

Performa dan Emisi Jelaga Mesin Diesel Injeksi Langsung Berbahan Bakar Campuran Biosolar dan Minyak Jatropha dengan Sistem EGR Dingin

Syaiful^{1, a*}

¹Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Indonesia

syaiful.undip2011@gmail.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar campuran minyak jatropha dan biosolar terhadap performa dan emisi jelaga dari mesin diesel dengan sistem EGR dingin. Untuk mencapai tujuan tersebut, konsentrasi minyak jatropha, bukaan katup EGR dan pembebaan divariasiakan pada kecepatan mesin konstan 2000 rpm. Temperatur air pendingin keluar dari EGR dingin dipertahankan pada temperatur 30°C. Performa dan emisi jelaga yang dihasilkan dari mesin diesel dengan bahan bakar campuran dibandingkan dengan yang menggunakan bahan bakar biosolar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan EGR dingin meningkatkan daya pengereman dibandingkan dengan tanpa EGR pada beban 50% sampai beban penuh untuk mesin diesel menggunakan bahan bakar biosolar murni. Pada laju EGR yang sama, penggunaan minyak jatropha sebagai campuran bahan bakar berakibat pada penurunan daya pengereman. Penggunaan EGR dingin tidak banyak berdampak pada konsumsi bahan bakar spesifik untuk semua jenis bahan bakar campuran. Temperatur gas buang terlihat lebih rendah untuk semua beban mesin dan variasi bahan bakar pada laju EGR yang sama. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan EGR dingin sedikit meningkatkan emisi jelaga untuk semua beban dan variasi bahan bakar.

Kata kunci : Performa, Emisi jelaga, Mesin diesel injeksi langsung, Bahan bakar campuran biosolar dan jatropha dan EGR dingin

Latar belakang

Peningkatan jumlah kendaraan terutama kendaraan menggunakan mesin diesel di Indonesia dari tahun ke tahun semakin tinggi. Berdasarkan data yang diperoleh dari Kepolisian Indonesia, jumlah kendaraan bus 303.378 di tahun 1987 dan menjadi 2.273.821 di tahun 2012 [1]. Sedangkan jumlah kendaraan truk dari 953.694 di tahun 1987 menjadi 5.286.061 di tahun 2012.

Peningkatan jumlah kendaraan mesin diesel yang drastis ini berdampak pada meningkatnya tingkat konsumsi bahan bakar dari fosil khususnya biosolar yang berakibat pada menipisnya cadangan bahan bakar minyak dari fosil. Selain itu, peningkatan jumlah kendaraan berakibat pada peningkatan polusi udara. Pada kendaraan diesel, emisi NOx dan jelaga jumlahnya jauh lebih besar dibandingkan dengan kendaraan bensin. Oleh karena berbagai usaha untuk mencari bahan bakar alternatif dan menurunkan tingkat emisi dari kendaraan diesel terutama jelaga menjadi target penting.

Senthil Kumar dkk. membandingkan performa dan emisi kendaraan diesel dengan menggunakan bahan bakar minyak jatropha dan bahan bakar diesel [2]. Mereka mendapatkan bahwa efisiensi termal kendaraan diesel dengan bahan bakar minyak jatropha lebih rendah daripada menggunakan bahan bakar diesel. Mereka juga

memperoleh bahwa penggunaan minyak jatropha sebagai bahan bakar mesin diesel meningkatkan emisi jelaga.

Adinarayana S. dkk. menggunakan *jatropha methyl ester* sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel dengan adanya sistem EGR dingin [3]. Mereka memperoleh bahwa efisiensi termal mesin diesel menggunakan bahan bakar *jatropha methyl ester* 5% lebih rendah dibandingkan menggunakan bahan bakar diesel pada laju EGR 7%. Sebaliknya M. Gomma dkk. mendapatkan bahwa nilai efisiensi termal untuk mesin diesel yang menggunakan bahan bakar campuran biodiesel jatropha dengan bahan bakar diesel lebih tinggi dibandingkan dengan mesin diesel yang menggunakan bahan bakar diesel murni [4]. Dari hasil penelitian Gomma dkk. juga dapat ditunjukkan bahwa penggunaan biodiesel jatropha sebagai campuran bahan bakar mesin diesel dapat menurunkan emisi NOx dan jelaga.

Seperti yang dinyatakan dalam topik penelitian ini, sistem EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) adalah salah satu metode yang efektif untuk menurunkan emisi NOx. Akan tetapi penggunaan EGR dalam mesin diesel berdampak pada peningkatan emisi jelaga, seperti yang ditunjukkan oleh Rajan K. dan Senthil Kumar [5]. Hal senada diungkapkan juga oleh Avanish

Kumar dkk., bahwa emisi jelaga meningkat dengan peningkatan laju EGR [6].

