

Analisis Performa dan Karakteristik Emisi Gas Buang Motor Bensin dari Penggunaan Bahan Bakar Campuran *Plastic Oil-Pertalite*

Sunaryo^{a*}, Marwan Effendy^b, Eko Julianto^c

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik & Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an
Jl. Raya Kalibeber KM.03 Mojotengah, Wonosobo 56351 Indonesia

^bProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. Ahmad Yani, Tromol Pos I Pabelan, Surakarta 57012 Indonesia

^cProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Pontianak
Jl. Ahmad Yani 111, Kota Pontianak, 78124 Indonesia

*E-mail: sunaryo@unsiq.ac.id

Abstract

Plastic waste is a potential alternative energy source. The purpose of this study was to analyze the characteristics of plastic oil (plastic oil) and analyze thermal efficiency, specific fuel consumption and exhaust emissions of gasoline engines by using alternative fuels resulting from pyrolysis of plastic waste. Plastic oil (PO) is produced through the pyrolysis process using raw materials from Low-density Polyethylene (LDPE) plastic types and is mixed with pertalite gasoline with a volume ratio of 10% (PO10), 20% (PO20) and 30% (PO30). The characteristics of the plastic oil mixture are tested for their properties, while the performance and exhaust emissions testing are carried out with a dynamometer and engine gas analyzer on a single-cylinder gasoline motor. The results showed that the characteristics of plastic oil mixtures have properties that are identical to gasoline fuels. The motor performance test found that the maximum power and torque achieved from the PO-pertalite fuel mixture was slightly lower than gasoline, where the PO10 power reduction was 4.8%, PO20 was 6.0% and PO30 was 6.0%, while the magnitude of torque reduction for PO10 was 0.7 %, PO20 of 2.1% and PO30 of 4.5%. For thermal efficiency (η_{th}) there was also a decrease, namely PO10 by 1.5%, PO20 by 2% and PO30 by 3.5%. Related to the specific fuel consumption (SFC) proven PO-pertalite mixture shows more economical results than pertalite gasoline. In addition, the level of exhaust emissions also shows a decrease in HC, CO, O₂ and increasing CO₂ as an additional percentage of PO in gasoline. These results indicate that pyrolysis oil plastic waste is a promising alternative fuel to be applied to gasoline engines.

Keywords: *Plastic oil, Engine Performance, Thermal efficiency, SFC, Exhaust gas emissions*

Abstrak

Sampah plastik merupakan sumber energi alternatif yang sangat potensial. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis karakteristik minyak plastik (*plastic oil*) dan menganalisis efisiensi termal, konsumsi bahan bakar spesifik dan emisi gas buang mesin bensin dengan menggunakan bahan bakar alternatif hasil pirolisis sampah plastik. *Plastic oil* (PO) diproduksi melalui proses pirolisis menggunakan bahan baku dari jenis plastik *Low-density Polyethylene* (LDPE) dan dilakukan pencampuran dengan bensin pertalite dengan rasio volume PO 10% (PO10), 20% (PO20) dan 30% (PO30). Karakteristik campuran minyak plastik diuji perpertisnya, sedangkan pengujian performa dan emisi gas buang dilakukan dengan *dynamometer* dan *engine gas analyzer* pada motor bensin satu silinder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik campuran minyak plastik memiliki sifat yang identik dengan bahan bakar bensin. Pengujian performa motor mendapatkan bahwa daya dan torsi maksimum yang dicapai dari bahan bakar campuran PO-pertalite sedikit lebih rendah dari bensin, dimana penurunan daya PO10 sebesar 4.8%, PO20 sebesar 6.0% dan PO30 sebesar 6.0%, sedangkan besarnya penurunan torsi untuk PO10 sebesar 0.7%, PO20 sebesar 2.1% dan PO30 sebesar 4.5%. Untuk efisiensi termal (η_{th}) terjadi penurunan juga yaitu PO10 sebesar 1.5%, PO20 sebesar 2% dan PO30 sebesar 3.5%. Terkait konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) terbukti campuran PO-pertalite menunjukkan hasil yang lebih irit dibanding bensin pertalite. Disamping itu kadar emisi gas buang juga menunjukkan penurunan HC, CO, O₂ dan peningkatan CO₂ seiring penambahan prosentase PO dalam bensin. Hasil ini mengindikasikan bahwa minyak pirolisis sampah plastik merupakan bahan bakar alternatif yang menjanjikan untuk diaplikasikan pada motor bensin.

Kata Kunci: *Plastic oil, Performa Mesin, Efisiensi termal, SFC, Emisi Gas Buang.*

1. Pendahuluan

Plastik telah menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari baik dalam sektor rumah tangga maupun industri. Pada saat ekonomi terus berkembang, produksi dan konsumsi plastik telah meningkat untuk memenuhi kebutuhan pasar yang sedang tumbuh. Material plastik merupakan sejenis senyawa polimer yang terbentuk dari serangkaian karbon, hidrogen dan elemen lain seperti klorin, nitrogen dll [1]. Penggunaan plastik memiliki fleksibilitas yang tinggi dikarenakan sifat bahan yang ringan dan kuat, daya tahan yang baik, tahan korosi dan proses produksi yang cepat serta memiliki kemudahan dibentuk pada desain yang kompleks [2].

