

ANALISA PENGUJIAN PENGARUH PEMAKAIAN ZAT ADITIF TERHADAP PERFORMANSI MESIN OTTO

Tulus Burhanuddin Sitorus

Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin FT- USU
Jl. Almamater Kampus USU Medan – 20155
Telp./Fax : 061-8212050

Abstract

In this study the addition of additives for gasoline aims to improve engine performance through the quality of fuel combustion with air so that combustion can take place completely and to reduce emissions. This study also expected to benefit the education and research to know the effect of additives on engine performance. Research methods of testing, data collection and processing of test results data. Test data is processed include torque, power, specific fuel consumption, volumetric efficiency, thermal efficiency and emissions. The results showed that the mixture of gasoline additives (C_{2:40}) has a calorific value of the highest compared with other mixtures, this is due to a change in the composition of the fuel. Increased torque at C_{1:40} and C_{2:40}, but decreased in C_{3:40}. This is because the heating value of fuel in C_{3:40} also decreased. While the power produced is influenced by the torque generated by the engine. For the parameters specific fuel consumption (SFC) in each mixture is lower than usual when using the gasoline engine. At engine speed 3000 rpm and load 25 kg obtained by the use of the lowest fuel. Volumetric efficiency increases slightly with the addition of the additive content in the fuel mixture in which the smallest volumetric efficiency occurs when the engine using gasoline fuel. Thermal efficiency for a mixture of fuel consumption is greater than using gasoline. For the parameters emissions, the use of additives mixed with gasoline to make the percentage levels of CO, unburned hydro carbon(UHC) and CO₂ decreased.

Keywords : additives, otto engine performance, emissions

1. PENDAHULUAN

Berkembangnya teknologi otomotif dewasa ini menjadikan teknologi kendaraan juga semakin berkembang, termasuk pada sistem pembakaran dimana sistem memiliki tingkat kompresi rasio yang tinggi sehingga memerlukan jenis bahan bakar yang sesuai agar pembakaran tersebut berjalan dengan sempurna.

Pada era sekarang ini, konsumen sangat membutuhkan kendaraan bermotor dengan kinerja mesin yang optimal dan irit bahan bakar. Kriteria tersebut dapat dipenuhi apabila proses pembakaran bahan bakar salah satunya dengan menggunakan zat aditif untuk meningkatkan kinerja banyak ragamnya.

Pada penelitian ini digunakan campuran zat aditif dengan bahan bakar bensin yang bertujuan untuk meningkatkan performansi mesin otto melalui kualitas proses pembakaran sehingga pembakaran dapat berlangsung secara sempurna dan untuk memperoleh konsentrasi dari beberapa senyawa emisi gas buang yang dihasilkan. Dan diharapkan juga penelitian ini bermanfaat bagi kalangan dunia pendidikan dan penelitian untuk mengetahui pengaruh zat aditif pada performansi mesin otto.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Zat Aditif

Zat aditif merupakan bahan yang ditambahkan pada bahan bakar kendaraan bermotor, baik untuk mesin

bensin maupun mesin diesel. Zat aditif digunakan untuk memberikan peningkatan sifat dasar tertentu yang telah dimilikinya seperti aditif anti detonasi bensin untuk bahan bakar mesin bensin, juga untuk meningkatkan kemampuan bertahan terhadap terjadinya oksidasi pada pelumas. Adapun manfaat dari zat aditif adalah untuk meningkatkan performansi mesin mulai dari durabilitas, akselerasi sampai tenaga mesin. Kegunaan lain dari zat aditif adalah membersihkan karburator/injektor pada saluran bahan bakar, mengurangi karbon/endapan senyawa organik pada ruang bakar, meningkatkan daya mesin, mencegah korosi dan menghemat bahan bakar minyak serta mengurangi emisi gas buang.

2.2. Performansi Motor Bakar^[1]

2.2.1. Torsi dan Daya

Torsi yang dihasilkan suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan *dynamometer* yang dikopel dengan poros output mesin. Daya yang dihasilkan poros output ini memiliki persamaan :

$$P_B = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} T$$

dimana : P_B = Daya (Watt)
 n = Putaran mesin (rpm)
 T = Torsi (N.m)

2.2.2. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption, sfc*) adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

Bila daya dalam satuan kW dan laju aliran massa bahan bakar dalam satuan kg/jam, maka :

$$Sfc = \frac{m_f \times 10^3}{P_B}$$

dimana :

Sfc = konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW.h).

m_f = laju aliran bahan bakar (kg/jam).

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (m_f) dihitung dengan persamaan berikut:

$$m_f = \frac{sg_f \cdot V_f \cdot 10^{-3}}{t_f} \times 3600$$

dimana :

sg_f = *specific gravity*

V_f = volume bahan bakar yang diuji (dalam hal ini 50 ml).

t_f = waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak volume uji (detik).

2.2.3. Efisiensi Volumetrik

Efisiensi volumetrik (η_v) dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$\eta_v = \frac{\text{Berat udara segar yang terisap}}{\text{Berat udara sebanyak volume langkah torak}}$$

Berat udara segar yang terisap:

$$= \frac{m_a}{60} \cdot \frac{2}{n}$$

Massa ideal udara per siklus = $\rho_a \cdot V_s$

dimana ρ_a = massa jenis udara dan

V_s = volume *swept*.