Dalam perkembangannya, EGR dingin lebih efektif untuk menurunkan NOx dibandingkan dengan EGR panas, seperti hasil penelitian yang dilakukan oleh Niranjan L. dkk. [7]. Hal ini juga diperkuat oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Hauntalas D. T. dkk. [8]. Mereka mendapatkan bahwa penggunaan EGR dingin berdampak positif terhadap laju konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) dan emisi jelaga.

Dari berbagai referensi yang disebutkan di atas, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan dampak penggunaan campuran minyak jatropha dan bahan bakar diesel terhadap performa dan emisi jelaga mesin diesel secara eksperimental.

Set up eksperimen

Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan bakar biosolar dari PERTAMINA dan minyak jatropha yang sudah ada di pasaran. Adapun sifat-sifat fisiknya dapat ditunjukkan pada Tabel 1 [9].

Mesin diesel yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin diesel empat langkah

injeksi langsung yang spesifikasi detailnya dapat ditunjukkan pada Tabel 2. Sedangkan skema eksperimen dapat ditunjukkan pada Gambar 1. Udara yang temperaturnya diukur pada T5 dan laju masanya diukur menggunakan orifice bercampur dengan gas buang dari EGR dengan temperatur campuran diukur oleh T4. Gas buang yang disirkulasikan kembali ini diperoleh dengan mengalirkan sebagian gas buang yang laju massanya diukur menggunakan orifice meter dan diatur melalui katup. Gas buang EGR ini diukur temperaturnya pada T2 sebelum masuk ke dalam penukar kalor jenis *shell and tube* dimana temperatur gas buang keluar dari penukar kalor juga diukur pada T3. Air digunakan sebagai fluida pendingin pada *EGR cooler* dimana temperatur air keluar penukar kalor dipertahankan pada temperatur 30°C dengan ketaktentuan data ±1°C. Temperatur gas buang di knalpot diukur pada T1. Temperatur diukur menggunakan termokopel jenis K.

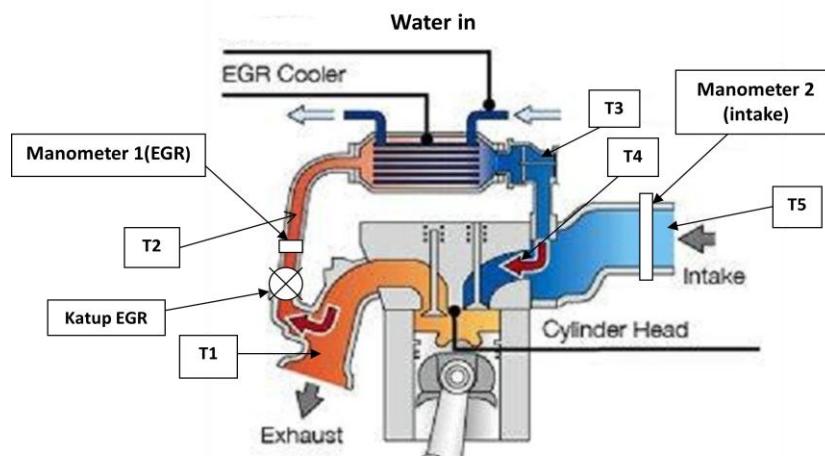
Daya mesin diperoleh dengan melakukan pembebanan pada dinamometer hidrolik

Tabel 1. Sifat-sifat fisik bahan bakar

Sifat fisik	Biosolar	Minyak jatropha
Angka setana	48,0	41,8
Kadar air (% v)	0,05	3,16
Viskositas pada temperatur 40°C (mm ² /det)	2,5	3,67
Nilai kalor (MJ/kg)	45,21	37,97
Titik nyala (°C)	60	198
Masa jenis pada temperatur 15°C(gr/cm ³)	0,84	0,918

Tabel 2. Spesifikasi mesin diesel

Tipe mesin	Diesel, OHV, vertical inline, Direct injection, 4JB1
Jumlah silinder	4
Diameter/Langkah	93 mm/ 102 mm
Volume silinder	2771 cc
Daya maksimum	70/3000 (HP/rpm)
Torsi maksimum	132/2000 (lb.ft/rpm)
Rasio kompresi	18,2 : 1



Gambar 1. Skema eksperimen

dimana poros mesin dan dynamometer dipasang inline. *Engine loads* atau pembebahan dilakukan dengan mengatur laju air yang masuk ke dalam dynamometer yang dinyatakan dalam prosentase dari bukaan katup air pada pembebahan penuh yang dapat dicapai. Ada empat variasi pembebahan mulai dari 25% sampai 100%. Kecepatan mesin dipertahankan konstan dengan ketidaktentuan sekitar ± 5 rpm. Data dari pembebahan yang diperoleh dari dynamometer dikalibrasi dengan melakukan pengukuran torsi secara langsung menggunakan torsimeter (*Torque wrench*).

