

# Studi Experimental Penggunaan Venturi Scrubber dan Cyclonic Separator Untuk Meningkatkan Kinerja pada Sistem Exhaust Gas Recirculation (EGR) dalam Menurunkan $\text{NO}_x$ pada Motor Diesel

Samsu Dlukha N, I Made Ariana, dan Aguk Z. M.Fathallah

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: ariana@its.ac.id

**Abstrak** — Salah satu cara yang efektif untuk mengurangi  $\text{NO}_x$  adalah dengan menggunakan metode *Exhaust Gas Recirculation* (EGR). Dengan metode EGR, oksigen yang masuk ke ruang bakar akan berkurang sehingga  $\text{NO}_x$  dapat diturunkan dengan signifikan, akan tetapi power dari mesin tersebut juga akan berkurang dan *Particulate Matter* (PM) akan naik secara signifikan. Dalam penelitian ini dibahas penggunaan EGR yang telah di optimalkan dengan penambahan *venturi scrubber* dan *cyclonic separator*, tujuannya mengurangi  $\text{NO}_x$  tanpa meningkatkan PM. Hasil pengujian menunjukkan  $\text{NO}_x$  turun sebesar 48,89% dan PM turun dari 69,87% menjadi 9,87%.

**Kata Kunci** — *Cyclonic Separator*, *exhaust gas recirculation* (EGR),  $\text{NO}_x$ , *Particulate Matter* (PM), *Venturi Scrubber*

## I. PENDAHULUAN

SELAIN memproduksi energi dari proses pembakaran, motor diesel memproduksi gas emisi yang diantaranya adalah  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , *Particulate Matter* (PM), *Carbon monoxide* (CO), dan *Hydrocarbon* (HC) yang sangat berbahaya bagi lingkungan [1].  $\text{NO}_x$  merupakan salah satu komponen pencemar di udara. Sumber  $\text{NO}_x$  banyak dihasilkan dari proses reaksi kimia, pembakaran, industri dan gas emisi kendaraan bermotor.  $\text{NO}_x$  tersusun dari *nitrogen monoksida* (NO) dan *nitrogen dioksida* ( $\text{NO}_2$ ), dimana dapat menyebabkan terjadinya hujan asam. Pengaruh dalam pembentukan  $\text{NO}_x$  adalah suhu dan konsentrasi oksigen. Semakin tinggi suhu dan waktu yang semakin lama dalam silinder, semakin besar jumlah  $\text{NO}_x$  termal yang akan dihasilkan [2].

Pada permasalahan dibidang marine, salah satunya dengan ditetapkannya Marine Pollution oleh International Marine Organisation (IMO) dan telah diberlakukan sejak 19 Mei 2005 [3]. Penetapan ini, salah satunya dikarenakan adanya kapal-kapal dengan kelas diesel engine lebih dari 130 Kw yang berlayar sejauh 200 mill laut dari pantai menyebabkan permasalahan polusi yang sangat serius.

Salah satu alat untuk mengendalikan  $\text{NO}_x$  pada diesel adalah *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) yaitu sistem reduksi  $\text{NO}_x$  yang paling sederhana bila dibandingkan dengan sistem reduksi  $\text{NO}_x$  yang lain. EGR mensirkulasikan sebagian dari gas buang kembali ke dalam silinder. Pencampuran udara dengan gas buang menjadi inert gas, menurunkan temperatur pembakaran

dan mengurangi reaksi oksigen. Namun, emisi asap meningkat karena proses oksidasi jelaga dan begitu juga untuk emisi HC dan CO [4].

EGR bisa mengurangi efisiensi energi dan daya tahan mekanis dari mesin. Demikian Ketidakstabilan tersebut sebagian besar terkait dengan penundaan pengapian berkepanjangan dan pembakaran tidak sempurna, yang disebabkan oleh  $\text{CO}_2$  yang meningkat [5]. Selain itu, penggunaan EGR yang berlebihan juga menyebabkan ketidakstabilan mesin. Efisiensi mesin akan keperluan dan daya tahan berkurang [6]. Namun, ketidakstabilan tersebut dapat dikurangi dengan memodifikasi aliran EGR termal dan / atau kimia, yaitu melalui perawatan EGR [7]. EGR dapat dioptimalkan dengan penambahan *venturi scrubber* dan *cyclonic separator*. Disain system tersebut diharapkan dapat menurunkan  $\text{NO}_x$  tanpa mengalami kenaikan PM.

