP tertinggi adalah 6,22 HP untuk bahan bakar RON 92 diikuti 5,83 HP untuk bahan bakar RON 90 dan 5,77 HP untuk bahan bakar MIPLAS. Nilai panas bahan bakar, laju aliran konsumsi bahan bakar dan efisiensi pembakaran merupakan faktor yang mempengaruhi besarnya daya efektif yang dihasilkan, di mana merupakan hasil kali dari nilai panas bahan bakar dengan laju konsumsi bahan bakar dan efisiensi pembakaran (Gufta, 2013; Stone, 2012). Nilai SFC terendah untuk bahan bakar murni adalah 0,19 kg/HPH untuk RON 92 pada putaran 4.000 rpm, 0,2545 kg/HPH untuk RON 90 pada putaran 4.000 rpm dan 0,2717 kg/HPH untuk MIPLAS pada putaran 4.000 rpm.

Tabel 4. Hasil uji *test drive* bahan bakar RON 90, RON 92 dan MIPLAS

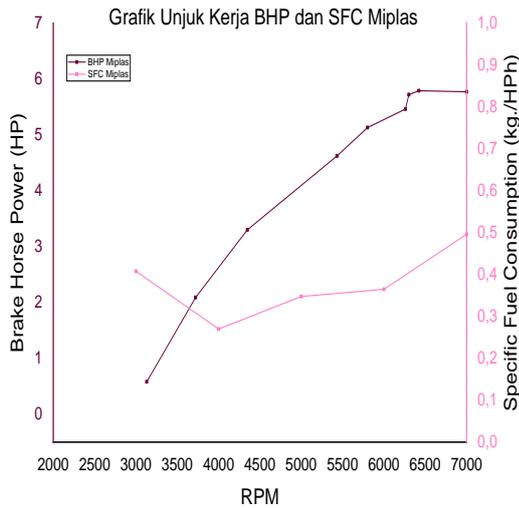
Putaran (Rpm)	RON 90			RON 92			Minyak Plastik (MIPLAS)		
	mf (kg/hr)	Pb (HP)	SFC (kg/HPH)	mf (kg/hr)	Pb (HP)	SFC (kg/HPH)	mf (kg/hr)	Pb (HP)	SFC (kg/HPH)
3.000	0,49	0,81	0,6049	0,48	1,83	0,2623	0,64	1,56	0,4103
4.000	0,57	2,24	0,2545	0,53	2,76	0,1920	0,72	2,65	0,2717
5.000	1,12	4,07	0,2752	0,84	4,25	0,1976	1,43	4,12	0,3471
6.000	1,72	5,24	0,3282	1,04	5,59	0,1860	1,91	5,23	0,3652
7.000	2,57	5,83	0,4408	1,74	6,22	0,2797	2,86	5,77	0,4957



Gambar 7. Brake Power dan Specific Fuel Consumption vs putaran untuk RON 90



Gambar 8. Brake Power dan Specific Fuel Consumption vs putaran untuk RON 92

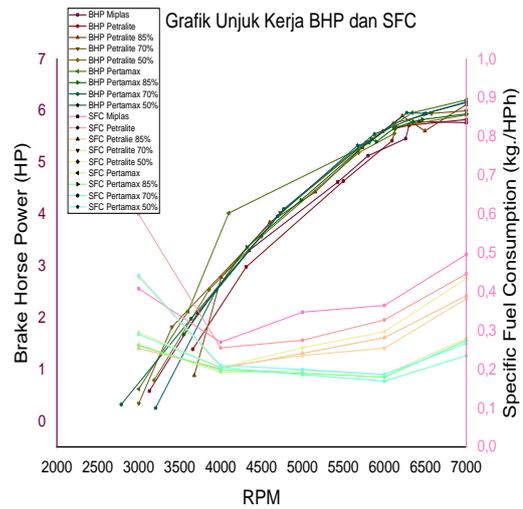


Gambar 9. Brake Power dan Specific Fuel Consumption vs putaran untuk minyak plastik