Pada penelitian ini emisi gas buang mesin diesel yang diukur hanya emisi jelaga. Jelaga pada mesin diesel diukur dengan menggunakan *smoke meter*. Jelaga yang terukur dalam bentuk *smoke opacity* dalam satuan prosen.

Bahan bakar biosolar dimasukkan melalui tangki pencampur yang didalamnya terdapat sebuah *mixer* untuk mengaduk ketika menggunakan bahan bakar campuran. Performa dan emisi jelaga dengan mesin diesel menggunakan bahan bakar biosolar digunakan sebagai referensi untuk menbandingkan hasil yang diperoleh untuk mesin diesel menggunakan bahan bakar campuran. Untuk mesin diesel menggunakan 100% bahan bakar biosolar dinyatakan dengan D100. Sedangkan untuk bahan bakar campuran dinyatakan dengan D90J10 untuk minyak jatropha 10% dalam volume, D80J20 untuk minyak jatropha 20% dan D70J30 untuk minyak jatropha 30%. Untuk mesin dengan bahan bakar campuran, bahan bakar dimasukkan ke dalam tangki *mixer* dan diaduk dengan kecepatan tertentu untuk mendapatkan keseragaman campuran. Hal ini dilakukan untuk mencegah terpisahnya kembali minyak jatropha dan biosolar.

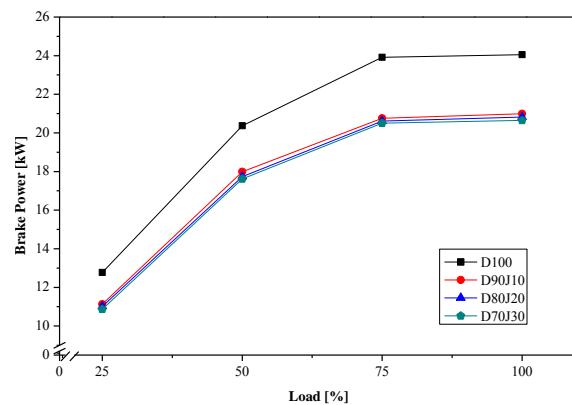
Laju gas buang yang disirkulasikan (laju EGR) divariasi dari 0% dan 16,5% pada bukaan penuh katup EGR. Sehingga hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian ini nanti hanya pada dua laju EGR yang telah disebutkan di atas. Prosentase laju EGR ini diperoleh dengan menggunakan korelasi sebagai berikut:

$$\%EGR = \frac{\dot{m}_{EGR}}{\dot{m}_i} \times 100\% \quad (1)$$

dimana \dot{m}_{EGR} adalah laju masa EGR dan \dot{m}_i adalah laju masa total udara dan EGR yang diinduksikan ke dalam ruang bakar.

Hasil penelitian dan diskusi

Dari hasil eksperimen dapat ditunjukkan beberapa parameter yang mewakili performa dan emisi jelaga dari mesin diesel dengan bahan bakar



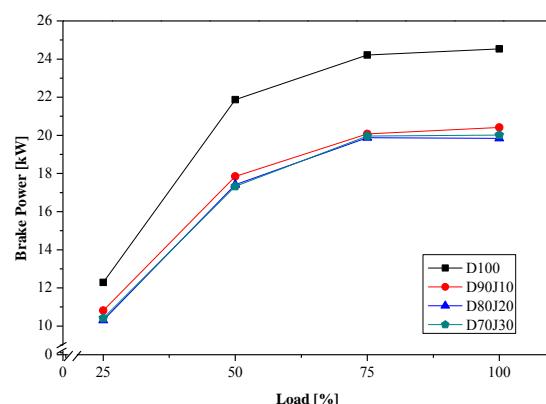
Gambar 2. Perbandingan nilai *brake power* untuk berbagai beban dengan variasi campuran bahan bakar pada laju EGR 0% (tanpa EGR)

biosolar sebagai referensinya dan bahan bakar campuran. Adapun performa dari mesin diesel ditunjukkan oleh *brake power*, *brake specific fuel consumption* (BSFC), *brake thermal efficiency* (BTE) dan rasio ekwivalensi. Emisi dari mesin diesel dari eksperimen ini ditunjukkan hanya oleh emisi jelaga dan temperatur gas buang (EGT).