Perkembangan mengenai variasi dari EGR, yaitu Metode dengan EGR bertingkat pada silinder tunggal dengan 2 katub hisap dan 2 katub buang [8]. Dengan memvariasikan katub hisap dengan menggunakan helical sedangkan katub hisap yang lain menggunakan tangensial. Dengan variasi sebagai berikut :

1. Di bagian helical dan tangensial berisi udara campuran antara udara bersih dengan udara dari EGR.
2. Di bagian helical berisi udara bersih sedangkan di bagian tangensial berisi campuran udara dari EGR dan udara bersih.
3. Di bagian helical berisi udara campuran antara udara dari EGR dan udara bersih bersih sedangkan di bagian tangensial berisi udara bersih.
4. Di bagian helical berisi udara campuran antara udara dari EGR dan udara bersih bersih sedangkan di bagian tangensial berisi udara bersih. Tetapi di bagian helical diberi SCV (*Southern California Valve*)

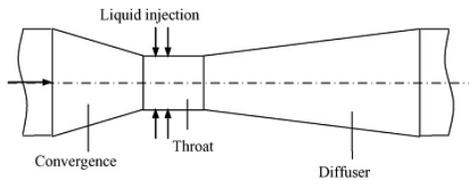
Hasil eksperimen dari EGR bertingkat yaitu dengan variasi nomer 4 dihasilkan penurunan PM sebesar 23% dan penurunan  $\text{NO}_x$  sebesar 7 % bila dibandingkan dengan variasi nomer 1. Akan tetapi EGR bertingkat kurang efektif di bawah beban yang lebih tinggi, EGR lebih rendah dan dalam kondisi injeksi tekanan lebih tinggi

EGR dengan pendingin juga lebih efektif untuk mengurangi  $\text{NO}_x$  daripada tanpa pendingin [6]. EGR dengan pendinginan meningkatkan densitas dan laju aliran massa muatan yang sama pentingnya dengan dorongan antar-pendinginan. Pendinginan

berperan penting dalam meningkatkan kinerja mesin. Cara lain yang digunakan untuk mengoptimalkan kinerja dari EGR adalah dengan menambahkan *scrubber* dan *filter* pada EGR [9] partikel PM mengalami kenaikan, akan tetapi kenaikan PM tidak signifikan yaitu kurang lebih mendekati kondisi tanpa EGR.

Sedangkan untuk mengurangi *particulate matter* (PM) sudah ditemukan banyak metode antara lain, seperti *diesel oxidation catalysts* (DOC), *diesel particulate filters* (DPF), *fuel additives*, *alternative diesel fuels*, *cyclonic separator*, dan *venturi scrubber* [10]. *Venturi scrubber* terdiri dari bagian *konvergence* dan sebuah *diffuser*. Susunan ini menyebabkan percepatan gas yang mengandung partikel tersuspensi. Dalam jenis unit biasanya disebut *Pearce Anthony scrubber*, cairan *scrubbing* disuntikkan di beberapa titik dekat dengan *throat*, dan kecepatan tinggi gas menyebabkan atomisasi nya. Spray dibuat dan kecepatan relatif tinggi antara tetes dan partikel meningkatkan koleksi dengan mekanisme inersia [11].

*Venturi scrubber* dianggap sebagai salah satu perangkat paling efektif untuk mengumpulkan partikel padat atau menghilangkan polutan gas dari gas buang. Desain *venturi scrubber* memiliki beberapa keuntungan seperti efisiensi tinggi untuk partikel yang relatif kecil, biaya awal yang rendah, tidak ada bagian yang bergerak, volume kecil, dan kemudahan instalasi dan pemeliharaan. Terlepas dari semua kelebihan yang disebutkan di atas, kelemahan utama dari *venturi scrubber*, dalam perbandingan dengan perangkat lain seperti *cyclone* atau *electrostatic precipitators*, adalah *pressure drop* yang tinggi [12].



Gambar. 1.: Venturi scrubber [13].