Dengan mensubstitusikan persamaan diatas, maka diperoleh efisiensi volumetrik :

$$\eta_v = \frac{2 \cdot m_a}{60 \cdot n} \cdot \frac{1}{\rho_a \cdot V_s}$$

2.2.4. Efisiensi Termal

Kerja berguna yang dihasilkan selalu lebih kecil dari pada energi yang dibangkitkan piston karena sejumlah energi hilang akibat adanya rugi-rugi mekanis (*mechanical losses*). Dengan alasan ekonomis perlu dicari kerja maksimum yang dapat dihasilkan dari

pembakaran sejumlah bahan bakar. Efisiensi ini disebut sebagai efisiensi termal (*brake thermal efficiency, η_b*) :

$$\eta_b = \frac{\text{Daya keluaran aktual}}{\text{Laju panas yang masuk}}$$

Laju panas yang masuk Q, dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Q = m_f \cdot LHV$$

dimana LHV = nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)

Jika daya keluaran (P_B) dalam satuan

kW, laju aliran bahan bakar m_f dalam satuan kg/jam, maka :

$$\eta_b = \frac{P_B}{m_f \cdot LHV} \cdot 3600$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Pengujian dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Waktu penelitian mulai dari persiapan, pengujian dan analisa hasil sekitar 6 (enam) bulan.

3.2 Bahan dan Alat Bahan

Bahan yang menjadi objek pengujian ini adalah bahan bakar bensin dan campuran bensin dengan zat aditif dengan komposisi 4000 ml bensin dicampur 100 ml zat aditif ($C_{1:40}$), 4000 ml bensin dicampur 200 ml zat aditif ($C_{2:40}$) dan 4000 ml bensin dicampur 300 ml zat aditif ($C_{3:40}$). Zat aditif yang digunakan bermerek *Jet Age Conditioner (JAC)* yang terdiri atas *JAC Gas Conditioner* untuk mesin otto dan *JAC Diesel Conditioner* untuk mesin diesel. Pada penelitian ini yang digunakan adalah *JAC Gas Conditioner*.

Alat

Alat uji yang digunakan dalam eksperimental ini terdiri dari :

1. Mesin Otto 4-langkah 4-silinder yaitu *TecEquipment type. TD4A 024*.
2. Bom kalorimeter untuk mengukur nilai kalor bahan bakar.
3. Untuk emisi gas buang menggunakan alat uji *auto gas analyzer*.

3.3. Pengujian

Pengujian yang dilakukan meliputi 3 (tiga) tahapan yaitu :

3.3.1 Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar

Peralatan yang digunakan untuk pengujian nilai kalor adalah *bomb calorimeter*. Sampel untuk pengujian nilai kalor adalah bahan bakar campuran bensin dengan zat aditif yang terdiri dari 100 ml zat aditif dicampur dengan 4000 ml bensin ($C_{1:40}$), 200 ml zat aditif dicampur dengan 4000 ml bensin ($C_{2:40}$), 300 ml zat aditif dicampur dengan 4000 ml bensin ($C_{3:40}$) dan bahan bakar bensin. Sehingga total bahan bakar yang diuji ada sebanyak 4 jenis spesimen.

3.3.2. Pengujian Performansi Mesin Otto

Uji performansi mesin otto dilakukan dengan menggunakan mesin uji TD4A 024 4-Stroke Otto Engine yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. Spesifikasi TD4A 024 4-Stroke Otto Engine [7]

TD4A 024 4 - Stroke Otto Engine	
Type	Tecquipment TD4A 024
Langkah dan Diameter	73,0 mm dan 80,5 mm
Kompresi Rasio	10 : 1
Kapasitas	1486 cc
Firing Order	1-3-4-2

Pengujian dilakukan untuk pemakaian bahan bakar ($C_{1:40}$), ($C_{2:40}$), ($C_{3:40}$) dan bensin dengan volume uji masing-masing bahan bakar sebanyak 50 ml. Pada pengujian ini dilakukan

variasi putaran mesin dan beban yang meliputi variasi putaran mesin 2000-rpm, 2500-rpm, 3000-rpm, 3500-rpm, 4000-rpm serta variasi beban 10 kg dan 25 kg.

3.3.3. Pengujian Emisi Gas Buang

Uji emisi gas buang yang dilakukan meliputi kadar CO, CO₂, UHC dan O₂ yang terdapat pada produk pembakaran empat spesimen bahan bakar yaitu (C_{1:40}), (C_{2:40}), (C_{3:40}) dan bensin dengan volume uji masing-masing sebanyak 50 ml pada putaran mesin 2000-rpm, 2500-rpm, 3000-rpm, 3500-rpm, 4000-rpm serta variasi beban 10 kg dan 25 kg. Peralatan yang digunakan untuk mengetahui emisi gas buang adalah alat uji *auto gas analyzer*.