Brake power

Brake power diperoleh dari pengukuran torsi dari pembebahan menggunakan dynamometer. Pada penelitian ini, *brake power* dinyatakan untuk kasus tanpa menggunakan EGR (0% EGR) pada berbagai

pembebahan dan variasi bahan bakar campuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2, *brake power* mesin dengan menggunakan berbagai prosentase campuran bahan bakar nilainya lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar biosolar untuk semua variasi pembebahan. Hal ini dikarenakan nilai kalor bahan bakar campuran lebih rendah dibandingkan dengan nilai kalor biosolar seperti yang dinyatakan oleh Karakbektas dkk. [10]. Dan



Gambar 3. Perbandingan nilai *brake power* untuk berbagai beban dengan variasi campuran bahan bakar pada laju EGR 16,5%

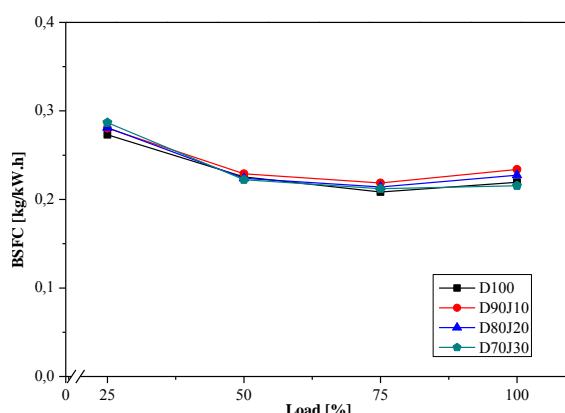
juga penambahan prosentase minyak jatropha ke dalam campuran semakin menurunkan nilai *brake power* meskipun kecil.

Sedangkan pada laju EGR 16,5% diperoleh kecenderungan yang sama dengan tanpa EGR, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Dari gambar ini dapat diperoleh bahwa penggunaan minyak jatropha sebagai campuran bahan bakar menunjukkan penurunan nilai *brake power*nya dibandingkan dengan menggunakan biosolar.

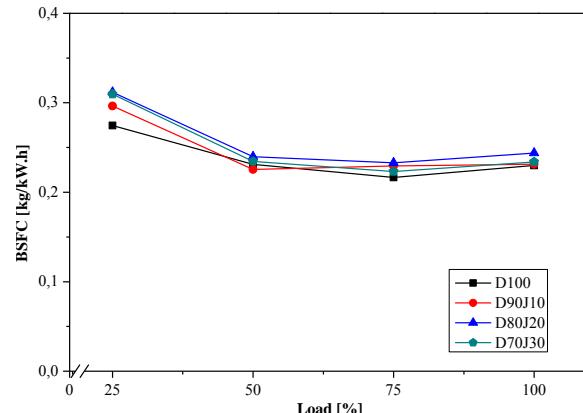
Brake specific fuel consumption (BSFC)

Gambar 4 menunjukkan nilai BSFC pada berbagai nilai pembebahan mesin untuk berbagai variasi campuran bahan bakar pada kasus tanpa EGR (0% EGR). Dari Gambar 4 ini dapat ditunjukkan bahwa penggunaan minyak jatropha sebagai bahan bakar campuran mesin diesel meningkatkan nilai BSFC. Akan tetapi peningkatan ini tidak signifikan. Hal ini disebabkan oleh karena nilai kalor bahan bakar campuran yang lebih rendah dibandingkan dengan biosolar yang berakibat pada semakin banyaknya injeksi bahan bakar yang harus diinjeksikan pada bahan bakar campuran untuk mendapatkan daya yang sama pada mesin diesel menggunakan biosolar (lihat Zhu L. dkk.) [11]. Hal ini juga dibenarkan oleh Rajan dan Senthil Kumar [5]. Selain itu, oleh karena nilai masa jenis campuran yang lebih besar dibandingkan dengan biosolar, untuk langkah plunger yang sama membutuhkan injeksi bahan bakar yang lebih besar seperti yang dinyatakan oleh Chauhan dkk [12].

Pada laju EGR 16,5%, kecenderungan yang sama diperoleh dengan yang tanpa menggunakan EGR. Nilai BSFC lebih besar ketika menggunakan bahan bakar campuran dibandingkan dengan menggunakan biosolar. Perbedaan yang signifikan ini terlihat untuk kasus



Gambar 4. Perbandingan nilai BSFC untuk berbagai beban dengan variasi campuran bahan bakar pada laju EGR 0% (tanpa EGR)

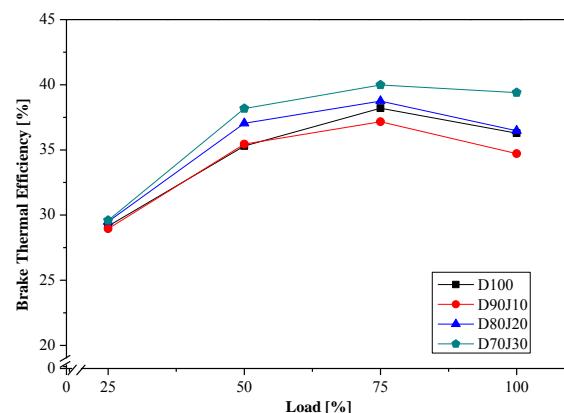


Gambar 5. Perbandingan nilai BSFC untuk berbagai beban dengan variasi campuran bahan bakar pada laju EGR 16,5%

pada beban rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5, nilai BSFC menurun dengan meningkatnya pembebahan. Hal ini dikarenakan peningkatan *brake power* terhadap pembebahan seperti yang dinyatakan pada Gambar 2 dan 3.

