

## Kaji Eksperimental Perbandingan Performa *Engine* 4 Langkah Menggunakan Bahan Bakar Hasil Pirolisis Sampah Plastik dan Premium

Marfizal<sup>1)\*</sup>, Sufiyanto<sup>2)</sup>, Adriyan<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi  
Jalan Patimura No 100 Kel. Rawasari, Kec. Alambarajo Kota Jambi 36125  
Email: [marfizal65@gmail.com](mailto:marfizal65@gmail.com), [sufiyanto07@gmail.com](mailto:sufiyanto07@gmail.com), [adriyan0686@gmail.com](mailto:adriyan0686@gmail.com)

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2020.v06.i02.p01>

### Abstrak

Penelitian yang dilakukan dalam tulisan ini terkait pengujian performa *engine* 4 langkah menggunakan bahan bakar hasil pirolisis sampah plastik (BBHPSP) dan dibandingkan dengan bahan bakar standar, yaitu premium. Pengujian dilakukan dengan menggunakan parameter tetap berupa volume bahan bakar (20 cc) dan kecepatan *engine* pada 4500 rpm yang dijaga konstan. Untuk memetakan performa *engine* 4 langkah menggunakan kedua jenis bahan bakar divariasikan besar pembebanan di poros keluaran *engine*. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan diperoleh temperatur ruang bakar dan temperatur gas buang di *exhaust manifold* menggunakan termokopel. Hasil ini digunakan untuk menghitung performa *engine* 4 langkah yang menunjukkan bahwa performa *engine* 4 langkah dengan BBHPSP masih berada di bawah performa *engine* dengan premium. Pada penelitian ini diketahui bahwa kerja keluaran, *indicated horse power* (IHP), dan efisiensi termal *engine* dengan BBHPSP lebih rendah masing-masingnya dalam rentang 8,0 – 11,7%; 20,8 – 32,1%; dan 9,6 – 17,7% terhadap nilai premium. Akan tetapi, konsumsi bahan bakar spesifiknya lebih tinggi dibandingkan dengan premium yaitu sebesar 32,4 – 53,1%. Selanjutnya, hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik dengan kerja keluaran, IHP, dan efisiensi termal memenuhi fungsi kudratik. Secara umum dapat disimpulkan bahwa BBHPSP dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif dengan perlunya proses perlakuan setelah pirolisis selesai dilakukan atau penambahan katalis dalam proses.

**Kata kunci:** bahan bakar hasil pirolisis sampah plastik (BBHPSP); premium; performa *engine*; kaji ekperimental

### Abstract

*This research was conducted to determine performance measurement of a four-stroke engine using fuel from pyrolysis process of plastic waste (BBHPSP) and gasoline as a standard fuel. The measurements were performed by keeping the fuel volume and engine rotation at constant value at 20 cc and 4500 rpm, respectively. To map the performance of four-stroke engine, it can be achieved by varying the magnitude of load at the output shaft. Temperature was also measured using thermocouple at combustion chamber and exhaust manifold. These measurements were applied to determine the performance of four-stroke engine. It gave the value of four-stroke engine using BBHPSP was lower than the use of gasoline. These values were 8,0 – 11,7% for output work, 20,8 – 32,1% for indicated horse power (IHP), and 9,6 – 17,7% for thermal efficiency comparing to the use of gasoline. Meanwhile, the specific fuel consumption of BBHPSP was greater than gasoline about 32,4 – 53,1%. Afterwards, the relation of specific fuel consumption with output works, IHP and thermal efficiency fulfilled the quadratic functions. To conclude, BBHPSP can be used as an alternative fuel for the four-stroke engine by considering a post-treatment or adding a catalyst when producing BBHPSP using pyrolysis process.*

**Keywords:** *fuel from pyrolysis process of plastic waste (BBHPSP); gasoline; engine performance; experimental study*

## 1. PENDAHULUAN

Energi merupakan sektor strategis dan memiliki peran penting dalam pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan dalam aspek sosio-ekonomi dan lingkungan secara nasional [1]. Peran energi dalam perekonomian dapat ditinjau dari dua sisi, yaitu sisi permintaan dan penawaran. Dari sisi permintaan, energi merupakan hal utama yang digunakan oleh konsumen dalam memaksimalkan utilitasnya. Pada periode 2000-2014, konsumsi bahan bakar minyak (BBM) Indonesia mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Peningkatan konsumsi BBM tidak diiringi dengan peningkatan produksi minyak mentah domestik. Penurunan produksi minyak mentah berpengaruh terhadap penyediaan BBM domestik untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Masalah utama yang masih dihadapi adalah ketergantungan terhadap impor minyak mentah[2].

