

Karakterisasi Emisi *Heavy Duty Diesel Engine*

Emission Characterization of Heavy Duty Diesel Engine

Matsuani^{1*}, M. Isro Farisi²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin Otomotif, Institut Teknologi Indonesia
Jl Raya Puspipetek, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten 15320

Abstrak

Gas buang kendaraan bermotor merupakan sumber polusi udara yang mencapai 60-70% dari jumlah polusi yang ada. WHO memperkirakan bahwa 70% penduduk kota di dunia pernah menghirup udara kotor akibat emisi kendaraan bermotor, sedangkan sisanya menghirup udara yang bersifat marginal. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah menerapkan secara STKK (Sistem dan Tata Kerja Kerekayasaan) yang meliputi 7 (tujuh) butir kegiatan yaitu, menetapkan konfigurasi pengujian, pemasangan benda uji/instrument yang akan digunakan, menetapkan sistem penginderaan (control/sensor), menetapkan sistem perolehan dan pengolahan data pengujian, operasi pengujian, analisa data hasil pengujian dan interpretasi hasil pengujian. Pengujian dilakukan di Engine Test Cell 7 BT2MP (Balai Teknologi Termodinamika Motor dan Propulsi). Dari hasil pengujian dengan metode UNECE R-49 didapatkan kesimpulan bahwa tidak semua parameter tingkat emisi terpenuhi yaitu, tingkat emisi polutan NO_x, CO dan HC memenuhi ambang batas/limit yang diijinkan, sedangkan tingkat emisi partikulat PM berada di atas ambang batas/limit yang diijinkan. Pengujian emisi heavy duty diesel engine 4 silinder 3908 CC dengan metode UNECE R-49 yaitu: Karakteristik torsi engine mengalami peningkatan pada putaran engine antara 1500 rpm s/d 1900 rpm yaitu laju aliran massa gas buang dan daya mengalami kenaikan, hal ini disebabkan karena beban torsi yang diberikan semakin meningkat.

Kata Kunci : Motor Bakar, Mesin Diesel, Emisi, Gas Buang

Abstract

Motor vehicle exhaust is a source of air pollution that reaches 60-70% of the amount of pollution. WHO estimates that 70% of the city's population in the world ever breathe dirty air due to motor vehicle emissions, while the rest breathe the air that is marginal. The methodology used in this research is applying STKK (Sistem Tata Kerja Kerekayasaan) covering 4 (four) activities that is to define test configuration, installation of test instrument / instrument to be used, establishing control / sensor system, and set system The acquisition and processing of test data. The tests were conducted at BT2MP Cell Test Engine (Motor and Thermodynamics Technology Hall Propulsion). From the test results using UNECE R49 method it is concluded that not all test engine parameters measured pass the Euro II emission test because particulate pollutant parameters from the test machine are above the valid allowable limit of the value of Euro II Emission. Conclusion testing of 3908 CC heavy duty diesel 4 cylinder engine emissions with the UNECE R-49 method, namely: Engine torque characteristics have increased at engine speed between 1500 rpm to 1900 rpm that is the flue gas mass flow rate and power increase, this is due to the increasing torque load.

Keyword : fuel motor, diesel engine, emissions, exhaust gas

*Penulis Korespondensi, Telp.: +62 856 4649 1246
Alamat E-mail: matsuanimatsuani@gmail.com

1. Pendahuluan

Saat ini manusia sangat tergantung sekali dengan kendaraan bermotor untuk

mendukung aktivitasnya, oleh sebab itu jumlah pemakaian kendaraan bermotor semakin hari semakin banyak. Dibalik banyaknya manfaat dari

kendaraan bermotor, ternyata kendaraan bermotor banyak menyebabkan masalah yang sangat besar karena emisi (gas buang) hasil kendaraan bermotor memiliki dampak yang buruk bagi lingkungan dan kehidupan manusia.

Di kota-kota besar, kontribusi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber polusi udara mencapai 60-70%. Sedangkan kontribusi gas buang dari cerobong asap industri hanya berkisar 10-15%, sisanya berasal dari sumber pembakaran lain, misalnya dari rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan, dan lain-lain. WHO memperkirakan bahwa 70% penduduk kota di dunia pernah menghirup udara kotor akibat emisi kendaraan bermotor, sedangkan 10% sisanya menghirup udara yang bersifat marginal [6]. Mesin diesel adalah mesin yang paling banyak digunakan di dunia maritim.