Brake thermal efficiency (BTE)

BTE merupakan rasio antara kerja siklus yang dihasilkan dari mesin diesel dan energi kalor bahan bakar. Gambar 6 menunjukkan perbandingan nilai BTE dengan berbagai pembebahan mesin pada berbagai variasi campuran bahan bakar untuk kasus tanpa EGR. Dari gambar ini dapat diperoleh bahwa terjadi peningkatan BTE untuk mesin diesel yang menggunakan bahan bakar campuran minyak jatropha terutama pada prosentase di atas 10%. Hal ini disebabkan oleh lebih tingginya kandungan oksigen pada bahan bakar campuran, sehingga pembakaran mendekati sempurna seperti yang dinyatakan oleh M. Gomma dkk. [4].



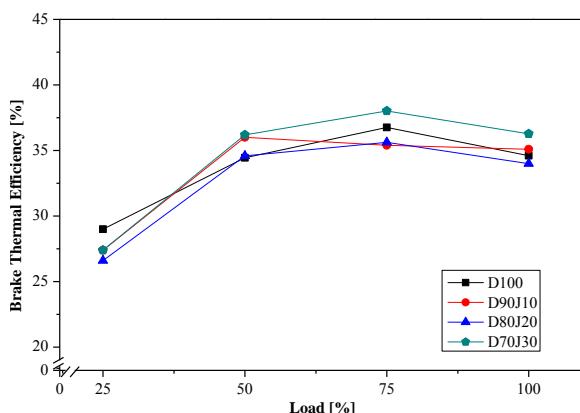
Gambar 6. Perbandingan nilai *brake thermal efficiency* untuk berbagai beban dengan variasi campuran bahan bakar pada laju EGR 0% (tanpa EGR)

Untuk kasus dengan menggunakan EGR pada laju 16,5% didapatkan bahwa BTE untuk campuran bahan bakar 30% minyak jatropha lebih besar daripada mesin diesel dengan bahan bakar biosolar pada beban menengah sampai tinggi. Akan tetapi nilai BTE untuk semua campuran bahan bakar lebih menunjukkan nilai yang lebih rendah daripada bahan bakar biosolar.

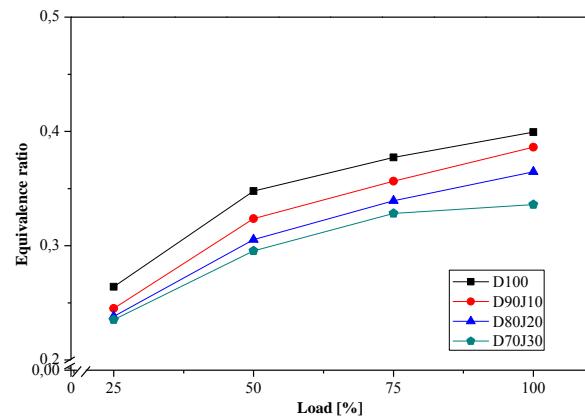
Rasio ekwivalensi

Rasio ekwivalensi adalah perbandingan antara FAR (*fuel air ratio*) aktual dengan FAR stoikiometrik. Gambar 8 memperlihatkan perbandingan nilai rasio ekwivalensi pada berbagai pembebanan untuk berbagai variasi campuran bahan bakar pada kasus tanpa EGR. Dari gambar ini dapat ditunjukkan bahwa rasio ekwivalensi meningkat dengan peningkatan pembebanan untuk semua campuran bahan bakar. Nilai rasio ekwivalensi menurun dengan semakin bertambahnya konsentrasi minyak jatropha pada setiap pembebanan yang sama. Hal ini dikarenakan nilai AFR (*air fuel ratio*) stoikiometrik bahan bakar campuran minyak jatropha lebih rendah daripada bahan bakar biosolar seperti yang dinyatakan oleh Zhu dkk. [10].