Tingkat pertambahan sampah plastik yang semakin meningkat akan menimbulkan masalah lingkungan secara global. Produksi plastik global diperkirakan 300 juta metrik ton setiap tahun dan tumbuh pada tingkat 4% setiap tahunnya. Khusus untuk Negara Indonesia jumlah sampah plastik di laut Indonesia menempati urutan nomor dua yaitu sebesar 187,2 juta ton setelah Cina yang mencapai 262,9 juta ton per tahun [3]. Sifat limbah plastik yang non-biodegradable, yang berarti tidak mudah terurai oleh mikroorganisme dalam tanah akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Penumpukan sampah plastik di tempat pembuangan sampah (TPS) bukan merupakan solusi yang tepat dikarenakan luasnya lahan yang harus disediakan dan timbulnya degradasi lingkungan dan pencemaran tanah yang besar [4].

Penanganan sampah plastik dapat dilakukan dengan menggunakan metode 3R, yaitu *reuse*, *reduce*, *recycle* [5]. *Reuse* berarti mempergunakan produk-produk yang terbuat dari plastik berulang kali. *Reduce* yaitu mengurangi penggunaan produk yang terbuat dari plastik, terutama produk sekali pakai. *Recycle* yaitu mendaur ulang produk yang terbuat dari bahan plastik. Disamping itu, cara konvensional berupa pembakaran langsung akan menimbulkan pencemaran udara, dikarenakan polutan (CO₂, CO, NO_x, SO_x) dan beberapa partikulat pencemar lainnya yang berbahaya bagi kesehatan manusia [6].

Konsep *recycle* plastik selanjutnya merupakan metode yang lebih tepat dan menguntungkan. Konsep *recycle* ini berupa mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak, sehingga dua permasalahan penting bisa diatasi, yaitu bahaya menumpuknya sampah plastik dan diperolehnya kembali bahan bakar minyak yang merupakan salah satu bahan baku plastik [6]. Pengolahan menjadi minyak sebagai bahan bakar cair merupakan salah satu cara yang menarik untuk menghasilkan sumber energi sekaligus meningkatkan kualitas penanganan limbah plastik yang murah dan melimpah. Teknologi *recycle* sampah plastik menggunakan proses *pyrolysis*, dimana plastik dibakar pada kondisi tanpa udara, dimana gas yang dihasilkan kemudian dikondensasi untuk dirubah menjadi bahan bakar minyak [7].

Upaya pencarian dan pengolahan bahan bakar non-fosil harus terus dikembangkan. Tuntutan kebutuhan energi baik skala nasional maupun internasional akan terus mengalami peningkatan dikarenakan terbatasnya produksi minyak fosil dunia dan semakin tingginya harga bahan bakar [8]. Di Indonesia juga terjadi krisis cadangan energi terutama diakibatkan oleh tingginya konsumsi BBM di satu sisi, dan berkurangnya cadangan BBM di sisi lain telah menunjukkan semakin menurunnya rasio cadangan terhadap produksi [9]. Pemerintah Indonesia melalui Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Bahan Bakar Nasional, berusaha mengantisipasi kebutuhan akan persediaan energi salah satunya dengan cara diversifikasi energi. Diharapkan pada tahun 2025 akan terwujud energi (primer) mix yang optimal, dimana pemakaian minyak bumi menjadi kurang dari 20%. Sampah plastik bisa menjadi alternatif sumber energi untuk mendukung keamanan pasokan energi dalam negeri.

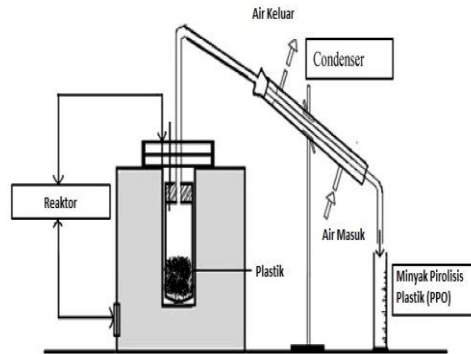
Plastik terbuat dari unsur minyak bumi, sehingga melalui proses *chemical decomposition* dan *thermal decomposition* (*pyrolysis*) dapat dikembalikan ke dalam bahan asalnya [7]. Proses *pyrolysis* sampah plastik dapat menghasilkan *plastic oil* berkisar 80.8%, arang sebesar 13% dan gas 6.2% [10]. Pemanfaatan *pyrolysis* plastik sampai saat ini lebih diutamakan pada penggunaan produk bahan bakar cairnya untuk diproses lanjut menjadi beberapa jenis bahan bakar minyak (BBM). *Plastic oil* memiliki karakteristik yang mirip dengan bahan bakar yang langsung diolah dari minyak bumi baik untuk kategori bensin, minyak tanah maupun solar. Selama proses *pyrolysis*, *plastic oil* cenderung didominasi oleh minyak solar dengan prosentase 72%, minyak tanah 17% dan bensin 11% [11].

