

KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR CAMPURAN BIOETANOL-BENSIN TERHADAP KINERJA DAN EMISI GAS BUANG MOTOR BENSIN STANDAR 4 LANGKAH TIPE 4 K

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF MIXED BIOETHANOL-GASOLINE FUEL TO THE PERFORMANCE AND EXHAUST GAS EMISSION OF 4K TYPE 4 STROKE STANDARD GASOLINE ENGINE

Joko Sarsetiyanto¹⁾, Mahirul Mursid, dan Nur Husodo
Prodi D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin,
Fakultas Teknologi Industri-Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya
¹⁾e-mail: joko_sar@yahoo.co.id

Abstrak

Perkembangan jumlah kendaraan bermesin bensin dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang pesat. Hal ini mengakibatkan jumlah gas buangnya juga meningkat sehingga berdampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengurangi kadar gas buang yang bersifat toksik tersebut. Di sisi lain dengan semakin menipisnya cadangan minyak bumi Indonesia, maka peranan bahan bakar terbaru seperti bioetanol harus semakin ditingkatkan. Sebagai satu alternatif pemecahan masalah tersebut dilakukan penelitian eksperimental tentang campuran bioetanol-bensin yang digunakan sebagai bahan bakar pada motor bensin standar 4 langkah tipe 4K. Kegiatan utama penelitian adalah menganalisis kinerja mesin dan emisi gas buang yang diuji. Campuran bioetanol dalam bahan bakar uji divariasikan dari 0 hingga 25%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar campuran bioetanol-bensin berdampak positif baik terhadap kinerja maupun emisi gas buang mesin terutama pada putaran jelajah (2500-3000 rpm). Pada putaran 2500 rpm emisi gas buang paling baik terjadi pada campuran 25% etanol, yaitu dengan kadar CO = 1,21%; CO₂ = 12,20%; HC = 227 ppm; O₂ = 3,60%, dan kinerja mesin (BHP) 44,4 hp; torsi (T) sebesar 126,6 kg-m; konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) sebesar 0,23 kg/hp-jam; dan efisiensi termal (η_{th}) sebesar 35%. Sedangkan emisi gas buang terburuk terjadi pada penggunaan bahan bakar bensin tanpa etanol, yaitu CO = 2,20%; CO₂ = 11,70%; HC = 277 ppm; O₂ = 1,07% dengan kinerja mesin BHP sebesar 45,4 hp, T sebesar 129,5 kg-m, BSFC sebesar 0,255 kg/hp-jam, dan η_{th} sebesar 30%.

Kata kunci: campuran bioetanol-bensin, indikator kinerja mesin, emisi gas buang.

Abstract

The number of gasoline engine vehicles increases rapidly from year to year. This fact resulted in the increase of exhaust gas emission, which affected environment quality and health. Therefore, it is important to do a research work on this exhaust gas reduction of the vehicles. Moreover with the decreasing crude oil stock in Indonesia, renewable fuel, such as bioethanol, may take an important role. As an alternative to solve this problem, an experimental research on mixed bioethanol-gasoline fuel of 4K type 4 stroke standards in gasoline engine was done. This research was focused on analyzing the engine performance and the exhaust gas emission. Composition of bioethanol in the mixed bioethanol-gasoline was varied from 0 to 25%. The results showed that the mixed fuel did not only improve the engine performance, but also decreased toxic exhaust gas emission. When engine was operated at 2500 rpm with 25 % bioethanol mixed fuel, it produced

best composition of exhaust gases of 1,21% CO; 12,20 % CO₂; 227 ppm HC; and 3,60% O₂. The engine performance indicators showed brake horse power (BHP) of 44,4 hp; torque (T) value of 126,6 kg-m; brake specific fuel consumption (BSFC) value of 0,23 kg/hp-hour; and thermal efficiency (η_{th}) value of 35%. When engine was operated without the presence of bioethanol, gas emission showed worst composition of 2,20% CO, 11,70% CO₂, 277 ppm HC, and 1,07% O₂. The engine performance indicators in this test condition showed BHP value of 45,4 hp, T value of 129,5 kg-m; BSFC value of 0,255 kg/hp-hour; and η_{th} value of 30%.

