

Pengaruh Methanol Kadar Tinggi Terhadap Performa dan Penurunan Emisi Gas Buang Mesin Bensin dengan Sistem Hot EGR

Ahmad Syarifuddin¹

Jurusan Teknik Mesin, SMKN 1 Ampelgading Pemalang¹
Jawa Tengah, Indonesia

Email : asyarifuddin.1270@gmail.com

Abstrak

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia menyebabkan meningkatnya konsumsi bahan bakar minyak, sehingga mengakibatkan semakin tipisnya ketersediaan bahan bakar minyak (fosil). Maka dibutuhkan penelitian yang intensif untuk mencari bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Methanol merupakan salah satu bahan bakar yang memenuhi kriteria tersebut di atas karena memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang baik. Eksperimen ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar campuran premium dan methanol kadar tinggi dengan sistem exhaust gas recirculation (EGR) panas terhadap performa dan emisi gas buang pada mesin bensin Toyota Yaris Seri 1SZFE, 4 silinder 16 katup, sistem electronic fuel injection (EFI). Sebuah dynamometer merek DYNO-mite Land&Sea untuk mengukur daya mesin dan sebuah gas analyser untuk mengukur emisi gas buang. Pada saat pengambilan data menggunakan rasio campuran bahan bakar premium dan methanol yaitu M0%, M5%, M10% dan M15%. Eksperimen dilakukan pada variasi putaran mesin 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm dan 4000 rpm, beban ditetapkan 25% dan Opening of EGR Valve (OEV) 0% dan 7%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemakaian bahan bakar campuran premium-methanol mengakibatkan kenaikan brake power. Sedangkan brake specific fuel consumption (BSFC) menurun pada 2500 rpm, untuk M15% tanpa EGR yaitu 14,11% dan pada M15% dengan EGR sebesar 12,50%. Penurunan emisi gas buang terjadi pada CO dan HC.

Kata kunci : EGR, emisi, HPM

1. Pendahuluan

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor yang semakin meningkat akan meningkatkan konsumsi bahan bakar minyak dan menimbulkan pencemaran udara di Indonesia. Sampai saat ini perkembangan jumlah kendaraan bermotor meningkat rata-rata 11,0% antara tahun 2007 sampai dengan tahun 2012. Jumlah kendaraan bermotor yang terdiri dari mobil penumpang (pribadi), bus, truk, dan sepeda motor tahun 2012 telah mencapai jumlah 92.303.2227 unit (Data Prediksi Ditjen Perhubungan Darat, Edisi IX-Maret 2013). Secara rinci data pertumbuhan perkembangan kendaraan untuk mobil sebesar 6,4% dan sepeda motor 12,2%.

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor di jalan raya akan memiliki dua dampak yang bertolak belakang. Dampak pertama akan memperlancar sistem transportasi darat, tetapi dampak yang lain akan mengakibatkan berbagai permasalahan antara lain kemacetan dan polusi udara. Peningkatan besar terjadi pada konsumsi bahan bakar dan semakin tinggi polusi udara yang berasal dari gas buang kendaraan bermotor.

Daya didefinisikan sebagai besarnya tenaga yang dihasilkan motor tiap satuan waktu. Sedangkan konsumsi bahan bakar spesifik (*brake specific fuel consumption/BSFC*) mengindikasikan banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan satu satuan daya.

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 (L. Sileghem, dkk. 2014).

Methanol mempunyai karakteristik sebagai bahan bakar yang dapat menghasilkan tenaga yang besar, memiliki angka oktan yang tinggi serta efek pendinginan yang baik, Methanol, juga 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 (Chijen Yang dkk. 2012). Dikatakan pula bahwa dengan penggunaan premium-methanol dapat meningkatkan unjuk kerja secara umum pada kendaraan bermotor. Pemberian campuran methanol pada premium akan menaikkan angka oktan dan dapat

meningkatkan sifat antiknocking pada premium. Penggunaan methanol meningkatkan anti-knocking dan menurunkan emisi gas buang menjadi lebih rendah dibandingkan dengan premium, dengan methanol *Brake Power* dan *Brake Thermal Efficiency* meningkat 24% dan 36%, CO dan CO₂ turun 37% dan 30% (Hao Chen, dkk 2014). Penggunaan bahan bakar campuran methanol-premium (M15), *THC* dan CO turun 16% dan 7% sementara NO_x meningkat 85% (Jinyoung Cha, dkk. 2001).

