

PENGARUH METHANOL KADAR TINGGI TERHADAP PERFORMA DAN EMISI GAS BUANG MESIN BENSIN DENGAN SISTEM EGR PANAS

Ahmad Syarifuddin^{1*}, MSK. Tony Suryo Utomo², Syaiful³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang 50239
^{*}asyarifuddin.1270@gmail.com

ABSTRAK

Pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia tiap tahun meningkat tajam, mengakibatkan konsumsi bahan bakar minyak dan emisi gas buang meningkat. Konsumsi bahan bakar minyak meningkat mengakibatkan cadangan bahan bakar fosil menipis. Methanol merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang diharapkan dapat menggantikan bahan bakar fosil, karena dapat diperbarui dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar campuran premium dan high purity methanol (HPM) dengan sistem Exhaust Gas Recirculation (EGR) panas terhadap performa dan emisi gas buang pada mesin bensin 4 silinder, 16 katup, sistem *Electronic fuel injection*. Sebuah dinamometer untuk mengukur daya mesin dan sebuah gas analyser untuk mengukur emisi gas buang. Pengambilan data dengan eksperimen secara langsung menggunakan bahan bakar campuran premium-HPM M0 (premium 100%, methanol 0%), M5 (premium 95%, methanol 5%), M10 (premium 90%, methanol 10%) dan M15 (premium 85%, methanol 15%). Eksperimen dilakukan pada variasi putaran mesin 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm dan 4000 rpm, beban ditetapkan 25% dan bukaan katup EGR 0% dan 7%. Analisa data dengan membandingkan bahan bakar campuran premium-methanol pada sistem EGR panas dengan premium murni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, dengan pemakaian bahan bakar campuran methanol mengakibatkan kenaikan nilai *brake torque* dan *brake power*. *Brake thermal efficiency* naik tertinggi sebesar 10,36% pada M15 tanpa EGR putaran mesin 3000 rpm. Sedangkan *Brake Specific Fuel Consumption* turun sebesar 4,45% pada putaran mesin 2500 rpm untuk M15 dengan EGR. Dengan penambahan EGR menyebabkan temperatur gas buang turun. Emisi gas buang turun untuk CO dan HC, sedangkan CO₂ terjadi kenaikan dibandingkan dengan premium murni, hal ini mengindikasikan bahwa pembakaran terjadi sempurna.

Kata kunci: EGR, emisi, Methanol, performa

ABSTRACT

The rapid growth of motorised vehicles in Indonesia through the year resulted the increase of fuel consumption and exhaust emissions. the increase fuel consumption caused in the depletion fossil fuel in reserve. Methanol is the one of solution that can be used as an alternative fuel and can be expected to replace fossil fuels, for renewable and environmentally friendly reason. This study aimed to determine the effect of the use of premium fuel mixture and high purity methanol (HPM) with hot Exhaust Gas Recirculation (EGR) system on performance and exhaust emissions in gasoline engine 4 cylinder, 16 valve, Electronic fuel injection system. A dynamometer to measure engine power and a gas analyzer for measuring exhaust emissions. Data retrieval experiments directly using a fuel mixture of

premium-HPM, M0 (premium 100%, methanol 0%), M5 (premium 95%, methanol 5%), M10 (premium 90%, methanol 10%) and M15 (premium 85 %, methanol 15%). Experiments conducted on the variation of the engine turns 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm and 4000 rpm, the load is set to 25% and the Opening of EGR Valve 0% and 7%. Analysis of the data by comparing the premium fuel-methanol mixture in hot EGR system with pure premium. The results showed that, with a mixture of methanol fuel usage resulting increase in value of brake torque and brake power. Brake thermal efficiency the highest rise of 10.36% in M15 without EGR engine rotation of 3000 rpm. While Brake Specific Fuel Consumption decreased by 4.45% at 2500 rpm for the engine rotation M15 with EGR. With the addition of EGR causes the exhaust gas temperature down. Exhaust emissions down to CO and HC, while CO₂ there is an increase compared to the pure premium, this indicates that the combustion occurs perfectly.

Keywords: EGR, emissions, Methanol, performance

PENDAHULUAN

Pertumbuhan volume kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat, mengakibatkan meningkatnya konsumsi bahan bakar minyak. Dengan demikian kebutuhan BBM secara nasional semakin meningkat. Bahan bakar minyak bumi yang berasal dari fosil semakin menipis ketersediaannya, dimana sebagian besar kendaraan bermotor bergantung pada bahan bakar minyak. Dengan semakin menipisnya BBM yang berasal dari fosil, manusia berusaha untuk menemukan sumber bahan bakar alternatif baru. Salah satu solusi untuk mencari bahan bakar alternatif terbarukan dan ramah lingkungan adalah dengan menggunakan methanol. Methanol tidak bergantung pada eksplorasi minyak bumi tapi dapat diproduksi oleh industri. Tujuan lain yang dapat diharapkan selain mengurangi penggunaan premium adalah mengurangi emisi gas buang. Pemakaian BBM dari kendaraan bermotor mengeluarkan zat-zat berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun terhadap lingkungan, seperti timbal/timah hitam (Pb), oksida nitrogen (NO_x), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida(CO₂).

