

PENGUJIAN CAMPURAN BAHAN BAKAR PREMIUM–METHANOL PADA MESIN SEPEDA MOTOR 4 LANGKAH PENGARUH TERHADAP EMISI GAS BUANG

Arijanto¹⁾, Gunawan Dwi Haryadi¹⁾

Abstrak

Dengan semakin menipisnya cadangan minyak bumi dan semakin tingginya tingkat polusi udara saat ini, perlu dipertimbangkan bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan bahan bakar minyak yang murah dan ramah lingkungan. Methanol sebagai salah satu bahan bakar alternatif yang layak dipertimbangkan karena dapat diproduksi oleh industri dan relatif murah. Keuntungan penggunaan methanol antara lain : emisi gas buang yang rendah, performa yang baik, dan tidak mudah terbakar. Meskipun demikian, methanol belum bisa diaplikasikan langsung pada mesin kendaraan bermotor standar. Untuk itu, penelitian dan pengujian mesin ini menggunakan bahan bakar premium dan campuran premium-methanol berbagai komposisi, yaitu M20, M40 dan M60. Kemudian dilakukan pengukuran emisi gas buang dengan menggunakan alat Gas Analyzer Tecnotest MOD 488A Infrared multi gas. Bahan bakar Premium dan Campuran premium-methanol dengan komposisi yang bervariasi akan menghasilkan emisi gas buang yang berlainan. Pengujian dilakukan pada mesin sepeda motor 4 langkah dengan variasi putaran mesin dan komposisi campuran pada kondisi mesin standar tanpa beban. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa bahan bakar campuran premium-methanol layak digunakan, dan komposisi terbaik campuran premium-methanol yang diujikan yaitu M60 (Premium 40% dan Methanol 60%) dilihat dari emisi gas buang yang dihasilkan.

1. PENDAHULUAN

Semakin bertambahnya kepemilikan kendaraan bermotor di Indonesia ini dapat diindikasikan sebagai salah satu tolak ukur peningkatan tingkat kesejahteraan masyarakat Indonesia. Tentu saja peningkatan jumlah kendaraan bermotor di jalan-jalan raya mempunyai dua sisi yang saling bertolak belakang. Satu sisi memperlancar sistem transportasi dan angkutan jalan raya, sedang sisi yang lain menimbulkan berbagai macam permasalahan antara lain kemacetan dan polusi udara. Kecenderungan peningkatan polusi yang berasal dari gas buang kendaraan bermotor berbanding lurus dengan pemenuhan kebutuhan kendaraan bermotor akan ketersediaan bahan bakar minyak bumi. Indonesia kini memberlakukan standar Euro 2, sesuai Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 141 Tahun 2003 tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi, dengan mengacu pada standar UNECE (*United Nations-Economic Commission for Europe*). Keputusan Menteri tersebut merupakan tindak lanjut PP No 41/1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.

Dengan semakin menipisnya ketersediaan dan cadangan bahan bakar minyak bumi, dimana sebagian besar kendaraan bermotor menggantungkan kebutuhan bahan bakar padanya, maka diperlukan pemikiran lebih lanjut untuk menemukan solusi yang lebih baik guna keluar dari permasalahan tersebut. Perlu diketahui hingga sekarang para ahli sudah dan sedang meneliti penggunaan bahan bakar alternatif yang layak digunakan untuk kendaraan bermotor di masa yang akan datang. Mana yang menghasilkan hasil terbaik masih dalam proses penelitian dan pengembangan.

Oleh karena itu layak untuk menjadi pemikiran kita yaitu mencari bahan bakar pengganti atau bahan bakar pencampur premium sehingga pemakaian premium dapat dikurangi. Bahan pencampur tersebut haruslah tidak tergantung pada eksplorasi minyak bumi tetapi dapat dihasilkan oleh industri. Tujuan lain selain mengurangi penggunaan premium yaitu gas buang yang dihasilkan akan lebih baik dari segi kualitasnya. Salah satu bahan pencampur premium ini adalah methanol. Pertimbangannya adalah methanol dapat diproduksi oleh industri sehingga dapat dijaga kelangsungannya. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian terhadap campuran dari premium-methanol sebagai bahan bakar alternatif kendaraan. Dalam pengujian ini diharapkan dapat diketahui berapa komposisi campuran yang tepat antara premium dan methanol. Dengan penggantian bahan bakar tersebut juga diharapkan dapat diketahui perbandingan kadar emisi gas buangnya.

Dengan bahan bakar campuran premium-methanol dengan komposisi yang bervariasi tentu akan mempengaruhi unjuk kerja mesin dan komposisi gas buangnya. Yang menjadi masalah adalah belum tersedianya cukup informasi tentang seberapa besar pengaruh bahan bakar tersebut terhadap unjuk kerja dan komposisi gas buangnya. Bertolak dari permasalahan di atas, maka perlu diketahui pengaruh penggantian bahan bakar campuran premium-methanol, sehingga pada akhirnya dihasilkan suatu kesimpulan bahwa apakah layak methanol digunakan sebagai bahan bakar pengganti premium di masa yang akan datang. Secara spesifik penelitian ini diarahkan hanya untuk mendapatkan hasil pengujian perbandingan emisi gas buang yang dihasilkan berbahan bakar premium dan campuran premium-methanol. Lingkup penelitian dibatasi hanya pada kondisi mesin standart tanpa modifikasi.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

Diharapkan penelitian ini dapat memberi informasi bahwa banyak jenis bahan bakar selain minyak bumi yang dapat diproduksi, murah dan ramah lingkungan, ikut serta mengatasi kelangkaan minyak bumi serta berpartisipasi dalam mengatasi pemanasan global dan menjaga kelestarian lingkungan.

2. DASAR TEORI

2.1. Motor Bensin

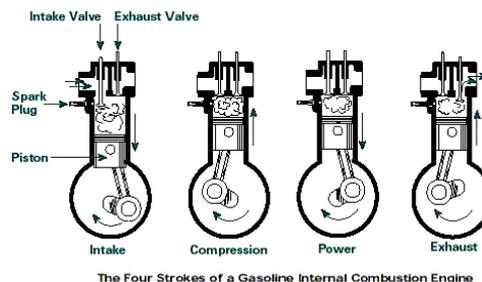
Siklus Otto pada mesin bensin disebut juga dengan siklus volume konstan, dimana pembakaran terjadi pada saat volume konstan. Pada mesin bensin dengan siklus Otto dikenal dua jenis mesin, yaitu mesin 4 langkah (*four stroke*) dan 2 langkah (*two stroke*). Untuk mesin 4 langkah terdapat 4 kali gerakan piston atau 2 kali putaran poros engkol (*crank shaft*) untuk tiap siklus pembakaran, sedangkan untuk mesin 2 langkah terdapat 2 kali gerakan piston atau 1 kali putaran poros engkol untuk tiap siklus pembakaran. Sementara yang dimaksud langkah adalah gerakan piston dari TMA (Titik Mati Atas) atau *TDC (Top Death Center)* sampai TMB (Titik Mati Bawah) atau *BDC (Bottom Death Center)* maupun sebaliknya dari TMB ke TMA.