Keywords: blended bioethanol-gasoline, engine performance indicator, exhaust gas emission.

1. PENDAHULUAN

Dalam kurun waktu 10 tahun belakangan ini kuantitas pemakaian motor bensin semakin meningkat sehingga mengakibatkan peningkatan pemakaian bahan bakar minyak bumi. Hal ini bertentangan dengan kebijaksanaan pemerintah di bidang energi, yang mengusahakan pemakaian bahan bakar minyak bumi secara hemat, mengingat minyak bumi merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi (2009) memberikan data bahwa total cadangan minyak bumi sekitar 8 miliar barrel. Jika diperkirakan tingkat produksi 400 juta barrel per tahun maka cadangan tersebut hanya cukup untuk 20 tahun ke depan.

Di samping itu, peningkatan pemakaian bahan bakar minyak bumi berarti juga peningkatan kadar polutan terhadap udara atmosfer. Pembakaran minyak bumi menghasilkan gas CO, CO₂, HC, jelaga, dan NO_x. Produk pembakaran tersebut mengakibatkan kualitas udara semakin menurun.

Penggunaan bahan bakar fosil yang tidak rasional dapat meningkatkan suhu bumi. Efek buruk yang lain adalah kadar CO dalam produk pembakaran juga bersifat racun. Demikian pula kadar HC menyebabkan iritasi mata, dan jelaga bersifat karsinogen.

Untuk mempertahankan kelestarian tersedianya sumber energi adalah dengan menghemat minyak bumi dan menganekaragamkan penggunaan sumber energi terutama sumber energi yang terbaru. Salah satu sumber energi

terbaru yang saat ini sedang mendapatkan perhatian lebih adalah bioethanol.

Penelitian pemanfaatan bioethanol dengan rasio campuran ethanol : gasoline 60 : 40%, tercatat peningkatan efisiensi hingga 10% (Indartono, 2005). Ethanol memiliki angka *research octane* 108.6 dan *motor octane* 89.7. Angka tersebut melampaui nilai maksimal yang mungkin dicapai oleh bensin. Sebagai catatan, bensin yang dijual Pertamina memiliki angka *research octane* 88.

Najafi *et al.* (2008) menjelaskan tentang analisis hasil eksperimen kinerja dan emisi gas buang pada motor 4 langkah dengan bahan bakar campuran etanol-bensin dengan komposisi etanol sebanyak: 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Etanol dibuat dari sampah kentang. Sedangkan perbandingan kompresi mesin uji 9,7 dan volume silinder 1323 cc. Hasilnya secara umum penggunaan campuran etanol-bensin dapat meningkatkan daya dan menurunkan *brake specific fuel consumption*. Juga didapatkan bahwa makin tinggi persentase etanol, maka efisiensi termis dan efisiensi volumetrik juga makin tinggi. Dari sisi gas buang tercatat bahwa makin tinggi persentase etanol maka konsentrasi CO₂ dan NO_x makin tinggi sementara konsentrasi CO dan HC makin rendah.

Penelitian yang dilakukan adalah mengkaji penggunaan bioethanol (dari bahan baku singkong) sebagai bahan campuran yang dicampur dengan bensin untuk dipakai sebagai bahan bakar pada motor bensin (otomotif) 4 tak seri 4 K. Untuk menghasilkan kinerja mesin yang optimal, dilakukan pengaturan

setelan optimal katup hisap panas 0,25 mm dan katup buang panas 0,35 mm. Celah platina diatur sebesar 0,4 mm, merujuk pada penelitian Sarsetiyanto dan Mursid (2005), yang menghasilkan kinerja optimum dengan kadar CO terendah 2,95 %.

Kadar etanol yang dicampurkan ke dalam bensin adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Diharapkan emisi gas buang yang dihasilkan tidak melebihi ambang batas emisi gas buang. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama, 4 tak selain sepeda motor, menyebutkan komposisi gas buangnya harus mengandung: CO < 4,5 % vol, dan HC < 1200 ppm.