Pencampuran bahan bakar premium-methanol dengan komposisi yang bervariasi akan berpengaruh terhadap unjuk kerja mesin dan komposisi gas buangnya. Bahan bakar methanol menawarkan banyak keuntungan, termasuk nilai oktan yang tinggi dan sifat

pembakaran lebih bersih dari pada bensin, [1]. Campuran methanol dan etanol merupakan bahan bakar yang bersih, keduanya memiliki kandungan oksigen yang tinggi dan dapat menurunkan emisi gas buang kendaraan berupa hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) [2].

Kandungan NO_x pada gas buang dapat dikurangi dengan menggunakan EGR (*Exhaust Gas Recirculation*), dengan EGR juga lebih ekonomis bahan bakarnya [3]. Ditambahkan lagi bahwa dengan EGR dapat menurunkan emisi NO_x 25,4% sampai 89% pada kondisi mesin standar. EGR bekerja dengan mensirkulasi kembali sebagian dari gas buang dari *exhaust manifold* kembali ke ruang bakar (*combustion chamber*). Karena formasi *Nitrogen Oxide* (NO_x) cepat terbentuk pada temperatur tinggi, maka penggunaan sistem EGR akan mengurangi terbentuknya NO_x.

LANDASAN TEORI

Mesin bensin termasuk sebagai motor bakar torak. Bahan bakar pada mesin bensin dibakar oleh loncatan bunga api listrik (busi) maka mesin bensin dinamakan *spark ignition engines*. Mesin bensin merupakan salah satu dari mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*), yang menghasilkan tenaga panas dari dalam mesin itu sendiri. Untuk mesin 4 langkah setiap siklus kerjanya diselesaikan dalam empat langkah gerakan torak atau dua kali putaran poros engkol (*crank shaft*). Langkah torak adalah gerakan torak dari titik mati atas (TMA) atau TDC (*Top Death*

Center) ke titik mati bawah (TMB) atau BDC (Bottom Death center).

Mesin 4 langkah mempunyai 4 gerakan langkah torak yaitu : Langkah Hisap (*suction stroke*), Langkah Kompresi (*compression stroke*), Langkah Ekspansi (*expansion stroke*) dan Langkah Buang (*exhaust stroke*).

Performa mesin yaitu torsi dan daya dari motor bakar diperoleh dari hasil pengkonversian *energy thermal* (panas) hasil pembakaran menjadi energi mekanik. Torsi didefinisikan sebagai besarnya momen putar yang terjadi pada poros output mesin akibat adanya pembebanan dengan sejumlah massa (kg), sedangkan daya didefinisikan sebagai besarnya tenaga yang dihasilkan motor tiap satuan waktu. Besarnya torsi dapat diperoleh dengan persamaan:

$$T = F \times L \text{ (Nm)} \quad (1)$$

dimana F adalah gaya (N) yang diberikan dan L adalah jarak lengan torsi. Adapun daya yang dihasilkan oleh mesin adalah hasil perkalian dari torsi dan kecepatan sudut :

$$P = 2\pi \frac{N}{60} \times T \times 10^{-3} \text{ (kW)} \quad (2)$$

dimana P merupakan daya mesin dalam kW, N adalah putaran kerja mesin dalam rpm dan T adalah Torsi. Sebagai catatan bahwa torsi adalah ukuran dari kemampuan sebuah mesin melakukan kerja sedangkan daya adalah angka kerja dari kerja yang telah dilakukan disebut juga *brake power*.

Konsumsi bahan bakar spesifik (*brake specific fuel consumption/BSFC*) mengindikasikan banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan satu satuan daya. Besarnya bahan bakar spesifik atau *brake specific fuel consumption* (BSFC) dapat dihitung dengan persamaan:

$$BSFC = \frac{m_f}{P} \text{ (} \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{jam}} \text{)} \quad (3)$$

dimana BSFC adalah konsumsi bahan bakar spesifik ($\frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{jam}}$) dan m_f adalah massa bahan bakar (kg/jam) dan P adalah daya mesin (kW).

$$\dot{m}_f = \rho_{bb} \times \frac{V}{t} \times \frac{3600}{1000} \quad (4)$$

dimana, ρ_{bb} adalah berat jenis bahan bakar (kg/m^3), V adalah volume bahan bakar (m^3) dan T adalah waktu (detik).

Sedangkan efisiensi Thermal Bahan Bakar (*Brake Thermal Efficiency*/ η_f) adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan per siklus terhadap jumlah energi yang disuplai per siklus yang dapat dilepaskan selama pembakaran. Suplai energi yang dapat dilepas selama pembakaran adalah massa bahan bakar yang disuplai per siklus dikalikan dengan harga panas dari bahan bakar (Q_{HV}). Harga panas bahan bakar ditentukan dalam sebuah prosedur tes standar, dimana diketahui massa bahan bakar yang terbakar sempurna dengan udara dan energi dilepas oleh proses pembakaran yang kemudian diserap dengan kalorimeter. Pengukuran efisiensi ini dinamakan dengan *fuel conversion efficiency* (η_f) dan didefinisikan sebagai [4] :

$$\eta_f = \frac{W_c}{m_f \times Q_{HV}} = \frac{\frac{P \times n}{n}}{m_f \times Q_{HV}} = \frac{P}{m_f \times Q_{HV}} \quad (5)$$

Dari persamaan di atas dapat disubstitusikan dengan $\frac{P}{m_f}$ dan hasilnya adalah : $\eta_f = \frac{3600}{sfc \times Q_{HV}}$ (6)

Dimana dalam satuan SI, yaitu :

η_f = efisiensi dari kerja mesin

Q_{HV} = harga panas dari bahan bakar (MJ/kg)

Sfc = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW. Jam)

Dalam efisiensi ini besarnya Q_{HV} merupakan harga panas rendah (Q_{LHV}) dari bahan bakar yang digunakan, yaitu 45213,82 kJ/kg [4]. Efisiensi thermal yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar methanol lebih tinggi dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar premium [5].