Gambar 9 menunjukkan nilai rasio ekwivalensi untuk kasus laju EGR 16,5% pada berbagai pembebanan mesin dengan variasi campuran bahan bakar. Dengan membandingkan Gambar 9 dan Gambar 8, kecenderungan yang sama diperoleh untuk nilai rasio ekwivalensi dengan mesin diesel menggunakan bahan bakar biosolar dan menggunakan bahan bakar campuran minyak jatropha. Akan tetapi, dengan menggunakan EGR 16,5%, nilai rasio ekwivalensi untuk mesin diesel dengan bahan bakar biosolar lebih tinggi dibandingkan untuk kasus tanpa menggunakan EGR. Hal ini disebabkan oleh menurunnya laju udara (*fresh air*) masuk karena penggunaan EGR

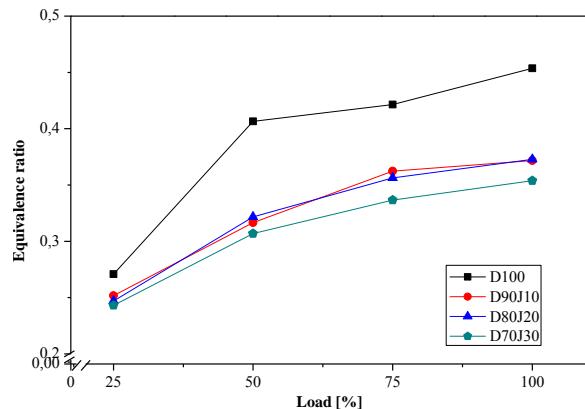


Gambar 7. Perbandingan nilai *brake thermal efficiency* untuk berbagai beban dengan variasi campuran bahan bakar pada laju EGR 16,5%



Gambar 8. Perbandingan nilai rasio ekwivalensi untuk berbagai beban dengan variasi campuran bahan bakar pada laju EGR 0% (tanpa EGR)

seperti yang dinyatakan oleh Agarwal D. dkk. [13].



Gambar 9. Perbandingan nilai rasio ekwivalensi untuk berbagai beban dengan variasi campuran bahan bakar pada laju EGR 16,5%

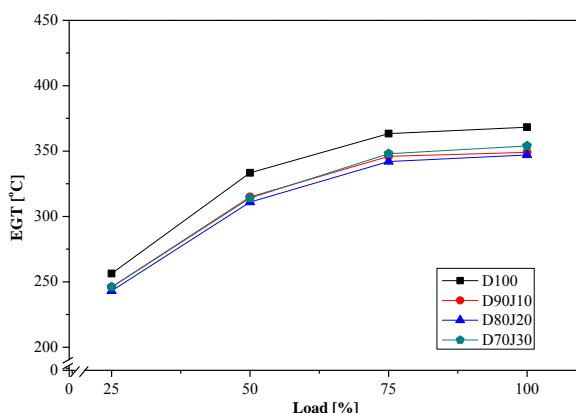
Temperatur gas buang (EGT)

EGT (*exhaust gas temperature*) diperoleh dengan mengukur temperatur gas buang di knalpot. EGT ini merupakan salah satu bentuk emisi yaitu emisi panas dari gas buang kendaraan. Selain itu EGT dapat digunakan untuk mengindikasikan perubahan temperatur yang terjadi di dalam ruang bakar akibat penggunaan EGR atau penggunaan bahan bakar campuran.

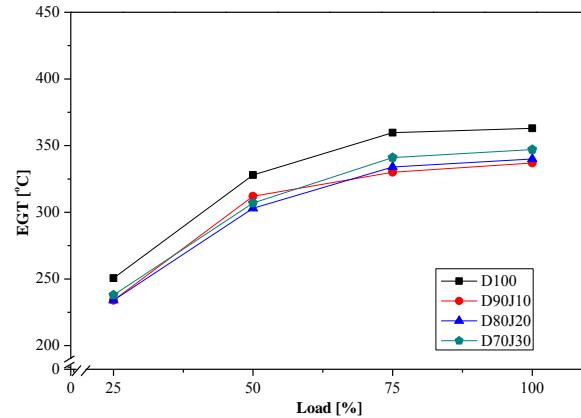
Gambar 10 menunjukkan perbandingan EGT untuk berbagai variasi pembebanan dan variasi bahan bakar campuran pada kasus tanpa menggunakan EGR. Hasil eksperimen menyatakan bahwa penggunaan bahan bakar campuran minyak jatropha pada mesin diesel dapat menurunkan EGT pada semua variasi pembebanan yang sama. Hal ini disebabkan nilai kalor yang lebih tinggi untuk bahan bakar biosolar dibandingkan bahan bakar campuran dengan minyak jatropha seperti yang diungkapkan oleh Saleh H. E. [14]. Hal ini berakibat pada panas yang dihasilkan dari proses pembakaran untuk mesin diesel menggunakan bahan bakar biosolar lebih besar berakibat pada tingginya temperatur pembakaran untuk bahan bakar biosolar dibandingkan dengan temperatur pembakaran untuk mesin diesel menggunakan bahan bakar campuran minyak jatropha.