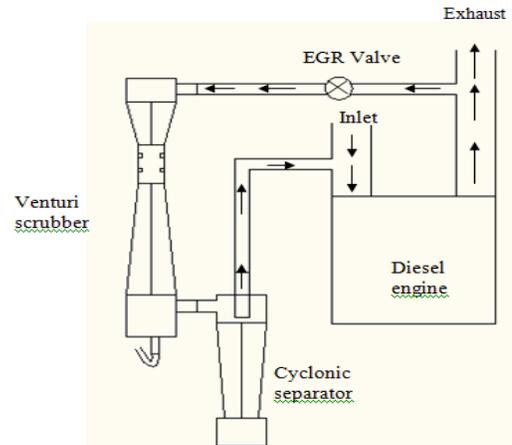
Untuk memaksimalkan dalam mengurangi PM maka ditambahkan *cyclonic separator*. Dalam *cyclonic separator* aliran turbulen yang berputar digunakan untuk memisahkan fase dengan kerapatan yang berbeda. Saluran masuk tangensial menghasilkan gerakan berputar-putar dari aliran gas, yang memaksa partikel ke arah dinding luar di mana spiral ke arah bawah. Partikel dikumpulkan di tempat pengumpulan yang terletak di bagian bawah dari bagian kerucut dan *Cyclone* [14].



Gambar. 2. Cyclonic separator [15].

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Permasalahan dari penelitian ini akan diselesaikan dengan menggunakan metode eksperimen. Eksperimen dilakukan dengan sirkulasi alur gas pada EGR yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar. 3. Alur gas EGR.

Prinsip dari sistem gambar 2 adalah memanfaatkan gas buang pada motor diesel untuk proses pembakaran. Gas yang disirkulasikan lagi sekitar 15% dari *exhaust* gas buang. Sebagian gas buang tersebut di *treatment* pada *venturi scrubber* dan *cyclonic separator*, *venturi scrubber* yaitu Tabung dengan ukuran diameter 73 mm, panjang *convergence* 77 mm dengan diameter atas 73 mm dan 38 mm untuk bagian bawah. Panjang *throat* 70 mm dengan diameter 38 mm. panjang *diffuser* 200 mm dengan diameter atas 38 mm dan diameter bawah 73 m. Diameter *inlet* dan *outlet* 20 mm.

Bahan yang digunakan adalah menggunakan bahan yang tidak mudah korosif dan tahan panas. Maka dari itu pemilihan bahan harus teliti. Pemilihan *sprayer* yang menggunakan bahan dari *bronze*, selain tidak korosif dan tahan panas.

Gas buang yang telah ditreatment di *venturi scrubber* akan ditreatment lagi pada *cyclonic separator* agar kandungan air pada gas buang tersebut berkurang, selain itu juga agar gas buang tersebut bersih dari kandungan PM yang bila partikel itu masuk akan mempengaruhi proses pembakaran. Ukuran *body cyclone* dengan diameter 73 mm, inlet 20 mm, dan outlet 20 mm sedangkan bahan yang digunakan sama dengan *venturi scrubber*.

Mesin diesel yang digunakan mempunyai spesifikasi :

Merk	: DONG FENG	Type	: R 175A
Power	: 6.6 HP	Speed	: 2600 RPM

Spesifikasi generator sebagai beban :

Type	: ST-75	Voltage	: 220 V
Speed	: 1500 RPM	Frequency	: 50 HZ

Untuk kondisi putaran mesin itu sendiri dikondisikan pada kondisi tetap yaitu 2300 rpm, dan diberikan beban sebesar 2000 W. Untuk semua kondisi variasi tersebut. Hal ini diberlakukan untuk memperoleh perbandingan antara pengurangan emisi antara penggunaan variasi alat yang lengkap komponennya serta yang tidak. Pada percobaan ini data yang

akan diambil adalah waktu habis 20 ml bahan bakar (dengan stopwatch), bahan bakar yang digunakan adalah *Marine Diesel Oil* (MDO). temperatur *exhaust manifold* (dengan kalor meter). Kemudian sesudah motor diesel dalam keadaan *steady*, maka gas buang diukur kadar kandungan partikel NO<sub>x</sub> dan PM yang terdapat dalam gas buang melalui port pada pipa gas buang ke udara bebas dengan menggunakan alat uji emisi. Dalam hal ini ada 5 macam pengujian yang akan dilakukan dengan variasi pemasangan komponen pada EGR, Yaitu 1) tanpa EGR, 2) hanya dengan selang EGR, 3) EGR dengan *cyclone*, 4) EGR dengan *venturi* dan 5) EGR dengan *venturi* dan *cyclone*.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari uji emisi dengan berbagai variasi alat ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1.  
Hasil dari uji emisi dengan berbagai variasi