3.4. Pengumpulan Data

Data yang dipergunakan dalam pengujian ini meliputi :

- a. Data primer, merupakan data yang diperoleh langsung dari pengukuran dan pembacaan pada unit instrumentasi dan alat ukur pada masing-masing pengujian.
- b. Data sekunder, merupakan data yang diperoleh dari spesifikasi bahan aditif yang digunakan dan data karakteristik bahan bakar bensin dari PT. Pertamina.

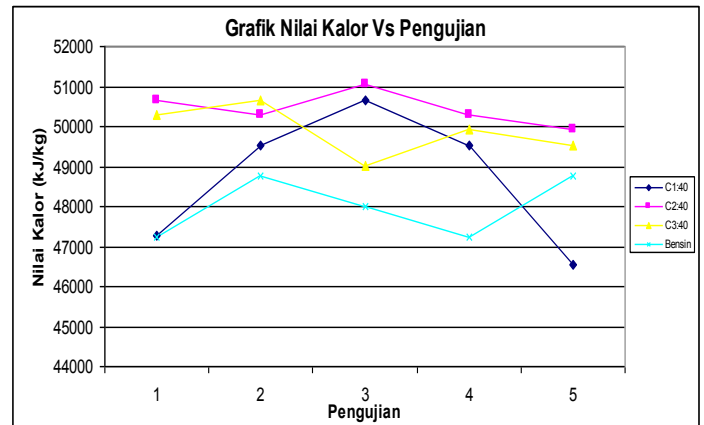
3.5. Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari data primer dan data sekunder diolah ke dalam persamaan, kemudian data hasil perhitungan disajikan dalam bentuk grafik dan dianalisa.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar

Dari hasil penelitian tampak bahwa nilai kalor (*Heating Value*) dari campuran zat aditif dengan bensin lebih tinggi dibanding dengan nilai kalor bensin, hal ini dipengaruhi adanya perubahan komposisi penyusun bahan bakar campuran zat aditif dengan bensin terutama untuk campuran C_{2:40} dan C_{3:40}.



Gambar 1. Grafik Nilai Kalor vs Pengujian

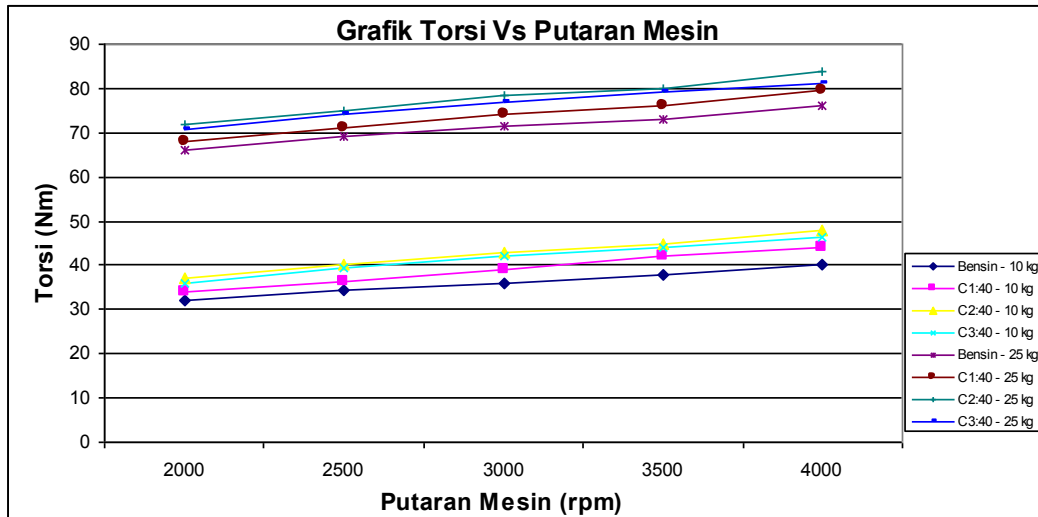
4.2. Pengujian Performansi Mesin Otto

4.2.1. Torsi

Torsi mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan putaran mesin dan penambahan beban. Tampak dari Gambar 2 bahwa torsi dari mesin yang menggunakan ketiga campuran bensin dengan zat aditif lebih besar bila dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar bensin. Hal ini dipengaruhi oleh nilai kalor tiap jenis spesimen bahan bakar. Besarnya energi hasil pembakaran suatu bahan bakar sangat dipengaruhi nilai kalor dimana nilai kalor dipengaruhi oleh komposisi penyusun bahan bakar itu sendiri.

4.2.2. Daya

Besarnya daya yang dihasilkan mesin dipengaruhi oleh putaran poros engkol yang terjadi akibat dorongan piston yang dihasilkan karena adanya pembakaran bahan bakar dengan udara. Jika konsumsi bahan bakar dan udara diperbesar maka akan semakin besar juga daya yang dihasilkan mesin. Semakin cepat poros engkol berputar maka akan semakin besar daya yang dihasilkan. Dari Gambar 3, daya terendah terjadi ketika menggunakan bahan bakar bensin pada beban 10 kg dan putaran 2000 rpm yaitu 8,373 kW. Sedangkan daya tertinggi terjadi ketika menggunakan bahan bakar C_{2:40} pada putaran 4000 rpm dan beban 25 kg yaitu sebesar 30,144 kW.

