

PERFORMA DAN EMISI GAS BUANG MESIN BENSIN DENGAN SISTEM EGR PANAS PADA CAMPURAN BAHAN BAKAR PREMIUM DAN HIGH PURITY METHANOL

Ahmad Syarifuddin, MSK Tony Suryo Utomo, Syaiful

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro
Semarang, Indonesia
email: asyarifuddin.1270@gmail.com

Abstract: Performance and exhausted emission of fuel engine within EGR system on premium and high purity methanol mixture. The increasing number of motor vehicles in Indonesia led to increased fuel consumption and air pollution. Increased fuel consumption resulting in depleting fossil fuel reserves. Methanol is one alternative fuel that is expected to replace fossil fuels, for renewable and environmentally friendly. This experiment aims to determine the effect of using a fuel blend of premium and high purity methanol (HPM) system with EGR (Exhaust Gas Recirculation) hot on performance and exhaust emissions in gasoline engines, four cylinder, 16-valve, EFI system equipped with EGR system heat, A dynamometer brand DYNO-mite Land & Sea to measure engine power and a gas analyzer Stargass for measuring exhaust emissions. At the time of data collection using the percentage of premium fuel mixture-methanol is 0, 5, 10 and 15% or M0/ pure Premium, M5, M10 and M15. 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 EGR valve opening or Opening of EGR Valve (OEV) 0% and 7%. Analysis of the data by comparing the without EGR and EGR and the fuel mix methanol with pure premium. The results showed that with the use of premium-fuel mixture of methanol and applied with EGR, resulting in the increase in the value of torque, power and thermal efficiency. Brake specific fuel consumption (BSFC), with fuel-methanol blend of premium increases, whereas with EGR has decreased. Application of EGR causes the exhaust gas temperature drops, which means indicates NO_x emissions down. While the reduction in exhaust emissions of CO occur on average by 42.6% and HC dropped an average of 10.6%, while CO₂ increased on average by 22.62%.

Keywords: EGR, emission, HPM, performance

Abstrak: Performa dan emisi gas buang mesin bensin system EGR panas pada campuran bahan bakar premium dan high purity methanol. Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Indonesia menyebabkan meningkatnya konsumsi bahan bakar minyak dan polusi udara. Konsumsi bahan bakar minyak meningkat mengakibatkan cadangan bahan bakar fosil menipis. Methanol merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang diharapkan dapat menggantikan bahan bakar fosil, karena dapat diperbarui dan ramah lingkungan. Eksperimen ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar campuran premium dan high purity methanol (HPM) dengan sistem EGR(Exhaust Gas Recirculation) panas terhadap performa dan emisi gas buang pada mesin bensin, 4 silinder, 16 katup, sistem EFI dilengkapi dengan sistem EGR panas. Sebuah dynamometer merek DYNO-mite Land&Sea untuk mengukur daya mesin dan sebuah gas analyser Stargass untuk mengukur emisi gas buang. Pada saat pengambilan data menggunakan persentase campuran bahan bakar premium-methanol yaitu 0, 5 10 dan 15% atau M0/Premium murni, M5, M10 dan M15. Eksperimen dilakukan pada variasi putaran mesin 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm dan 4000 rpm, beban ditetapkan 25% dan bukaan katup EGR atau Opening of EGR Valve(OEV) 0% dan 7%. Analisa data dengan membandingkan antara tanpa EGR dan dengan EGR serta antara bahan bakar campuran methanol dengan premium murni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan pemakaian bahan bakar campuran premium-methanol dan diaplikasikan dengan EGR, mengakibatkan kenaikan nilai torsi, daya dan efisiensi termal. Brake specific fuel consumption(BSFC), dengan bahan bakar campuran premium-methanol meningkat, sedangkan dengan EGR mengalami penurunan. Penerapan EGR menyebabkan temperatur gas buang turun yang berarti mengindikasikan emisi NO_x turun. Sedangkan penurunan emisi gas buang terjadi pada CO rata-rata sebesar 42.6% dan HC turun rata-rata 10.6%, sementara CO₂ mengalami peningkatan rata-rata sebesar 22.62%.