Untuk mengurangi ketergantungan terhadap BBM perlu upaya peningkatan pemanfaatan energi lain, di antaranya dengan penggunaan bahan bakar gas (BBG), penggunaan *biofuel*, dan bahan bakar alternatif lainnya[3]. Bahan bakar alternatif yang dimaksud dapat bersumber dari sampah plastik tidak termanfaatkan. Sampah plastik yang tidak termanfaatkan ini di konversikan menjadi bahan bakar cair melalui proses pirolisis. Beberapa penelitian terkait konversi sampah plastik menjadi produk bahan bakar cair telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang cukup prospektif untuk dikembangkan[4].

Alzar telah mengungkapkan dalam penelitiannya bahwa nilai kalor bahan bakar hasil pirolisis sampah plastik yaitu kemasan bekas mie instan yang berjenis plastik *polypropylene* (PP) di atas nilai kalor premium [5]. Nilai kalor ( $Q_{HV}$ ) bahan bakar hasil pirolisis sampah plastik ini adalah sebesar 46,199 kJ/kg (= 11043,442 cal/gr), sementara nilai kalor premium adalah 44,516 kJ/kg (= 10632,464 cal/gr). Untuk selanjutnya bahan bakar hasil pirolisis sampah plastik ini disingkat dengan BBHPSP.

Dengan mengacu pada nilai kalor bahan bakar hasil pirolisis sampah plastik yang lebih tinggi dibandingkan premium, penulis tertarik untuk menggunakannya sebagai bahan bakar alternatif pada kendaraan bermotor. Agar bahan bakar hasil pirolisis sampah plastik dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif perlu dilakukan kajian eksperimental untuk mengetahui performa suatu *engine* kendaraan bermotor. Untuk itu, penelitian ini dilakukan dalam rangka pengujian performa *engine* kendaraan bermotor menggunakan bahan bakar alternatif ini dan kemudian dibandingkan dengan bahan bakar yang umum digunakan yaitu bahan bakar jenis premium. Performa *engine* yang akan diukur dalam pengujian di penelitian ini berupa torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik, dan efisiensi thermal efektif.