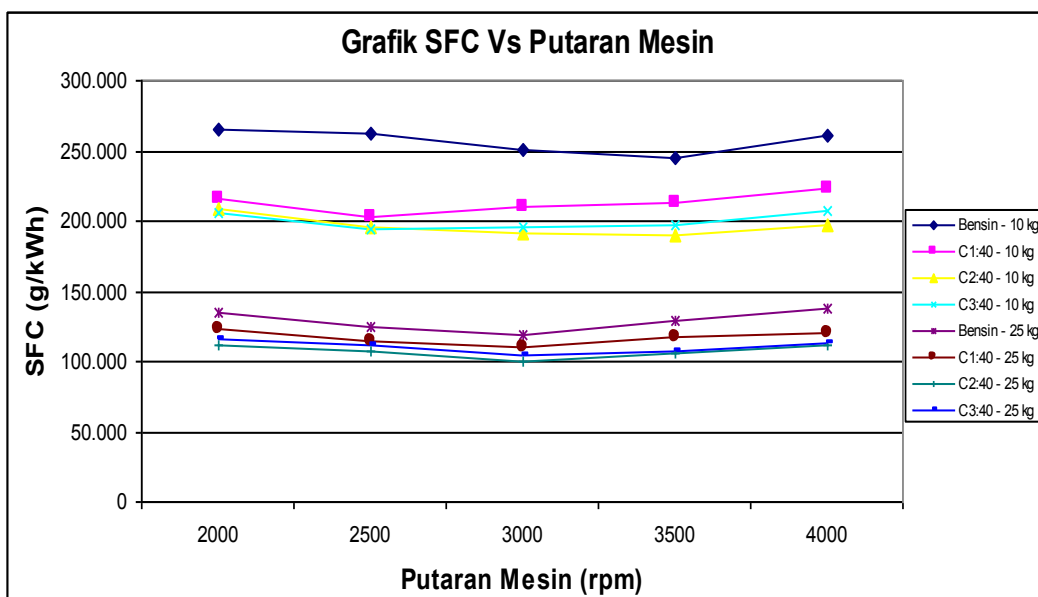


Gambar 2. Grafik torsi vs putaran mesin untuk beban 10 kg dan 25 kg

4.2.3. Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar spesifik dipengaruhi oleh putaran mesin. Semakin tinggi putaran mesin maka konsumsi bahan bakar juga meningkat dan sebaliknya. Hal ini disebabkan oleh peningkatan laju aliran bahan bakar. Ada kecenderungan besarnya Sfc juga dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar dimana semakin besar nilai kalor bahan bakar maka Sfc semakin kecil dan sebaliknya. Dari grafik tampak bahwa pada pembebanan 10 kg, Sfc terendah terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar campuran

zat aditif dengan bensin C_{2:40} pada putaran 3500 rpm yaitu sebesar 190,437 g/kWh. Sedangkan Sfc tertinggi terjadi saat mesin menggunakan bensin pada putaran 2000 rpm yaitu sebesar 264,805 g/kWh. Dan untuk pada pembebanan 25 kg, Sfc terendah terjadi pada pengujian dengan bahan bakar C_{2:40} pada putaran 3000 rpm yaitu sebesar 100,632 g/kWh. Sedangkan Sfc tertinggi terjadi pada saat mesin menggunakan bensin pada putaran 4000 rpm sebesar 137,561g/kWh.

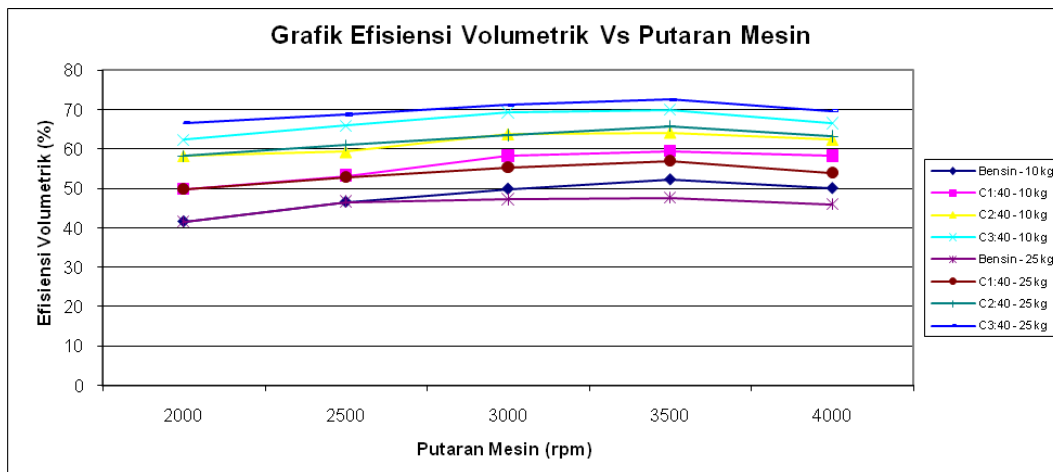


Gambar 4. Grafik Sfc vs putaran mesin untuk beban 10 kg dan 25 kg

4.2.4. Efisiensi Volumetrik

Efisiensi volumetrik menunjukkan perbandingan antara jumlah udara yang terisap sebenarnya terhadap jumlah udara yang terisap sebanyak volume langkah torak untuk setiap langkah isap. Efisiensi volumetrik sangat dipengaruhi oleh putaran mesin. Tampak dari grafik bahwa pada beban 10 kg, efisiensi volumetrik tertinggi terjadi ketika mesin menggunakan bahan bakar C_{3:40} pada putaran