Etanol yang memiliki massa jenis 760 kg/m^3 , jika dibakar tidak memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan. Penggunaan etanol yang bernilai oktan tinggi sebagai bahan bakar atau aditif peningkat bilangan oktan pada bahan bakar sebenarnya sudah dilakukan sejak abad 19. Pada tahun 1860 Nikolaus Otto menggunakan bahan bakar etanol dalam mengembangkan mesin kendaraan dengan siklus Otto. Mobil Model T karya Henry Ford pada tahun 1908 dirancang untuk menggunakan bahan bakar etanol atau bensin. Namun karena harganya yang sangat tinggi, etanol kalah bersaing dengan bahan bakar bensin yang terbuat dari minyak bumi. Harga minyak bumi yang membubung belakangan ini membuat orang kembali mempertimbangkan etanol untuk dijadikan bahan bakar (murni atau campuran) pada kendaraan motor bensin.

Angka oktan pada bahan bakar mesin Otto menunjukkan kemampuannya menghindari terbakarnya campuran udara-bahan bakar sebelum waktunya (*self-ignition*). Terbakarnya campuran udara-bahan bakar di dalam mesin Otto sebelum waktunya akan menimbulkan fenomena ketuk (*knocking*) yang berpotensi menurunkan daya mesin,

bahkan bisa menimbulkan kerusakan serius pada komponen mesin. Selama ini, fenomena ketuk membatasi penggunaan rasio kompresi (perbandingan antara volume silinder terhadap volume sisa) yang tinggi pada mesin bensin. Tingginya angka oktan pada etanol memungkinkan penggunaan rasio kompresi yang tinggi pada mesin Otto. Korelasi antara efisiensi dengan rasio kompresi berimplikasi pada fakta bahwa mesin Otto berbahan bakar etanol (sebagian atau seluruhnya) memiliki efisiensi termis yang lebih tinggi. Etanol memiliki angka oktan (*research octane number*) 108, lebih tinggi daripada bensin angka oktan bensin premium. Etanol memiliki angka *research octane* 108,6 dan *motor octane* 89,7. Angka tersebut melampaui nilai maksimal yang mungkin dicapai oleh bensin.

Karakteristik etanol lainnya adalah: *flash point* 14°C , titik didih $77,8^\circ\text{C}$, dan nilai kalor bawah $5985,97 \text{ kkal/kg}$. Nilai kalor etanol $\pm 67\%$ dari nilai kalor bensin premium. Hal ini karena ada kandungan oksigen dalam etanol. Adanya oksigen dalam etanol juga mengakibatkan campuran menjadi lebih miskin/*lean*, sehingga campuran harus dibuat lebih kaya untuk mendapatkan energi kalor yang setara dengan bensin premium.

Volatilitas suatu bahan bakar menunjukkan kemampuannya untuk menguap. Sifat ini penting karena jika bahan bakar tidak cepat menguap maka bahan bakar akan sulit bercampur dengan udara pada saat persiapan pembakaran. Zat yang sulit menguap tidak dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin bensin meskipun memiliki nilai kalor yang tinggi. Namun demikian bahan bakar yang terlalu mudah menguap juga berbahaya karena mudah terbakar sendiri.

Etanol memiliki kalor laten penguapan (*latent heat of vaporization*) yang tinggi. Hal ini berarti etanol akan menyerap kalor lebih besar ketika menguap. Kalor tersebut diserap dari udara dan dinding ruang bakar sehingga mengakibatkan turunnya temperatur puncak.

Di lain pihak agar terjadi pembakaran sempurna temperatur mesin tidak boleh terlalu rendah. Namun, karena pembakaran berlangsung sangat cepat, penurunan temperatur hanya berkisar antara 20-40°F.

Etanol memiliki gugus OH dalam susunan molekulnya. Adanya oksigen membantu terjadinya pembakaran yang sempurna. Semakin sempurna pembakaran maka emisi HC dan CO akan semakin rendah karena temperatur puncak dalam silinder lebih rendah dibanding dengan memakai bahan bakar bensin sehingga emisi NO_x juga akan turun. Selain itu, pendeknya rantai karbon pada etanol menyebabkan emisi HC juga relatif lebih rendah.