3.2.3. Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific Fuel Consumption (SFC) adalah jumlah pemakaian bahan bakar yang dikonsumsi oleh motor untuk menghasilkan daya 1 HP atau 1 kW selama 1 jam (Gufta, 2013; Stone, 2012). Untuk harga satuan bahan bakar yang sama, semakin rendah nilai SFC maka semakin rendah pula konsumsi bahan bakar yang digunakan sehingga semakin murah biaya bahan bakar untuk menghasilkan energi sebesar 1 kWh atau 1 HPh. Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa SFC terendah untuk bahan bakar murni adalah 0,19 kg/HPH untuk RON 92 pada putaran 5.000 rpm, 0,25 kg/HPH untuk RON 90 pada putaran 4.000 rpm dan 0,27 kg/HPH untuk MIPLAS pada putaran 4.000 rpm. Berdasarkan Tabel 5 dan Tabel 6 dapat dilihat hasil uji tes drive untuk berbagai campuran bahan bakar pada variasi putaran yang sama. BHP tertinggi adalah 6,15 HP untuk bahan bakar campuran 30% MIPLAS dan 70% RON 92 pada putaran 7.000 rpm. Nilai SFC terendah adalah 0,1793 kg/HPH pada putaran 6.000 rpm untuk bahan bakar campuran 30% MIPLAS dan 70% RON 92.

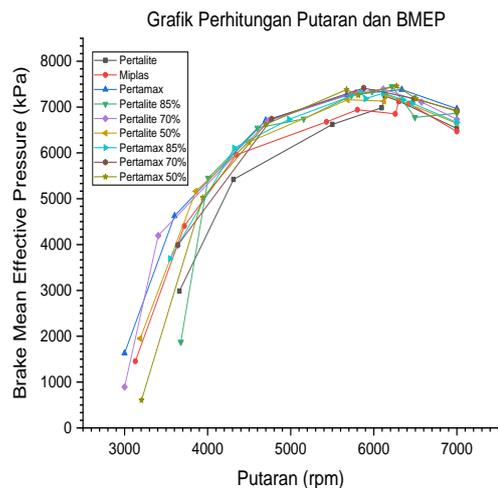
Gambar 10 memperlihatkan BHP dan SFC sebagai fungsi putaran yang diplot pada satu diagram. Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa untuk semua jenis bahan bakar SFC minimum tidak terjadi pada daya efektif (BHP) yang maksimum, ini berarti bahwa pada Internal Combustion Engine tidak pernah terjadi kondisi daya yang dihasilkan maksimum dengan konsumsi bahan bakar spesifik yang minimum dan begitu sebaliknya. Dapat disimpulkan bahwa desain dan operasi sebuah ICE merupakan trade-off antara daya maksimum yang dihasilkan dengan pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) yang minimum.



Gambar 10. Hasil uji BHP dan SFC terhadap putaran untuk berbagai macam bahan bakar.

3.2.4. Brake Mean Effective Pressure (BMEP)

Brake Mean Effective Pressure (BMEP) dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 yaitu daya poros yang dihasilkan dibagi dengan volume silinder persiklus (Gufta, 2013; Stone, 2012).



Gambar 11. Variasi BMEP terhadap putaran

Gambar 11 memperlihatkan variasi BMEP terhadap putaran untuk berbagai campuran bahan bakar. Nilai BMEP untuk RON 92 murni lebih tinggi dibandingkan dengan BMEP untuk RON 90 murni maupun MIPLAS murni. Nilai BMEP tertinggi untuk RON 92 murni adalah 7.381,76 kPa pada putaran 6.337 rpm, sedangkan BMEP untuk RON 90 murni dan MIPLAS murni masing-masing adalah 7.128,35 kPa pada putaran 6.302 rpm dan 7.128,35 kPa pada putaran 6.302 rpm. Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa BMEP tertinggi sebesar 7.458,87 kPa pada putaran 6.273 rpm terjadi pada campuran 50% RON 92 dan 50% MIPLAS, sedangkan BMEP terendah terjadi pada campuran 50% RON 90 dan 50% MIPLAS yaitu sebesar 7.271,59 kPa pada putaran 6.145 rpm.