2.2. Mesin 4 Langkah

Mesin 4 langkah mempunyai 4 gerakan piston yaitu :

1. Langkah hisap (*suction stroke*)
Pada langkah ini bahan bakar yang telah bercampur dengan udara dihisap oleh mesin. Pada langkah ini katup hisap (*intake valve*) membuka sedang katup buang (*exhaust valve*) tertutup, sedangkan piston bergerak menuju TMB sehingga tekanan dalam silinder lebih rendah dari tekanan atmosfer. Dengan demikian maka campuran udara dan bahan bakar akan terhisap ke dalam silinder.
2. Langkah Kompresi (*compression stroke*)
Pada langkah ini kedua katup baik *intake* maupun *exhaust* tertutup dan piston bergerak dari TMB ke TMA. Karena itulah maka campuran udara dan bahan bakar akan terkompresi, sehingga tekanan dan suhunya akan meningkat. Beberapa saat sebelum piston mencapai TMA terjadi proses penyalan campuran udara dan bahan bakar yang telah terkompresi oleh busi (*spark plug*). Pada proses pembakaran ini terjadi perubahan energi dari energi kimia menjadi energi panas dan gerak.
3. Langkah Ekspansi (*expansion stroke*)
Karena terjadi perubahan energi dari energi kimia menjadi energi gerak dan panas menimbulkan langkah ekspansi yang menyebabkan piston bergerak dari TMA ke TMB. Gerakan piston ini akan mengakibatkan berputarnya poros engkol sehingga menghasilkan tenaga. Pada saat langkah ini kedua katup dalam kondisi tertutup.
4. Langkah Buang (*exhaust stroke*)
Pada langkah ini piston bergerak dari TMB ke TMA, sedangkan katup buang terbuka dan katup

isap tertutup, sehingga gas sisa pembakaran akan terdorong keluar melalui saluran buang (*exhaust manifold*) menuju udara luar.



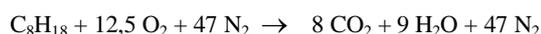
Gambar 2.1. Siklus motor bakar pada mesin 4 langkah

2.3. Bahan bakar

Bahan bakar yang digunakan harus mempunyai sifat-sifat, antara lain nilai bakar yang tinggi, tidak beracun, rendah polusi, mudah dipakai dan disimpan serta murah. Kriteria utama bahan bakar yang harus dipenuhi adalah pembakaran dalam silinder harus cepat dan panas yang dihasilkan harus tinggi, tidak meninggalkan endapan, karena akan menyebabkan kerusakan pada dinding silinder dan gas sisa pembakaran harus tidak berbahaya dan ramah lingkungan. Dengan bahan bakar yang mempunyai karakteristik berbeda maka, waktu pengapian maupun pengaturan katub harus disesuaikan, karena prestasi mesin akan sangat tergantung dari kedua hal tersebut.

2.3.1. Premium

Premium atau sering kita sebut bensin merupakan salah satu hasil dari penyulingan (destilasi) dari minyak bumi. Bensin merupakan bahan bakar untuk motor bakar jenis SI (Spark Ignition), yaitu mesin yang proses penyalannya menggunakan percikan api dari busi. Premium yang dipasarkan adalah bensin yang ditambah dengan zat aditif. Zat aditif tersebut antara lain adalah TEL (Tetra Ethyl Lead / $(C_2H_5)_4Pb$) atau TML (Tetra Methyl Lead / $(CH_3)_4Pb$). Aditif ini berfungsi sebagai zat anti knocking karena dengan penambahan zat ini angka oktan meningkat, semula berkisar antara 75 sampai 78, menjadi 86 sampai 89. TEL larut dalam bensin dan mendidih pada temperatur $200\text{ }^{\circ}C$, serta mempunyai berat sekitar 1,7 kg/liter. Kandungan utama dari TEL adalah timbal yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Reaksi pembakaran premium adalah :

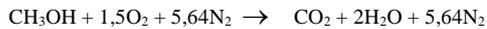


2.3.2. Methanol

Methanol atau Methyl Alcohol (CH_3OH) mempunyai karakteristik sebagai bahan bakar dan terkenal di dunia balap mobil karena methanol dapat menghasilkan tenaga yang besar, angka oktan yang tinggi, efek pendinginan yang baik, dan sebagainya.

Angka oktan yang tinggi membuat methanol dapat digunakan pada mesin-mesin dengan rasio kompresi sampai 15 : 1. Pada pengujian ini metanol belum bisa digunakan secara murni. Pada tahap berikutnya akan dilakukan modifikasi mesin agar komposisi campuran dapat ditingkatkan, bahkan dapat menggantikan bahan bakar premium.

Reaksi pembakaran methanol adalah :



2.3.3. Campuran Premium-Methanol

Penggunaan bensin-methanol dengan konsentrasi methanol lebih dari 15% akan dapat meningkatkan unjuk kerja secara umum pada kendaraan bermotor. Penelitian telah dilakukan oleh para ahli menunjukkan bahwa penggunaan campuran methanol pada bensin dapat meningkatkan sifat antiknocking pada bensin. Efek lain dari penggunaan methanol sebagai campuran pada bensin adalah naiknya angka oktan. Tabel 2.1 ini menunjukkan kontribusi methanol dalam meningkatkan angka oktan.

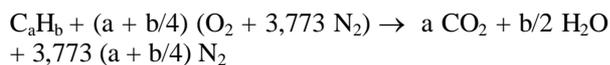
Tabel 2.1 RON campuran bensin-methanol

TABLE 3 Research Octane Numbers of Mixtures of Methanol and Indolene Clear Gasoline*

%CH ₃ OH	Research octane no.	Blending octane no.
0	90.8	136.8
10	95.4	129.5
15	96.6	126.8
20	98.0	
0 + 3 cc TEL	98.0	
15 + 3 cc TEL	101.9	124

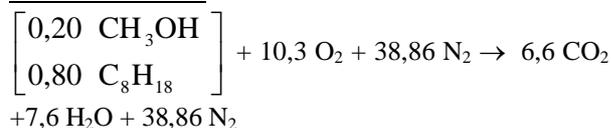
*Source: Dow Chemical Company.