Saat ini setiap negara memberlakukan peraturan dengan membatasi kadar gas buang. Di Indonesia sendiri mulai tahun 2005 mulai diterapkan standar emisi (gas buang) yang berpatokan berdasarkan standar Euro 2 [7].

Standar ini dikhususkan untuk kendaraan pengangkut, baik pengangkut orang atau pun barang. Standar ini mengatur tentang batas-batas emisi (gas buang) kendaraan bermotor.

Maksud dan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian terapan ini adalah untuk mengetahui *maximum torque speed* dan *rated power speed*, untuk mengetahui karakteristik emisi *heavy duty diesel engine* dan untuk mengetahui tingkat emisi polutan dan partikulat *heavy duty diesel engine* terhadap ambang batas atau limit emisi yang diijinkan dengan metode uji UNECE R-49 [6].

Tidak sempurnanya proses pembakaran merupakan masalah yang akan dijumpai dalam usaha peningkatan kinerja motor diesel. Proses pencampuran udara dan bahan bakar yang kurang baik menjadi salah satu faktor penyebab ketidak sempurnaan tersebut.

Maka perlu untuk mengetahui kadar emisi gas buang yang dikeluarkan oleh *engine* kendaraan bermotor sehingga dapat menentukan layak atau tidak suatu kendaraan bermotor katagori *heavy duty diesel engine* dari standard Euro 2. Batasan masalah ini meliputi : emisi gas buang dari *engine* terdiri dari polutan (NO_x, CO dan HC) dan partikulat (PM). Selama siklus uji yang telah digariskan, jumlah polutan dan partikulat di atas dikaji secara kontinyu. Siklus uji terdiri dari sejumlah mode daya dan kecepatan/putaran *engine* yang merentang pada seluruh daerah operasi tipikal dari *engine*. Benda uji yang digunakan adalah *Heavy Duty Diesel Engine 4 Silinder 3908 CC* [7].

2. Teori Dasar

Motor Bakar

Motor bakar adalah mesin kalor dimana gas panas diperoleh dari proses pembakaran di dalam mesin itu sendiri dan langsung dipakai untuk melakukan kerja mekanis, yaitu menjalankan mesin tersebut. Energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar dilepaskan menjadi energi panas melalui proses pembakaran [1].

Motor bakar jika ditinjau dari cara perolehan energinya, mesin kalor ini dapat dibedakan menjadi mesin pembakaran dalam dan mesin pembakaran luar. Pada mesin pembakaran luar proses pembakaran terjadi di luar mesin. Energi thermal dari gas hasil pembakaran dipindahkan ke fluida kerja. Contoh dari mesin pembakaran luar adalah mesin uap. Pada jenis yang kedua proses pembakaran berlangsung di dalam mesin sehingga gas pembakaran yang terjadi berfungsi sebagai fluida kerja. Mesin pembakaran dalam terdiri dari beberapa jenis contohnya motor bakar torak dan mesin rotari [2].

Selanjutnya jenis motor bakar torak juga terdiri dari dua bagian utama yaitu, mesin bensin dan mesin diesel. Perbedaan pokok antara kedua mesin ini terlihat jelas pada sistem penyalannya. Mesin bensin proses penyalan bahan bakar dilakukan oleh percikan bunga api listrik yang dihasilkan oleh elektroda busi. Sedangkan di dalam mesin diesel penyalan bahan bakar terjadi dengan sendirinya, oleh karena itu bahan bakar yang akan disemprotkan ke dalam ruang bakar harus memiliki tekanan yang tinggi agar cukup untuk membakar udara yang telah mengalami kenaikan tekanan dan suhu. Oleh karena itu mesin diesel dikenal juga dengan sebutan *Compression Ignation Engine* [4].

Mesin Diesel

Prinsip kerja pembakaran mesin diesel yaitu udara murni dihisap masuk ke dalam silinder atau ruang bakar, kemudian udara tersebut dikompresi oleh torak sehingga udara memiliki temperatur dan tekanan yang tinggi, dan sebelum torak mencapai titik mati atas, bahan bakar bertekanan tinggi disemprotkan ke ruang bakar dan terjadilah pembakaran [10]. Karakteristik yang utama dari motor diesel yang membedakannya dari motor bakar yang lain adalah metode penyalan bahan bakar. Dalam motor diesel bahan bakar diinjeksikan kedalam silinder, yang berisi udara bertekanan tinggi.