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, studi yang telah dilaksanakan lebih banyak mengkaji pemanfaatan *plastic oil* (PO) pada motor diesel. Penelitian tentang pengaruh campuran PO-solar dengan perbandingan 15% dan 30% menunjukkan bahwa efisiensi thermal campuran PO sedikit lebih tinggi dari solar murni, dan konsumsi bahan bakar spesifiknya naik [12]. Penelitian terkait kadar *smoke* dari penggunaan minyak plastik pada motor diesel juga menunjukkan bahwa *plastic oil* memiliki kadar *smoke* 19.73%, lebih rendah dari solar sebesar 29.67% [13]. Penelitian tentang efek penggunaan campuran *plastic oil* pada motor diesel pada berbagai rasio kompresi dan beban, menunjukkan bahwa penggunaan PO mampu menghemat 40% minyak diesel tanpa kehilangan kekuatan [14]. Oleh karena itu, penelitian ini menitikberatkan pengkajian pada pengaruh penggunaan campuran *plastic oil*-gasoline pada motor bensin. Dimana *plastic oil* diperoleh dari jenis plastik LDPE yang paling banyak beredar di masyarakat [15].

Penyelidikan terkait pengaruh berbagai rasio campuran bensin-etanol telah dilakukan secara luas dengan cara mengukur kinerja dan kadar emisinya [16]–[18]. Keunggulan bahan bakar alternatif dapat dibandingkan performa dan kadar emisi gas buangnya dengan mesin berbahan bakar konvensional [19] beserta propertis kimianya [20]. Tujuan penelitian ini adalah menginvestigasi propertis kimia campuran *plastic oil*-gasoline, dan pengaruhnya terhadap performa mesin yang dicapai, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi thermal dan kadar emisi gas buangnya apabila diaplikasikan sebagai bahan bakar pada motor bensin.

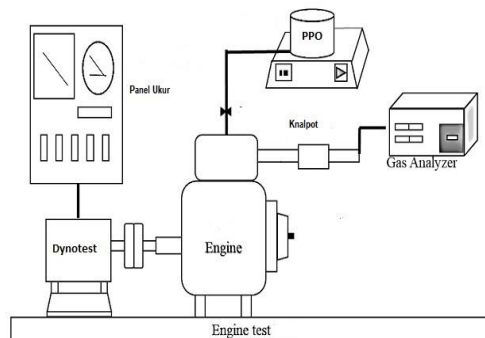
2. Material dan Metode Penelitian

Material yang dipakai dalam penelitian ini adalah plastik dari jenis *Low-density Polyethylene* (LDPE). Plastik ini diproses menjadi plastic oil secara pyrolysis. Plastic oil yang berkategori bensin kemudian dilakukan pencampuran dengan bahan bakar bensin pertalite dengan perbandingan PO10 (PO 10 %, bensin 90%), PO20 (PO 20 %, bensin 80%), PO30 (PO 30 %, bensin 70%). Hasil pencampuran kemudian dilakukan uji propertis fisik dan kimianya yang meliputi nilai kalor, flash point dan angka oktan. Pengujian performa mesin dan emisi gas buang dilakukan pada kendaraan bermotor 1 silinder 4 tak dengan kapasitas 125 cc untuk semua campuran PO. Peralatan yang dipakai berupa Dynamometer Sportdyno V3.3 dan Engine gas analyzer 4-Gas gasoline/ Model 10174175.



Gambar 1. Proses Pirolisis Plastik [11]

Gambar 1 menunjukkan proses pemanfaatan sampah plastik menjadi bahan bakar dengan metode pirolisis yang meliputi menyiapkan sampah plastik dari jenis LDPE, pencacahan, pencucian, dan pengeringan. Bahan plastik dimasukkan ke reaktor pirolisis dengan suhu 400oC pada ruangan tanpa oksigen. Gas yang keluar dari reaktor masuk ke kondensor, dan akan terkondensasi sehingga berubah minyak plastik (PO). Plastic oil yang berkategori bensin kemudian yang dimanfaatkan untuk dilakukan penelitian. Gas yang tidak terkondensasi akan keluar, dan dalam reaktor akan tersisa arang dalam jumlah yang sedikit.



Gambar 2. Layout Ekperimen Pengujian [11]

Selanjutnya, Gambar 2 menggambarkan skema pengujian unjuk kerja motor bensin dan emisi gas buang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan campuran PO terhadap daya, torsi, dan emisi gas buang motor. Sepeda motor ditempatkan dan dinyalakan diatas Dynamometer, kemudian lakukan akselerasi secara spontan dari putaran 4000 rpm sampai putaran maksimal motor selama 10 detik. Pada panel ukur akan terlihat grafik penunjukkan besarnya daya, torsi motor. Pengujian terhadap emisi gas buang selanjutnya dilakukan dengan menggunakan Gas analyzer. Sepeda motor dihidupkan dengan probe pengukur dimasukkan pada ujung knalpot. Naikkan dan tahan putaran mesin sampai 4000 rpm minimal 5 detik dan kembalikan pada putaran stasioner mesin. Lakukan pengukuran kadar emisi gas buang dengan durasi 20 detik, kemudian catat penunjukkan angka pada display atau cetak untuk mengetahui kadar HC, CO, CO₂, dan O₂. Spesifikasi mesin yang menjadi obyek penelitian seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Uji

| Parameter | Spesifikasi |
|-----------------------|--|
| Type Mesin | Mesin bensin 4 langkah, SOHC, 1 silinder |
| Volume langkah | 124.8 cc |
| Diameter x Langkah | 52.4 x 57.9 mm |
| Perbandingan kompresi | 9.0 : 1 |
| Daya maksimum | 9.3 PS |
| Torsi maksimum | 1.03 Kgf.m |

| | |
|--------------------|-----------------|
| Sistem Pendinginan | Pendingin Udara |
| Sistem Pengapian | DC CDI |
| Sistem Bahan Bakar | Karburator |