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, (Chi-jenyang dkk., 2012). Sedangkan penggunaan campuran methanol-premium pada rasio pencampuran yang rendah memiliki efek yang lebih rendah pada lingkungan, dari pada premium murni. Dengan campuran methanol-premium, emisi CO dan HC menurun 11% - 34% dan 10% - 49%, sementara NO_x meningkat antara 53% - 74% (Hong Zhao, dkk, 2011).

Menurut Hao Chen dkk. (2014) 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). Kandungan NO_x pada gas buang dapat dikurangi dengan menggunakan EGR (*Exhaust Gas Recirculation*), dengan EGR juga lebih ekonomis bahan bakarnya (Jinyoung dkk. 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.

Exhaust Gas Recirculation (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), polutan knalpot yg paling berbahaya baik di mesin bensin maupun diesel. Penerapan EGR dibatasi hanya sampai 15-20%. Hal ini agar tidak terjadi kegagalan pembakaran (Pulkrabeck). Pada mesin bensin, dengan EGR dapat menurunkan efisiensi konsumsi bahan bakar spesifik berkisar 6%-13, memberi efek yang signifikan untuk menurunkan kadar NO_x sampai 50%. (Amr Ibrahim, dkk 2010), resirkulasi gas buang yang menggunakan dethrottling mesin, dalam kondisi beban parsial untuk mengurangi konsumsi bahan bakar, sedangkan pengurangan emisi NO_x hanya aplikasi sekunder (L. Sileghem, dkk. 2014). Mesin bensin menggunakan *hot EGR* dapat digunakan untuk memanaskan *intake*,

menaikkan pembakaran, memperbaiki efisiensi thermal. Penurunan temperatur akan menurunkan emisi NO_x. Ditambahkan lagi dengan EGR dapat memperbaiki secara ekonomis bahan bakar, menurunkan emisi NO_x, 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% dan konsumsi bahan bakar pada mesin turun sekitar 7%, sementara emisi NO_x turun sampai 12% (Simeon Iliev, 2015).

Simeon Penchev dkk. (2014) mengemukakan dalam penelitiannya dengan menggunakan bahan bakar campuran *gasoline-methanol* (M5 dan M10) *engine brake power* akan meningkat, tetapi jika menggunakan M30 dan M50 menghasilkan penurunan pada *engine brake power*. Menurut M.B. Celik (2010) penggunaan methanol meningkatkan anti-knocking dan menurunkan emisi gas buang menjadi lebih rendah dibandingkan dengan premium, dengan methanol *Brake Power* dan *Brake Thermal Efficiency* meningkat 24% dan 36%, CO dan CO₂ turun 37% dan 30%. Peipei Dai dkk. (2013) mempelajari tentang karakteristik emisi dan gas buang dari mobil penumpang dengan bahan bakar campuran methanol-bensin (M15) *THC* dan CO turun 16% dan 7% sementara NO_x meningkat 85%. Haiqiao Wei dkk. (2012) 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. E. Galloni dkk. (2013) dengan EGR akan menurunkan konsumsi bahan bakar antara 6% sampai 11%, dan anti-knocking meningkat.