Pembakaran bahan bakar dan udara ini menghasilkan daya dan menggerakkan torak secara bolak balik kemudian gerakan ini diubah

menjadi gerakan berputar oleh poros engkol. Daya dari mesin sangat dipengaruhi oleh faktor bahan bakar dan udara, mulai dari karakteristiknya sampai perbandingan campuran. Selain faktor bahan bakar dan udara, rasio kompresi juga sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh mesin, dimana semakin besar rasio kompresi maka semakin besar pula daya yang akan dihasilkan, rasio kompresi adalah perbandingan antara volume langkah torak dan volume sisa pada ruang bakar. Jika rasio kompresi terlalu tinggi maka akan terjadi knocking atau ketukan yang bisa berbalik menurunkan daya.

Daya mesin merupakan tujuan yang harus dicapai semaksimal mungkin karena dari daya dapat diketahui bagaimana prestasi mesin yang telah dicapai. Selain daya, untuk mengevaluasi prestasi mesin masih ada parameter lain yang perlu diperhatikan antara lain konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termis, efisiensi volumetris, dan efisiensi mekanis.

Bahan Bakar Solar

Solar juga mempunyai bilangan yang menyatakan kualitas dari penyalaan yaitu bilangan setana (*Cetane Number*), menggunakan bahan bakar hidrokarbon rantai lurus yaitu *cetane* ($C_{16}H_{34}$) dengan bilangan setana yang lebih tinggi, sekitar 100 dicampur dengan persentase volume yang bervariasi ditambah dengan TEL (*Tetra Etil Lead*) untuk meningkatkan angka setananya diuji dengan menggunakan CFR (*Cooperative Fuel Research Engine*) yang dapat diubah-ubah perbandingan kompresinya hingga didapat ketukan yang terdeteksi oleh alat *detector knocking*, akhirnya didapat bilangan setana dan didapat periode persiapan pembakaran sebesar 13° sudut engkol sebelum TMA [12].

Angka setana untuk motor diesel komersial yang diperdagangkan berkisar antara 35 – 60. Pemilihan angka setana dilihat dari perbandingan kompresi dari mesin tersebut dan perbandingan campuran udara dan bahan bakar sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya detonasi atau *knocking*.

Emisi Gas Buang

Gas buang kendaraan bermotor adalah gas yang mengandung zat-zat pencemar (*pollutants*) yang merupakan hasil sampingan atau buangan, meliputi Carbon monoksida, Nitrogen Oksida, Belerang Oksida, serta senyawa CFC (*chlorofluorocarbons*) [8].

Sumber permasalahan polusi udara yang diakibatkan kendaraan bermotor adalah tidak sempurnanya proses pembakaran sehingga akan

menghasilkan emisi gas buang: Carbon monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Nitrogen Oksida (NO_x), partikulat, sulfat, dan lain-lainnya. Diantara banyak emisi gas buang yang menjadi perhatian (polutan) adalah CO, HC, Nox, dan partikulat yang nilainya akan dibatasi untuk digunakan dalam standar emisi.

Tingkatan Emisi Euro

Hingga saat ini sudah dikenal tingkatan emisi Euro dari Euro 0 sampai dengan Euro VI. Persyaratan yang sama juga diberlakukan untuk mobil diesel dan mobil komersial berukuran kecil dan besar. Standar emisi kendaraan bermotor di Eropa ini juga diadopsi oleh beberapa negara di dunia.

Untuk melakukan pengujian tingkat emisi Euro mesin Diesel *Heavy Duty* ada 3 metode yaitu : ECE R-49 (*Regulation 49*) untuk tingkat emisi Euro 1 dan 2, ESC (*European Stationary Cycle*) untuk tingkat emisi Euro 3, dan ETC (*European Transient Cycle*) untuk tingkat emisi Euro IV. Pada tahun 2005 Indonesia akan mulai memberlakukan tingkatan emisi yang setara dengan tingkatan emisi Euro 2 untuk *Diesel Heavy Duty*. Jadi setiap kendaraan *Diesel Heavy Duty* yang beroperasi di jalanan harus lulus uji emisi Euro 2 [6].