Reaksi pembakaran teoritis antara hidrokarbon dengan udara adalah sebagai berikut

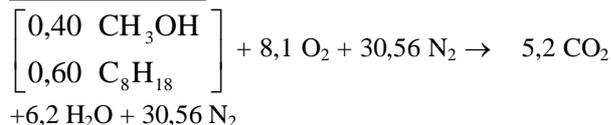


Reaksi pembakaran teoritis campuran premium-methanol dengan udara adalah sebagai berikut :

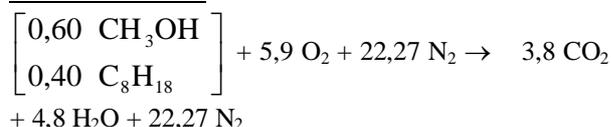
Bahan Bakar M20



Bahan Bakar M40

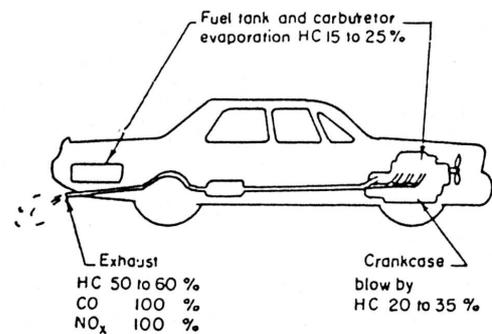


Bahan Bakar M60



2.4. Emisi Gas Buang

Untuk reaksi pembakaran aktual, diusahakan agar tidak menghasilkan gas CO karena gas ini bersifat racun. Untuk meminimalisasi terbentuknya gas CO, maka udara yang digunakan untuk pembakaran sedikit dilebihkan dari standar, sehingga karbon akan terbakar menjadi CO₂, pembakaran sempurna pada mesin sangat sulit didapatkan, sehingga dihasilkan gas-gas hasil pembakaran yang berbahaya dan beracun seperti CO, NO_x, HC, SO_x dan Pb.



Gambar 2.2 Sumber emisi gas buang

1. Pembentukan Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna karena kurangnya oksigen dalam ruang bakar atau kurangnya waktu siklus dalam pembakaran. Secara teoritis CO tidak akan terjadi bila perbandingan udara – bahan bakar lebih besar dari 16 : 1 (campuran miskin). Persentasi CO meningkat dalam keadaan stasioner dan berkurang terhadap kecepatan. Konsentrasi CO rendah pada saat kecepatan konstan. CO dapat diubah menjadi CO₂ dengan oksidasi :



Dimana reaksi ini termasuk reaksi lambat maka tidak dapat merubah semua CO menjadi CO₂. Konsentrasi CO dalam gas buang ditentukan oleh AFR dan bervariasi dengan perubahan AFR.

2. Pembentukan Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon yang tidak terbakar merupakan hasil langsung dari pembakaran tidak sempurna. Pada saat bahan bakar dipanaskan pada temperatur tinggi akan teroksidasi dengan cepat, tetapi hasil pembakaran tidak sempurna dan ada bagian bahan bakar yang tidak terbakar. Disamping itu hasil penguapan akan menyebar di atmosfer dalam bentuk gas hidrokarbon (HC). Faktor-faktor yang mempengaruhi HC dalam emisi diantaranya :

- AFR yang tidak tepat

Kandungan HC dalam gas buang akan bertambah dengan bertambah kayanya campuran udara-bahan bakar. Hal ini akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Jika campuran dibuat miskin maka konsentrasi akan bertambah besar. Hal ini karena kekurangan bahan bakar menyebabkan pembakaran

menurun dan mengakibatkan bahan bakar ikut keluar dari ruang bakar sebelum terbakar sempurna.

- Rasio kompresi rendah

Ketika kendaraan melaju atau selama perlambatan, katup gas praktis tertutup dan hampir tidak ada tarikan udara masuk dalam silinder. Pada saat bersamaan beberapa bahan bakar sisa dalam sirkuit masuk dalam silinder. Hal ini akan menghasilkan tekanan yang rendah dalam ruang bakar dengan campuran udara-bahan bakar relatif kaya. Tekanan yang rendah dan kekurangan oksigen menyebabkan penyalaan tidak sempurna dan mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna, sehingga menghasilkan HC dalam gas buang.

Gas buang selain berpengaruh langsung terhadap kesehatan manusia, pengaruh pada kondisi global adalah hujan asam dan pemanasan atmosfer, hujan asam yang terjadi di atmosfer disebabkan oleh reaksi kimia antara NO_x dan SO_x berasal dari gas buang kendaraan bermotor dengan uap air (H_2O) yang terdapat di atmosfer. Konsentrasi asam di atmosfer yang terlalu tinggi akan mengubah keseimbangan pH yang ada sehingga akan menyebabkan kerusakan pada kehidupan tumbuhan, kerusakan struktur bangunan, kerusakan tanah, korosi, dan lain-lain. Adanya kabut asap pada permukaan bumi mengakibatkan permukaan bumi seakan-akan diselubungi oleh suatu lapisan yang menyebabkan panas matahari yang sudah masuk bumi tidak dapat dipantulkan kembali keluar karena lapisan tersebut menghalanginya, sehingga terjadi pemanasan global di bumi.

3. Metode Perhitungan

3.1 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar

Pemakaian bahan bakar dihitung berdasarkan waktu pemakaian sebanyak 3 ml baik untuk Premium dan Campuran *Premium-Methanol*

Perhitungan konsumsi bahan bakar adalah sebagai berikut:

a. Premium

$$m_{bb} = \frac{3}{t} \cdot \rho_{premium} \cdot 3,6$$

b. Campuran Premium - Methanol

$$m_{bb} = \frac{3}{t} \cdot \rho_{campuran} \cdot 3,6$$

dimana:

m_{bb} : laju aliran bahan bakar (kg/jam)

$\rho_{premium}$: berat jenis premium 0.73 kg/m³

$\rho_{methanol}$: berat jenis methanol 0.79 kg/m³

$\rho_{campuran}$: berat jenis campuran

- $\rho_{M20} = 0,742 \text{ g/cm}^3$

- $\rho_{M40} = 0,754 \text{ g/cm}^3$

- $\rho_{M60} = 0,766 \text{ g/cm}^3$

t : waktu yang diperlukan untuk menghabiskan 3 ml bahan bakar (detik)

3.2 Perhitungan Konsumsi Udara

Konsumsi udara yang diperlukan untuk proses pembakaran dapat diukur dari kecepatan udara yang masuk karburator dikalikan dengan luas penampang saluran udara dan kerapatan udara.

$$m_{udara} = \rho_{udara} \cdot A \cdot v \cdot 3600$$

dimana:

m_{ud} : laju aliran udara (kg/jam)

ρ_{udara} : massa jenis udara pada 1 atm dan 30°C (1,1774 kg/m³)

A : luas penampang saluran udara (0,000117 m²)

v : kecepatan udara masuk (m/dt)