Penelitian menggunakan bahan bakar campuran ethanol-gasoline dan n-butanol/gasoline dengan EGR dilakukan oleh Zhijin Zhang dkk (2014) dan Jing Gong (2014) meneliti karakteristik emisi gas buang dengan bahan bakar campuran isopropanol/gasoline dengan kombinasi EGR. Penggunaan EGR dapat menurunkan *brake specific fuel consumption* (BSFC) dan emisi NO_x

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu, penelitian dengan bahan bakar campuran premium-methanol dengan sistem EGR panas belum dilakukan. Maka penulis melakukan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa mesin bensin dan emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin bensin akibat pengaruh penggunaan variasi bahan bakar campuran premium dan *high purity methanol* pada sistem EGR panas. Dengan penelitian ini diharapkan dapat diperoleh sebuah formulasi campuran bahan bakar premium dan *high purity methanol* yang menghasilkan performa mesin yang optimal dan emisi gas buang yang minimal dengan menggunakan sistem EGR.

2. Metode

Metode penelitian yang digunakan penulis adalah:

2.1 Eksperimen

Eksperimen adalah metode yang digunakan dalam penelitian dengan melakukan percobaan-percobaan secara langsung untuk mendapatkan data terkait penelitian yang dilakukan. Pengambilan data dilakukan minimal 3 kali kemudian diambil nilai rata-rata dalam analisa.

2.2 Analisis data

Analisis 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 power*, BSFC, emisi HC dan CO. Hasil analisa data berupa grafik tersebut kemudian dianalisa lagi dengan mengacu ke beberapa jurnal referensi yang tercantum pada daftar pustaka.

2.3 Material Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan bakar campuran premium dan *high purity methanol (HPM)*, yang dicampur dengan persentase M0 yaitu Methanol 0% (Premium murni), M5 yaitu methanol 5% premium 95%, M10 yaitu methanol 10% premium 90% dan M15 yaitu methanol 15% dan premium 85%. 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. 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. Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin bensin Toyota Yaris tipe 1SZ-FE.

Tabel 1. Spesifikasi Bahan Bakar Methanol dan Premium

Karakteristik	Satuan	Methanol	Premium
Angka Oktan Riset	RON	119,28	88,8
Molecular weight	g/mol	32	95-120
Viskositas	mPa.s	0,6	0,22
Kinematik (40°C)			
Densitas (15°C)	kg/m ³	792	774
Nilai Kalor	MJ/kg	21,6	42,69
Titik Nyala	°C	13	-7,2
Kandungan Oksigen	%	50	2,7
Kandungan Air	%	0,05	0,003
Kalor Latent	kJ/kg	1139	328,91

Sumber : Hasil uji Laboratorium BPPT/BBTE Serpong (2015) No.: 054A/LapJatek/B2TE/BPPT/VIII/15

Tabel.2 Data Spesifikasi Engine

Characteristics	Specifications
engine type	naturally aspirated petrol
Engine code	<u>1SZ-FE</u> /TOYOTA YARIS
Capacity	1 litre ; 997cc ; (60.841 cu in)
<u>Bore × Stroke</u>	69 × 66.7 mm ; 2.72 × 2.63 in
Bore/stroke ratio	<u>1,03</u>
Cylinders	Straight 4, double overhead camshaft (DOHC) 4 valves per cylinder 16 valves in total
maximum torque	95 Nm (66 ft-lb) (9.2 kgm) at 4100 rpm
compression ratio	10:1
Fuel system	EFi

2.4 Eksperimental Setup

Alat uji performa dan emisi gas buang mesin bensin disusun sesuai pada gambar 1, bahan bakar campuran premium-*HPM* adalah M0, M5, M10 dan M15. Campuran bahan bakar kemudian dialirkan ke mesin bensin melalui buret. Aliran bahan bakar diukur untuk mengetahui konsumsi bahan bakar tersebut. 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. Pada sisi saluran buang (*exhaust manifold*) telah dihubungkan dengan *EGR* dimana level *EGR* akan diatur oleh *EGR valve*.