2. METODA

Instalasi Percobaan

Instalasi percobaan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Instalasi Uji Mesin

Mesin dan Dinamometer

Mesin Toyota kijang seri 4K (4 tak 4 silinder satu garis, bahan bakar bensin)

Piston dan silinder:

Diameter silinder	: 75 mm
Volume silinder	: 1290 cc
Panjang langkah	: 73 mm
Ratio kompresi	: 9 : 1
Urutan pengapian	: 1 - 3 - 4 - 2

Celah Katup:

Katup hisap	: 0,25mm(panas-optimal)
Katup buang	: 0,35mm(panas-optimal)
Katup hisap	: 0,20mm (panas-normal)
Katup buang	: 0,33mm (panas-normal)
Celah platina	: 0,4 mm

Waktu pengapian : 10° sebelum TMA

Tekanan kompresi	: 9 kg/cm ²
Daya maximum	: 55 HP/5600 rpm
Langkah torak	: 73 mm
Rasio kompresi	: 1 : 9
Celah busi	: 0,8 mm
Putaran <i>idle</i>	: 750 rpm
Dinamometer	: <i>water brake</i>

Penganalisis Gas Buang

Merk: *Technotest type 488 OIML Class One*

<i>Nominal flow</i>	: 8 Lt/min
<i>Minimal flow</i>	: 6 Lt/min
<i>Span</i>	: <i>Daily</i>
<i>Check</i>	: <i>Annual</i>
<i>Voltage</i>	: 220 ± 15 %
<i>Frekuensi</i>	: 50 hz ± 3 %
<i>Temperatur</i>	: 5°C - 40°C
<i>Pressure</i>	: ± 5 Kpa
<i>Range:</i>	
CO	: 0 - 9,99 % volume
CO ₂	: 0 - 9,99 % volume
HC	: 0 - 9999 ppm
O ₂	: 0 - 25 % volume

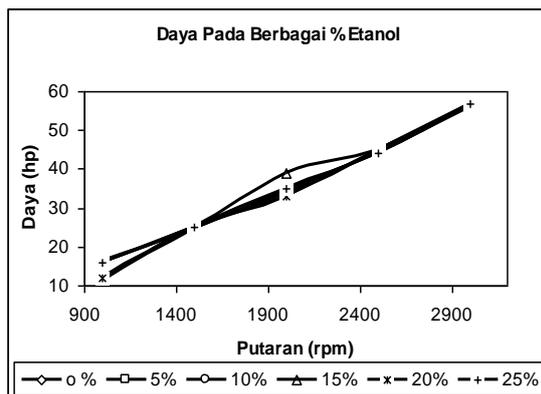
Pengujian yang dilakukan adalah *wide open throttle* (WOT) dengan beban yang divariasi untuk mendapatkan daya pada berbagai putaran mesin. Dimulai dari putaran 3500 rpm sampai putaran 1000 rpm. Pengujian dilakukan di ruang terbuka sehingga tekanan dan temperatur pengujian adalah tekanan dan temperatur lingkungan.

Bahan bakar yang digunakan sebagai bahan bakar uji adalah campuran bensin dan etanol. Lima variasi persentase campuran etanol-bensin yang digunakan untuk pengujian yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% (etanol).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Indikator Kinerja Mesin

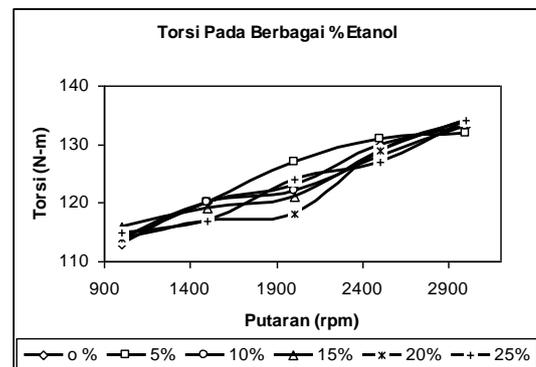
Gambar 2 memperlihatkan efek variasi bahan bakar terhadap daya pada berbagai putaran mesin. Secara umum, dengan bertambahnya kandungan etanol dalam campuran daya mesin sedikit naik untuk semua kecepatan mesin. Kalor penguapan etanol lebih besar daripada bensin. Hal ini menyebabkan terjadinya pendinginan terhadap campuran udara-bahan bakar yang baru masuk silinder. Akibatnya densitasnya juga naik sehingga efisiensi volumetrisnya bertambah besar. Semakin banyak kandungan etanol, efisiensi volumetris semakin besar sehingga daya mesin juga bertambah besar. Pada putaran 2500 rpm kandungan 25% etanol menghasilkan daya 44,4 hp.