Kecepatan udara yang diperlukan untuk proses pembakaran dapat dihitung dengan perhitungan kecepatan udara untuk pengukuran dengan menggunakan tabung pitot dan manometer dengan fluida air sebagai berikut:

$$v = Cd \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot SG_{air} \cdot \rho_{air}}{\rho_{udara}}}$$

dimana:

v : kecepatan udara (m/s)

Cd : koefisien discharge = 0,61 (square-shoulder)

g : percepatan gravitasi (9,81 m/s)

h : perbedaan tinggi air pada tabung pitot

ρ_{udara} : massa jenis udara (1,1774 kg/m³)

ρ_{air} : massa jenis air (1000 kg/m³)

SG_{air} : spesifik gravitasi air (1 m³/kg)

4. Pengujian

Pada pengujian ini bertujuan mengetahui komposisi emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin uji dengan menggunakan bahan bakar premium dan campuran premium - methanol komposisi 20%, 40%, 60% (M20, M40 dan M60). Pada pengujian ini dilakukan dengan variasi putaran mesin. Pengaturan dilakukan dengan cara memutar bukaan gas untuk menaikkan putaran mesin. Adapun data yang dicatat adalah :

- Waktu pemakaian bahan bakar tiap 3 ml untuk premium, M20, M40 dan M60.

- Komposisi gas buang CO, CO₂, HC, O₂ dan Lambda.

- Kecepatan udara masuk.

Fasilitas uji yang digunakan untuk melakukan uji pemakaian bahan bakar premium, M20, M40 dan M60 pengaruhnya terhadap emisi gas buang dalam kondisi *running in*. Semua kegiatan pengujian

komposisi gas buang dilakukan di Bengkel Resmi Kendaraan Mitsubishi PT. Sidodadi Berlian Motors Semarang, dengan menggunakan alat *gas analyzer Tecnotest MOD 488A Infrared multi gas*.

4.1. Deskripsi Alat Uji

4.1.1. Mesin Uji

Spesifikasi mesin yang dipakai untuk pengujian adalah sebagai berikut :

Merk	: RIMCO
Jumlah silinder	: 1 buah segaris
Diameter silinder & langkah	: 52,5 x 46,0mm
Volume langkah	: 100 CC
Perbandingan kompresi	: 7 : 1
Daya maksimum	: 8.3 Hp / 7000 rpm
Torsi maksimum	: 0,87 Kgm / 5500 rpm
Tekanan kompresi	: 10,5 Kg/cm ² / 400 rpm
Putaran <i>idle</i> mesin	: 1500 rpm
Sitem pengapian	: CDI



Gambar 4.1 Mesin RIMCO

4.1.2. Alat Uji Gas Buang

Spesifikasi alat uji gas buang :

TECNOTEST INFRARED MULTI GAS

Type	: 488 A OIML Class one
Temperatur kerja	: 5° - 40° C
Tegangan listrik	: 220 / 240 ± 15 % V
Daya listrik	: 100 W
Tekanan	: 5 kPa
Nominal flow	: 8 liter/menit
Minimal flow	: 6 liter/menit
Warming	: 15 menit
Kalibrasi	: <i>Automatic calibration</i> (berulang setiap waktu tertentu)
Range	:
CO	= 0 – 99% vol
CO ₂	= 0 – 19,9% vol
HC	= 0 – 9.999 ppm
O ₂	= 0 – 4% vol
Lambda	= 0.5 – 1500

4.1.3. Tachometer

Pada proses pengujian ini *tachometer* yang digunakan adalah *tachometer* type cahaya dengan sensor infra merah. Prinsip kerja dari *tachometer* ini

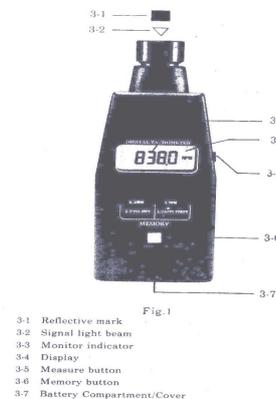
adalah dengan menerjemahkan pantulan cahaya infra merah yang terputus-putus dari *sticker reflector* yang kemudian oleh *foto transistor* diubah menjadi pulsa listrik. Banyaknya pulsa yang terjadi ditampilkan secara *display* dalam bentuk digital. Frekuensi pulsa listrik yang dihasilkan sebanding dengan kecepatan putar poros, sehingga tampilan pada display menunjukkan kecepatan putaran poros. *Tachometer* ini digunakan untuk mengukur putaran mesin.



Gambar 4.2. Display gas analyzer Tecnotest 488A

Tachometer yang digunakan pada pengujian ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

Merk / type	: Protek / 2234 A
Jarak ukur	: 50 s/d 250 mm
Range	: 2,5 s/d 9999,9 rpm Display
Keakuratan	: ± (0.05% + 1 digit)



Gambar. 4.3 Diskripsi panel dari *tachometer*

4.1.4. Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu konsumsi udara dan waktu konsumsi bahan bakar. Stopwatch yang digunakan adalah tipe digital.

Merk	: Hanhart, Casio
Range	: 0 s/d 30 menit
Ketelitian	: 0,01 detik

4.1.5. Gelas Ukur

Digunakan untuk menghitung volume bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin uji selama pengujian. Pemakaian bahan bakar dihitung berdasar waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan tiap 3 ml bahan bakar. Gelas ukur yang digunakan adalah gelas

ukur dengan kapasitas 10 ml dengan skala terkecil 1 ml.

4.1.6. Tabung Pitot

Tabung pitot digunakan untuk mengukur kecepatan aliran fluida dengan yang ditunjukkan pada manometer fluida U yang memberikan perbedaan sebesar ΔH dengan menganalogkan persamaan “Bernoulli” keadaan ideal pada pengujian ini digunakan untuk mengukur kecepatan udara masuk ke karburator

Spesifikasi tabung pitot:

Elemen primer : Orifice

Bahan : Tembaga, campuran seng dan tembaga

Diameter : 12,20 mm

Elemen Sekunder : Manometer sekunder

Jenis fluida : air

Skala maks : 100mm
(diatas dan dibawah 0 mm)



Gambar 4.4. Susunan tabung pitot

4.2. Langkah Pengujian

Pengujian dilakukan dengan metode mengubah bukaan skep / *throttle valve* pada karburator sesuai putaran mesin yang diinginkan. Adapun langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Pemanasan mesin
Menghidupkan mesin dan memanaskan mesin dalam kondisi idle yang dimaksudkan untuk mencapai kondisi operasi mesin, selain itu untuk memastikan mesin sudah bekerja dengan bahan bakar yang diinginkan. Pemanasan selesai setelah oli mencapai 85 °C atau waktu pemanasan 8 sampai 10 menit.
2. Memasukkan *Probe sensor gas analyzer* pada ujung saluran buang (knalpot) dari mesin uji sedalam 30 cm.
3. Menunggu beberapa detik sampai data pada display *gas analyzer* stabil.
4. Mengukur dan mencatat besarnya emisi gas buang yang terbaca pada display *gas analyzer* (CO, CO₂, HC, O₂, dan lambda) sebanyak 3 kali dengan interval waktu 1 menit pada tiap rpm.
5. Menaikkan putaran mesin setiap kenaikan 1000 rpm dimulai dari 2000 rpm dengan memutar bukaan gas sampai putaran 8000 rpm dan mencatat komposisi gas buang.
6. Mengukur konsumsi bahan bakar pada gelas ukur untuk setiap 3 ml dan mencatat waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar pada tiap rpm.
7. Mengukur kecepatan udara masuk ke karburator dilakukan pada tiap rpm.
8. Langkah-langkah percobaan di atas dilakukan dengan menggunakan bahan bakar Premium, M20, M40 dan M60.