Sedangkan untuk kasus dengan menggunakan EGR pada laju 16,5%, diperoleh kecenderrungan yang sama seperti kasus tanpa menggunakan EGR seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11. Jika membandingkan antara Gambar 11 dan Gambar 10, didapatkan bahwa terjadi sedikit penurunan temperatur gas buang pada mesin diesel menggunakan EGR 16,5% pada pembebanan yang sama. Hal ini disebabkan oleh peningkatan nilai panas jenis campuran udara dan EGR pada bagian masuk yang menyebabkan temperatur puncak pembakaran jadi lebih rendah dengan penggunaan EGR seperti yang dinyatakan oleh Avinash Kumar dkk. [6].

Emisi jelaga (*smoke opacity*)



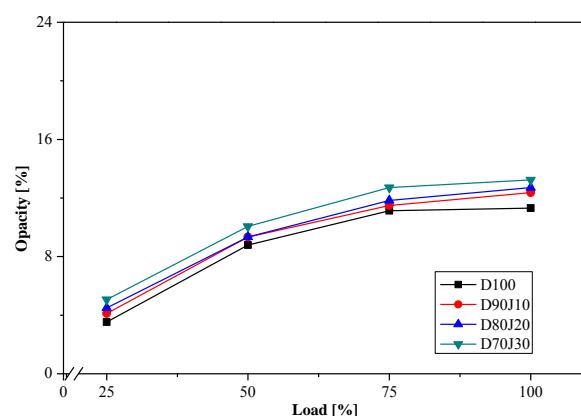
Gambar 10. Perbandingan nilai temperatur gas buang (EGT) untuk berbagai beban dengan variasi campuran bahan bakar pada laju EGR 0% (tanpa EGR)



Gambar 11. Perbandingan nilai temperatur gas buang (EGT) untuk berbagai beban dengan variasi campuran bahan bakar pada laju EGR 16,5%

Opacity mengindikasikan seberapa buram transparansi dari sensor yang dilewati oleh gas buang pada alat smoke meter. Sehingga opacity 100 % menunjukkan bahwa sensor telah tertutup oleh jelaga semua dan 0% menunjukkan tidak ada jelaga yang menutupi sensor.

Gambar 12 menunjukkan nilai emisi jelaga pada berbagai pembebanan mesin untuk bergabagai variasi campuran bahan bakar pada kasus tanpa menggunakan EGR. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi minyak jatropha pada campuran menyebabkan kenaikan emisi jelaga pada semua pembebanan yang sama. Hal ini disebabkan oleh buruknya atomisasi bahan bakar campuran oleh karena tingginya viskositas campuran dibandingkan dengan viskositas biosolar seperti yang dinyatakan oleh Senthil Kumar dkk. [5].



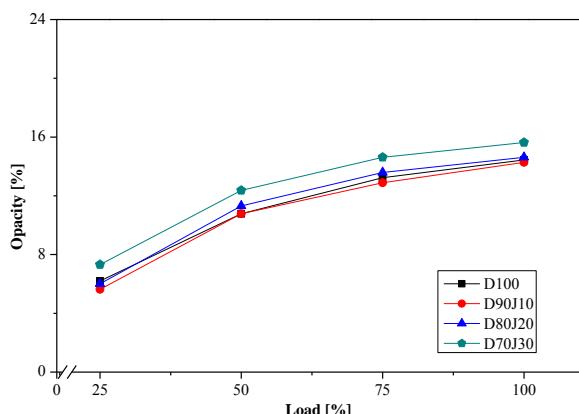
Gambar 12. Perbandingan nilai emisi jelaga untuk berbagai beban dengan variasi campuran bahan bakar pada laju EGR 0% (tanpa EGR)

Gambar 13. menunjukkan nilai emisi pada berbagai variasi pembebahan dengan variasi campuran bahan bakar untuk kasus mesin diesel dengan menggunakan EGR 16,5%. Dengan membandingkan antara Gambar 12 dan Gambar 13, diperoleh kecenderungan yang sama. Nilai emisi jelaga untuk mesin diesel dengan bahan bakar campuran lebih tinggi dibandingkan dengan mesin diesel menggunakan bahan bakar biosolar. Dari kedua gambar tersebut juga dapat diperoleh bahwa penggunaan EGR pada mesin diesel meningkatkan emisi jelaga pada berbagai variasi pembebahan dan campuran bahan bakar. Hal ini disebabkan oleh karena berkurangnya jumlah oksigen oleh karena penggunaan EGR yang berakibat pembakaran kurang sempurna sehingga emisi jelaga meningkat seperti yang dinyatakan oleh M. Gomma ddk. [4] dan Pooja Godhasara [15].