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Plastic Oil (PO)

Karakteristik propertis bahan bakar bensin pertalite dan campuran PO & pertalite, dapat dilihat pada tabel 2. Produk pirolisis dari plastik LDPE merupakan rangkaian hidrokarbon rantai lurus yang berkelanjutan yang dapat dirubah menjadi empat kelompok bahan bakar yaitu gas (C₃H₆), bensin (1-C₈H₁₆), Solar (1-C₁₆H₃₂) dan lilin (1-C₂₈H₅₆). Pada saat proses pyrolysis, molekul polietylene berubah kedalam molekul n-1-alkena dan ikatan n-1 C-C dalam rantai karbon yang panjang akan yang terputus [21].

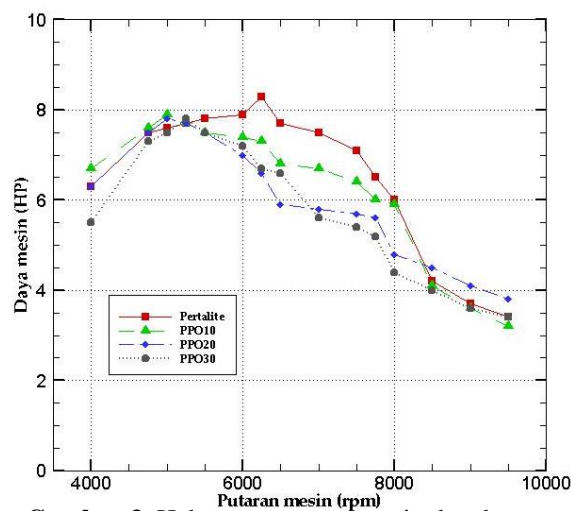
Tabel 2. Properties campuran plastic oil-gasoline

| Propertis | Metode | Jenis Bahan Bakar | | | |
|------------------------|------------------|-------------------|-------|-------|-------|
| | | Gasoline RON - 90 | PO10 | PO20 | PO30 |
| Nilai kalor (KJ/kg) | Bomb kalorimeter | 45,63 | 44,99 | 44,29 | 43,25 |
| Angka oktan | ASTM D 613 | 93.0 | 92.5 | 92.0 | 91.5 |
| Flash point PM.CC (°C) | ASTM D 93 | <7 | <7 | <8 | <9 |

Nilai karakteristik propertis pencampuran PPO dengan bensin sebanding dengan rasio volumenya. Semakin besar prosentase PPO akan menurunkan nilai kalor, dan angka oktan, sedangkan flash point-nya cenderung bertambah. Karakteristik propertis plastic oil mendekati propertis bahan bakar konvensional.

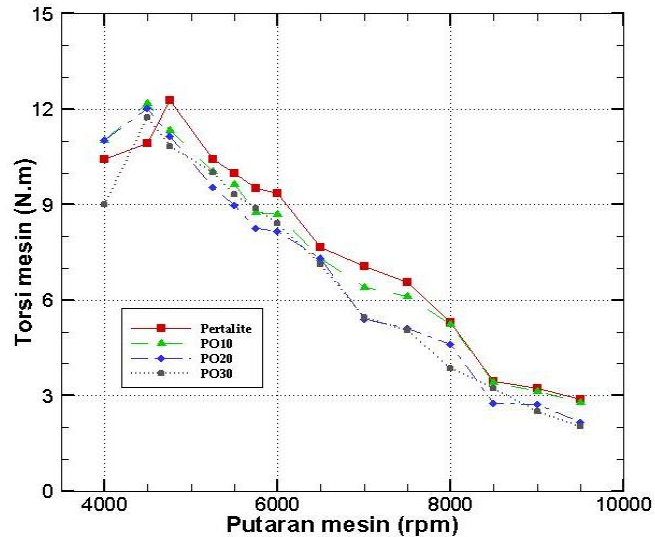
3.2 Pengujian daya dan torsi motor

Perbandingan besarnya daya motor dan torsi motor dari masing-masing penggunaan bahan bakar PO10, PO20, PO30 dan pertalite ditunjukkan pada gambar 3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya motor maksimal untuk penggunaan bahan bakar campuran plastic oil (PO) dan pertalite yaitu sebesar PO10 7.9HP/4500rpm, PO20 7.8HP/5000rpm, PO30 7.8HP/5250rpm dan pertalite 8.3HP/6250rpm.



Gambar 3. Hubungan putaran mesin dan daya motor

Pengujian terhadap torsi motor seperti ditunjukkan pada gambar 4, juga mendapatkan hasil bahwa torsi motor maksimal dengan bahan bakar dari campuran PO dan pertalite yaitu PO10 12.20N.m/4500rpm, PO20 12.03N.m/4500rpm, PO30 11.76N.m/4500rpm dan pertalite 12.29N.m/4750rpm. Torsi motor maksimal untuk campuran PO-pertalite menunjukkan nilai lebih kecil dibandingkan dengan bahan bakar bensin pertalite.