Efisiensi volumetrik adalah perbandingan antara volume muatan segar yang masuk ke dalam silinder dengan volume langkah piston atau laju aliran volume udara sistem intake dibagi dengan laju volume yang dipindahkan oleh piston [4]. Persamaan untuk efisiensi volumetrik adalah :

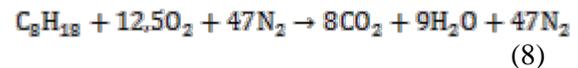
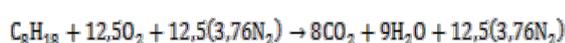
$$\eta_v = \frac{2m_a}{\rho_a V_d N} \quad (7)$$

Dimana η_v adalah efisiensi volumetrik (%), \dot{m}_a adalah laju aliran massa udara (kg/jam) V_d adalah volume silinder /displacement volume (cm³) dan ρ_a adalah massa jenis udara (kg/kW.jam), N adalah putaran mesin. Massa jenis udara masuk dapat diambil dari massa jenis atmosfer udara atau bisa saja dari massa jenis udara di intake manifold. Nilai maksimum dari η_v untuk mesin normal berada di kisaran 80%-90%. Efisiensi volumetrik mesin bensin sedikit lebih rendah dari mesin diesel [4].

Emisi Gas Buang adalah zat pencemar udara yang dihasilkan oleh pembakaran pada kendaraan bermotor yaitu CO, CO₂, HC dan NO_x. Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna karena kurangnya oksigen dalam ruang bakar atau kurangnya waktu siklus dalam pembakaran. Premium adalah senyawa hidrokarbon (HC), jadi setiap HC yang didapat di gas buang kendaraan menunjukkan adanya premium yang tidak terbakar dan terbuang bersama sisa pembakaran. Apabila emisi HC tinggi, menunjukkan ada 2 kemungkinan penyebabnya yaitu AFR yang tidak tepat (terlalu kaya) atau premium tidak terbakar dengan sempurna (*Misfiring*) di ruang bakar [6]. Emisi Nitrogen Oxide (NO_x), adalah polutan yang berbahaya baik di mesin bensin maupun diesel. Formasi Nitrogen Oxide (NO_x) cepat terbentuk ketika campuran nitrogen dan oxygen terpapar pada temperatur tinggi. Kandungan NO_x yang dianjurkan menurut standar Euro 6 adalah 80 mg/km untuk mesin bensin.

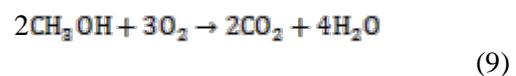
Bahan Bakar Premium adalah salah satu hasil penyulingan (*destilasi*) dari minyak bumi adalah premium, di pasaran premium ditambah dengan zat aditif antara lain *Tetra Ethyl Lead/TEL* (C₂H₅)₄Pb) atau *Tetra Methyl Lead/TML* (CH₃)₄Pb). Zat aditif ini berfungsi sebagai zat anti knocking, dapat meningkatkan angka oktan yang semula berkisar antara 75 sampai 78, menjadi 86 sampai 89. TEL larut dalam premium. Kandungan utama dari TEL adalah timbal yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. dengan kandungan timbal yang diijinkan sebesar 0,13. Premium yang dipasarkan di Indonesia memiliki angka oktan riset (RON) 88.

Reaksi pembakaran premium adalah :

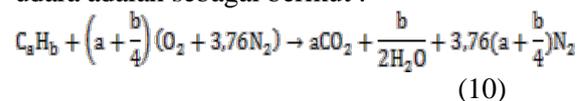


Nilai 3,76 diperoleh dari perbandingan persentase volume N₂ dengan persentase volume O₂ pada udara bebas yaitu 79%/21% = 3,76 dengan menganggap gas lain seperti argon, CO₂ dan lainnya sangat kecil.

Metanol dikenal sebagai methyl alkohol, adalah senyawa kimia dengan rumus kimia CH₃OH. Bahan baku untuk membuat methanol lebih bervariasi karena dapat dihasilkan dari sumber energi yang dapat diperbarui (produk dari agrikultur seperti kayu, jerami, dan lainnya) maupun alternatif lain dari sumber energi yang tidak dapat diperbarui seperti gas alam dan batubara [7]. Persamaan reaksi oksidasi methanol :

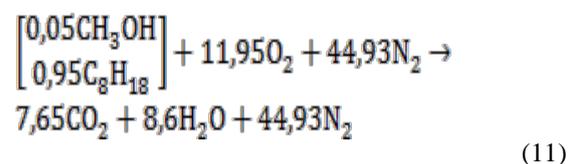


Penggunaan campuran premium-methanol dapat meningkatkan unjuk kerja secara umum pada kendaraan bermotor. Reaksi pembakaran teoritis antara hidrokarbon dengan udara adalah sebagai berikut :