5. Data dan Analisa Pengujian

5.1. Data Pengujian

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Bahan Bakar Premium

No.	Rpm	Komposisi gas buang				Lambda	Konsumsi bahan bakar		Konsumsi udara (Kg/jam)	AFR
		CO (%vol)	CO ₂ (%vol)	HC (ppm)	O ₂ (%vol)		Lt/jam	Kg/jam		
1	Idle 1500	3.95	3.9	431	9.20	1.465	0.125	0.091	2.004	22.019
2	2000	4.02	3.5	353	9.10	1.472	0.129	0.094	2.080	22.124
3	3000	4.09	5.8	241	9.10	1.450	0.205	0.150	3.269	21.794
4	4000	4.62	5.7	236	8.20	1.403	0.249	0.182	3.838	21.087
5	5000	4.36	6.3	202	8.10	1.399	0.293	0.214	4.500	21.027
6	6000	4.04	6.0	128	7.90	1.495	0.346	0.253	5.685	22.470
7	7000	3.63	6.0	106	7.30	1.505	0.370	0.270	6.107	22.620
8	8000	2.31	5.2	83	7.10	1.512	0.450	0.329	7.477	22.725

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Bahan Bakar M20

No.	Rpm	Komposisi gas buang				Lambda	Konsumsi bahan bakar		Konsumsi udara (Kg/jam)	AFR
		CO (%vol)	CO ₂ (%vol)	HC (ppm)	O ₂ (%vol)		Lt/jam	Kg/jam		
1	Idle 1500	3.83	5.7	357	7.70	1.403	0.124	0.090	1.831	20.344
2	2000	3.11	6.3	214	8.30	1.505	0.129	0.095	2.073	21.823
3	3000	3.41	7.1	161	7.70	1.354	0.206	0.153	3.004	19.633
4	4000	1.26	7.3	112	7.60	1.495	0.251	0.186	4.032	21.678
5	5000	1.15	6.8	92	6.60	1.570	0.333	0.247	5.623	22.765
6	6000	1.08	7.5	58	5.30	1.454	0.48	0.356	7.506	21.083
7	7000	0.95	7.0	49	6.00	1.516	0.492	0.365	8.023	21.982
8	8000	0.47	5.5	45	2.32	1.347	0.682	0.506	9.883	19.532

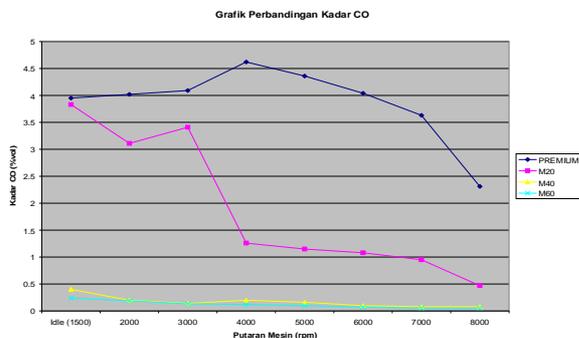
Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Bahan Bakar M40

No.	Rpm	Komposisi gas buang				Lambda	Konsumsi bahan bakar		Konsumsi udara (Kg/jam)	AFR
		CO (%vol)	CO ₂ (%vol)	HC (ppm)	O ₂ (%vol)		Lt/jam	Kg/jam		
1	Idle 1500	0.40	7.2	238	4.70	1.389	0.179	0.131	2.493	19.029
2	2000	0.20	6.9	108	4.30	1.405	0.183	0.138	2.656	19.249
3	3000	0.14	7.6	92	3.95	1.342	0.247	0.186	3.420	18.385
4	4000	0.20	7.8	99	3.00	1.282	0.275	0.207	3.636	17.563
5	5000	0.16	7.1	82	3.00	1.305	0.308	0.232	4.148	17.879
6	6000	0.10	7.6	48	2.04	1.205	0.601	0.453	7.478	16.509
7	7000	0.08	7.0	39	1.36	1.132	0.697	0.525	8.142	15.508
8	8000	0.08	5.7	42	1.23	1.118	0.756	0.570	8.730	15.317

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Bahan Bakar M60

No.	Rpm	Komposisi gas buang				Lambda	Konsumsi bahan bakar		Konsumsi udara (Kg/jam)	AFR
		CO (%vol)	CO ₂ (%vol)	HC (ppm)	O ₂ (%vol)		Lt/jam	Kg/jam		
1	Idle 1500	0.24	7.3	216	3.00	1.245	0.273	0.199	3.102	15.587
2	2000	0.19	7.4	103	2.59	1.218	0.278	0.213	3.248	15.249
3	3000	0.13	7.9	85	2.32	1.167	0.348	0.267	3.901	14.611
4	4000	0.12	8.3	71	1.09	1.087	0.466	0.357	4.858	13.609
5	5000	0.10	8.0	21	0.54	1.028	0.658	0.504	6.487	12.871
6	6000	0.07	8.0	10	0.41	0.992	1.026	0.786	9.762	12.420
7	7000	0.05	8.2	10	0.41	1.028	1.298	0.994	12.793	12.871
8	8000	0.05	8.6	12	0.39	1.037	1.725	1.322	17.164	12.983

5.2 Perbandingan Kadar CO Terhadap Putaran Mesin

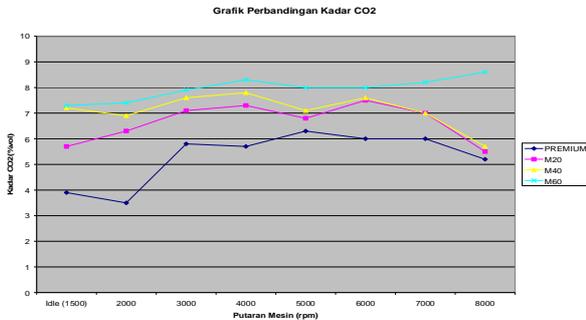


Gambar.5.1. Grafik perbandingan kadar CO terhadap putaran mesin

Dari grafik perbandingan kadar CO diatas dapat dilihat bahwa kadar CO yang dihasilkan oleh mesin dengan bahan bakar campuran premium-methanol berbagai komposisi mengalami penurunan jika dibandingkan dengan premium. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa pembakaran dengan bahan bakar M60 terjadi lebih sempurna daripada pembakaran dengan bahan bakar M20, M40 dan premium. Bahan bakar M60 yang terdiri dari 60% methanol dan 40% premium mempunyai kadar karbon lebih rendah daripada M20, M40 dan Premium. Hal ini disebabkan karena pada M20 (20% Methanol 80% Premium), M40 (40% Methanol 60% Premium) dan Premium sebagian besar terdiri dari senyawa isooktana (C₈H₁₈), sedangkan pada M60 sebagian besar terdiri dari senyawa alkanol (CH₃OH).