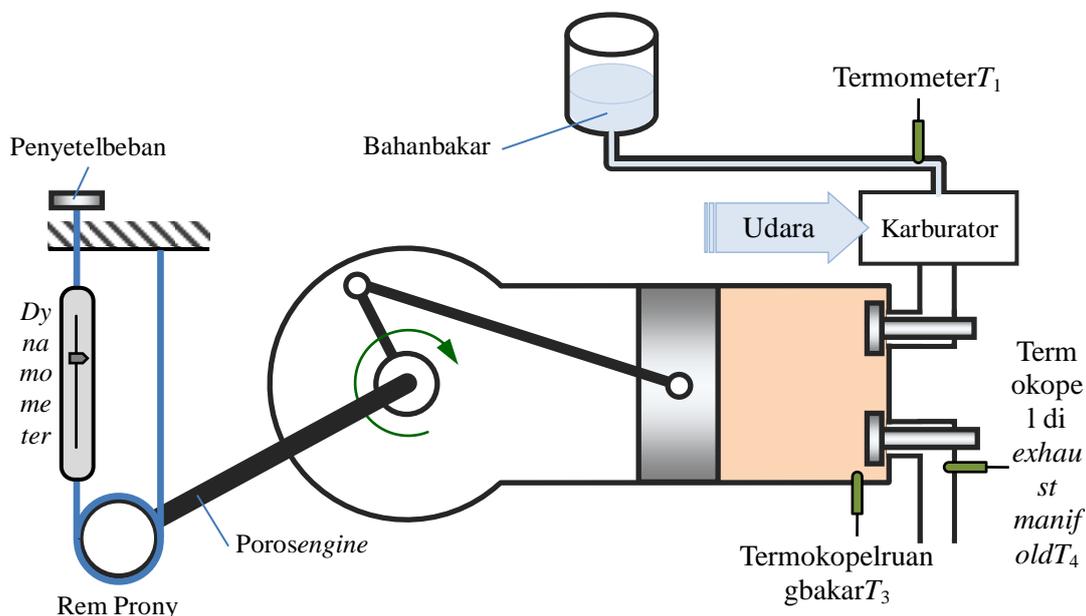
## 2. METODE

Kaji eksperimental untuk menentukan performa *engine* 4 langkah menggunakan bahan bakar hasil pirolisis sampah plastik jenis *polypropylene* ( $\rho_{PP} = 740 \text{ kg/m}^3$ ) dilakukan dengan menggunakan *engine* sepeda motor sebagai *test bench*. Pengukuran performa *engine* 4 langkah menggunakan bahan bakar standar jenis premium ( $\rho_{premium} = 680 \text{ kg/m}^3$ ) juga dilakukan. Hal ini ditujukan agar dapat diketahui komparasi performa *engine* 4 langkah jika sumber tenaganya dari bahan bakar hasil pirolisis. *Test bench* yang digunakan berupa satu kesatuan sepeda motor sehingga kinerja sepeda motor itu sendiri dengan menggunakan kedua jenis bahan bakar dapat ditentukan. Spesifikasi dari sepeda motor untuk *test engine* ini diberikan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi sepeda motor untuk pengujian performansi BBHPSP dan premium [6], [7].

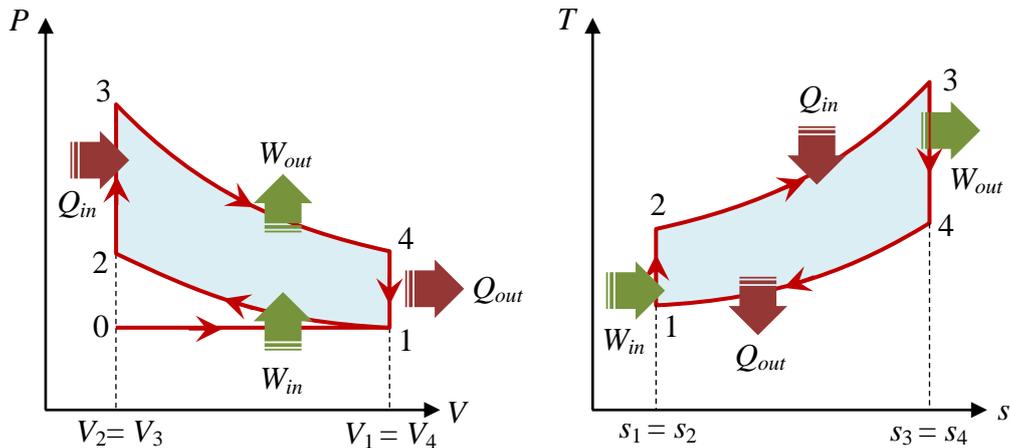
Item	Nilai
Tipe	Mesin OHC, 4 langkah, pendinginan udara
Susunan silinder	Satu silinder, kemiringan 80° dari vertikal
Diameter ( $D$ ) × langkah ( $L$ )	50 mm × 49,5 mm
Volume silinder ( $V_d$ )	97,1 cc
Rasio kompresi ( $r$ )	8,8:1
Daya maksimum	7,5 hp pada 8000 rpm (JIS)
Torsi maksimum	0.77kg m pada putaran 6000 rpm
Kecepatan stasioner	1400 ± 100 rpm
Karburator	Tipe venturi
Busi	Denso U22FS-U
Sistem Pengapian	AC – DC

Untuk pengujian performa *engine* 4 langkah ini ditetapkan parameter tetap berupa volume bahan bakar yang digunakan dan putaran *engine*. Volume bahan bakar digunakan sebesar 20 ml (= 20 cc) dengan besar putaran *engine* dijaga konstan pada  $N = 4500$  rpm. Sementara itu, untuk pengukuran torsi yang akan digunakan dalam penentuan daya *engine* digunakan variasi beban dari 1 kgf – 5 kgf dengan interval tiap 1 kgf. Seiring dengan pemberian beban, maka lama waktu yang dibutuhkan oleh bahan bakar sebesar 20 cc untuk habis juga dicatat. Selanjutnya, pengujian dalam penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada konfigurasi *test bench* atau perangkat pengujian beserta alat ukur yang digunakan, seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Skema pengujian performansi *engine* sepeda motor 4 langkah menggunakan bahan bakar hasil pirolisis sampah plastik dan premium.

Penentuan performansi *engine* 4 langkah untuk penggunaan dua jenis bahan bakar yang diuji dalam penelitian ini mengacu pada siklus Otto seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 2. Melalui penggunaan siklus Otto ini terutama diagram  $P$ - $V$  akan ditinjau untuk setiap proses mulai dari langkah hisap (0 – 1), langkah kompresi isentropik (1 – 2), penambahan panas adiabatik ke dalam sistem (2 – 3), langkah ekspansi isentropik (3 – 4), dan langkah buang isokhorik (4 – 1)[8-11].