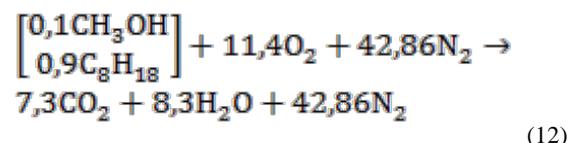


Reaksi pembakaran teoritis campuran premium-methanol dengan udara adalah sebagai berikut :

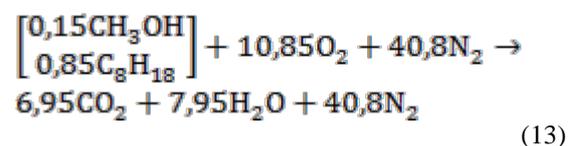
Bahan Bakar M5(methanol 5%, premium 95%)



Bahan Bakar M10(methanol 10%, premium 90%)



Bahan Bakar M15(methanol 15%, premium 85%)



EGR dapat didefinisikan sebagai gas buang yang disirkulasi ulang. Di dalam mesin motor bakar (*internal combustion engine*), aplikasi system EGR secara prinsip adalah mengurangi emisi *Nitrogen Oxide* (NO_x). EGR bekerja dengan mensirkulasi kembali sebagian dari gas buang dari *exhaust manifold* kembali ke ruang bakar (*combustion chamber*). [6] penerapan EGR pada mesin bensin sangat efektif untuk menurunkan kadar NO_x , dengan EGR dapat mengurangi kerugian throttle. Dengan adanya EGR yang berarti memberikan gas tambahan kedalam intake manifold maka akan mengurangi beban kerja katup secara keseluruhan. Ditambahkan lagi dengan EGR akan menurunkan konsumsi bahan bakar. Penggunaan EGR memiliki pengaruh yang signifikan pada emisi NO_x . Penggunaan EGR secara signifikan akan meningkatkan performa mesin. *Engine brake power* meningkat kira-kira 20%, konsumsi bahan bakar turun sekitar 7%, sementara emisi NO_x turun sampai 12% [8].

METODE

Metode penelitian yang digunakan penulis adalah eksperimen yaitu dengan melakukan percobaan-percobaan secara langsung untuk mendapatkan data terkait penelitian yang dilakukan.

Pengujian untuk pengambilan data dilakukan di Laboratorium Thermofluida

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang. Eksperimen dilakukan dengan beban tetap 25%, bukaan katup *EGR* (OEV) 0% dan 7%. Putaran mesin pada 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm dan 4000 rpm. Analisa perhitungan data

dilakukan dengan bantuan *software Ms. Excel 2007* sedangkan grafik diplot dengan bantuan *software OriginPro Versi 8*. Hasil analisa dipresentasikan dalam bentuk grafik 2D. Beberapa grafik yang ditampilkan adalah grafik *brake torque*, *brake power*, BTE, BSFC, EGT, emisi CO, HC dan CO_2 . Hasil analisa data berupa grafik tersebut kemudian dianalisa lagi dengan mengacu ke beberapa jurnal referensi yang tercantum pada daftar pustaka.

Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar campuran antara premium dan *high purity methanol (HPM)*, yang dicampur dengan persentase Methanol 0% (Premium murni), M5%, M10% dan M15%. Methanol yang dipakai dalam penelitian ini adalah methanol kadar tinggi yang diperoleh dari Wahana Hilab Yogyakarta dengan nilai oktan (RON) sebesar 119,28 hasil uji di Laboratorium BPPT /BBTE, PUSPIPTEK Serpong dan premium dengan RON 88 diperoleh dari SPBU Pertamina.

Peralatan untuk pengujian performa dan emisi gas buang menggunakan mesin bensin Toyota Yaris tipe 1SZ-FE, dilengkapi dynamometer spesifikasi mesin secara lengkap pada tabel 2. Sedangkan seting mesin ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2.

Tabel 1. Spesifikasi Bahan Bakar Methanol dan Premium

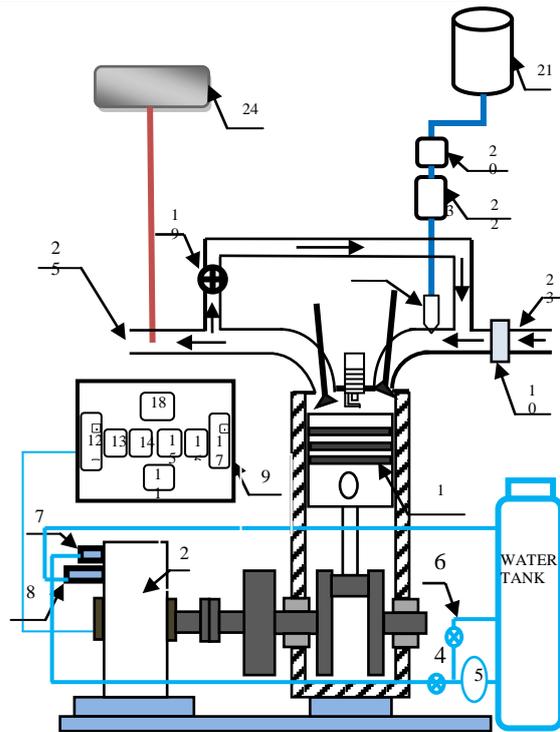
Karakteristik	Satuan	Methanol	Premium
Angka Oktan Riset	RON	119.28	88
Molecular weight	g/mol	32	95-120
Viskositas Kinematik (pada suhu 40°C)	mPa.s	0.6	0,494
Densitas (pada suhu 15°C)	kg/m ³	792	752
Nilai Kalor	MJ/kg	22.08	45.95
Titik Nyala	°C	13	-10 s.d -15
Kandungan Oksigen	%	50	2,7
Kandungan Air	%	0,05	
Latent heat of vaporization	kJ/kg	1178	305
LHV	MJ/kg	20	42,6