Metode ECE R-49

Metode ECE R-49 adalah metode pengujian dengan menggunakan 13 mode pengujian yang stabil (*steady state*) yang dikeluarkan oleh ECE (*European Commission for Europe*) Regulation No. 49 yang kemudian dipakai oleh EEC (*European Economic Council*) untuk tingkat emisi euro II untuk mesin *Diesel Heavy Duty*, mesin berbahan bakar gas, dan mesin bensin *Heavy Duty*.

Metode ECE R-49 dilakukan dengan menggunakan dynamometer untuk menjalankan rangkaian pengujian yang terdiri dari 13 macam mode dengan kecepatan dan pembebanan tertentu. Emisi yang dihasilkan dari setiap mode pengujian dinyatakan dalam g/kWh.

Tabel 1. Kondisi pengujian dan faktor pembobotan (*weighting factor*) dari metode ECE R-49

Mode	Speed	Load (%)	Faktor Pembobotan	Durasi (Mnt)
1	midle	-	0,25/3	6
2		10	0,08	6
3	maximum	25	0,08	6
4	torque	50	0,08	6
5	speed	75	0,08	6
6		100	0,25	6
7	Idle	-	0,25/3	6
8		100	0,10	6
9	Rated	75	0,02	6
10	power	50	0,02	6
11	speed	25	0,02	6
12		10	0,02	6
13	Idle	-	0,25/3	6

Persentase faktor pembobotan pada pengujian ke-6 (0.25) dan ke-8 (0.10) cukup besar karena pada pengujian tersebut, mesin diberikan pembebanan terbesar. Pembebanan mesin yang besar maka gas buang yang keluar menghasilkan emisi yang besar pula dan dianggap sebagai kemampuan maksimum untuk menghasilkan emisi.

Gas-gas yang diambil untuk dibandingkan dengan standarisasi *EURO II* adalah Nitrogen Oksida (NO_x), total Hidro Carbon (THC), Oksigen (O₂), Carbon Monoksida (CO), dan Carbon Doksida (CO₂).

3. Metodologi

Penelitian dilaksanakan melalui eksperimental/pengujian emisi *heavy duty engine* diesel 4 silinder 3908 CC di Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi (Lap. MP) Balai Teknologi Termodinamika Motor dan Propulsi (BT2MP).

Tahapan pada proses pengujian emisi gas buang *heavy duty diesel engine* dengan metode UNECE R-49 terlebih dahulu dimulai dari menguji unjuk kerja *heavy duty diesel engine* dengan metode UNECE R-85 (berdasarkan dua standar ini dapat pula diperoleh hasil konsumsi bahan bakar spesifik *engine*). Peralatan yang digunakan dalam proses pengujian emisi *heavy duty engine* adalah semua peralatan yang berada di dalam *test cell 7* dan peralatan lainnya yang berada di luar *test cell* tersebut.

Poses pengujian emisi *heavy duty diesel engine* dan berdasarkan metode sebagaimana pada butir dibutuhkan perlakuan sebagai berikut :pekerjaan *mounting* mesin pada *test bed*; pemasangan alat ukur sensor suhu, sensor tekanan, dan alat ukur pendukung lainnya; dan *control engine/commissioning*

Instrumen atau peralatan ukur yang digunakan pada pengujian emisi *heavy duty diesel engine* ini diperlengkapi dengan peralatan

yang berstandar internasional buatan Austria (AVL).

Tabel 2. Spesifikasi benda uji atau *heavy duty diesel engine*.

Komponen	Spesifikasi
<i>No. of Cylinder</i>	4 in Line
<i>Bore and Stroke</i>	104 mm x 115 mm
<i>Piston Displacement</i>	3908 cc
<i>Max. Output (EEC)</i>	81 kW/2900 rpm
	110 PS /2900 rpm
<i>Max. Torque (EEC)</i>	275 Nm/1600 rpm
	28.0 kgm/1600 rpm
<i>Charge air cooler</i>	<i>Air to Air</i>
<i>Generator</i>	24 Volt, AC, 50 Amp
<i>Air Cleaner</i>	<i>Dry Paper element type</i>
<i>Suction</i>	<i>Snorkel and rain cap</i>
<i>Governor</i>	<i>All speed type</i>