Gambar 2. Daya Mesin (BHP) vs Putaran

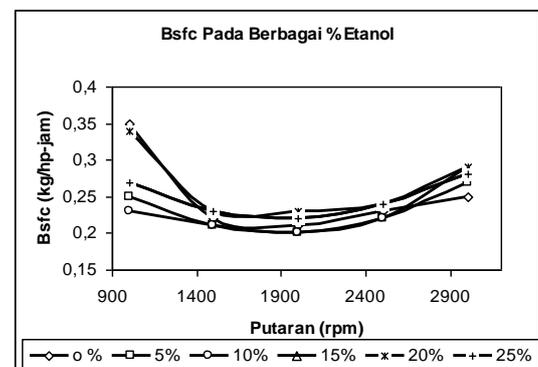
Gambar 3 memperlihatkan efek variasi bahan bakar terhadap torsi pada berbagai putaran mesin. Kandungan etanol menghasilkan campuran udara-bahan bakar yang lebih kurus dan menaikkan rasio udara-bahan bakar (AFR) sehingga membuat pembakaran lebih efisien. Disamping itu etanol juga memperbaiki sifat anti detonasi karena etanol memiliki angka oktan tinggi. Oleh karena itu, saat penyalaan dapat dimajukan agar menghasilkan tekanan maksimum yang lebih tinggi sehingga torsi yang dihasilkan mesin juga lebih besar terutama pada putaran jelajah (2500–3000 rpm). Pada putaran 2500 rpm

kandungan 25% etanol menghasilkan torsi 126,6 kg-m.



Gambar 3. Torsi (T) vs Putaran

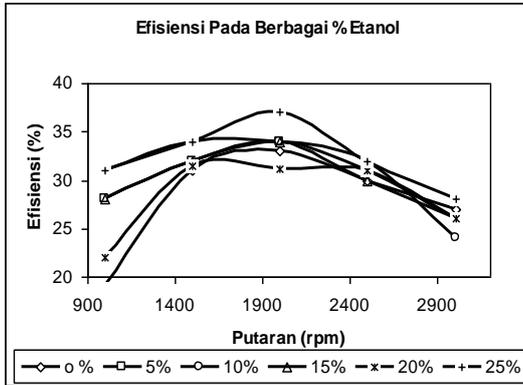
Gambar 4 memperlihatkan efek variasi bahan bakar terhadap konsumsi bahan bakar spesifik (Bsfc) pada berbagai putaran mesin. Secara umum dengan bertambahnya kandungan etanol dalam bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik makin turun. Hal ini disebabkan naiknya daya dengan bertambahnya kandungan etanol dalam bahan bakar. Pada putaran 2500 rpm kandungan 25% etanol menghasilkan BSFC 0,23 kg/hp-jam.



Gambar 4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Bsfc) vs Putaran

Gambar 5 memperlihatkan efek variasi bahan bakar terhadap efisiensi termal (η_{th}) pada berbagai putaran mesin. Seiring dengan bertambahnya kandungan etanol maka efisiensi termis makin tinggi untuk semua putaran mesin. Efisiensi maksimum sekitar 35% pada putaran mesin 2500 rpm, dengan

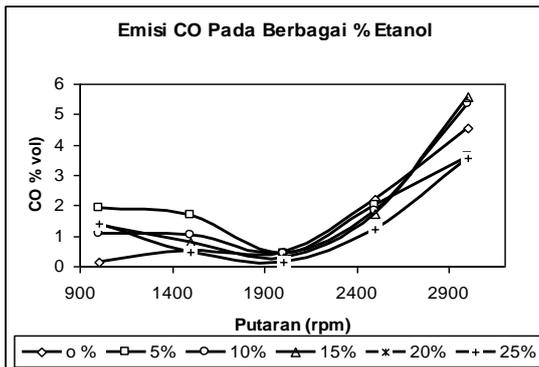
kandungan etanol 25%. Kenaikan efisiensi termis ini disebabkan proses pembakaran yang lebih efisien sehingga mesin menghasilkan daya yang lebih besar. Pada putaran 2500 rpm kandungan 25% etanol menghasilkan efisiensi termis 35%.