Kata Kunci: EGR, emisi, HPM, performa

PENDAHULUAN

Pertumbuhan volume kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat, mengakibatkan meningkatnya konsumsi bahan bakar minyak. Bahan bakar minyak yang berasal dari fosil semakin menipis ketersediaannya, sehingga diperlukan usaha 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 bahan bakar minyak 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, Yang et al., (2012). 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), Chen et al., (2014).

Kandungan NO_x pada gas buang dapat dikurangi dengan menggunakan EGR(*Exhaust Gas Recirculation*), dengan EGR juga lebih ekonomis 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:

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

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

bahan bakarnya, Cha et al., (2001). 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.

Mesin bensin

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

Torsi dan daya dari motor bakar diperoleh dari hasil pengkonversian *energy thermal*(panas) hasil pembakaran menjadi energi mekanik. Torsi didefinisikan sebagai besarnya

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

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 konsumsi bahan bakar spesifik dapat dihitung dengan persamaan:

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

dimana BSFC adalah konsumsi bahan bakar spesifik $\left(\frac{kg}{kW} \cdot jam \right)$ 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/m³), V adalah volume bahan bakar (m³) 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 , Heywood (1988) dan didefinisikan sebagai :

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

Dari persamaan di atas dapat disubstitusikan dengan $\frac{P}{m_f}$ dan hasilnya adalah :

$$\eta_f = \frac{3600}{sfc \times Q_{HV}} \quad (6)$$

Dimana dalam satuan SI, yaitu :

Bahan Bakar Premium

Salah satu hasil penyulingan (*destilasi*) dari minyak bumi adalah bensin (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

- η_f = efisiensi dari kerja mesin
- Q_{HV} = harga panas dari bahan bakar(MJ/kg)
- Sfc = konsumsi bahan bakar spesifik(kg/kW. Jam)

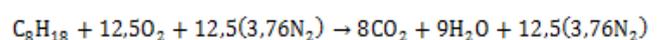
Dalam efisiensi ini besarnya Q_{HV} merupakan harga panas rendah(Q_{LHV}) dari bahan bakar yang digunakan, yaitu 45213.82 kJ/kg[4]. Efisiensi thermal yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar methanol lebih tinggi dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar premium [5].

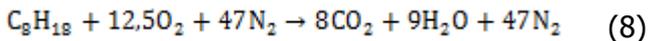
Emisi Gas Buang

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 terbang 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, Wei et al., (2012). Emisi CO₂ dihasilkan adanya pembakaran yang sempurna bahan bakar premium (hidrokarbon). Hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida(CO₂) dan air(H₂O). 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.

adalah timbal yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Kandungan timbal yang diijinkan sebesar 0.13. Premium yang dipasarkan di Indonesia memiliki angka oktan riset (RON) 88.

Reaksi pembakaran premium adalah :

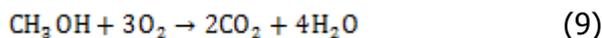




Nilai 3,76 diperoleh dari perbandingan persentase volume N₂ dengan persentase volume O₂ pada udara bebas yaitu 79%/21% = 3.76 dengan menganggap gas lain seperti argon, CO₂ dan lainnya sangat kecil.

Methanol

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, Sileghem et al., (2014). Persamaan reaksi oksidasi methanol :

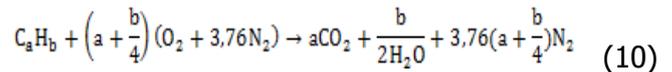


Exhaust Gas Recirculation (EGR)

EGR dapat didefinisikan sebagai gas buang yang disirkulasi ulang. EGR bekerja dengan mensirkulasi kembali sebagian dari gas buang dari *exhaust manifold* kembali ke ruang bakar (*combustion chamber*). Di dalam mesin motor bakar (*internal combustion engine*), aplikasi system EGR secara prinsip adalah mengurangi emisi *Nitrogen Oxide* (NO_x). Penggunaan EGR pada mesin bensin biasanya hanya dibatasi sampai 15-20% dari total massa gas buang saja pada kondisi mesin standar, Wei et al., (2012) penerapan EGR pada mesin bensin sangat efektif untuk menurunkan kadar NO_x, dengan EGR dapat mengurangi kerugian throttle, dengan EGR akan menurunkan konsumsi bahan bakar. Penggunaan EGR memiliki pengaruh yang signifikan pada emisi NO_x. Penggunaan EGR akan meningkatkan performa mesin, *Engine brake power* meningkat kira-kira 20%, konsumsi bahan bakar turun