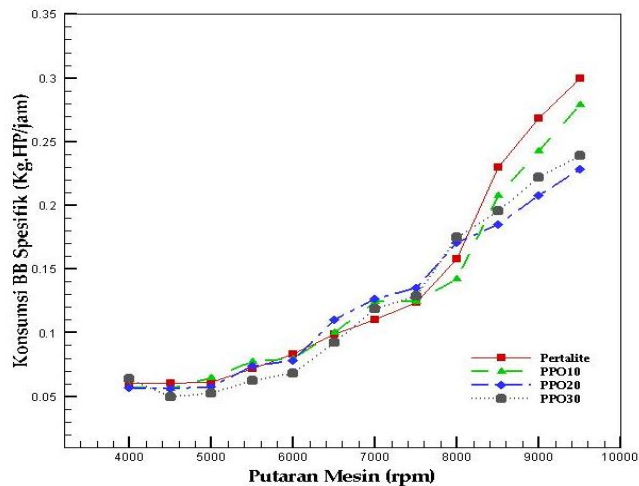


Gambar 4. Hubungan putaran mesin dan torsi motor

Pada pengujian daya dan torsi motor menunjukkan bahwa penggunaan campuran PO-Pertalite akan menurunkan performa mesin baik daya maupun torsi. Prosentase penurunan daya maksimal dari penggunaan campuran PO-gasoline yaitu PO10 sebesar 4.8%, PO20 6.0 % dan PO30 sebesar 6.0%. Sedangkan untuk penurunan torsi maksimal yaitu PO10 sebesar 0.7%, PO20 sebesar 2.1%, PO30 sebesar 4.5%. Besarnya penurunan tergantung dari prosentase penambahan PO kedalam gasoline, semakin banyak volume PO maka semakin menurun performanya. Hal ini tentunya sangat dipengaruhi oleh nilai karakteristik propertis dari bahan bakar, dimana nilai kalor dan angka oktan campuran PO-gasoline menunjukkan nilai yang semakin kecil, dan flash point semakin naik.

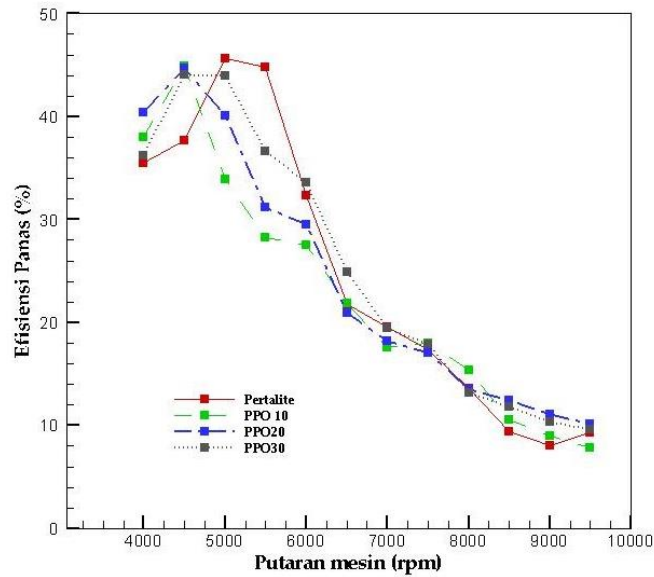
3.3 Pengujian SFc dan Efisiensi Termal

Konsumsi bahan bakar spesifik (SFc) adalah perbandingan antara massa bahan bakar yang dikonsumsi mesin dengan daya yang dihasilkan selama waktu tertentu. Nilai SFc sangat bergantung pada daya yang dihasilkan mesin. Pada gambar 5 disajikan tingkat konsumsi bahan bakar spesifik dari berbagai jenis campuran PO-pertalite. Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/hp.jam) pada berbagai putaran mesin yaitu PO10;0.1297, PO20;0.1240, PO30;0.1224, dan pertalite 0.1355.



Gambar 5. Hubungan putaran mesin dan SFc

Gambar 6 menunjukkan besarnya efisiensi panas yang dicapai dari penggunaan masing-masing jenis bahan bakar yaitu PO10;44.9%, PO20;44.7%, PO30;44% dan pertalite 45.6%. Terlihat penurunan efisiensi panas dari pencampuran plastic oil dengan besaran PO10 sebesar 1,5%, PO20 sebesar 2% dan PO30 sebesar 3.5%.