Tabel 2. Data Spesifikasi Engine

Characteristics	Specification
Engine type	Naturally aspirated petrol
Engine code	1 SZ-FE/TOYOTA YARIS
Capacity	1 litre : 997cm ³ ; (60.841 cu in)
Bore x stroke	69 x 66.7 mm ; 2.72 x 2.63 in
Bore/stroke ratio	1.03
Cylinder	Straight 4, double overhead camshaft (DOHC), 4 valves per cylinder, 16 valves in total
Maximum torque	90 Nm (66ft.lb)(9.2 kgm) at 4100 rpm
Compression ratio	10:1
Fuel system	EFI



Gambar 1. Mesin Bensin dan Dynamometer



Gambar 2. Experimental setup

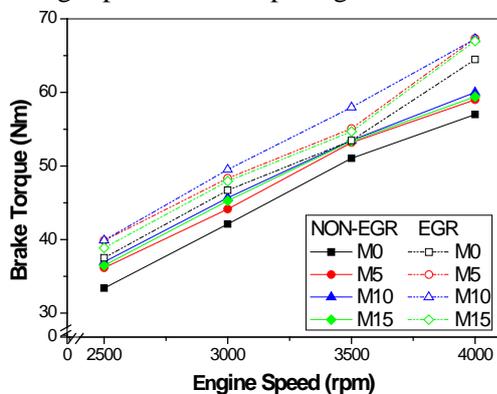
Keterangan Gambar :

- | | |
|------------------------|--------------------------------|
| 1. Mesin Bensin | 14. Temperatur T3 (outlet EGR) |
| 2. Dynamometer | 15. Temperatur T4 (mixer) |
| 3. Fuel Injector | 16. Temperatur T5 (mesin) |
| 4. Katup aliran air | 17. Manometer U2 (EGR) |
| 5. Pompa | 18. Display beban mesin |
| 6. Katup By Pass | 19. Katup EGR |
| 7. Inlet | 20. Katup bahan bakar |
| 8. Outlet air | 21. Mixer bahan bakar |
| 9. Panel Display utama | 22. Buret |
| 10. Air Flow Sensor | 23. Intake manifold |
| 11. Temperatur T1 | 24. Gas Analyzer |
| 12. Manometer U1 | 25. Exhaust manifold |
| 13. Temperatur T2 | |

Gambar. 2 menunjukkan skema eksperimental setup untuk pengujian performa dan emisi gas buang. Campuran bahan bakar dialirkan ke mesin bensin melalui buret. Aliran bahan bakar diukur untuk mengetahui konsumsi bahan bakar. Saat mesin bensin bekerja, pembebanan dilakukan dengan beban konstan diukur dengan menggunakan dinamometer DYNomite Land&Sea tipe *water brake*. Hal ini dilakukan untuk mengukur torsi dan daya mesin. Pengukuran torsi dapat dilakukan dengan meletakkan mesin yang diukur torsinya pada *engine testbed* dan poros keluaran dihubungkan dengan rotor dynamometer [4]. Pada sisi saluran buang (*exhaust manifold*) telah dihubungkan dengan EGR dimana level EGR akan diatur oleh *EGR valve*. Temperatur diukur menggunakan thermocouple. Sedangkan emisi gas buang HC, CO dan CO₂ diukur menggunakan gas analyzer *Stargass 898*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

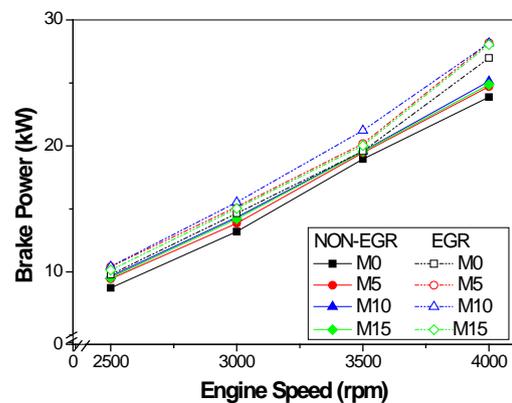
Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan EGR dan methanol terhadap performa dan emisi gas buang pada mesin bensin. Hasil uji pada masing-masing variasi campuran bahan bakar dengan OEV 7% pada putaran mesin 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm dan 4000 rpm, dengan beban konstan 25% tersebut dibandingkan dengan hasil pengujian tanpa EGR (OEV 0%) terhadap *Brake Torque*, *Brake Power*, *BTE*, *BSFC*, *Volumetric Efficiency*, *EGT* dan emisi gas buang, masing-masing dipresentasikan pada gambar 2-9.