Campuran Premium-Methanol

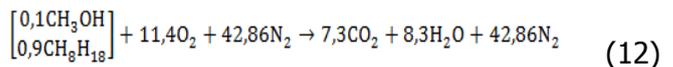
Penggunaan premium-methanol dapat meningkatkan unjuk kerja secara umum pada kendaraan bermotor. Reaksi pembakaran teoritis antara hidrokarbon dengan udara adalah sebagai berikut :



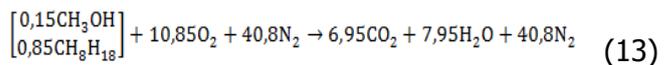
Reaksi pembakaran teoritis campuran premium-methanol dengan udara adalah sebagai berikut :
Bahan Bakar M5(methanol 5%, premium 95%)



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



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



sekitar 7%, sementara emisi NO_x turun sampai 12%, Ibrahim et al., (2010).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan penulis adalah eksperimen, yaitu melakukan percobaan secara langsung untuk pengambilan data. Pengujian 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. Hasil analisa dipresentasikan dalam bentuk grafik 2D. Beberapa grafik yang ditampilkan adalah grafik *brake torque*, *brake power*, BTE, BSFC, EGT, emisi CO, HC dan CO₂. Hasil analisa data berupa grafik tersebut kemudian dianalisa lagi dengan mengacu ke beberapa jurnal referensi yang tercantum pada daftar pustaka.

Material Penelitian

Bahan bakar yang digunakan adalah premium dan *high purity methanol (HPM)*, yang dicampur dengan persentase Methanol 0% (Premium murni/M0), 5%(M5), 10%(M10) dan 15% (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.

TABLE I. 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
Kandungan Oksigen	%	50	2,7
Kandungan Air	%	0.05	
Latent heat of vaporization	kJ/kg	1178	305
LHV	MJ/kg	20	42,6
Boiling point at 1 bar	°C	65	27-225
Adiabatic flame temperature	°C	1870	2002

Peralatan Penelitian

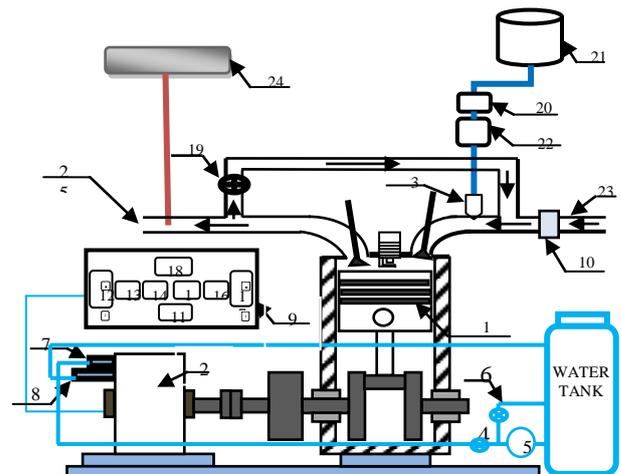
Peralatan untuk pengujian performa dan emisi gas buang menggunakan mesin bensin Toyota Yaris tipe 1SZ-FE sistem EFI, dilengkapi dengan dynamometer untuk mengukur torsi dan daya, dan gas analiser untuk mengukur emisi gas buang. Peralatan pengujian ditunjukkan pada gambar 1. Sedangkan skema eksperimen dijelaskan pada gambar 2.

TABLE II. 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. Engine dan Dynamometer



Gambar 2. Experimental setup

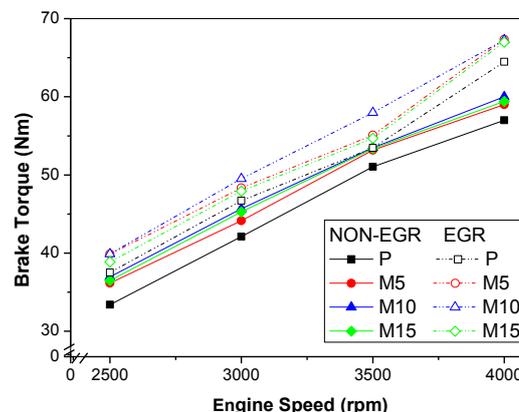
Keterangan Gambar :