Penurunan kadar CO bahan bakar M60 sebesar 94,8 % sampai 97,8 % dibanding kadar CO premium. Dari persamaan reaksi pembakaran diketahui bahwa jika kadar karbon lebih kecil, maka jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi pembakaran juga lebih kecil, sehingga dengan jumlah udara yang tersedia, pembakaran M60 menjadi lebih sempurna.

5.3. Perbandingan Kadar CO₂ Terhadap Putaran Mesin



Gambar.5.2. Grafik perbandingan kadar CO₂ terhadap putaran mesin

Dari grafik secara umum terlihat bahwa dengan penggantian bahan bakar premium dengan campuran premium-methanol berbagai komposisi terjadi peningkatan kadar CO₂. Dilihat pada campuran premium-methanol M60 yang relatif kadar CO₂ paling tinggi dibanding M20, M40 dan Premium. Pada M60 terjadi peningkatan kadar CO₂ sebesar 26,74 % sampai 52,05 % dibanding dengan premium.

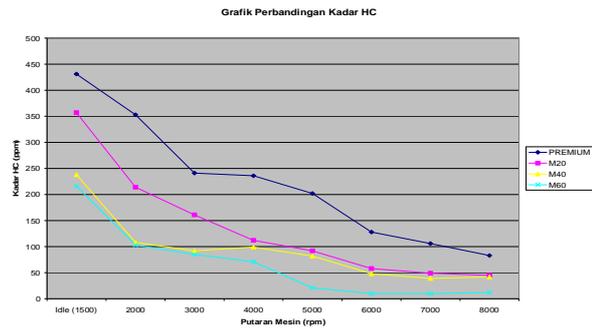
Kadar CO₂ dalam gas buang menunjukkan tingkat efisiensi reaksi pembakaran suatu motor bakar, atau dapat dikatakan semakin besar CO₂ yang dikeluarkan dari mesin berarti kualitas pembakaran semakin baik. Sehingga dari grafik diatas dapat diketahui dengan penggunaan bahan bakar campuran premium-methanol M60 proses pembakaran dalam ruang bakar menjadi lebih sempurna daripada menggunakan bahan bakar M20, M40 dan Premium.

Walaupun kadar CO₂ yang terkandung dalam gas buang mesin yang menggunakan bahan bakar campuran premium-methanol M60 lebih tinggi daripada menggunakan bahan bakar premium, tetapi CO₂ mempunyai tingkat racun yang lebih rendah daripada CO dan CO₂ yang terlepas ke udara dapat diserap oleh tumbuh-tumbuhan untuk proses fotosintesa, sehingga tidak mengkhawatirkan bagi manusia.

5.4. Perbandingan Kadar HC Terhadap Putaran Mesin

Dari grafik perbandingan kadar HC diatas diketahui bahwa mesin dengan bahan bakar campuran premium-methanol berbagai komposisi mempunyai kadar HC yang lebih rendah daripada mesin dengan bahan bakar premium. Kandungan gas HC cenderung mengalami penurunan dengan naiknya putaran mesin untuk bahan bakar premium dan campuran premium-methanol berbagai komposisi. Dari grafik dapat dilihat dengan menggunakan bahan bakar M60 kadar HC pada berbagai putaran mesin menunjukkan penurunan

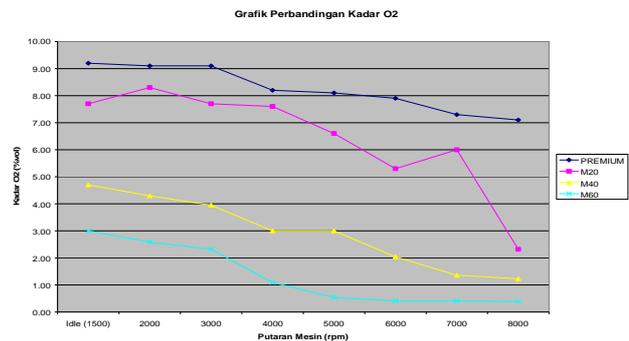
sebesar 49,88% sampai 87,95 % dibanding dengan menggunakan bahan bakar premium.



Gambar.5.3. Grafik perbandingan kadar HC terhadap putaran mesin

Kadar HC gas buang menunjukkan besarnya jumlah bahan bakar yang terbuang percuma dalam proses pembakaran yang berdampak pada tingkat efisiensi reaksi pembakaran di motor bakar tersebut. Jadi dengan bahan bakar campuran premium-methanol M60 jumlah bahan bakar yang terbuang percuma lebih kecil yang menunjukkan efisiensi pembakaran bahan bakar. Hal ini disebabkan karena pembakaran bahan bakar M60 lebih sempurna daripada pembakaran dengan bahan bakar M20, M40 dan Premium.

5.5. Perbandingan Kadar O₂ Terhadap Putaran Mesin



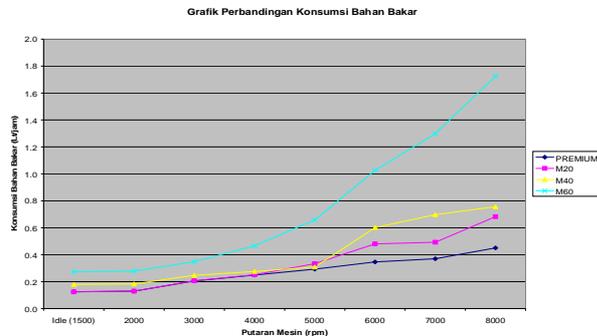
Gambar.5.4. Grafik perbandingan kadar O₂ terhadap putaran mesin

Dari grafik perbandingan kadar O₂ diatas dapat diketahui kadar O₂ yang terkandung dalam gas buang relatif turun seiring naiknya putaran mesin. Kadar O₂ pada gas buang mesin yang menggunakan bahan bakar premium lebih tinggi daripada yang menggunakan bahan bakar campuran premium-methanol. Untuk komposisi M20, M40 dan M60, kadar O₂ yang dihasilkan paling rendah pada komposisi M60 karena pada M60 konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan lebih besar jika dibandingkan dengan bahan bakar M20 dan M40. Dengan demikian dapat diketahui semakin besar komposisi methanol pada campuran premium-methanol maka kadar O₂ yang dihasilkan semakin rendah.