3500 rpm yaitu sebesar 69,97%, dan terendah pada saat menggunakan bahan bakar bensin pada putaran 2000 rpm sebesar 41,62%. Untuk beban 25 kg, efisiensi volumetrik tertinggi terjadi ketika menggunakan bahan bakar C_{3:40} pada putaran mesin 3500 rpm sebesar 72,56%. Efisiensi volumetrik terendah terjadi ketika mesin menggunakan bahan bakar bensin pada putaran 2000 rpm yaitu 41,82%.

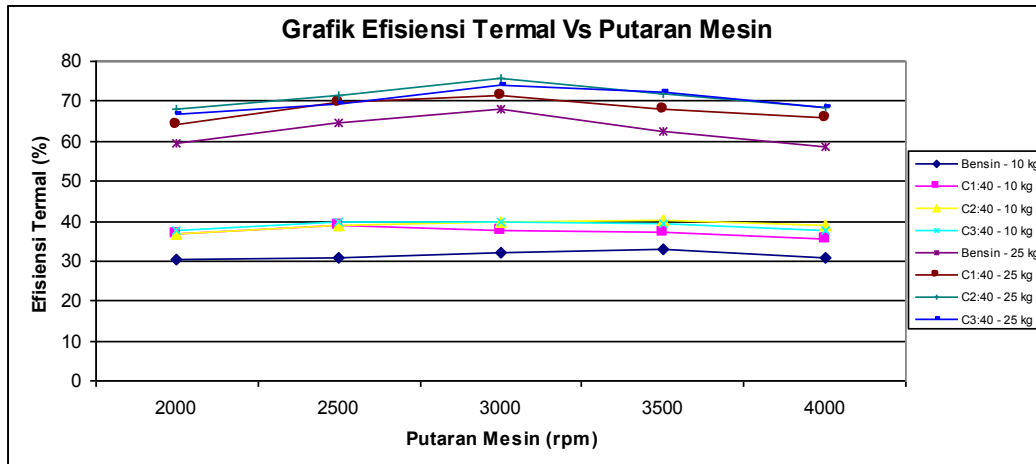


Gambar 6. Grafik efisiensi volumetrik vs putaran mesin untuk beban 10 kg dan 25 kg

4.2.5. Efisiensi Termal

Efisiensi termal terendah terjadi ketika menggunakan bahan bakar bensin pada beban 10 kg dan putaran mesin 2000 rpm yaitu sebesar 30,37 %. sedangkan efisiensi termal tertinggi terjadi ketika menggunakan bahan bakar C_{2:40} pada putaran 3000 rpm yaitu sebesar 75,80%. Efisiensi termal dari mesin yang menggunakan bahan bakar campuran antara zat aditif dengan bensin relatif lebih besar dibandingkan bila mesin menggunakan bensin, hal ini dipengaruhi oleh lebih besarnya nilai kalor dari campuran antara zat aditif dengan bensin dibandingkan dengan nilai kalor bensin. Kenaikan putaran poros pada beban konstan cenderung mengurangi efisiensi termal, untuk beban konstan daya efektif yang dihasilkan relatif

konstan dan kenaikan putaran poros akan mempersingkat waktu proses pencampuran bahan bakar–udara, sehingga pembakaran berlangsung kurang baik, hal ini akan menghasilkan energi pembakaran yang lebih kecil dan cenderung mengurangi efisiensi termal. Pada kondisi penambahan beban pada putaran poros konstan akan terjadi penambahan kandungan oksigen yang terikat pada campuran antara zat aditif dengan bensin sebanding dengan penambahan massa bahan bakar, hal ini akan menyebabkan semakin banyak bahan bakar yang terbakar dan daya efektif yang lebih besar, sehingga meningkatkan efisiensi termal.



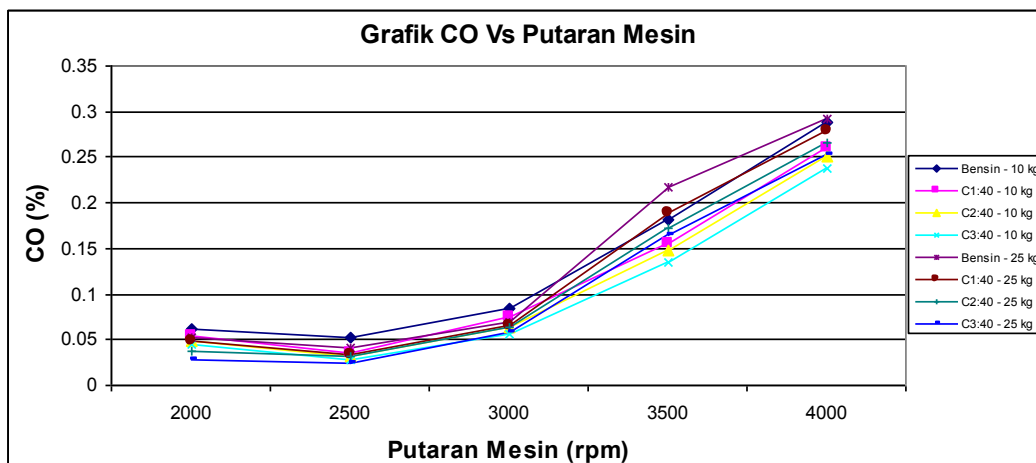
Gambar 7. Grafik efisiensi termal vs putaran mesin untuk beban 10 kg dan 25 kg