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

Gambar 1 adalah setting Toyota yang dipasangkan dengan dynamometer, EGR, buret dan load display emisi, temperatur dan beban. 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 25% diukur dengan menggunakan dynamometer DYNOMite Land & Sea tipe *water brake*. Hal ini dilakukan untuk mengukur torsi dan daya mesin. Pengukuran torsi dapat dilakukan dengan meletakkan mesin yang diukur torsi pada *engine testbed* dan poros keluaran dihubungkan dengan rotor dynamometer, Heywood (1988). Prinsip kerja dari dynamometer mekanis adalah dengan mengerem putaran poros keluaran mesin, kemudian mengukur gaya gesekan yang terjadi menggunakan alat seperti timbangan. Maka besarnya gaya gesek yang terjadi dapat diketahui dengan melihat massa pembebanan yang terbaca pada alat ukur. 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*.

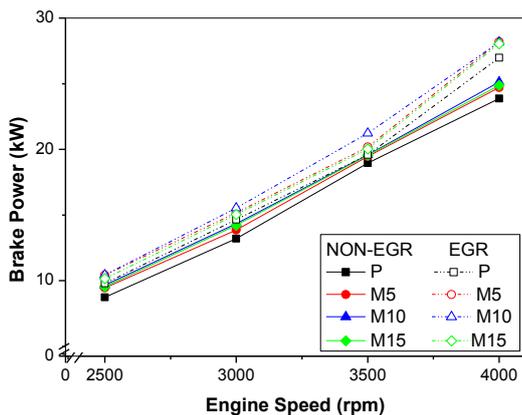
HASIL DAN PEMBAHASAN

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*, *Brake Thermal Efficiency(BTE)*, *Brake Specific Fuel Consumption(BSFC)*, *Exhaust Gas Temperature(EGT)* dan emisi gas buang HC, CO dan CO₂, masing-masing dipresentasikan pada gambar 3-11.



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

Hasil pengujian pada Gambar 3. Menggunakan bahan bakar M0(premium murni) menunjukkan bahwa dengan penerapan EGR, torsi yang dihasilkan meningkat. Pada putaran mesin 4000 rpm mengalami peningkatan paling besar dibandingkan tanpa EGR yaitu sebesar 11.57% dan juga dengan nilai torsi tertinggi sebesar 64.47 Nm. *Engine brake torque* mengalami peningkatan seiring meningkatnya persentase methanol, tetapi besarnya peningkatan nilai torsi masing-masing bahan bakar yang dihasilkan berbeda. *Engine brake torque* mengalami kenaikan tertinggi terjadi pada M10 diputar mesin 2500 rpm tanpa EGR sebesar 9.64%, dengan EGR terjadi kenaikan tertinggi juga pada M10 di putaran mesin 3500 rpm sebesar 8.16%. Nilai *brake torque* meningkat dengan meningkatnya putaran mesin, juga meningkat dengan adanya EGR dan pada peningkatan semua variasi bahan bakar, hal ini disebabkan karena sebagian gas buang yang disirkulasi kembali melalui *intake* mengakibatkan adanya peningkatan temperatur pada intake, sehingga tekanan dalam *intake* juga meningkat yang berakibat tekanan kerja indikasi untuk menghasilkan torsi di dalam ruang bakar ikut meningkat, Heywood (1988).

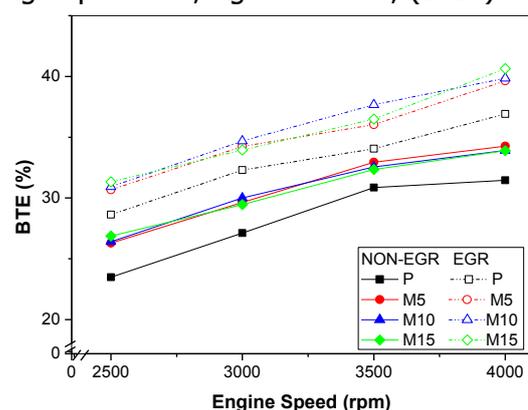


Gambar 4. EGR dan variasi campuran bahan bakar premium-HPM terhadap Brake Power pada beban 25%.