Gambar 5 Efisiensi (η_{th}) vs Putaran

Gas Buang Mesin

Gambar 6 memperlihatkan efek variasi bahan bakar terhadap emisi gas CO pada berbagai putaran mesin. Secara umum naik kandungan etanol dalam bahan bakar menyebabkan konsentrasi gas CO dalam gas buang turun. Hal ini didukung oleh kenyataan bahwa kandungan unsur C dalam etanol (C_2H_6OH) lebih sedikit dibanding bensin (C_8H_{18}).

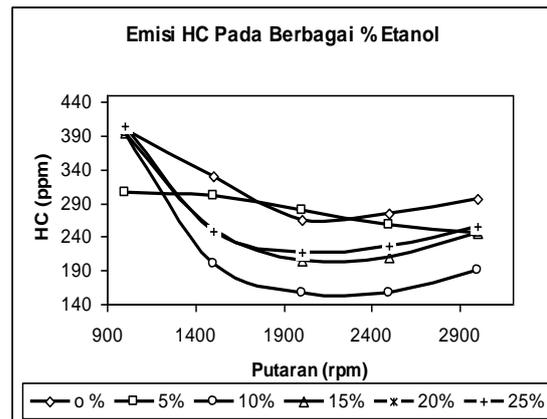


Gambar 6 Emisi CO vs Putaran

Ditambah lagi kandungan unsur O dalam etanol akan memperbesar rasio oksigen-bahan bakar dan diperkuat dengan turunnya konsentrasi O_2 dalam gas buang maka dapat disimpulkan bahwa proses pembakaran

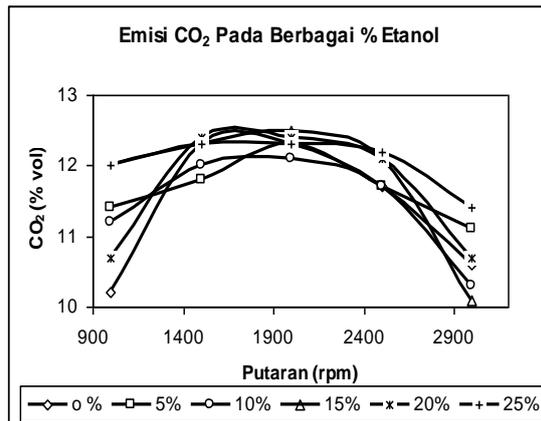
berjalan lebih baik dengan naiknya kandungan etanol dalam bahan bakar sehingga emisi gas CO makin turun. Pada putaran 2500 rpm kandungan 25 % etanol menghasilkan gas buang dengan konsentrasi CO terendah (1,21% V). Nilai ambang batas menurut Permeneg lingkungan hidup no.05 tahun 2006 adalah <4,5%.

Gambar 7 memperlihatkan efek variasi bahan bakar terhadap emisi HC pada berbagai putaran mesin. Secara umum etanol dapat menurunkan emisi HC dalam gas buang. Hal ini juga disebabkan naiknya rasio oksigen-bahan bakar. Pada putaran 2500 rpm kandungan 25 % etanol memberikan kontribusi 227 ppm HC. Nilai ambang batas menurut Permeneg lingkungan hidup no.05 tahun 2006 adalah <1200 ppm.