Gambar 2. Diagram  $P$ - $V$  dan  $T$ - $s$  siklus Otto [8].

Proses 0 – 1 merupakan langkah hisap pada tekanan konstan (*isobaric*). Volume pada titik 1 di diagram  $P$ - $V$  merupakan volume campuran udara dan bahan bakar yang berada dalam silinder *engine*. Besar volume ini adalah

$$V_1 = V_d + V_c = V_d \left( \frac{r}{r-1} \right), \quad (1)$$

dengan  $V_d$  adalah volume silinder yang ditentukan dari dimensi ruang silinder dan panjang langkah, dan  $r$  adalah rasio kompresi dari *engine* yang digunakan berdasarkan spesifikasi yang diberikan dalam Tabel 1. Massa bahan bakar ( $m_f$ ) yang digunakan dapat dihitung secara matematis melalui

$$m_f = m_m/16, \quad (2)$$

dengan

$$m_m = \frac{P_1 V_1}{RT_1}, \quad (3)$$

dan  $R$  adalah konstanta gas ideal yaitu sebesar 0,287 kJ/kg-°K.

Selanjutnya, proses 1 – 2 sebagai proses kompresi isentropik mengakibatkan tekanan dalam silinder naik dari tekanan  $P_1$  ke tekanan  $P_2$ . Dengan naiknya tekanan ke  $P_2$  mengakibatkan suhu dalam silinder juga meningkat dari  $T_1$  menjadi  $T_2$ . Volume pada titik 2 dalam diagram  $P$ - $V$  dapat ditentukan melalui

$$V_2 = \frac{m_m R T_2}{P_2}, \quad (4)$$

dengan  $T_2 = T_1 r^{k-1}$ , dan  $P_2 = P_1 r^k$ , serta  $k$  merupakan rasio panas spesifik. Dengan demikian, kerja masuk pada proses 1 – 2 ini dapat dihitung melalui

$$W_{in} = \frac{m_m R (T_2 - T_1)}{1 - k}. \quad (5)$$

Proses 2 – 3 merupakan penambahan kalor pada volume konstan dengan terjadinya kenaikan temperatur pada titik 3 ( $T_3$ ). Temperatur  $T_3$  ini dapat dihitung secara matematis sebagai

$$T_3 = T_2 + \frac{Q_{in}}{m_m C_V}, \quad (6)$$

dengan  $Q_{in} = m_f Q_{HV} \eta_c$ ,  $Q_{HV}$  adalah nilai kalor bahan bakar,  $C_V$  merupakan kapasitas panas sebesar 0,718 kJ/kg-°K,  $V_3 = V_2$ , dan  $P_3 = P_2 (T_3/T_2)$ .

Proses 3 – 4 merupakan proses ekspansi isentropik dengan dihasilkannya kerja oleh sistem dan temperatur turun menjadi  $T_4$ . Besar kerja yang dihasilkan dapat ditentukan melalui

$$W_{out} = \frac{m_m R (T_4 - T_3)}{1 - k}, \quad (7)$$

dengan  $T_4 = T_3/r^{k-1}$ ,  $P_4 = P_3/r^k$ , dan  $V_4 = V_1$ .

Kemudian, proses 4 – 1 sebagai proses pembuangan panas pada volume konstan. Panas yang dibuang dalam proses ini dapat ditentukan dengan

$$Q_{out} = \frac{m_m C_V (T_1 - T_4)}{1 - k} \quad (8)$$

Dengan demikian, kerja netto dalam satu siklus dapat dihitung melalui

$$W_{nett} = W_{in} + W_{out} \quad (9)$$

Tekanan efektif rata-rata (*mean effective pressure*), daya kuda indikator (*indicated horse power*), dan daya keluaran poros *engine* atau dikenal dengan *brake horse power* dapat ditentukan masing-masingnya secara matematis, yaitu

$$MEP = W_{nett}/V_d \quad (10)$$

$$W_i = W_{nett} \frac{N}{n} \quad (11)$$

$$W_b = 2\pi NT, \quad (12)$$

dengan  $n$  merupakan jumlah putaran per siklus, untuk engine 4 langkah  $n = 2$ ,  $T$  adalah besarnya torsi yang dibangkitkan pada poros *engine*.