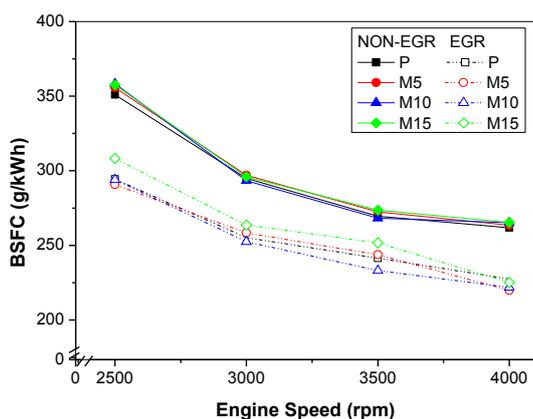
Hasil yang sama juga terjadi pada daya, dengan EGR menyebabkan daya yang dihasilkan juga meningkat, seperti ditunjukkan pada gambar. 4. Dengan bahan bakar M0 penggunaan EGR mengakibatkan nilai daya naik tertinggi pada putaran mesin 4000 rpm sebesar 11.57%, rata-rata kenaikan sebesar 9.23%. Sedangkan dengan bahan bakar campuran premium-HPM, kenaikan daya yang tertinggi pada M10 tanpa EGR sebesar 9.56% di putaran mesin 2500 rpm, begitu juga dengan aplikasi EGR terjadi kenaikan tertinggi sebesar 7.74% pada M10 di putaran mesin 3500 rpm. 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*. Adanya EGR juga mengakibatkan nilai *brake power* meningkat, hal ini disebabkan karena sebagian gas buang yang disirkulasi kembali melalui *intake* mengakibatkan adanya peningkatan temperatur pada *intake*, sehingga tekanan dalam *intake* juga meningkat, yang berakibat tekanan kerja indikasi untuk menghasilkan daya di dalam ruang bakar ikut meningkat, Heywood (1988).

Gambar 5 di bawah ini menunjukkan pengaruh EGR terhadap nilai BTE dengan bahan bakar M0. BTE mengalami peningkatan tertinggi pada putaran rendah 2500 rpm yaitu sebesar 18.02%.

Hal ini terjadi karena pada beban rendah dan putaran mesin rendah, campuran bahan bakar miskin diperbolehkan masuk ke silinder selama langkah hisap dan adanya EGR mengakibatkan penurunan AFR menuju ke rasio stoikiometri sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih baik. Di sisi lain dengan menggunakan bahan bakar campuran premium-methanol nilai BTE juga meningkat seiring meningkatnya persentase methanol. Tanpa mengaplikasikan EGR, BTE meningkat tertinggi pada bahan bakar M15 putaran 3000 rpm sebesar 10.36%. Sedangkan dengan EGR kenaikan BTE tertinggi pada M15 sebesar 6,87% di putaran mesin yang sama. Hal ini sesuai dengan, (Cha et al., 2001 dan Ibrahim 2010) 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 dari pada premium dimana kualitas pembakaran lebih baik akibat proses atomisasi campuran bahan bakar yang lebih baik dengan berkurangnya viskositas dan densitas campuran bahan bakar 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, Agarwal et al., (2014).

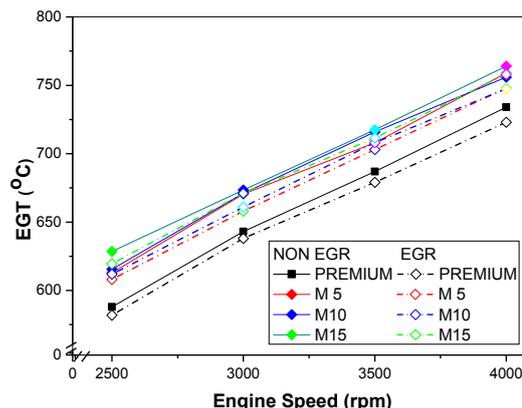


Gambar 5. EGR dan variasi campuran bahan bakar premium-HPM terhadap BTE pada beban 25%.