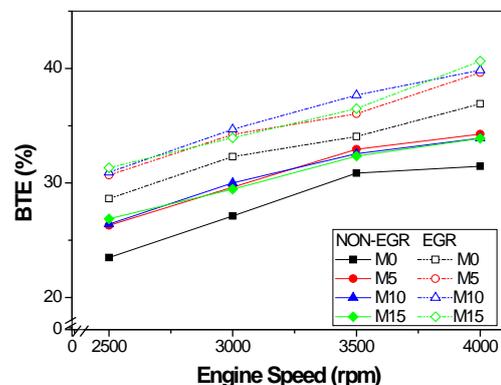
Gambar 2. Grafik pengaruh EGR dan variasi campuran bahan bakar premium-HPM terhadap *Brake Torque* pada beban 25%.

Gambar 2. Menunjukkan bahwa dengan penambahan methanol dan EGR pada mesin bensin, *Engine brake torque* mengalami

peningkatan seiring meningkatnya persentase methanol. *Engine brake torque* mengalami kenaikan tertinggi terjadi pada M10 pada putaran mesin 2500 rpm, sedangkan rata-rata kenaikannya 5,14%. Hal ini dikarenakan sebagian gas buang yang disirkulasikan menyebabkan temperatur intake meningkat, hasilnya tekanan intake meningkat sehingga terjadi peningkatan tekanan kerja indikasi untuk menghasilkan torsi. Hal yang sama juga terjadi pada daya, dengan OEV menyebabkan daya meningkat seperti ditunjukkan pada gambar. 3. Kenaikan daya yang tertinggi pada M10, sedangkan rata-rata kenaikannya sebesar 4,26%. Hal ini sesuai dengan [9], bahwa penggunaan campuran bahan bakar *gasoline-methanol* (M5 dan M10) *engine brake power* akan meningkat tetapi jika menggunakan M30 dan M50 menghasilkan penurunan pada *engine brake power*.

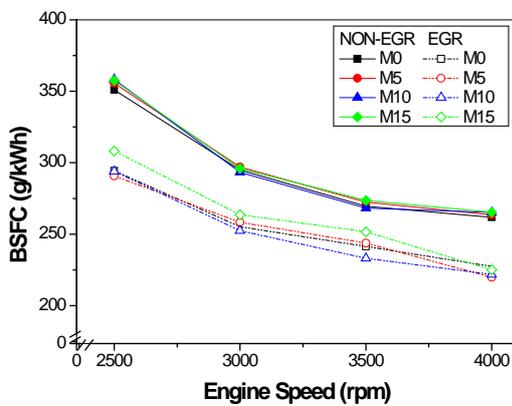


Gambar 3. Grafik pengaruh EGR dan variasi campuran bahan bakar premium- HPM terhadap *Brake Power* pada beban 25%.



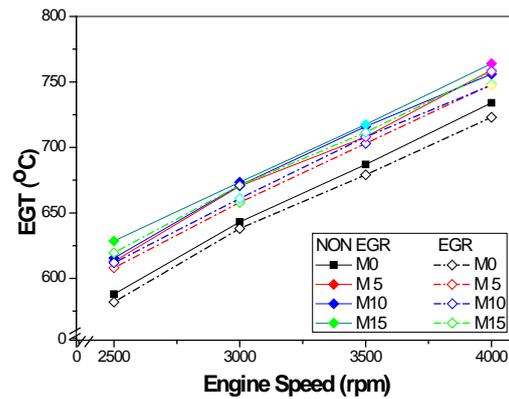
Gambar 4. Grafik pengaruh EGR dan variasi campuran bahan bakar premium-HPM terhadap *BTE* pada beban 25%.

Gambar.4 menunjukkan nilai *Brake Thermal Efficiency*(*BTE*). *BTE* mengalami peningkatan tertinggi pada M15 tanpa EGR pada putaran 3000 rpm sebesar 10,36%. Hal ini sesuai dengan [3,8] bahwa dengan penambahan methanol brake power meningkat 13-14% dan *BTE* meningkat 36% disebabkan *laminar flame speed* dari methanol secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar premium, penyebab lain methanol mengandung oksigen lebih banyak (50%) dari pada premium dimana kualitas pembakaran lebih baik menjadikan *BTE* meningkat. *BTE* pada bahan bakar campuran methanol lebih tinggi dari pada premium murni pada semua putaran mesin dan meningkat dengan meningkatnya kandungan methanol pada campuran methanol-premium, penguapan dari panas laten methanol lebih tinggi dibandingkan dengan premium [10].



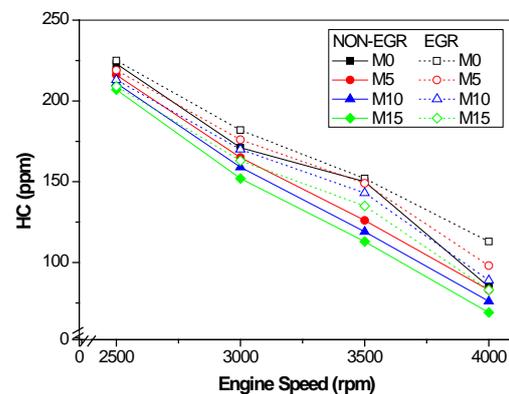
Gambar 5. Grafik pengaruh EGR dan variasi campuran bahan bakar premium-*HPM* terhadap *BSFC* pada beban 25%.