Berdasarkan, kondisi dari siklus Otto yang telah dijelaskan, konsumsi bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumptions* ( $\sigma$ ) dapat ditentukan melalui

$$\sigma = m_f/W_b \quad (13)$$

Akhirnya, efisiensi termal dan efisiensi mekanis masing-masingnya dapat dihitung dengan

$$\eta_t = \frac{W_{nett}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (14)$$

$$\eta_m = \frac{W_b}{W_i} \times 100\% \quad (15)$$

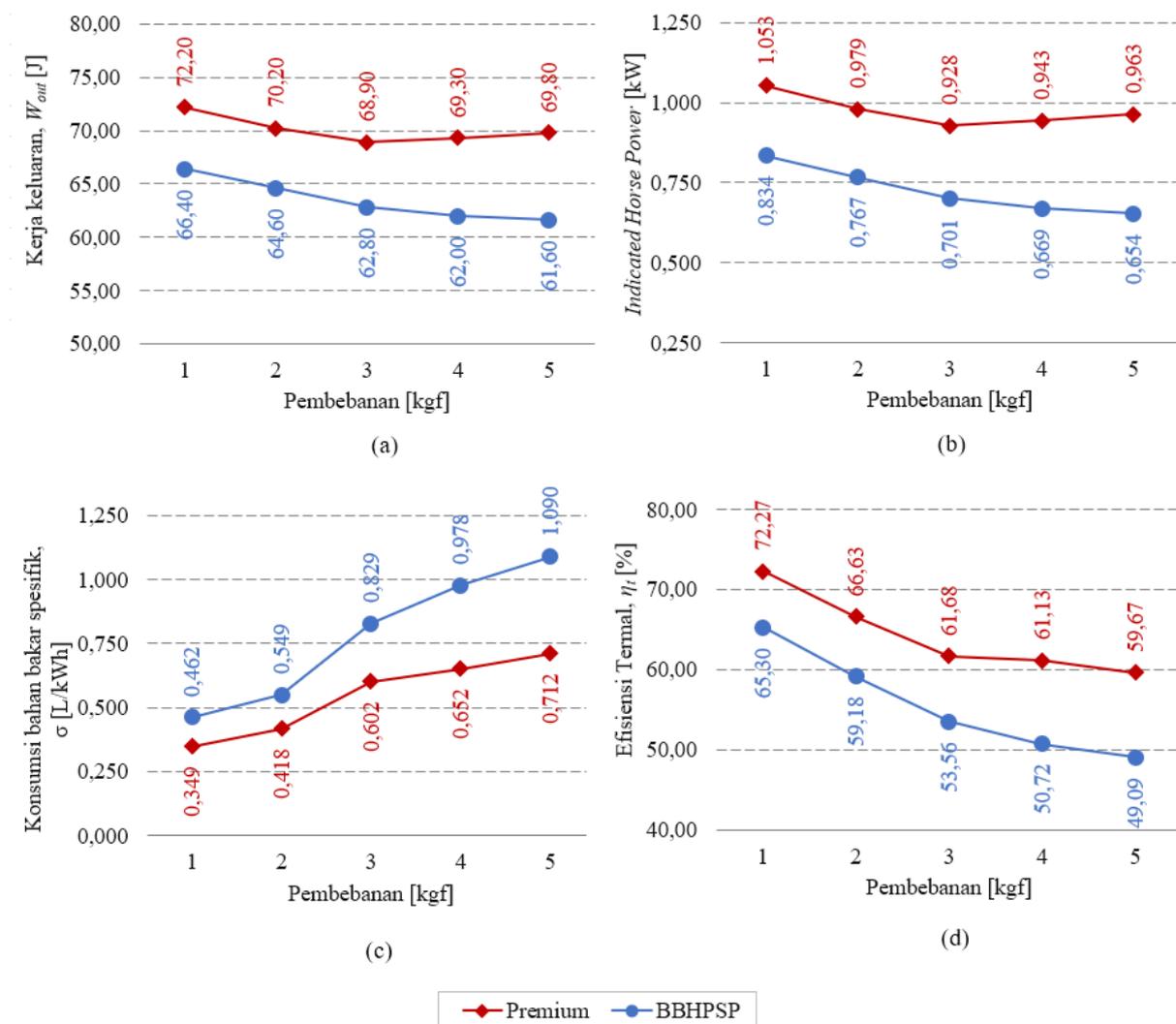
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan untuk ke dua jenis bahan bakar diperoleh hasil pengukuran seperti yang dinyatakan oleh Tabel 2. Pengujian dilakukan untuk variasi beban yang diberikan untuk pengukuran besar torsi pada poros *engine* untuk masing-masing bahan bakar yang digunakan. Temperatur diukur dengan menggunakan termokopel di ruang bakar ( $T_3$ ) dan di *exhaust manifold* ( $T_4$ ). Sementara itu, waktu berkurangnya penggunaan bahan bakar sebesar 20 cc juga diukur sebagaimana dinyatakan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran temperatur dan waktu dalam pengujian performa *engine* 4 langkah dengan BBHPSP dan premium.