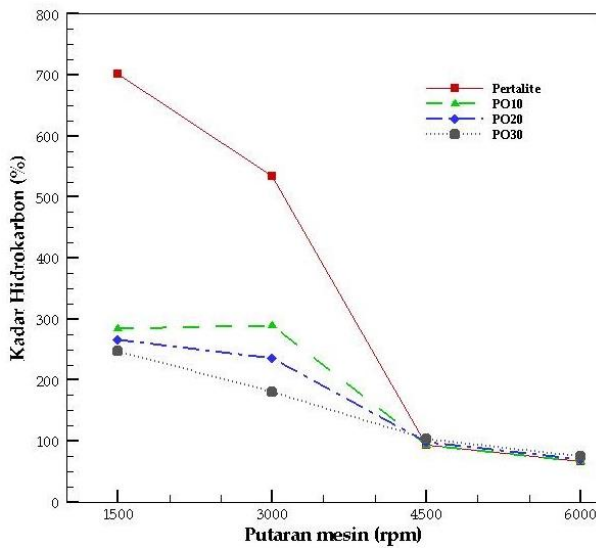


Gambar 6. Hubungan putaran mesin dan Efisiensi panas

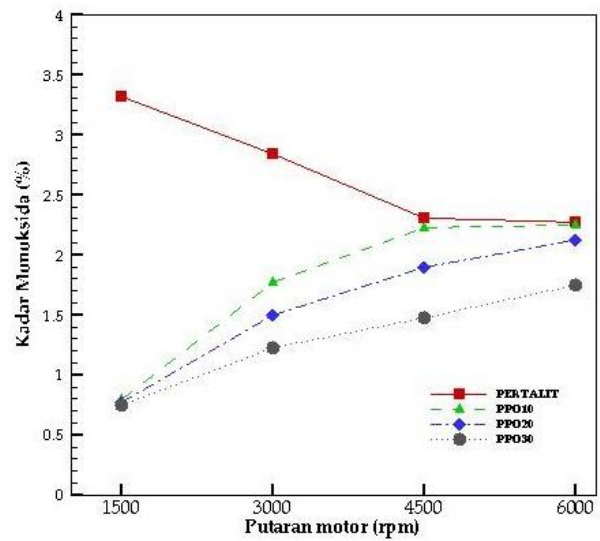
Konsumsi bahan bakar spesifik ini merupakan indikator keefektifan dari suatu motor bakar dalam penggunaan atau konsumsi pemakaian bahan bakar untuk menghasilkan daya motor. Semakin kecil nilai konsumsi bahan bakar spesifik maka dapat dikatakan bahwa motor bakar tersebut semakin hemat dalam pemakaian bahan bakar. Semakin besar rasio volume PO yang dicampurkan dengan pertalite menunjukkan prosentase penurunan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC). Pada grafik terlihat bahwa SFC untuk pemakaian plastic oil berada dibawah garis SFC pertalite, hal ini menandakan bahwa SFC PO lebih rendah dari bensin murni. Disamping itu, efisiensi termal dari bahan bakar campuran PO-pertalite juga berkurang, meskipun menunjukkan penurunan yang tidak signifikan.

3.4 Pengujian emisi gas buang

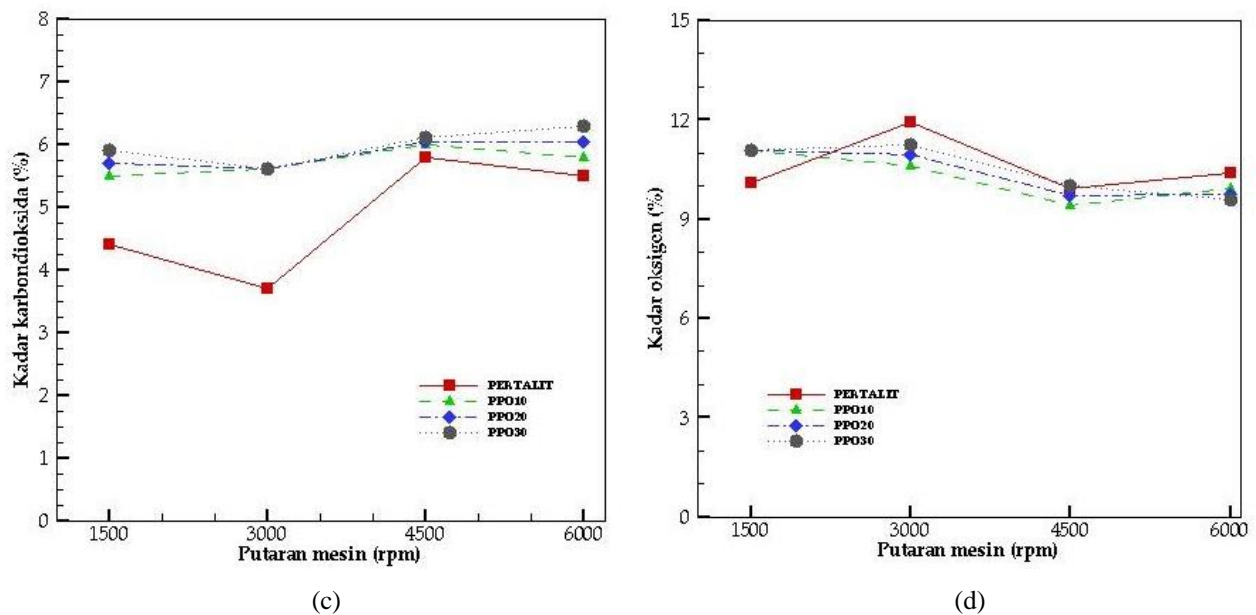
Pengujian emisi gas buang ini untuk mengukur pengaruh penggunaan minyak pirolisis plastik terhadap kadar emisi gas buang kendaraan bermotor. Pengukuran dilakukan pada putaran mesin 1500, 3000, 4500, 6000 rpm yang meliputi kadar hidrokarbon (HC), karbonmonoksida (CO) dan karbondioksida (CO₂), dan Oksigen (O₂).