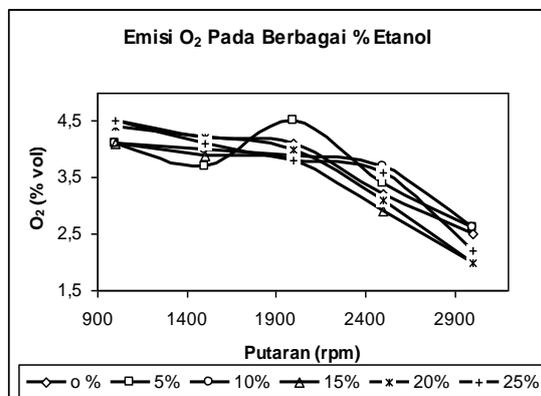
Gambar 7 Emisi HC vs Putaran

Gambar 8 memperlihatkan efek variasi bahan bakar terhadap emisi gas CO_2 pada berbagai putaran mesin. Naiknya kandungan etanol menyebabkan naiknya konsentrasi CO_2 dalam gas buang. Hal ini akibat naiknya rasio udara-bahan bakar yang mendukung terjadinya pembakaran sempurna. Pembakaran yang sempurna menghasilkan CO sedikit dan CO_2 lebih banyak. Pada putaran 2500 rpm kandungan 25 % etanol menghasilkan gas buang dengan konsentrasi CO_2 tertinggi (12,2% V). Capaian $CO_2 = 12,2\%$ berarti pembakaran lebih sempurna karena seperti disebut sebelumnya kadar CO sangat rendah.



Gambar 8. Emisi CO₂ vs Putaran

Gambar 9 memperlihatkan efek variasi bahan bakar terhadap emisi gas O₂ pada berbagai putaran mesin. Secara umum naiknya kandungan etanol dalam bahan bakar menyebabkan turunnya konsentrasi oksigen dalam gas buang. Hal ini dapat dipahami bahwa etanol mendukung terjadi oksidasi bahan bakar yang lebih efektif sehingga terjadi pembakaran yang sempurna, yang menghasilkan emisi O₂ yang lebih sedikit.



Gambar 9. Emisi O₂ vs Putaran

4. KESIMPULAN

Bahan bakar campuran bioetanol-bensin berpengaruh positif terhadap kinerja mesin. Hal ini ditunjukkan oleh adanya sedikit peningkatan daya dan penurunan konsumsi bahan bakar spesifik dengan bertambahnya kandungan etanol dalam campuran bahan bakar tersebut. Pada putaran 2500 rpm

parameter kinerja paling baik terjadi pada campuran 25% etanol yaitu BHP = 44,4 hp; T = 126,6 kg-m; BSFC = 0,23 kg/hp-jam; dan η_{th} = 35%.

Campuran bioetanol-bensin berpengaruh positif terhadap emisi gas buang mesin. Hal ini dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya kandungan etanol dalam campuran bahan bakar, data hasil pengujian mesin menunjukkan emisi CO turun, emisi CO₂ naik, dan emisi HC turun. Naiknya CO₂, turunnya CO dan HC mengindikasikan bahwa proses pembakaran di ruang bakar mesin berlangsung lebih sempurna terutama jika dibandingkan dengan bahan bakar bensin tanpa etanol.

Adapun pada putaran 2500 rpm emisi gas buang paling baik terjadi pada campuran 25% etanol yaitu CO = 1,21%; CO₂ = 12,20%; HC = 227 ppm; dan O₂ = 3,60%. Sementara nilai ambang batas yang dianggap baik berdasar Kepmen No.35 1993 adalah: CO < 4,5% vol, CO₂ = 11% dan HC < 1200 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

Anonymous (1996). *Internal Combustion Engine, Lecturing Script for Technical Universities in Indonesia*. Jenbacher Energie Systeme. Austria.

Indartono, Y (2005). *Bioethanol Alternatif Energi Terbarukan: Kajian Prestasi Mesin dan Implementasi di Lapangan*. <http://www.energi.lipi.go.id>.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi (2009). <http://www.bpmigas.go.id/wp-content/uploads/2011/02/Edisi.64.pdf>

Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T., Butsworth, D.R., Yusaf, T.F., Faizollahnejad, M. (2008). Performance and Exhaust Emissions of a Gasoline Engine With Ethanol Blended Gasoline Fuels Using Artificial Neural Network. *Journal Applied Energy, Elsevier*.

Sarsetiyanto, J., Mursid, M., (2005). Kaji
Eksperimental Pengaruh Ukuran Celah
Platina Terhadap Kinerja dan Emisi

Gas Buang Pada Motor Bensin 4 Tak
Tipe 4K. *Jurnal Purifikasi*. 6 (2). 109-
114.