Gambar.5 menunjukkan pengaruh penambahan methanol dan EGR pada mesin bensin terhadap pemakaian bahan bakar spesifik (*BSFC*) mengalami kenaikan terbesar pada putaran mesin 2500 rpm, pada M15% dengan EGR sebesar 4,45%, dengan EGR konsumsi bahan bakar turun lebih dari 10% [6]. *BSFC* menurun dengan meningkatnya putaran mesin. Penggunaan bahan bakar campuran ethanol maupun methanol akan meningkatkan konsumsi bahan bakar dibandingkan dengan premium [11], akan tetapi dengan penggunaan EGR dapat menurunkan *BSFC* dan emisi NO_x [12]. *BSFC* turun 7% dan NO_x turun sampai 12% [8].



Gambar 6. Pengaruh *EGR* dan variasi campuran bahan bakar premium-*HPM* terhadap *EGT* pada beban 25%.

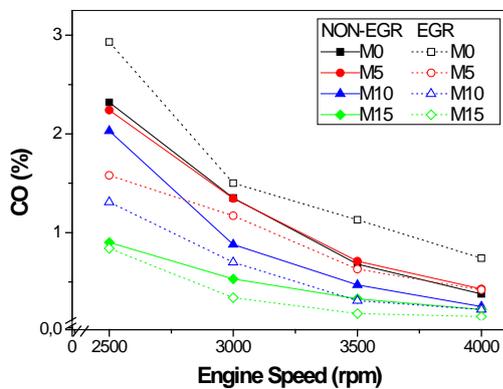
Gambar 6 menunjukkan penurunan temperatur gas buang dengan penggunaan *EGR* dan methanol. Dengan bahan bakar campuran premium methanol *EGT* lebih rendah dibandingkan dengan premium murni pada semua pembebanan dan putaran mesin, methanol memiliki penguapan panas laten lebih tinggi karena campuran methanol menghasilkan penurunan temperatur yang lebih tinggi selama langkah hisap, karena itu temperatur pada saat akhir langkah kompresi juga secara proporsional lebih rendah [8].



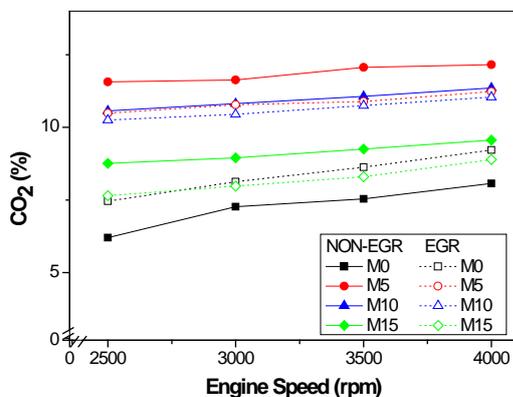
Gambar 7. Pengaruh *EGR* dan variasi campuran bahan bakar premium-*HPM* terhadap Emisi HC pada beban 25%.

Gambar. 7 menampilkan emisi gas buang HC. Emisi HC mengindikasikan pembakaran tidak sempurna di dalam silinder mesin. HC mengalami penurunan seiring bertambahnya beban mesin. Emisi HC dari bahan bakar campuran methanol premium lebih tinggi

dibandingkan premium murni pada putaran mesin lebih rendah [10]. Emisi HC turun dengan bertambahnya kadar campuran bahan bakar methanol. Penurunan terbesar pada campuran M15% dengan EGR yaitu sebesar 26,55% pada putaran mesin 4000 rpm. Emisi HC dari bahan bakar campuran methanol-premium mengalami penurunan mengindikasikan pembakaran yang sempurna di ruang pembakaran. Premium adalah senyawa hidrokarbon (HC), apabila suatu senyawa hidrokarbon terbakar sempurna (bereaksi dengan oksigen) maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O)[14]. Ketika methanol dicampurkan ke dalam premium, campuran bahan bakar memiliki kandungan oksigen yang lebih banyak, dimana hal itu akan menurunkan emisi CO dan HC [5].



Gambar 8. Pengaruh EGR dan variasi campuran bahan bakar premium-HPM terhadap Emisi gas CO pada beban 25%.



Gambar 9. Pengaruh EGR dan variasi campuran bahan bakar premium- HPM terhadap Emisi gas CO₂ pada beban 25%.

Gambar 8 menunjukkan emisi gas buang CO meningkat dengan penggunaan EGR. Konsentrasi oksigen lebih rendah menghasilkan campuran kaya bahan bakar-udara yang berakibat pada pembakaran tidak sempurna dan menghasilkan HC dan CO lebih tinggi [15]. Akan tetapi ketika methanol dicampurkan ke dalam premium, campuran bahan bakar tersebut mengandung oksigen lebih banyak, yang mana akan menurunkan emisi HC dan CO [5]. Emisi CO yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar campuran methanol premium lebih rendah dibandingkan dengan premium karena kandungan oksigen di dalamnya lebih banyak dan berperan aktif dalam reaksi pembakaran[8,10]. Meningkatnya putaran mesin akan menurunkan CO. Meningkatnya putaran mesin menaikkan turbulensi pada ruang pembakaran dan dengan demikian akan terbentuk campuran yang lebih homogen. Campuran ini akan menurunkan emisi CO [3]. Pada penelitian ini CO mengalami penurunan rata-rata sebesar 42,6%.