(a)



(b)



Gambar 7. Hubungan putaran mesin dan emisi gas buang (a) Hidrokarbon, (b) Karbon monoksida, (c) Karbondioksida, (d) Oksigen

Gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan emisi gas buang dari masing-masing penggunaan bahan bakar pertalite, PO10, PO20, dan PO30. Pada gambar 7(a) kadar hidrokarbon paling tinggi ditunjukkan pada jenis pertalite pada saat putaran stasioner sebesar 702 ppm dan menunjukkan penurunan seiring dengan bertambahnya putaran mesin. Kadar hidrokarbon terendah ditunjukkan pada campuran PO30. Nilai rata-rata besaran kadar hidrokarbon untuk masing-masing bahan bakar yaitu pertalite 349 ppm, PO10 183.7 ppm, PO20 167.8 ppm, dan PO30 152 ppm.

Gambar 7(b) memperlihatkan emisi karbonmonoksida yang mana bahan bakar pertalite masih menunjukkan prosentase terbesar dibandingkan dengan bahan bakar campuran PO-pertalite. Rata-rata besarnya kadar karbonmonoksida pada berbagai putaran motor yaitu pertalite 2.68%, PO10 1,76%, PO20 1,57%, dan PO30 1,30%. Gambar 7c, menunjukkan prosentase kadar karbondioksida dalam gas buang yang mana campuran PO-pertalite akan menambah kadar CO₂. Dimana rata-rata besaran kadar karbondioksida pada berbagai putaran mesin yaitu pertalite 4.85%, PO10 5.72%, PO20 5.85%, dan PO30 5,98%. Prosentase oksigen dalam gas buang (gambar 7d) juga mengalami penurunan dengan bahan bakar PO-pertalite yang mana besaran rata-rata O₂ pada berbagai putaran mesin yaitu pertalite 10.58%, PO10 10.25%, PO20 10.37%, dan PO30 10.48%.

Berkaitan dengan emisi gas buang, bahwa penggunaan minyak pirolisis plastik cenderung menurunkan kadar emisi. Semakin besar perbandingan campuran atau kandungan minyak plastik menunjukkan kadar CO, HC, dan O₂ yang semakin rendah, dan peningkatan kadar CO₂. Hal ini senada dengan penelitian Elfakhany, bahwa kendaraan yang berbahan bakar etanol atau campuran etanol-bensin menunjukkan penurunan konsentrasi CO dan UHC, dikarenakan bahan bakar etanol mengandung kadar oksigen [22]. Bahan bakar campuran yang mengandung oksigen, dapat meningkatkan proses pembakaran secara signifikan sehingga emisi menurun dengan meningkatnya presentase etanol dalam campuran [23]. Pengujian juga mendapatkan nilai AFR dan lamda yang lebih besar atau timbulnya leaning effect, yang mana menyebabkan campuran bertambah miskin [24]. Disamping itu, penurunan nilai kalor akibat campuran PO dalam pertalite akan mengakibatkan penurunan energi panas pembakaran dan mengurangi suhu pembakaran dalam silinder yang menyebabkan penurunan kadar emisi gas buang [25].

4. Kesimpulan

Investigasi eksperimental ini telah dilakukan untuk menganalisis dan memahami karakteristik propertis, performa mesin, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal dan emisi gas buang dari sebuah motor bensin yang berbahan bakar campuran *plastic oil* (PO-pertalite). Karakteristik propertis campuran PO-pertalite serupa atau sedikit lebih rendah dengan bahan bakar bensin pertalite ditinjau dari aspek nilai kalor, dan angka oktan, dan *flash point*-nya. Performa mesin bensin untuk bahan bakar campuran PO-pertalite mengalami penurunan dari parameter daya, torsi dan efisiensi panasnya dan semakin besar volume rasio PO maka penurunan semakin besar. Akan tetapi bahan bakar campuran PO-pertalite menunjukkan konsumsi bahan bakar spesifik dan kadar emisi gas buang yang lebih rendah. Oleh karena itu, PO sangat layak digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada mesin bensin dengan terus dilakukan penelitian lanjutan guna meningkatkan kualitasnya, baik dari sisi proses maupun penambahan zat aditif.

Ucapan Terima kasih

Terimakasih atas kerja samanya terhadap Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sains Al-Qur'an, Laboratorium Terpadu UNDP Semarang dan Laboratorium Teknologi Minyak Bumi, Gas dan Batubara Departemen Teknik Kimia UGM Yogyakarta.