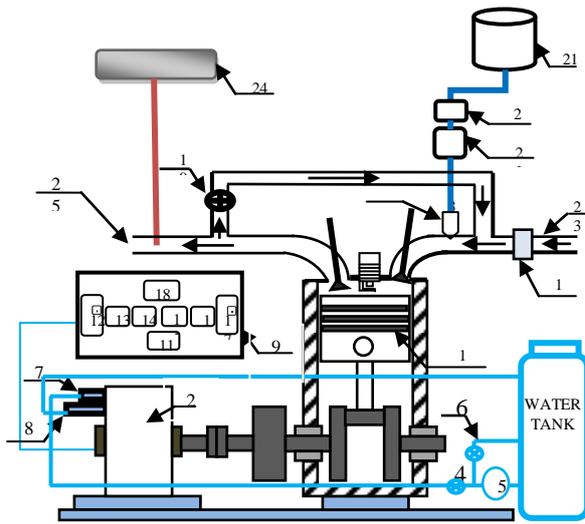


Gambar 1. Engine Toyota Yaris dan Dynamometer

Sedangkan untuk mengukur emisi gas buang digunakan gas analyzer *Stargass 898*. Emisi gas buang diukur guna mengetahui kadar gas buang dari mesin bensin yaitu kadar CO dan HC.



Gambar 2. Gas analyzer dan load display



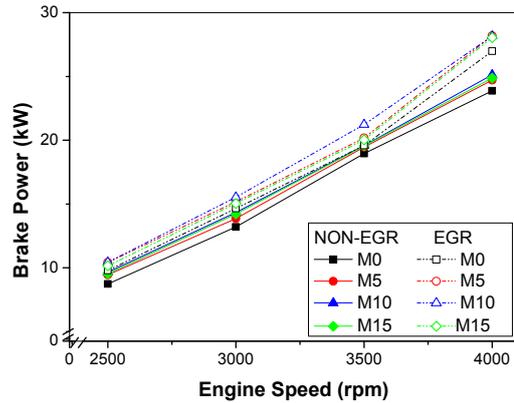
Gambar 3. Experimental setup

Keterangan Gambar :

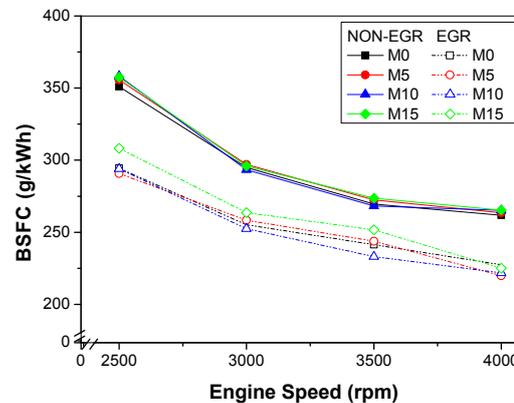
- | | |
|------------------------|--------------------------------|
| 1. Mesin Bensin | 14. Temperatur T3 (outlet EGR) |
| 2. Dynamometer | 15. Temperatur T4 (mixer) |
| 3. Fuel Injector | 16. Temperatur T5 (mesin) |
| 4. Katup aliran air | 17. Manometer U2 (EGR) |
| 5. Pompa | 18. Display beban mesin |
| 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 | |

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh EGR dan methanol secara langsung. Hasil uji pada masing-masing variasi campuran bahan bakar dengan OEV 7% tersebut dibandingkan dengan hasil pengujian tanpa EGR (OEV 0%) terhadap *Brake Power*, *BSFC* dan emisi gas buang. Penelitian dilakukan di laboratorium Thermofluida Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang. Hasil pengujian dari beberapa variasi campuran bahan bakar Premium-HPM tanpa EGR dan dengan EGR pada putaran mesin 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm dan 4000 rpm, dengan beban konstan 25% masing-masing dipresentasikan pada gambar 4-10.