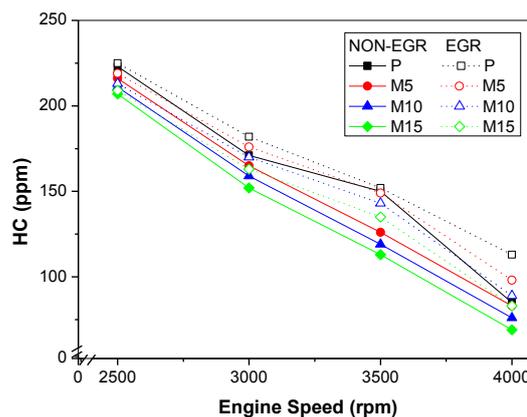
Gambar 6. EGR dan variasi campuran bahan bakar premium-HPM terhadap BSFC pada beban 25%.

Hasil pengujian BSFC ditunjukkan pada Gambar 6. Tanpa menggunakan EGR(OEVO%), pemakaian bahan bakar campuran mengakibatkan nilai BSFC meningkat karena nilai kalor yang lebih rendah dari HPM dibandingkan premium. Peningkatan tertinggi pada putaran rendah, sebesar 2.04% untuk bahan bakar M10. BSFC mengalami penurunan dengan pemakaian EGR dibandingkan tanpa EGR, pada bahan bakar M0, penurunan tertinggi terjadi pada putaran mesin 2500 rpm yaitu sebesar 16.1% dengan rata-rata penurunan 13.27%. Sedangkan dengan bahan bakar campuran premium-HPM terjadi sedikit peningkatan dibandingkan premium murni dengan EGR. BSFC mengalami kenaikan terbesar pada putaran mesin 2500 rpm, pada M15 dengan EGR sebesar 4.45%, hal ini sesuai dengan (Wei et al., 2012) bahwa dengan EGR konsumsi bahan bakar turun lebih dari 10%. BSFC menurun dengan meningkatnya putaran mesin. Penggunaan bahan bakar campuran ethanol maupun methanol akan meningkatkan konsumsi bahan bakar dibandingkan dengan premium (Eyidogan et al., 2010), akan tetapi dengan penggunaan EGR dapat menurunkan BSFC dan emisi NO_x (Zhang et al., 2014). BSFC turun 7% dan NO_x turun sampai 12%, Ibrahim and Bari (2010).



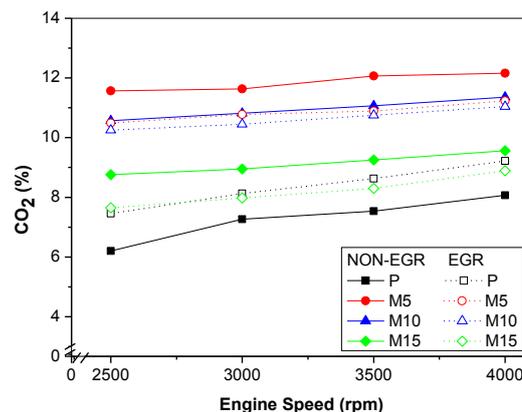
Gambar 7. EGR dan variasi campuran bahan bakar premium-HPM terhadap EGT pada beban 25%.

Gambar 7 menunjukkan temperatur gas buang dengan penggunaan bahan bakar campuran methanol lebih tinggi dibandingkan dengan premium murni. Hal ini diakibatkan karena bahan bakar campuran kadar oksigennya masih relatif tinggi yang didapatkan dari methanol sehingga EGT pada bahan bakar campuran premium-methanol masih lebih tinggi dari pada premium murni. Sedangkan dengan penambahan EGR, EGT lebih rendah dibandingkan dengan premium murni pada semua pembebanan dan putaran mesin, hal ini dikarenakan rendahnya kadar oksigen dari resirkulasi gas buang, Husain et al., (2014).



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

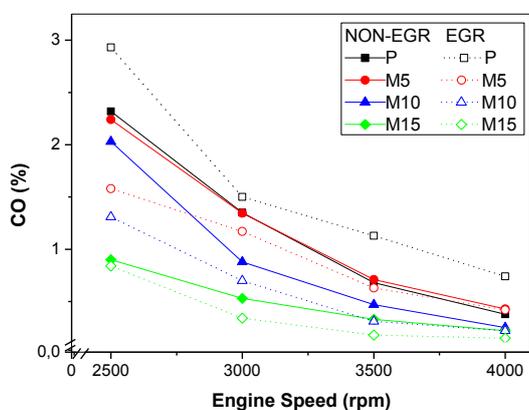
Gambar 8 menampilkan emisi gas buang HC. Emisi HC mengindikasikan pembakaran tidak sempurna di dalam mesin. HC mengalami penurunan seiring bertambahnya beban mesin. Emisi HC dari bahan bakar campuran methanol premium lebih tinggi dibandingkan premium murni pada putaran mesin lebih rendah, (Agarwal et al., 2014). 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), Canacki et al., (2013). Ketika methanol dicampurkan ke dalam premium, campuran bahan bakar memiliki kandungan oksigen yang lebih banyak, dimana hal itu akan menurunkan emisi CO dan HC, shenghua et al., (2007).