4.3. Pengujian Emisi Gas Buang

4.3.1. Kadar Carbon Monoksida (CO)

Emisi gas buang karbon monoksida (CO) terjadi akibat kekurangan oksigen sehingga proses pembakaran berlangsung secara tidak sempurna. Hal ini diakibatkan banyak atom karbon yang tidak mendapatkan cukup oksigen sehingga terbentuk gas CO. Dari hasil pengujian tampak bahwa untuk pembebanan 10 kg, kadar CO terendah terjadi saat mesin

menggunakan bahan bakar C_{3:40} pada putaran 2500 rpm yaitu 0,029%. Sedangkan kadar CO tertinggi terjadi saat menggunakan bahan bakar bensin pada putaran 4000 rpm yaitu sebesar 0,289%. Kemudian untuk pembebanan 25 kg, kadar CO terendah terjadi saat menggunakan bahan bakar C_{3:40} pada putaran 2500 rpm yaitu 0,024%. Sedangkan kadar CO tertinggi terjadi saat menggunakan bensin pada putaran 4000 rpm yaitu sebesar 0,292%.



Gambar 8. Grafik kadar CO vs putaran mesin untuk beban 10 kg dan 25 kg

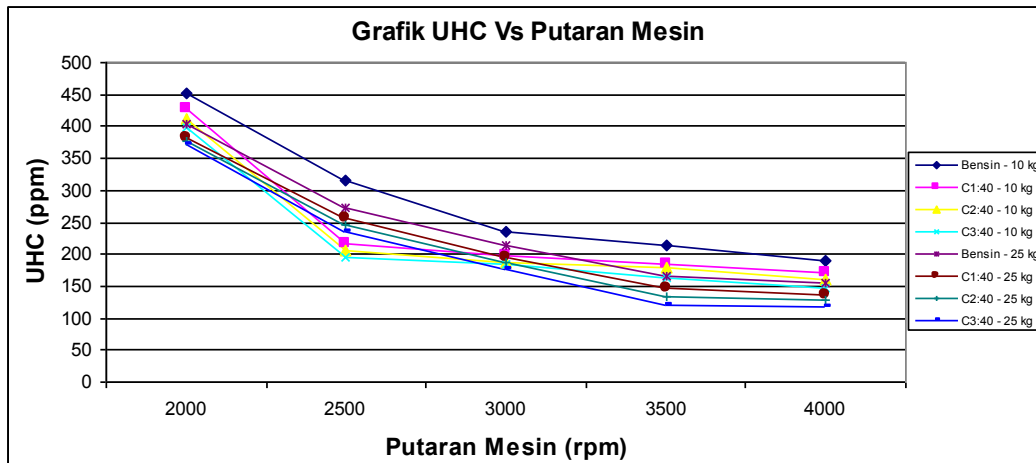
4.3.2. Kadar Unburned Hydro Carbon (UHC)

Jumlah emisi *Unburned Hydro Carbon* (UHC) yang dihasilkan lebih besar terjadi untuk mesin yang menggunakan bahan bakar bensin jika dibandingkan terhadap campuran

antara zat aditif dengan bensin disebabkan karena bensin mempunyai senyawa berat yang jumlah ikatan rantai karbon yang lebih panjang jika dibandingkan dengan campuran antara zat aditif dengan bensin. Hal ini juga disebabkan karena adanya

pembakaran yang tidak sempurna di dalam silinder. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada pembebanan 10 kg, kadar UHC terendah terjadi saat menggunakan bahan bakar C_{3:40} pada putaran 4000 rpm sebesar 118 ppm. Sedangkan kadar UHC tertinggi terjadi saat mesin menggunakan bensin pada putaran

2000 rpm yaitu sebesar 452 ppm. Dan untuk pembebanan 25 kg, kadar UHC terendah terjadi saat menggunakan bahan bakar C_{3:40} pada putaran 4000 rpm yaitu 118 ppm. Sedangkan kadar UHC tertinggi terjadi saat mesin menggunakan bahan bakar bensin pada putaran 2000 rpm yaitu sebesar 404 ppm.