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

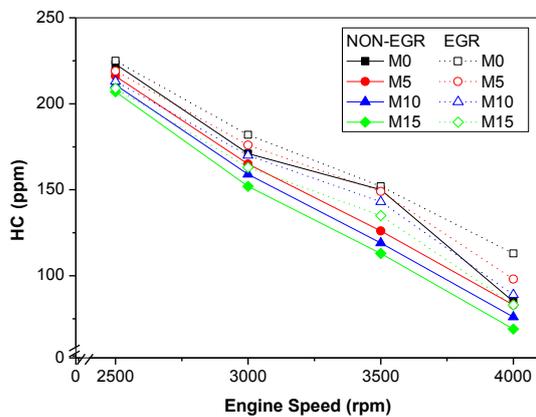


Gambar 5. Pengaruh EGR dan variasi campuran bahan bakar premium-HPM terhadap *BSFC* pada beban 25%.

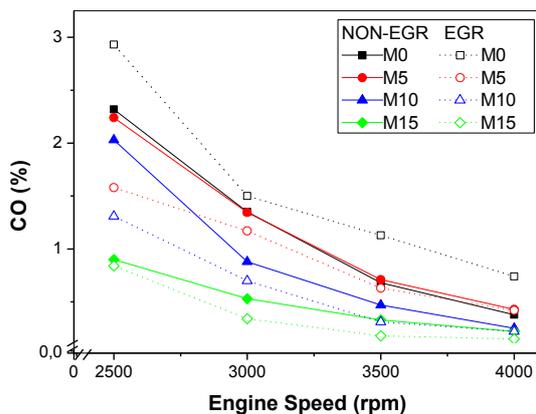
Gambar. 4 menunjukkan nilai *engine brake power* mengalami kenaikan. Dengan bahan bakar M0 penggunaan EGR mengakibatkan nilai daya naik tertinggi pada putaran mesin 4000 rpm sebesar 11.57%, rata-rata kenaikan sebesar 9.23%. Sedangkan dengan bahan bakar campuran premium-HPM, kenaikan daya yang tertinggi 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 Simeon Iliev (2015), 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. 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% (L. Sileghem, dkk. 2014). *Brake specific fuel consumption* (*BSFC*) menurun dengan meningkatnya putaran mesin. Nilai panas methanol lebih rendah daripada premium, ini berarti mesin membutuhkan bahan bakar lebih tinggi baik ethanol maupun methanol untuk menghasilkan daya yang sama pada mesin bensin. Penggunaan bahan bakar campuran ethanol maupun methanol akan meningkatkan konsumsi bahan bakar dibandingkan dengan premium (Zijin Zhang, dkk. 2014), sedangkan dengan penggunaan EGR dapat menurunkan *BSFC* dan emisi NO_x (M.K.Balki, dkk. 2014).



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



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

Gambar. 6 menampilkan emisi gas buang HC. Emisi HC mengindikasikan pembakaran tidak sempurna di dalam silinder mesin. HC mengalami penurunan seiring bertambahnya beban mesin dan

emisi HC dari bahan bakar campuran methanol premium lebih tinggi dibandingkan premium murni pada putaran mesin lebih rendah (M.Eyidogan, dkk. 2010). 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 (CO_2) dan air (H_2O) (D. Agarwal, dkk. 2011). Ketika methanol dicampurkan ke dalam premium, campuran bahan bakar memiliki kandungan oksigen yang lebih banyak, dimana hal itu akan menurunkan emisi CO dan HC (Haiqiao Wei, dkk. 2012).

Gambar. 7 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 (M. Canacki, dkk. 2013). Akan tetapi ketika methanol dicampurkan ke dalam premium, campuran bahan bakar tersebut mengandung oksigen lebih banyak, yang mana akan menurunkan emisi HC dan CO (Haiqiao Wei, dkk. 2012). 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 (Simeon Iliev, 2015 dan M. Eyidogan, 2010). 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 (Hao Chen, dkk. 2014). Pada penelitian ini CO mengalami penurunan rata-rata sebesar 42,6%.