Kadar O₂ pada gas buang menunjukkan jumlah oksigen yang tidak bereaksi di dalam ruang bakar. Pada putaran mesin semakin tinggi jumlah oksigen yang terbawa oleh gas buang mesin lebih rendah karena jumlah bahan bakar yang dikonsumsi juga

semakin besar, sehingga O_2 yang bereaksi dan terbawa oleh gas buang menjadi lebih kecil untuk semua jenis bahan bakar yang diujikan.

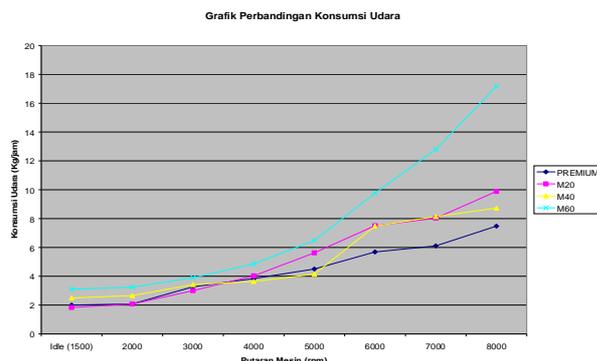
5.6. Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Terhadap Putaran Mesin



Gambar.5.5. Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar terhadap putaran mesin.

Dari grafik perbandingan konsumsi bahan bakar diatas dapat diketahui bahwa jumlah bahan bakar campuran premium-methanol yang dikonsumsi persatuan waktu oleh mesin lebih besar daripada bahan bakar premium. Pada penggunaan bahan bakar M60 mengalami kenaikan konsumsi bahan bakar yang relatif besar sebesar 54,21% sampai 73,91% dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar premium. Pada penggunaan bahan bakar M40 mengalami kenaikan konsumsi bahan bakar sebesar 30,16% sampai 40,39% dan pada penggunaan bahan bakar M20 mengalami kenaikan konsumsi bahan bakar sebesar 0% sampai 2,21% dibanding penggunaan premium. Ini berarti bahwa dengan penggunaan campuran premium-methanol lebih boros konsumsi bahan bakarnya terutama pada penggunaan M60 dibanding penggunaan premium.

5.7. Perbandingan Konsumsi Udara Terhadap Putaran Mesin



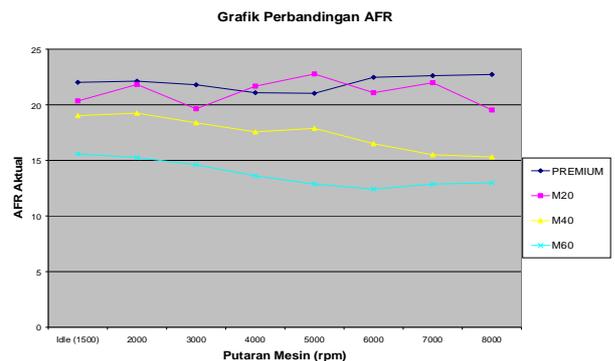
Gambar.4.6. Grafik perbandingan konsumsi udara terhadap putaran mesin

Dari grafik perbandingan konsumsi udara diatas secara umum konsumsi udara untuk pembakaran makin meningkat seiring dengan naiknya putaran mesin, hal ini disebabkan karena dengan naiknya putaran mesin maka jumlah bahan bakar yang masuk semakin besar

sehingga dibutuhkan udara yang lebih banyak untuk membakar bahan bakar yang ada.

Dari grafik perbandingan konsumsi udara diatas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan bahan bakar M60 dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar premium terjadi kenaikan jumlah konsumsi udara sebesar 22,99 % sampai 45,79%. Tetapi pada penggunaan bahan bakar M20 dan M40 mengalami penurunan jumlah konsumsi udara pada saat putaran rendah (dibawah 5000 rpm) dan mengalami kenaikan pada saat putaran tinggi jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar premium.

5.8. Perbandingan Nilai AFR Aktual Terhadap Putaran Mesin



Gambar.4.7. Grafik perbandingan AFR aktual terhadap putaran mesin

AFR aktual diperoleh dari perbandingan antara massa udara yang dikonsumsi dan massa bahan bakar yang dibutuhkan. Dari grafik dapat dilihat nilai AFR dengan menggunakan bahan bakar premium lebih tinggi jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar campuran premium-methanol. Hal ini disebabkan karena pada penggunaan bahan bakar campuran premium-methanol konsumsi bahan bakarnya lebih banyak sebanding dengan konsumsi udaranya jika dibandingkan penggunaan bahan bakar premium.

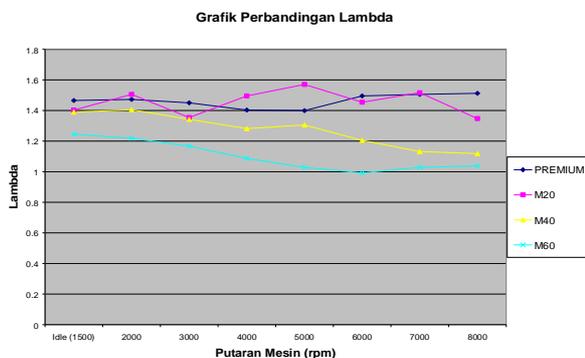
Nilai AFR terendah diperoleh dengan penggunaan bahan bakar M60. Hal ini sebanding karena komposisi campuran M60 yang terdiri dari 60% methanol 40% premium dengan AFR stoikimetri untuk methanol sebesar 6,47 dan AFR premium sebesar 15,03. Semakin banyak komposisi methanol dalam campuran premium-methanol maka nilai AFR yang didapat semakin kecil.

5.9. Perbandingan Nilai Lambda (λ) Terhadap Putaran Mesin

Nilai lambda diatas adalah nilai yang terukur pada alat gas analyzer bersamaan dengan pengukuran komposisi gas buang. Nilai lambda menyatakan perbandingan antara AFR aktual dengan AFR stoikiometri bahan bakar.

Dari grafik perbandingan lambda diatas dapat diketahui bahwa nilai lambda untuk semua bahan bakar yang diujikan lebih besar dari 1 ($\lambda > 1$) yang berarti campuran miskin (*lean fuel-mixture*) atau komposisi udara lebih banyak daripada bahan bakar dalam proses

pembakaran. Untuk nilai lambda kurang dari 1 ($\lambda < 1$) termasuk campuran kaya dan untuk nilai lambda sama dengan 1 ($\lambda = 1$) adalah campuran stoikiometri. Dari grafik dapat dilihat penggunaan bahan bakar M60 pada saat putaran mesin tinggi nilai lambda yang terukur mendekati nilai 1. Hal ini berarti penggunaan bahan bakar M60 campuran bahan bakar-udara yang dihasilkan mendekati campuran stoikiometri.