Gambar 9 menunjukkan peningkatan emisi CO₂ rata-rata sebesar 22,62%. CO₂ pada penggunaan bahan bakar methanol adalah gas yang tidak beracun akan tetapi memberi kontribusi terhadap efek pemanasan global [3]. Emisi CO₂ dihasilkan adanya pembakaran yang sempurna bahan bakar premium (hidrokarbon). Hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O), CO₂ dan NO_x dengan penambahan ethanol dan methanol pada putaran mesin rendah turun, sedangkan pada putaran tinggi akan naik untuk campuran M10. Emisi CO₂ meningkat disebabkan pembakaran sempurna dan dibandingkan dengan premium, dengan methanol meningkat 4,4% [13]. Emisi CO₂ meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan methanol pada campuran bahan bakar. Injeksi lebih bahan bakar akan menyebabkan emisi CO₂ meningkat [14].

I. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini, pengaruh penggunaan campuran bahan bakar premium-methanol terhadap performa dan emisi gas buang mesin bensin pada sistem EGR panas dengan beban tetap dan variasi putaran mesin, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan EGR dan penambahan methanol pada mesin bensin akan

- menaikkan *engine brake torque* dan *engine brake power*.
2. *Brake thermal efficiency* mengalami kenaikan, baik tanpa EGR maupun dengan EGR karena methanol mengandung oksigen lebih banyak (50%) dari pada premium dimana kualitas pembakaran lebih baik menjadikan BTE meningkat.
 3. Penggunaan *EGR* menurunkan *BSFC*. Sedangkan penambahan methanol pada bahan bakar akan meningkatkan konsumsi bahan bakar.
 4. Temperatur gas buang mengalami penurunan dengan penambahan EGR dan methanol.
 5. Akibat penambahan methanol pada bahan bakar, mengakibatkan terjadinya penurunan emisi gas buang pada CO dan HC, sedangkan CO₂ terjadi kenaikan dibandingkan dengan premium murni hal ini mengindikasikan bahwa pembakaran terjadi sempurna.
- recirculation - a review,” Elsevier, *Applied energy*, 99, pp. 534–544.
- L. Sileghem, A. Coppens, B.Casier, J. Vancoillie, S. Verhelst, 2014 “Performance and emissions of iso-stoichiometric ternary GEM blends on a production SI engine,” Elsevier, *Fuel*, 117, pp. 286–293.
 - A. Ibrahim, S. Bari, 2010 “An experimental investigation on the use of EGR in a supercharged natural gas SI engine”, Elsevier, *Fuel* 89, pp. 1721-1730.
 - Simeon Iliev, 2015 “A comparison of ethanol and methanol blending with gasoline using a 1-D engine model”, Elsevier, *Procedia Engineering*, volume **100**, pp. 1013-1022.
 - A.K. Agarwal, H. Karare, A. Dhar, 2014 “Combustion, performance, emissions and particulate characterization of a methanol–gasoline blend (gasohol) fuelled medium duty spark ignition transportation engine,” Elsevier, *Fuel Processing Technology*, 121, pp. 16–24.
 - M. Eyidogan, A. N. Ozsezen, M. Canacki, A. Turkcan, 2010 “Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine”, Elsevier, *Fuel*, volume **89**, pp. 2713-2720.
 - Z. Zhang, H. Zhang, T. Wang, M. Jia, 2014 “Effect of tumble combined with EGR (exhaust gas recirculation) on the combustion and emissions in a spark ignition engine at part loads”, Elsevier, *Energy*, volume 65, pp. 18-24.
 - M.K Balki, C. Sayin, M. Canacki, 2014 “The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine,” Elsevier, *Fuel*, 115, pp. 901–906.
 - M. Canacki, A.N. Ozsezen, E. Alptekin, M. Eyidogan, 2013 “Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the exhaust emission of an SI engine”, Elsevier, *Renewable Energy* 52, pp. 111-117.
 - D. Agarwal, S.K. Singh, A.K. Agarwal, 2011 “Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on performance, emissions, deposits and durability of constant speed compression ignition

DAFTAR PUSTAKA

- Chijen Yang, R.B. Jackson, 2012 “Communication: China’s growing methanol economy and its implications for energy and the environment”, Elsevier, *Energy Policy*, 41, pp. 878–884.
- H. Chen, Yanga L., Zhanga P., Li J., Geng L., Ma Z., 2014 “Formaldehyde emissions of gasoline mixed with alcohol fuels and influence factors”, *JJMIE*, China, Vol. 8 No. 2, pp. 76 – 80.
- J. Cha, J. Kwon, Y. Cho, S. Park, 2001 “The effect of exhaust gas recirculation (EGR) on combustion stability, engine performance and exhaust, emissions in a gasoline engine”, *KSME International Journal*, Korea, Vol. 15 No. 10, pp. 1442 -1450.
- J. B. Heywood, 1988 “Internal combustion engine fundamental”, By Mc. Graw-Hill.
- L. Shenghua, E. R. Cuty Clemente, H. Tiegang, W. Yanjv, 2007 “Study of spark ignition engine fueled with methanol/gasoline fuel blends,” Elsevier, *Applied Thermal Engineering*, 27, pp. 1904–1910.
- H. Wei, T. Zhu, G. Shu, L. Tan, Y. Wang, 2012 “Gasoline engine exhaust gas

engine”, Elsevier, Applied Energy 88,
pp. 2900-2907.