Jenis Bahan Bakar	Beban yang diberikan [kgf]	Waktu [s]	Temperatur Ruang Bakar, $T_3$ [°C]	Temperatur <i>Exhaust Manifold</i> , $T_4$ [°C]
Hasil Pirolisis Sampah Plastik	5	101	795	205
	4	110	792	198
	3	124	789	187
	2	171	786	167
	1	187	781	145
Premium	5	105	867	198
	4	117	849	185
	3	129	839	179
	2	176	830	157
	1	196	827	135

Berdasarkan data pengujian yang telah diperoleh seperti yang diberikan dalam Tabel 2 dapat dihitung besarnya kerja keluaran ( $W_{out}$ ), *indicated horse power* (IHP), konsumsi bahan bakar spesifik (sfc), dan efisiensi termal dari penggunaan ke dua jenis bahan bakar, Gambar 3. Hasil perhitungan besaran daya keluaran ( $W_{out}$ ) *engine* 4 langkah menggunakan BBHPSP dan premium ditunjukkan oleh Gambar 3 (a). Dengan mengacu pada Gambar 3 (a) dapat diketahui bahwa daya keluaran *engine* 4 langkah menggunakan BBHPSP lebih rendah dibandingkan dengan daya keluaran *engine* 4 langkah dengan bahan bakar premium. Secara keseluruhan untuk setiap variasi pembebanan dapat diketahui bahwa BBHPSP memiliki daya keluaran 5,8 – 8,2 J lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai daya keluaran premium. Persentase perbedaan daya keluaran antara ke dua jenis bahan bakar ini cukup dekat yang dibuktikan dengan nilai sebesar 8,0 – 11,7% dengan nilai acuan bahan bakar premium.



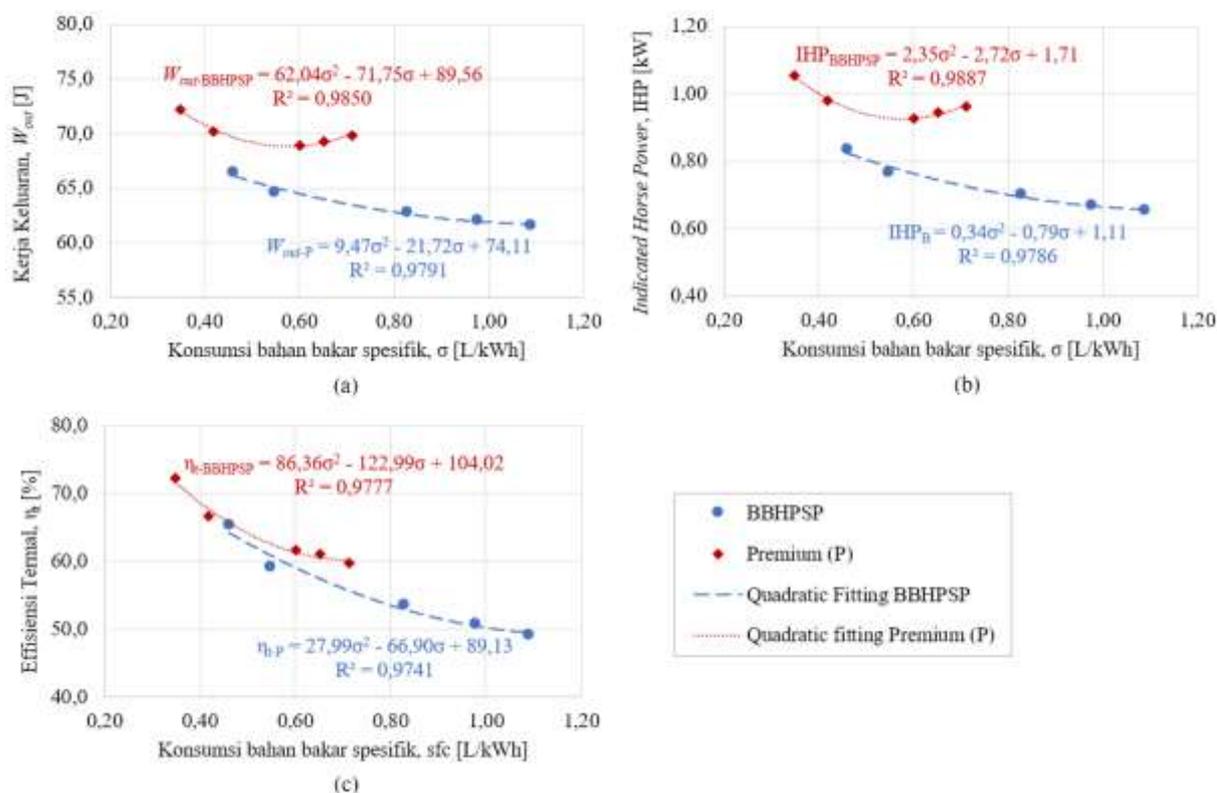
Gambar3. (a) Kerja keluaran (isentropik)  $W_{out}$ , (b) *indicated horse power* (IHP), (c) konsumsi bahan bakar spesifik ( $\sigma$ ), dan (d) efisiensi termal dari pengujian performa *engine* 4 langkah untuk penggunaan ke dua jenis bahan bakar.