Tabel 5. Hasil uji *test drive* campuran bahan bakar Pertalite dan MIPLAS

Putaran (Rpm)	15% MIPLAS dan 85% RON 90			30% MIPLAS dan 70% RON 90			50% MIPLAS dan 50% RON 90		
	mf (kg/hr)	P (HP)	SFC (kg/HPh)	mf (kg/hr)	P (HP)	SFC (kg/HPh)	mf (kg/hr)	P (HP)	SFC (kg/HPh)
3.000	0,48	1,88	0,2553	0,48	1,09	0,4404	0,49	1,64	0,2988
4.000	0,56	2,77	0,2022	0,56	2,71	0,2066	0,57	2,8	0,2036
5.000	1,05	4,35	0,2414	0,99	4,2	0,2357	1,07	4,19	0,2554
6.000	1,56	5,54	0,2816	1,43	5,62	0,2544	1,61	5,42	0,2970
7.000	2,34	6,00	0,3900	2,34	6,13	0,3817	2,57	5,93	0,4334

Tabel 6. Hasil uji *test drive* campuran bahan bakar Pertamina dan MIPLAS

Putaran (Rpm)	15% MIPLAS dan 85% RON 92			30% MIPLAS dan 70% RON 92			50% MIPLAS dan 50% RON 92		
	mf (kg/hr)	P (HP)	SFC (kg/HPh)	mf (kg/hr)	P (HP)	SFC (kg/HPh)	mf (kg/hr)	P (HP)	SFC (kg/HPh)
3.000	0,48	1,85	0,2595	0,46	1,6	0,2875	0,48	1,09	0,4404
4.000	0,53	2,68	0,1978	0,51	2,5	0,2040	0,54	2,58	0,2093
5.000	0,81	4,29	0,1888	0,8	4,3	0,1860	0,87	4,34	0,2005
6.000	1,00	5,56	0,1799	0,95	5,58	0,1703	1,04	5,58	0,1864
7.000	1,63	5,94	0,2744	1,45	6,15	0,2358	1,63	6,11	0,2668

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan, dalam kinerja motor bakar bensin empat langkah silinder tunggal menggunakan bahan bakar RON 90, RON 92 dan MIPLAS dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Bahan bakar campuran 70% RON 92 dan 30% MIPLAS memiliki daya efektif terbesar yaitu 6,15 HP pada putaran 7.000 rpm dengan torsi 6,28 Nm, dan BMEP 6.919,02 kPa. Untuk bahan bakar campuran 50% RON92 dan 50% MIPLAS menghasilkan torsi terbesar 6,77 Nm pada putaran 6.273, daya 5,96 HP dan BMEP 7.458,87 kPa.
- b. Campuran 30% MIPLAS dan 70 RON 92 merupakan bahan bakar yang paling efisien karena mempunyai SFC terendah yaitu 0,1703 kg/HPh pada putaran 6000 rpm diikuti oleh campuran 15% MIPLAS dan 85% RON 92 dengan SFC terendah yaitu 0,1799 kg/HPh pada putaran 6.000 rpm dan 100% RON 92 dengan SFC terendah yaitu 0,1860 kg/HPh pada putaran 6.000 rpm.
- c. Untuk semua jenis bahan bakar murni maupun campuran bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yang minimum tidak terjadi pada daya efektif (BP) yang maksimum, ini berarti bahwa pada *Internal Combustion Engine* tidak pernah terjadi kondisi daya yang dihasilkan maksimum dengan konsumsi bahan bakar spesifik yang minimum atau begitu sebaliknya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain dan operasi sebuah *Internal Combustion Engine* merupakan *trade-off* antara daya efektif (BP) maksimum yang dihasilkan dengan pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) yang minimum.