Peralatan Pengujian

Alat ukur dan peralatan lainnya yang digunakan pada proses pengujian emisi *heavy duty diesel engine* disajikan sebagaimana berikut: *Dynamometer*, *tangki/drum*, *fan* atau *blower*, *engine mounting*, *flowmeter*, sensor suhu, tekanan dan kelembaban, dan *AVL throttle control*

4. Hasil dan Pembahasan

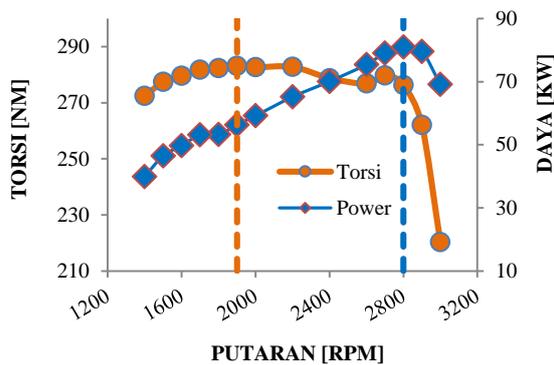
Berdasarkan grafik karakteristik unjuk kerja dan emisi tersebut hasil pengujian dianalisa.

Pengolahan Data Hasil Pengujian

Berdasarkan data hasil pengujian dibuat grafik karakteristik unjuk kerja *heavy duty diesel engine* 4 silinder 3908 CC sebagai berikut:

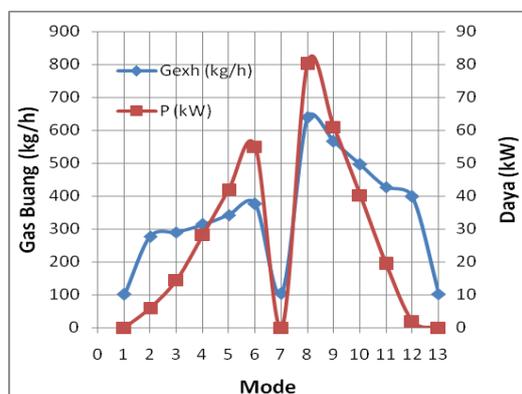
Tabel 3. Data hasil pengujian unjuk kerja *heavy duty diesel engine*

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)	Daya (kW)
3000	220	69
2900	262	80
2800	276	81
2700	280	79
2600	277	75
2400	279	70
2200	283	65
2000	283	59
1900	283	56
1800	282	53
1700	282	53
1600	280	50
1500	277	46



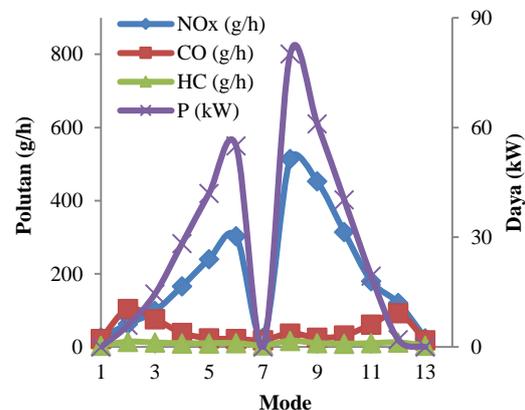
Gambar 1. Karakteristik unjuk kerja heavy duty diesel engine

Berdasarkan Gambar 1. Karakteristik unjuk kerja heavy duty diesel engine 4 silinder (dengan metode uji UNECE R-85), untuk torsi engine mengalami peningkatan pada putaran engine antara 1500 rpm s/d 1900 rpm, namun sebaliknya torsi engine mengalami penurunan pada putaran engine lebih besar dari 1900 s/d 3000 rpm. Sedangkan untuk daya engine mengalami peningkatan pada putaran engine antara 1500 rpm s/d 2800 rpm, namun sebaliknya daya engine mengalami penurunan pada putaran engine lebih besar dari 2800 s/d 3000 rpm. Hal ini disebabkan karena gesekan antara piston dan silinder blok engine semakin meningkat pada putaran lebih besar ± 2800 rpm dan katup sudah tidak dibuka dan ditutup tepat di TMA dan TMB sehingga terjadi ketidakefektifan konsumsi bahan bakar yang pada akhirnya menjadi semakin lebih boros dan mengalami kerugian energi yang berakibat pada torsi dan daya engine menurun. Gambar 1 juga, dapat ditentukan nilai torsi maksimum sebesar 283 Nm pada putaran 1900 rpm (*maximum Torque speed*) dan nilai daya maksimum sebesar 81 kW pada putaran 2800 rpm (*rated power speed*) yang selanjutnya digunakan untuk menentukan siklus pengujian emisi heavy duty diesel engine (sebanyak 13 mode) dengan metode UNECE R-49.