Kesimpulan

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan dapat diberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Nilai *brake power* lebih rendah dengan menggunakan bahan bakar campuran minyak jatropha. Nilai *brake power* tertinggi untuk mesin diesel menggunakan bahan bakar campuran terjadi pada campuran D70J30 sebesar 20,53 kW pada beban penuh.
- Nilai BSFC meningkat dengan penggunaan bahan bakar campuran minyak jatropha. Peningkatan nilai BSFC terbesar terjadi pada bahan bakar campuran D90J10 sebesar 6,6% pada beban penuh.
- Nilai BTE meningkat dengan penggunaan bahan bakar campuran minyak jatropha. Peningkatan tertinggi terjadi pada bahan bakar campuran D70J30 sebesar 8,59% pada beban penuh.
- Nilai ekwivalensi rasio mengalami penurunan



Gambar 13. Perbandingan nilai emisi jelaga untuk berbagai beban dengan variasi campuran bahan bakar pada laju EGR 16,5%

seiring dengan bertambahnya jatropha dalam campuran bahan bakar. Penurunan tertinggi terjadi pada D70J30 sebesar 18,40% pada beban penuh.

5. Nilai EGT menurun dengan penggunaan bahan bakar campuran, dimana semakin kecil kandungan jatropha menghasilkan nilai EGT terendah. Penurunan EGT terbesar terjadi pada bahan bakar campuran D90J10 sebesar 8,25% pada pembebahan penuh.

6. Penambahan minyak jatropha sebagai campuran bahan bakar meningkatkan emisi jelaga. Peningkatan terbesar dari emisi jelaga terjadi pada beban 25% sebesar 18,42% pada campuran D70J30.

Referensi

- [1] Badan Pusat Statistik, Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis tahun 1987-2012, <http://www.bps.co.id>
- [2] Senthil Kumar, M., Ramesh, A., Nagalingam, B., An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine, Biomass and Bioenergy. 23 (2003) 309-318.
- [3] Adinarayana, S., YMC Sekhar, BVA Rao, Anisl Prakash, M. (2011), Biodiesel as an Alternate Fuel in a Diesel Engine with the Cooled Exhaust Gas Recirculation-Ameasure to Reduce Harmful Emissions. IJARME. (2011) 1.
- [4] Gomma, M., Alimin, A.J., Kamarudin, K.A., Trade off Between NOx, Soot and EGR rates for IDI Diesel Engine Fuelled with JB5. World Academy of Science, Engineering and Technology. 38 (2010) 522-527.
- [5] Rajan, K., Senthil Kumar, K.R., The effect of exhaust gas recirculation (EGR) on the performance and emission characteristics of diesel engine with sunflower oil methyl ester. International Journal of Chemical Engineering Research. 1 (2009) 31-39.
- [6] Avinash Kumar Agrawal, Shrawan Kumar Singh, Shailendra Sinha dan Mritunjay Kumar Sukla., Effect of EGR on the exhaust gas temperatur and exhaust opacity in compression ignition engines. Sadhana. 29 (2004) 275–284.
- [7] Niranjan, L., Thomas, S., Sajith, V., Experimental investigation on the effects of cold and hot EGR using diesel and bio-diesel as Fuel. International Conference on Energy and Environment, Universiti Tenaga Nasional, Malaysia (2006).
- [8] Hauntalas, D.T., Mavropoulos, G.C., Binder, K.B., Effect of exhaust gas recirculation (EGR) temperature for various EGR rates on heavy duty

DI diesel engine performance and emissions.
Energy. 33 (2008) 272-286.

[9] Sobri, Syaiful, Pengaruh High Purity Methanol (HPM) dan cold EGR terhadap performa dan emisi jelaga pada mesin diesel injeksi langsung menggunakan bahan bakar campuran biosolar dan jatropha. Thesis. Universitas Diponegoro. (2014)

[10] Karabektaş, M., Ergen, G., Hosoz, M. (2011), Effect of the blends containing low ratios of alternative fuels on the performance and emission characteristics of a diesel engine. Fuel. 4 (2011) 36-39.

[11] Zhu, L., Cheung, C.S., Zhang, W.G., Huang, Z., Emissions characteristics of a diesel engine operating on biodiesel and biodiesel blended with ethanol and methanol. Science of Total Environment. 408 (2010) 914-921.

[12] Chauhan, B.S, Kumar, N., Muk, H., A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with jatropha biodiesel oil and its blends. Energy. 37 (2012) 616-622.

[12] Agarwal, D., Singh, S.K, Agarwal, A.K., Effect of Exaust Gas Recirculation (EGR) on performance, deposits and durability of constant speed compression ignition engine. Applied Energy. 88 (2011) 2900-2907.

[14] Saleh, H. E., Effect of exhaust gas recirculation on diesel engine nitrogen oxide reduction operating with jojoba methyl ester. Renewable Energy. 34 (2009) 2178-2186.

[15] Pooja Ghodasara, Mayur Ghodasara., Experimental studies in emission and performance characteristics in diesel engine using bio-diesel blend and EGR (exhaust gas recirculation). Emerging Technology and Advanced Engineering. 2 (2012) 2250-2459.