Gambar 10. EGR dan variasi campuran bahan bakar premium-HPM terhadap Emisi gas CO₂ pada beban 25%.

Gambar 9. 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, Agarwal et al., (2011). Akan tetapi ketika methanol dicampurkan ke dalam premium, campuran bahan bakar tersebut mengandung oksigen lebih banyak, yang mana akan menurunkan emisi HC dan CO, Shenghua et al., (2007). 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, Ibrahim & Bari (2010) and Agarwal et al., (2014). 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, (Cha et al., 2001). Pada penelitian ini CO mengalami penurunan rata-rata sebesar 42.6%.

Gambar . 10 menunjukkan peningkatan emisi CO₂ rata-rata sebesar 22.62%. CO₂ pada penggunaan bahan bakar methanol adalah gas yang tidak beracun akan tetapi memberi



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

kontribusi terhadap efek pemanasan global, (Cha et al., 2001). Emisi CO₂ dihasilkan adanya pembakaran yang sempurna bahan bakar premium (hidrokarbon). Hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O). Dengan bahan bakar campuran premium-methanol CO₂ meningkat dibandingkan dengan premium murni, hal ini dikarenakan kandungan oksigen pada methanol lebih tinggi, sehingga proses pembakaran lebih sempurna. Kandungan CO₂ semakin meningkat seiring dengan meningkatnya putaran mesin. Hal ini juga terjadi pada penelitian (Balki et al., 2014 and Canacki et al., 2013). 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%, Canacki et al., (2013). Emisi CO₂ meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan methanol pada campuran bahan bakar.

SIMPULAN

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 dari pada premium dimana kualitas pembakaran lebih baik menjadikan BTE meningkat.
3. Penambahan methanol pada bahan bakar akan meningkatkan konsumsi bahan bakar, sedangkan dengan penggunaan EGR menurunkan BSFC.
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.

DAFTAR RUJUKAN

- Yang C., Jackson R.B., 2012, "Communication: China's growing methanol economy and its implications for energy and the environment", Elsevier, *Energy Policy*, 41, pp. 878–884.
- Chen H., 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.
- Cha J., Kwon J., Cho Y., Park S., 2011, "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.
- Heywood J. B., 1988, "Internal combustion engine fundamental", By Mc. Graw-Hill.
- Shenghua L., E. R. Cuty Clemente, Tiegang H., Yanjv W., 207, " Study of spark ignition engine fueled with methanol/gasoline fuel blends," Elsevier, *Applied Thermal Engineering*, 27, pp. 1904–1910.
- Wei H., Zhu T., Shu G., Tan L., Wang Y., 2012 "Gasoline engine exhaust gas recirculation - a review," Elsevier, *Applied energy*, 99, pp. 534–544.
- Ibrahim A., Bari S., 2010, "An experimental investigation on the use of EGR in a supercharged natural gas SI engine", Elsevier, *Fuel* 89, pp. 1721-1730,

- Agarwal A.K., Karare H., Dhar A., 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.
- Eyidogan M., A. Ozsezen N., Canacki M., Turkcan A., 2010, " Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine", Elsevier, Fuel, volume **89**, pp. 2713-2720.
- Zhang Z., Zhang H., Wang T., Jia M. , 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.
- Canacki M., A. Ozsezen N., Alptekin E., Eyidogan M., 2013, "Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the exhaust emission of an SI engine", Elsevier, Renewable Energy 52, pp. 111-117.
- Agarwal D., Singh S.K., Agarwal A.K., 2011, "Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on performance, emissions, deposits and durability of constant speed compression ignition engine", Elsevier, Applied Energy 88, pp. 2900-2907.