Gambar 2. Karakteristik laju aliran massa gas buang dan daya terukur untuk tiap mode

Berdasarkan Gambar 2. Grafik karakteristik laju aliran massa gas buang dan daya terukur untuk tiap mode, untuk mode 2 – 6 (*maximum Torque speed*) karakteristik laju aliran massa gas buang dan daya mengalami kenaikan, hal ini disebabkan karena beban torsi yang diberikan pada mode 2 – 6 semakin meningkat walaupun putaran engine sama (1900 rpm). Namun sebaliknya untuk mode 8 – 12 (*rated power speed*) karakteristik laju aliran masa gas buang dan daya mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena beban torsi yang diberikan semakin menurun walaupun putaran engine sama (2800 rpm). Sedang untuk mode 1, mode 7 dan mode 13 (putaran *idle*) mempunyai laju aliran massa gas buang dan daya yang nilainya paling kecil diantara mode lainnya, hal ini disebabkan karena engine bekerja tanpa beban (torsi = 0).



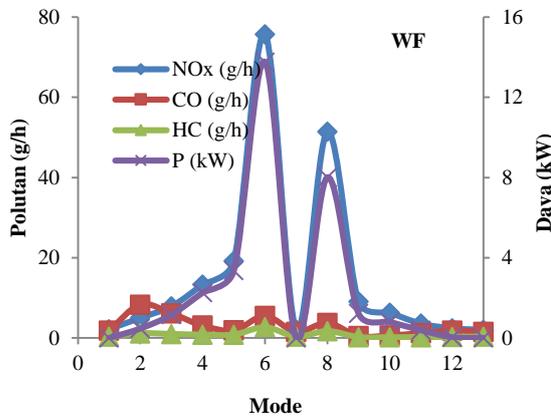
Gambar 3. Karakteristik laju aliran massa polutan dan daya terukur untuk tiap mode.

Berdasarkan Gambar 3-Grafik karakteristik laju aliran massa polutan dan daya terukur untuk tiap mode, untuk mode 2 – 6 (*maximum Torque speed*) karakteristik laju aliran massa polutan NOx dan daya mengalami kenaikan, hal ini disebabkan karena beban torsi yang diberikan pada mode 2 – 6 semakin meningkat walaupun putaran engine sama (1900 rpm). Namun sebaliknya untuk mode 8 – 12 (*rated power speed*) karakteristik laju aliran masa polutan NOx dan daya mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena beban torsi yang diberikan semakin menurun walaupun putaran engine sama (2800 rpm). Untuk karakteristik laju aliran massa polutan CO dan HC pada mode 2 – 6 (*maximum Torque speed*) mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena pembakaran pada kondisi mode 2 – 6 semakin sempurna walaupun putaran engine sama (1900 rpm). Demikian pula untuk karakteristik laju aliran massa polutan CO dan HC pada mode 8 – 12 (*maximum Torque speed*) mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena pembakaran

pada kondisi mode 8 – 12 semakin sempurna walaupun putaran *engine* sama (2800 rpm). Sedang untuk mode 1, mode 7 dan mode 13 (putaran *idle*) mempunyai laju aliran massa setiap polutan (NOx, CO dan HC) dan daya yang nilainya paling kecil diantara mode lainnya, hal ini disebabkan karena *engine* bekerja tanpa beban (torsi = 0).

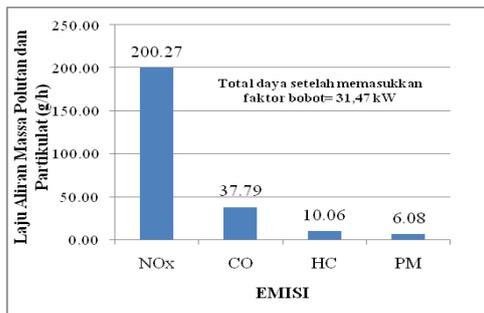
Tabel 4. Data hasil pengujian emisi *heavy duty diesel engine* dengan besaran laju aliran massa polutan (total seluruh mode) dan laju aliran massa partikulat setelah memasukkan faktor bobot (WF)