Daftar Pustaka

- [1] M. Eswaramoorthi, T. Venkateshan, M. Bala, & S. Gejendhiran, "Review of Plastic Waste Management by Pyrolysis," *International Journal Research Application Science Engineering Technology*, vol. 4, no. xi, pp. 514–517, 2016.
- [2] A. Mohapatra, "Preparation of liquid fuels from waste plastics" *Master Thesis, National Institute of Technology, Rourkela: India*, 2017.
- [3] J. R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K. Lavender. "Plastic waste inputs from Land into the ocean," *Science*, Vol 347 ISSUE 6223, pp 768-771, Februari 2015.
- [4] S. Dayana, A. Sharuddin, F. Abnisa, W. Mohd, and A. Wan, "A review on pyrolysis of plastic wastes," *Energy Conversion Management*, vol. 115, pp. 308–326, 2016.
- [5] V. Nindita, "Studi Berbagai Metode Pembuatan Bbm Dari Sampah Plastik Jenis Ldpe Dan Pvc Dengan Metode Thermal & Catalytic Cracking (Ni-Cr / Zeolit)," *Teknis*, vol. Vol. 10 No, pp. 137–144.
- [6] D. Iswadi, F. Nurisa, E. Liastuti, "Utilization of LDPE and PET Plastic Waste into Oil Fuel By Pyrolysis Process," *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia Universitas Pamulang*, vol. 1, no. 2 ISSN 2549-0699, 2017
- [7] R. Kumar, M. K. Mishra, S. K. Singh, and A. Kumar, "Experimental evaluation of waste plastic oil and its blends on a single cylinder diesel engine," *Journal Mechanical Science Technology*, vol. 30, no. 10, pp. 4781–4789, 2016.
- [8] G. E. Tverberg, "Oil Supply Limits and The Continuing Financial Crisis," *Energy*, vol. 37 No.1, pp. 27–34, 2012.
- [9] Sunaryo, "Analisis Pengaruh Penambahan Brown Gas Terhadap Daya, Torsi & Kadar Emisi Gas Buang Sepeda Motor," *Jurnal PPKM UNSIQ*, Vol 3 No. 2 pp. 204–211, Mei 2015.
- [10] R. Miandad, M. A. Barakat, A. S. Aburiazaiza, M. Rehan, I. M. I. Ismail, and A. S. Nizami, "International Biodeterioration & Biodegradation Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil Kingdom of Saudi Arabia," *International Biodeterioration and Biodegradation*, no. 0964-8305, 2016.
- [11] Sunaryo, E. Marwan, Sarjito, Kamarrudin, N. S., Pyrolysis of Plastic Waste as an Alternative Fuels in Spark Ignition Engine, *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, Vol. 7 No.11, pp. 454-459, 2019.
- [12] Venkatesan, S. Sivamani, K. Bhutoria, & H. H. Vora, "Experimental study on combustion and performance characteristics in a di ci engine fuelled with blends of waste plastic oil," *Alexandria Engineering Journal*, pp. 4–10, Hindustan University, Chennai; India, 2017.
- [13] A.S.D. Afiati, A. Amrullah, A. Syarief, & R. Siswanto, "Characteristics of Synthetic Fuel from Plastic Waste by Gasification Method," *International Journal Of Scientific & Technology Research* Vol. 3, Issue 3, pp. 293–296, 2014.
- [14] A. Verma, A. Raghuvansi, M. A. Quraishi, J. V Turkey, & C. Verma, "Engine Fuel Production from Waste plastic Pyrolysis (WPO) and Performance Evaluation in a CI engine with Diesel Blend," *Journal Material Environment Science*, vol. 2508, no. 6, pp. 1712–1721, 2018.
- [15] K. Endang, G. Mukhtar, A. Nego, & F. X. A. Sugiyana, "Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak," *Proseding Seminar Nasional Teknik Kimia*. ISSN 1693-4393, pp. 1–7, 2016.
- [16] M. A. Costagliola, L. D. Simio, S. Iannaccone, & M. V. Prati, "Combustion efficiency and engine out emissions of a S . I . engine fueled with alcohol / gasoline blends," *Applied Energy*, 2012.
- [17] D. H. Qi & C. F. Lee, "Combustion and emissions behaviour for ethanol – gasoline-blended fuels in a multipoint electronic fuel injection engine," *International Journal of Sustainable Energy*, Vol. 35 no. 4 pp. 1-16, 2014.
- [18] C. Dardiotis, G. Fontaras, A. Marotta, G. Martini, & U. Manfredi, "Emissions of modern light duty ethanol flex-fuel vehicles over different operating and environmental conditions," *FUEL*, vol. 140, pp. 531–540, 2015.
- [19] A. S. Olufemi & S. A. Olagboye, "Thermal conversion of waste plastics into fuel oil," *International Journal of Petrochemical Science & Engineering*, vol. 2, no. 8, pp. 252–257, 2017.
- [20] A. M. Pourkhesalian, A. H. Shamekhi, & F. Salimi, "Alternative fuel and gasoline in an SI engine : A comparative study of performance and emissions characteristics," *Fuel*, vol. 89, no. 5, pp. 1056–1063, 2010.
- [21] A.K. Agarwal, "Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 33 (2007) 233–271.
- [22] A. Elfasakhany, "Investigations on the effects of ethanol e methanol e gasoline blends in a spark-ignition engine : Performance and emissions analysis," *Engineering Science Technology an International Journal*, Vol. 18, no. 4, pp. 713–719, 2015.
- [23] A.K. Agarwal, Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 33 (2007) 233–271.
- [24] A. Verma, A. Raghuvansi, M. A. Quraishi, J. V Turkey, & C. Verma, "Engine Fuel Production from Waste plastic Pyrolysis (WPO) and Performance Evaluation in a CI engine with Diesel Blend," *Journal Material Environment Science*, vol. 2508, no. 6, pp. 1712–1721, 2018.

- [25] P. Sathish Kumar, S. Periyasamy, "Performance, Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fuelled with the Annona Squamosa Seed Cake Pyrolysis Oil", *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, Vol. 6, Issue 5, May 2019.