4. Kesimpulan

Berikut ini adalah kesimpulan utama yang didapat pada penelitian mengenai pengaruh campuran methanol kadar tinggi pada mesin bensin dengan sistem EGR panas :

1. Penggunaan bahan bakar campuran premium-methanol pada mesin bensin akan menghasilkan kenaikan nilai daya dan meningkat seiring dengan meningkatnya persentase methanol dan meningkatnya putaran mesin. Nilai daya tertinggi terjadi pada bahan bakar M10 baik dengan EGR maupun tanpa EGR..
2. Pencampuran methanol pada bahan bakar akan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Sedangkan penggunaan EGR akan menurunkan konsumsi bahan bakar.
3. Pencampuran methanol pada bahan bakar, mengakibatkan terjadinya penurunan emisi gas

buang pada HC. Emisi HC dari bahan bakar campuran methanol-premium mengalami penurunan mengindikasikan pembakaran yang sempurna di ruang pembakaran.

4. Meningkatnya persentase methanol pada bahan bakar mengakibatkan konsentrasi CO menurun. Hal ini disebabkan oleh kandungan oksigen di dalam methanol lebih banyak.

Daftar Pustaka

- Amr Ibrahim, S. Bari. (2010). An experimental investigation on the use of EGR in a supercharged natural gas SI engine. *Fuel* 89, pp. 1721-1730.
- Chijen Yang, Jackson R.B., Nicholas. (2012) Communication: China's growing methanol economy and its implications for energy and the environment. *Energy Policy*, **41**, pp. 878–884.
- 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 engine. *Applied Energy* 88, pp. 2900-2907.
- E. Galloni, G. Fontana, R. Palmaccio. (2013). Effects of exhaust gas recycle in a downsized gasoline engine. *Applied energy*, 105, pp. 99–107.
- Haiqiao Wei, T. Zhu, G. Shu, L. Tan, Y. Wang. (2012) Gasoline engine exhaust gas recirculation - a review. *Applied energy*, 99, pp. 534–544.
- Hao 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, Volume 8 Number 2, pp. 76 – 80.
- Hong Zhao, Ge Y., Tan J., Yin H., Guo J., Zhao W., Dai P. (2011). Effects of different mixing ratios on emissions from passenger cars fueled with methanol/gasoline blends. *Journal of Environmental Sciences*, ScienceDirect, **23(11)** pp. 1831–1838.
- Jing GONG, ZHANG Y, TANG C, HUANG Z. (2014) Emission Characteristics of Iso-Propanol/Gasoline Blends in A Spark-Ignition Engine Combined With Exhaust Gas Re-Circulation. China, *Thermal science*, **Vol. 18, No. 1**, pp. 269-277
- Jinyoung Cha ., Kwon J, Cho Y, Park S. (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. Sileghem, A. Coppens, B. Casier, J. Vancoillie, S. Verhelst. (2014). Performance and emissions of iso-stoichiometric ternary GEM blends on a production SI engine. *Fuel*, 117, pp. 286–293.
- M.B. Chelik, B. Ozdalyan, F. Alkan. (2011). The use of pure methanol as fuel at high compression ratio in a single cylinder gasoline engine. *Fuel*, 90, pp. 1591-1598.
- M. Canacki, A.N. Ozsezen, E. Alptekin, M. Eyidogan. (2013). Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the exhaust emission of an SI engine. *Renewable Energy* 52, pp. 111-117.
- 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. *Fuel*, volume **89**, pp. 2713-2720.
- 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. *Fuel*, 115, pp. 901–906.
- Pepei Dai, Y. Ge, Y. Lin, S. Su, B. Liang. (2013). Investigation on characteristics of exhaust and evaporative emissions from passenger cars fueled with gasoline/methanol blends. *Fuel*, 113, pp. 10–16.
- Pulkrabek, Willard W. (2010). Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. New Jersey : Prentice Hall.
- Simeon Iliev. (2015). A comparison of Ethanol and Methanol Blending with Gasoline Using a 1-D Engine Model. *Procedia Engineering*, volume **100**, pp. 1013-1022.
- Simeon Penchev Iliev, Kiril Iliev Hadjiev. (2014) Theoretical Study of Engine Performance Working on Methanol-Gasoline Blends. *IAENG* London, U.K. Vol II.
- Zijin 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. *Energy*, volume 65, pp. 18-24.