Emisi	Nilai (g/h)
NOx	200,27
CO	37,79
HC	10,06
PM	6,08



Gambar 4. Karakteristik laju aliran massa polutan dan daya terukur untuk tiap mode dengan memasukkan faktor bobot (WF)

Berdasarkan Gambar 4 Grafik karakteristik laju aliran massa polutan dan daya terukur untuk tiap mode dengan memasukkan faktor bobot (WF), dengan cara yang sama sebagaimana pada butir (3) tersebut di atas maka diperoleh hasil analisa yang sama pula, akan tetapi laju aliran massa polutan dan daya untuk tiap mode nilainya lebih kecil karena pengaruh faktor bobot (WF).

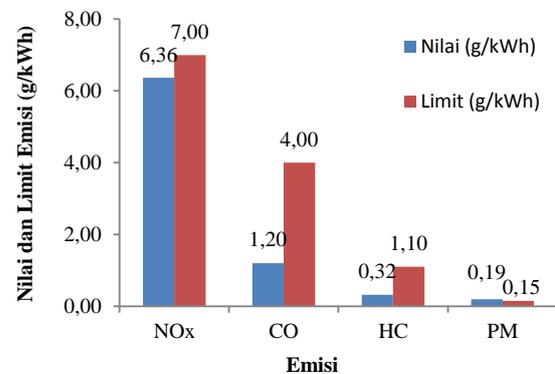


Gambar 5. Karakteristik laju aliran massa polutan (total seluruh mode) dan partikulat setelah memasukkan faktor bobot (WF)

Tabel 5. Data akhir hasil pengujian emisi *heavy duty diesel engine* 4 silinder 3908 CC dan ambang limit yang diperbolehkan.

Emisi	Nilai (g/kWh)
NOx	6,36
CO	1,20
HC	0,32
PM	0,12

Berdasarkan Gambar 5. Grafik karakteristik laju aliran massa polutan (total seluruh mode) dan partikulat setelah memasukkan faktor bobot (WF) terlihat bahwa laju aliran massa polutan NOx (200,27 g/h) jauh lebih besar dari pada laju aliran massa polutan lainnya CO, (37,79 g/h), HC (10,06 g/h) dan laju aliran massa partikulat PM (6,08 g/h). Dengan kata lain bahwa produksi hasil pembakaran *engine* persatuan waktu adalah polutan NOx yang terbesar dibandingkan dengan polutan lainnya dan partikulat. Hal ini disebabkan karena (interpretasi) dalam kondisi atmosfer normal, prosentasi nitrogen dalam udara yang terbesar (79 %) dan merupakan gas inert yang sangat stabil yang tidak akan berikatan dengan unsur lain. Tetapi dalam kondisi suhu tinggi dan tekanan tinggi dalam ruang bakar, nitrogen akan memecah ikatannya dan berikatan dengan oksigen membentuk NOx.



Gambar 6. Grafik karakteristik nilai dan limit *heavy duty diesel engine* 4 silinder 3908 CC

Berdasarkan Gambar 6. Grafik karakteristik tingkat/nilai emisi dan limit untuk *heavy duty diesel engine* 4 silinder 3908 CC sebagai hasil akhir diperoleh bahwa tingkat emisi polutan NOx (6,36 g/kWh), polutan CO (1,20 g/kWh), polutan HC (0,32 g/kWh) dan partikulat PM (0,12 g/kWh) kesemuanya berada di bawah ambang batas/limit yang diijinkan dengan metode uji UNECE R-49

5. Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini tentang

pengujian emisi *heavy duty diesel engine* 4 silinder 3908 CC dengan metode UNECE R-49 yaitu:

1. Karakteristik torsi *engine* mengalami peningkatan pada putaran *engine* antara 1500 rpm s/d 1900 rpm, namun sebaliknya torsi *engine* mengalami penurunan pada putaran *engine* lebih besar dari 1900 s/d 3000 rpm. Sedangkan untuk daya *engine* mengalami peningkatan pada putaran *engine* antara 1500 rpm s/d 2800 rpm, namun sebaliknya daya *engine* mengalami penurunan pada putaran *engine* lebih besar dari 2800 s/d 3000 rpm.
2. Karakteristik laju aliran massa gas buang dan daya terukur untuk tiap mode, untuk mode 2 – 6 (*maximum Torque speed*) karakteristik laju aliran massa gas buang dan daya mengalami kenaikan, hal ini disebabkan karena beban torsi yang diberikan pada mode 2 – 6 semakin meningkat walaupun putaran *engine* sama (1900 rpm). Namun sebaliknya untuk mode 8 – 12 (*rated power speed*) karakteristik laju aliran masa gas buang dan daya mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena beban torsi yang diberikan semakin menurun walaupun putaran *engine* sama (2800 rpm). Sedang untuk mode 1, mode 7 dan mode 13 (putaran *idle*) mempunyai laju aliran massa gas buang dan daya yang nilainya paling kecil diantara mode lainnya.
3. Karakteristik laju aliran massa polutan dan daya terukur untuk tiap mode 2-6, untuk laju aliran massa polutan NO_x dan daya mengalami kenaikan, untuk karakteristik laju aliran massa polutan CO dan HC mengalami penurunan, dan untuk mode 1, mode 7 dan mode 13 (putaran *idle*) mempunyai laju aliran massa setiap polutan (NO_x, CO dan HC) dan daya yang nilainya paling kecil diantara mode lainnya.
4. Karakteristik laju aliran massa polutan dan daya terukur untuk tiap mode dengan memasukkan faktor bobot (WF), dengan cara yang sama sebagaimana pada butir (3) tersebut di atas maka diperoleh hasil analisa yang sama pula, akan tetapi laju aliran massa polutan dan daya untuk tiap mode nilainya lebih kecil karena pengaruh faktor bobot (WF)
5. Laju aliran massa polutan (total seluruh mode) dan partikulat setelah memasukkan faktor bobot (WF) bahwa produksi hasil pembakaran *engine* persatuan waktu adalah polutan NO_x yang terbesar dibandingkan dengan polutan lainnya.
6. Tingkat emisi (g/kWh) polutan yang terdiri dari NO_x, CO, HC dan partikulat PM kesemuanya berada di bawah ambang batas/limit yang diijinkan.

Daftar Pustaka

- [1] Agus Budianto, Aguk Zuhdi M. Fathallah, Semin. 2013. Analisa Performa Mesin Diesel Berbahan Bakar Batubara Cair Berbasis pada Simulasi. ITS. Jurnal teknik pomits Vol. 2, No. 1, ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)
- [2] Arismunandar, 2005. Penggerak mula: Motor Bakar Torak, edisi kelima-Bandung: Penerbit ITB
- [3] Bambang Hermani . 2014. Pengujian Simulator Uji Prestasi Motor Bakar Torak 4 Langkah Berbasis Motor Diesel Serbaguna. Universitas 17 Agustus 1945 Cirebon. Jurnal. Vol. 8. No 1.
- [4] Buntarto, 2016. Mesin Diesel. Pustaka Baru Press. Bandung.
- [5] Dicky Yoko Exoryanto dan Bambang udarmanta. 2016. Studi Eksperimen Unjuk Kerja Mesin Diesel Menggunakan Sistem Dual Fuel Solar-Gas CNG dengan Variasi Tekanan Injeksi Gas dan Derajat Waktu Injeksi. Jurnal Teknik ITS Vol. 1, No. 1, ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)
- [6] Economic Commision for Europe (ECE R-49) 1997. Diesel Emmision. Intereurope Regulation Ltd
- [7] Economic Commision for Europe (ECE R-85) 1997. Measurement of Engine Power. Intereurope Regulation Ltd
- [8] Harsanto. "Motor Bakar". Edisi ke – 5 cetakan – 7. Djambatan, Jakarta, 1985.
- [9] Petunjuk Teknis Sistem dan Tata Kerja Kerekayasaan (STKK), BPPT, Tahun 2009. Tangerang Selatan.
- [10] Philip Kristanto, 2015. Motor Bakar Torak. Andi Yogyakarta.
- [11] Rahardjo Tirtoatmodjo, Willyanto, Febrian Willyanto, 1999. Peningkatan Unjuk Kerja Motor Diesel dengan Penambahan Pemanas Solar. Jurnal Teknik Mesin Vol. 1, No. 2, Oktober 1999: 127 – 133.
- [12] Wegie Ruslan, 2013. Motor Bakar Torak. Penerbit Universitas Atma Jaya. Jakarta