Gambar 48. Grafik perbandingan Lambda terhadap putaran mesin

6. Kesimpulan dan Saran

6.1. Kesimpulan

1. Prosentase kadar emisi gas buang menggunakan bahan bakar campuran premium-methanol M20, M40 dan M60 dibanding dengan premium mengalami perubahan sebagai berikut :

Untuk kadar CO :

1. Pada M20 mengalami penurunan kadar CO sebesar 17,1 % sampai 79,65 % dengan kadar CO terendah pada putaran mesin 8000 rpm sebesar 0,47 %vol dan tertinggi pada putaran mesin idle (1500 rpm) sebesar 3,83 % vol.
2. Pada M40 mengalami penurunan kadar CO sebesar 91,34 % sampai 96,53 % dengan kadar CO terendah pada putaran mesin 8000 rpm sebesar 0,08 % vol dan tertinggi pada putaran mesin idle (1500 rpm) sebesar 0,4 % vol.
3. Pada M60 mengalami penurunan kadar CO sebesar 94,81 % sampai 97,83 % dengan kadar CO terendah pada putaran mesin 8000 rpm sebesar 0,05 %vol dan tertinggi pada putaran mesin idle (1500 rpm) sebesar 0,24 % vol.

Untuk kadar CO₂ :

1. Pada M20 terjadi peningkatan kadar CO₂ sebesar 16 % sampai 36,36 % dengan kadar CO₂ terendah pada putaran mesin 8000 rpm sebesar 5,5 %vol dan tertinggi pada putaran mesin 6000 rpm sebesar 7,5 % vol.
2. Pada M40 mengalami peningkatan kadar CO₂ sebesar 19,23 % sampai 38,59 % dengan kadar CO₂ terendah pada putaran mesin 8000 rpm sebesar 5,7 %vol dan tertinggi pada putaran mesin 4000 rpm sebesar 7,8 % vol.
3. Pada M60 mengalami peningkatan kadar CO₂ sebesar 26,74 % sampai 52,05 % dengan kadar CO₂ terendah pada putaran mesin Idle (1500

rpm) sebesar 7,3 %vol dan tertinggi pada putaran mesin 8000 rpm sebesar 8,6 % vol.

Untuk kadar HC :

1. Pada M20 mengalami penurunan kadar HC sebesar 17,17 % sampai 45,78 % dengan kadar HC terendah pada putaran mesin 8000 rpm sebesar 45 ppm dan tertinggi pada putaran mesin Idle (1500 rpm) sebesar 357 ppm.
2. Pada M40 mengalami penurunan kadar HC sebesar 44,78% sampai 53,01 % dengan kadar HC terendah pada putaran mesin 7000 rpm sebesar 39 ppm dan tertinggi pada putaran mesin Idle (1500 rpm) sebesar 238 ppm.
3. Pada M60 mengalami penurunan kadar HC sebesar 49,88% sampai 87,95 % dengan kadar HC terendah pada putaran mesin 7000 rpm sebesar 10 ppm dan tertinggi pada putaran mesin Idle (1500 rpm) sebesar 216 ppm.

Untuk Kadar O₂ :

1. Pada M20 mengalami penurunan kadar O₂ sebesar 9,78 % sampai 67,32 % dengan kadar O₂ terendah pada putaran mesin 8000 rpm sebesar 2,32 % vol dan tertinggi pada putaran mesin 2000 rpm sebesar 8,3 % vol.
 2. Pada M40 mengalami penurunan kadar O₂ sebesar 48,91 % sampai 82,67 % dengan kadar O₂ terendah pada putaran mesin 8000 rpm sebesar 1,23 %vol dan tertinggi pada putaran mesin Idle (1500 rpm) sebesar 4,7 % vol.
 3. Pada M60 mengalami penurunan kadar O₂ sebesar 67,39 % sampai 94,50 % dengan kadar O₂ terendah pada putaran mesin 8000 rpm sebesar 0,39 %vol dan tertinggi pada putaran mesin Idle (1500 rpm) sebesar 3 % vol.
2. Nilai AFR dengan menggunakan bahan bakar premium lebih tinggi dibanding menggunakan bahan bakar campuran premium-methanol M20, M40 dan M60. Nilai AFR terendah diperoleh dengan penggunaan bahan bakar M60.
3. Berdasarkan standar emisi dengan kondisi *idle* yang masih berlaku saat ini, dengan nilai ambang batas maksimum CO = 4,5 %, HC = 1200 ppm dan CO₂ = 12 % sesuai SK Menteri Lingkungan Hidup Nomor 141 Tahun 2003, maka bahan bakar M20, M40 dan M60 sangat layak digunakan sebagai pengganti bahan bakar premium saat ini.
4. Komposisi terbaik campuran premium-methanol yang diujikan yaitu M60 (60% methanol dan 40% Premium) dilihat dari kadar emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin uji.

6.2. Saran

1. Perlu diadakan kajian lebih lanjut untuk mendapatkan data tentang kadar emisi gas buang mesin dengan menggunakan bahan bakar premium dibanding campuran premium-methanol berbagai komposisi pada kondisi operasi.
2. Agar lebih merepresentasikan emisi gas buang yang dihasilkan maka perlu pengujian dengan pembebanan dan simulasi operasi di jalan raya.

- 
3. Untuk pengujian selanjutnya diperlukan modifikasi pada sistem bahan bakar dan sistem pengapian yang dapat di *set up*. Karena pada mesin uji sangat sulit mendapatkan kondisi yang sama pada masing – masing putaran mesin.

7. Daftar Pustaka

1. Arends, BPM & Berenschot, *Motor Bensin*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1980.
2. Arismunandar, Wiranto, *“Penggerak Mula Motor Bakar Torak”*, Edisi Keempat, ITB Bandung, 1988.
3. Heywood, John B., *“Internal Combustion Engine Fundamentals”*, McGraw Hill Book Company, Singapore, 1988.
4. Khovakh, M, *Motor Vehicle Engines*, MIR Publisher Moscow, 1979.
5. Maleev, V.L., *Internal Combustion Engines*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1973.
6. Mathur M.L., Sharma R.P., *“A Course In Internal Combustion Engines”*, Published by J.C Kapur, for Dhanpat Rai & Sons, Nai Sarak, Delhi, 1980.
7. McKetta, John J., *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*, Volume 2, Marcel Dekker Inc., New York.
8. Pulkrabek, Willard W, *“Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine”*, Prentice-Hall International Inc, New Jersey, 1997