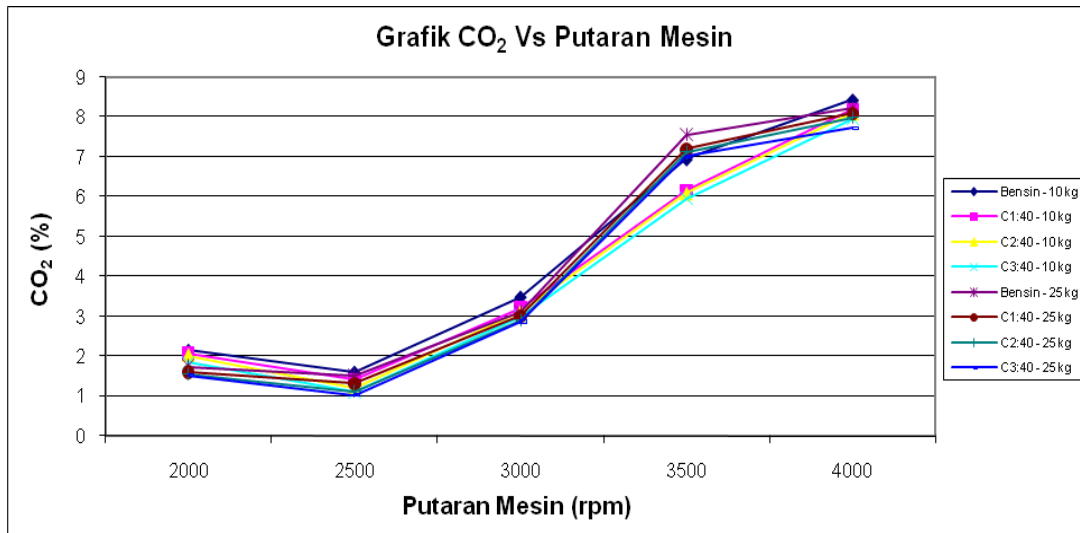


Gambar 9. Grafik Kadar UHC vs Putaran mesin untuk beban 10 kg dan 25 kg

4.3.3. Kadar Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dan oksigen bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna sedangkan karbon dioksida (CO₂) merupakan produk dari pembakaran sempurna. Semakin tinggi kadar (CO), maka semakin rendah CO₂ dari hasil pembakaran. Bila campuran bahan bakar udara sempurna (stoikiometris), maka akan dihasilkan senyawa CO₂. Proses pencampuran udara-bahan bakar dimulai dari diinjeksikannya bahan bakar ke dalam silinder, kemudian butiran bahan bakar akan menguap dan bercampur dengan udara, proses ini dipengaruhi oleh viskositas dan kemampuan bahan bakar untuk dapat menguap. Bahan bakar campuran antara zat aditif dengan bensin mempunyai viskositas yang lebih kecil dari bensin, sehingga pembentukan butiran dan penguapan

bahan bakar lebih mudah dan pencampuran udara-bahan bakar berlangsung dengan baik. Kenaikan putaran poros mempercepat proses pembakaran, sehingga bahan bakar yang terbakar relatif lebih banyak dan emisi CO₂ yang dihasilkan cenderung bertambah besar. Untuk pengujian ini terlihat bahwa pada beban 10 kg, kadar CO₂ terendah terjadi saat mesin menggunakan bahan bakar C_{3:40} pada putaran 2500 rpm yaitu sebesar 1,10 %. Dan kadar CO₂ tertinggi terjadi saat mesin menggunakan bensin pada putaran 4000 rpm yaitu sebesar 8,43 %. Untuk pembebanan 25 kg, kadar CO₂ terendah terjadi saat mesin menggunakan bahan bakar C_{3:40} pada putaran 2500 rpm yaitu 1,02 %. Sedangkan kadar CO₂ tertinggi terjadi saat mesin menggunakan bensin pada putaran mesin 3500 rpm yaitu sebesar 7,56 %.