PERSANTUNAN

Penulis menyampaikan terima kasih kepada LPPM Universitas Islam Assyafiyah atas dukungan pembiayaan penelitian ini melalui Program Hibah Reguler.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, N. A., Novianti, A., Hakim, I. I., Putra, N., & Koestoer, R. A. (2018). Influence of temperature on conversion of plastics waste (polystyrene) to liquid oil using pyrolysis process. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 105, No. 1, p. 012033). IOP Publishing.

Antelava, A., Damilos, S., Hafeez, S., Manos, G., Al-Salem, S. M., Sharma, B. K., & Constantinou, A. (2019). Plastic Solid Waste (PSW) in the context of Life Cycle Assessment (LCA) and sustainable management. *Environmental management*, 64(2), 230-244.

Badan Pusat Statistik. (2018). *Statistik Lingkungan Hidup 2018. Pengelolaan Sampah di Indonesia*.

Balai Teknologi Bahan Bakar dan Rekayasa Desain – BPPT. (2020). Laporan hasil uji laboratorium minyak plastik No 350/F.03/LBBC/BTBRD/BPPT/10/2020 dan No 021/F.03/LBBC/BTBRD/BPPT/10/2020.

Balai Teknologi Bahan Bakar dan Rekayasa Desain – BPPT. (2020). Laporan hasil uji laboratorium minyak plastik No 351/F.03/LBBC/BTBRD/BPPT/10/2020 dan No 020/F.03/LBBC/BTBRD/BPPT/10/2020.

Fahim, I., Mohsen, O., & ElKayaly, D. (2021). Production of fuel from plastic waste: a feasible business. *Polymers*, 13(6), 915.

Gupta, H. N. (2013). *Fundamentals of internal combustion engines*. PHI Learning Pvt. Ltd..

Juliya, A.R., Agus, R.S., & Ari, S.S. (2021). Plastic Waste Processing Using Pyrolysis Method into Fuel Oil, *Jurnal Chemurgy*, Vol. 05, No.1, 8-14.

Karuniastuti, N. (2013). Bahaya plastik terhadap kesehatan dan lingkungan. *Swara Patra*, 3(1).

Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral- Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, SK Nomor 486.K/10/DJM.S/2017 tentang standar dan mutu

- (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis bensin 90 yang dipasarkan di dalam negeri.
- Kreith, F. (2017). Energy conversion. CRC Press.
- Low, S. L., Connor, M. A., & Covey, G. I. (2001). Turning mixed plastic wastes into a useable liquid fuel. In 6th World Congress of Chemical Engineering.: Australia.
- Nugroho, A. S., Rahmad, Chamim, M., & Hidayah, F. N. (2018). Plastic waste as an alternative energy. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1977, No. 1, p. 060010). AIP Publishing LLC.
- Pertamina, Spesifikasi Produk BBM, BBN & LPG, Supply & Distribution Management
- Ramadhan, A., & Ali, M. (2011). Pengolahan sampah plastik menjadi minyak menggunakan proses pirolisis. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol. 4 No. 1 44-53.
- Saputra, R. B., Aziz, A., Anwar, S., & Hidayath, N. (2020). Rancang bangun dan pengujian alat pengubah sampah plastik menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM). *Baut dan Manufaktur*, 2(02), 57-65.
- Sharuddin, S.D.A., Abnisa, F., Daud, W.M.A.W., & Aroua M.K. (2018). Pyrolysis of plastic waste for liquid fuel production as prospective energy resource, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 334- 012001
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). (2021). Capaian Pengelolaan Sampah tahun 2021. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah dan B3 Direktorat Pengelolaan Sampah.
- Stelmachowski, M. (2017). Feedstock recycling of plastics waste for electricity or fuel: An *exergy* approach. *International Journal of Materials Science and Applications*, 6(5), 250.
- Sumarni, S., & Purwanti, A. (2008). Kinetika reaksi pirolisis plastik Low Density Polyethylene (LDPE). *Jurnal Teknologi*, 1(2), 135-140.