Selanjutnya, IHP yang diukur sebagai salah satu besaran unjuk kerja *engine* 4 langkah menggunakan BBHPSP dan premium ditunjukkan oleh Gambar 3 (b). Sejalan dengan daya keluaran *engine*, IHP juga menunjukkan tren yang sama seperti yang dinyatakan oleh persamaan (11). Secara umum, IHP BBHPSP lebih rendah dibandingkan premium sebesar 0,219 – 0,309 kW atau sekitar 20,8 – 32,1% untuk variasi pembebanan dari 1 – 5 kgf.

Perbedaan IHP dari *engine* 4 langkah menggunakan BBHPSP cukup besar dibandingkan dengan *engine* 4 langkah berbahan bakar premium.

Sementara itu, hasil perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) dari ke dua jenis bahan bakar yang digunakan dalam pengujian ini ditunjukkan oleh Gambar 3 (c). Dengan mengacu pada grafik yang dinyatakan pada Gambar 3 (c) dapat dilihat bahwa penggunaan BBHPSP memiliki konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan bahan bakar acuan, yaitu premium. Untuk setiap variasi pembebanan perbedaan konsumsi bahan bakar spesifik untuk BBHPSP terhadap premium adalah sebesar 0,133 – 0,378 L/kWh atau sekitar 32,4 – 53,1%.

Kemudian, performa *engine* 4 langkah yang diukur adalah efisiensi termal *engine*-nya seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 3 (d). Dengan mengacu pada Gambar 3 (d) dapat diketahui bahwa efisiensi termal *engine* 4 langkah dengan bahan bakar premium lebih baik dibandingkan dengan efisiensi termal *engine* 4 langkah BBHPSP. Untuk setiap variasi pembebanan, efisiensi termal *engine* 4 langkah menggunakan BBHPSP ini lebih rendah dalam rentang nilai efisiensi sebesar 6,97 – 10,58% atau dalam persentase sebesar 9,6 – 17,7%.



Gambar 4. Konsumsi bahan bakar spesifik vs (a) kerja keluaran, (b) *indicated horse power*, dan (c) efisiensi termal pada pengujian performa *engine* 4 langkah menggunakan BBHPSP dan premium berikut dengan *quadratic fitting* data pengujian.

Selanjutnya dapat ditentukan hubungan atau karakteristik konsumsi bahan bakar spesifik dengan kerja keluaran, IHP, dan efisiensi termal *engine* 4 langkah dengan ke dua jenis bahan bakar yang digunakan, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Secara umum dapat diketahui bahwa konsumsi bahan bakar spesifik penggunaan BBHPSP dalam pengujian cukup lebar rentangnya jika dibandingkan dengan penggunaan premium. Di samping itu, hubungan konsumsi bahan bakar spesifik dengan kerja keluaran, IHP, dan efisiensi termal *engine* 4 langkah mendekati fungsi kuadrat. Hal ini dibuktikan melalui proses pencocokan kurva

(*curve fitting*) dari sebaran data pengujian untuk ke dua jenis bahan bakar yang digunakan.  $R^2$  adalah indikator yang digunakan dalam menilai cocoknya sebaran data dengan suatu fungsi matematis. Secara keseluruhan nilai  $R^2$ -nya di atas 0,97 yang hampir mendekati 1 sebagai sebaran data yang cocok dengan suatu fungsi.