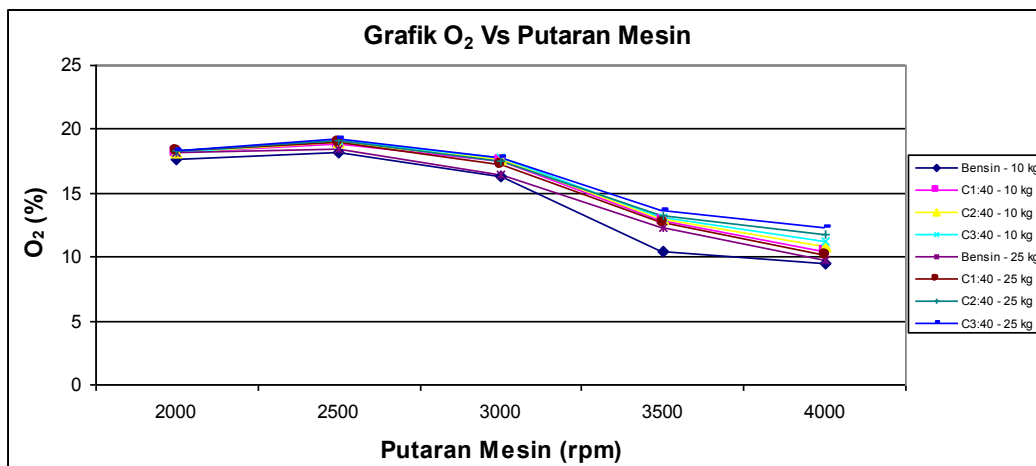


Gambar 10. Grafik kadar CO₂ vs putaran mesin untuk beban 10 kg dan 25 kg

4.3.4. Kadar Sisa Oksigen (O₂)

Proses pembakaran pada mesin Otto berlangsung pada campuran udara-bahan bakar yang kaya atau adanya udara berlebih yang bertujuan untuk menjamin kelangsungan proses pembakaran, sehingga dalam gas buang hasil pembakaran masih mengandung O₂. Sisa O₂ gas buang dari pembakaran campuran antara zat aditif dengan bensin lebih besar dari pada bensin, hal ini karena adanya kandungan oksigen yang terikat langsung pada senyawa zat aditif. Pengaruh kenaikan putaran poros pada beban konstan cenderung mengurangi jumlah sisa O₂ gas buang, hal ini disebabkan pada kondisi tersebut jumlah massa bahan bakar yang

terbakar relatif lebih banyak, sehingga dengan jumlah udara yang sama memerlukan lebih banyak oksigen untuk proses pembakaran. Untuk beban 10 kg, kadar O₂ terendah terjadi saat mesin menggunakan bahan bakar bensin pada putaran mesin 4000 rpm yaitu sebesar 9,45%. Sedangkan kadar O₂ tertinggi terjadi saat mesin menggunakan bahan bakar C_{3:40} pada putaran mesin 2500 rpm yaitu sebesar 19,08%. Pada pembebanan 25 kg, kadar O₂ terendah terjadi saat menggunakan bensin pada putaran 4000 rpm yaitu 9,75% . Sedangkan kadar O₂ tertinggi terjadi saat menggunakan bahan bakar C_{3:40} pada putaran mesin 2500 rpm yaitu sebesar 19,25 %.



Gambar 11. Grafik kadar O₂ vs putaran mesin untuk beban 10 kg dan 25 kg

5. KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa :

1. Bahan bakar campuran bensin-zat aditif (C_{2.40}) memiliki nilai kalor yang paling tinggi dimana hal ini dipengaruhi oleh perubahan komposisi senyawa bahan bakar.
2. Konsumsi bahan bakar spesifik (Sfc) pada setiap campuran lebih rendah dibandingkan bila mesin menggunakan bensin dimana pada putaran mesin 3000 rpm dan beban 25 kg penggunaan bahan bakar paling rendah.
3. Efisiensi volumetrik sedikit meningkat dengan penambahan kandungan zat aditif dalam campuran bahan bakar dimana efisiensi volumetrik terkecil diperoleh bila mesin menggunakan bahan bakar bensin.
4. Efisiensi termal dari mesin yang menggunakan campuran antara zat aditif dengan bensin relatif lebih besar dibandingkan bila mesin menggunakan bahan bakar bensin, hal ini dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar campuran antara zat aditif.
5. Emisi gas buang CO, UHC dan CO₂ untuk mesin yang menggunakan bahan bakar campuran zat aditif mengalami penurunan dibandingkan bila mesin menggunakan bahan bakar bensin.
4. Arismunandar, Wiranto dan Koichi Tsuda, *Motor Diesel Putaran Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1976.
5. Manual Book of *IMR*® 2800 – *Automotive Emission Gas Analyzer*, IMR Environmental Equipment, Inc.
6. Chengel, Yunus A. dan Boles, Michael A., *Thermodynamic, An Engineering Approach*, McGraw Hill Book Company, 1985.
7. Panduan Praktikum Motor Bensin Laboratorium Motor Bakar Departemen Teknik Mesin FT. USU Medan.
8. Priambodo, Bambang dan Maleev, V.L., *Operasi dan Pemeliharaan Mesin Diesel*, Penerbit Erlangga, 1991.
9. Pudjanarsa, Astu dan Nursuhud, Djati, *Mesin Konversi Energi*, Penerbit Andi Yogyakarta, 2006
10. Edi, Sigar, *Buku Pintar Otomotif*, Penerbit Pustaka Dela Pratasa, Jakarta, 1998.
11. Panduan Praktikum Bom Kalorimeter Laboratorium Motor Bakar Departemen Teknik Mesin FT. USU, Medan 1996.
12. Soenarta, Nakolea dan Shoichi Furuhamo, *Motor Serba Guna*, Pradnya Paramita, Jakarta, 2002.
13. Wartawan, Anton L, *Bahan Bakar Bensin Otomotif*, Penerbit Universitas Trisakti, 1997
14. www.pertamina.com
15. www.chemeng.ui.ac.id/~wulan/Materi/port/BAHAN%2520CAIR.PDF
16. www.members.fortunecity.com/lingkungan/artikel/timbal.htm

DAFTAR PUSTAKA

1. Manual Book of *TD 110–115 Test Bed Instrumentation for Small Engines*, TQ Education and Training Ltd – Product Division 2000.
2. Arismunandar, Wiranto. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak* : Penerbit ITB Bandung, 1988.
3. Arends.BPM dan Berenschot.H, *Motor Bensin*, Erlangga. Jakarta, 1980.