Dengan mengacu pada kurva karakteristik pada Gambar 4 dapat diketahui bahwa performa *engine* 4 langkah yang ditawarkan oleh penggunaan BBHPSP dalam pengujian ini telah cukup memuaskan. Hasil pengujian performa yang tidak terlalu jauh berada di bawah performa *engine* dengan premium ini masih hasil murni dari proses pirolisis tanpa dilakukan *post-treatment* secara kimiawi untuk mereduksi senyawa-senyawa lainnya yang terkandung pada plastik asalnya. Ada hal yang dicatat selama pengujian performa *engine* 4 langkah ini yaitu ditemui residu plastik pada silinder *engine* setelah suhu silinder sama dengan suhu ruangan. Hal ini dapat membuat piston terikat oleh lelehan plastik yang membeku dalam silinder *engine*. Tentunya diharapkan setelah proses pirolisis ada *post-treatment* secara kimia ataupun atau penggunaan katalis dalam proses pirolisis agar minyak sampah plastik hasil pirolisis ini balik lagi ke senyawa hidrokarbon asal. Akhirnya, untuk proses pirolisis sederhana ini dalam menghasilkan minyak untuk BBHPSP sudah menunjukkan performa yang cukup baik digunakan sebagai bahan bakar *engine* 4 langkah.

Dari Hasil Uji Emisi gas buang dengan menggunakan alat uji Type ECOM J2KN PRO diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil pengukuran temperatur dan waktu dalam pengujian performa *engine* 4 langkah dengan BBHPSP dan Premium.

Jenis Bahan Bakar	T.Air (°C)	T.Gas (°C)	CO (mg/m <sup>3</sup> )	NO (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CH <sub>4</sub> (%)	C <sub>x</sub> H (ppm)	CO <sub>2</sub> -IR (%)	Eff (%)	Loses (%)	Dew point (°C)
BBHPSP	36,5	64,9	28375	64	0	98	375	3,74	338	3,9	96,2	3,8	30
Premium.	40,5	68,1	44500	13	6	27	764	3,59	1632	1,6	91,2	8,8	21

#### 4. KESIMPULAN

Telah dilakukan pengujian performa *engine* 4 langkah menggunakan BBHPSP dan kemudian dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar standar/umum digunakan, yaitu premium. Secara keseluruhan, penggunaan BBHPSP pada *engine* 4 langkah masih memiliki performa di bawah penggunaan premium. Hal ini diakibatkan, minyak pada BBHPSP ini belum dilakukan *post-treatment* dalam mereduksi senyawa kimia yang menjadi pengotor dalam bahan bakar itu sendiri. Diharapkan nantinya telah tersedia minyak BBHPSP ini yang telah dilakukan *post-treatment* secara kimia agar performa *engine* 4 langkah hampir mendekati premium melalui pengujian performa mesin kembali. Jika diperoleh tentunya BBHPSP ini dapat menyelesaikan dua masalah yaitu terkait penanganan sampah dan bahan bakar alternatif.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chontanawat, J., Hunt, L.C., & Pierse, R. "Causality between Energy Consumption and GDP", 2006.
- [2] KESDM. "Rencana Strategis Kementerian ESDM Tahun 2015–2019". Jakarta, 2015.
- [3] Ana Fitriyatus Sa'adah, "Peramalan Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia dengan Model Sistim Dinamik Prediction of Fuel Supply and Consumption in Indonesia with System Dynamics Model". 2017.
- [4] Mulyadi, E., "Termal Dekomposisi Sampah Plastik", Jurnal Rekayasa Perencanaan,

2004

- [5] Walzi Azhar. “Adsorpsi minyak sampah plastik polypropylene hasil konversi melalui thermal cracking menggunakan CaCo<sub>3</sub> dan karbon aktif”. Jambi. 2017.
- [6] Technical Service Division: “Sales Guide Supra X 125 PGM-FI” PT AHM, 2005
- [7] Honda Astra Motor, “Pedoman Reparasi”, Honda Training Center, Jakarta. 2012
- [8] Sugiarto, Bambang. ”Motor Pembakaran Dalam“. UI: Depok 2002
- [9] Arismunandar. “Penggerak Mula Motor Bakar Torak”. Bandung: ITB1980.
- [10] Cengel, Yunus A. “Thermodynamic”. Fifthh edition, E-book, 2005
- [11] Willard W, Pulkrabek. “Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine”. university of Winconsin: Platteville, 2004.