No	Variasi alat	NO <sub>x</sub> gr/kwh	PM gr/kwh
1	Tanpa EGR	1.334	0.127
2	EGR	1.025	0.216
3	EGR + Cyclone	0.963	0.155
4	EGR + Venturi	0.903	0.180
5	EGR + Venturi + Cyclone	0.681	0.140

Untuk persentase penurunan NO<sub>x</sub> dan kenaikan PM dengan berbagai variasi alat bila dibandingkan tanpa menggunakan EGR dapat ditunjukkan pada tabel 2

Tabel 2.  
Data persentase penurunan NO<sub>x</sub> dan kenaikan PM

No	Variasi alat	Penurunan NO <sub>x</sub> %	Kenaikan PM %
2	EGR	23.14	69.87
3	EGR + Cyclone	27.76	21.87
4	EGR + Venturi	32.26	41.63
5	EGR + Venturi + Cyclone	48.89	9.87

Variasi 1, kandungan NO<sub>x</sub> pada motor diesel tinggi yaitu 1.334 gr/kwh serta kandungan PM yaitu 0.127 gr/kwh. Hasil tersebut diambil saat keadaan motor diesel tanpa pemasangan EGR.

Variasi 2 yaitu menggunakan tanpa tambahan *venturi scrubber* dan *cyclonic separator*, dimana kandungan NO<sub>x</sub> mengalami penurunan yang cukup signifikan dibanding hasil emisi yang pertama disaat motor diesel tanpa penggunaan EGR yaitu 1.025 gr/kwh, tetapi kandungan PM nya mengalami peningkatan dari yang normalnya menjadi 0.216 gr/kwh. NO<sub>x</sub> turun sebesar 23.14 % dan PM naik 69.87 %. Hal ini disebabkan gas buang yang sebagian masuk pada EGR yang masih mengandung HC dan CO masuk kembali ke ruang pembakaran dan terbakar lagi pada saat langkah kerja yang menyebabkan kandungan PM pada gas buang menjadi meningkat.

Variasi 3 yaitu menggunakan EGR dengan tambahan *cyclonic separator* dimana kandungan NO<sub>x</sub> mengalami

penurunan menjadi 0.963 gr/kwh dan kandungan PM nya juga mengalami penurunan menjadi 0.155. NO<sub>x</sub> turun sebesar 27.76% dan PM naik 21.87 %. Hal ini disebabkan gas buang sudah ditreatmen sehingga kandungan HC dan CO sudah berkurang dan hasil gas buang sudah lebih dingin daripada tanpa *cyclonic separator*.

Variasi 4 yaitu menggunakan EGR dengan tambahan *venturi scrubber* dimana kandungan NO<sub>x</sub> mengalami penurunan dari pada variasi 3 menjadi 0.903 gr/kwh dan PM nya mengalami peningkatan menjadi 0.180 gr/kwh. NO<sub>x</sub> turun sebesar 32.26% dan PM naik 41.63 %. Hal ini disebabkan karena kadar uap air terbawa ke ruang bakar sehingga PM nya mengalami peningkatan dan NO<sub>x</sub> nya mengalami penurunan.

Variasi 5 yaitu menggunakan EGR dengan tambahan *venturi scrubber* dan *cyclonic separator* dari tabel dapat dilihat perbandingan kadar NO<sub>x</sub> dan PM pada percobaan sebelumnya, pada variasi yang kelima ini NO<sub>x</sub> mengalami penurunan yang cukup banyak menjadi 0.681 gr/kwh dan PM juga mengalami penurunan menjadi 0.140 gr/kwh. NO<sub>x</sub> turun sebesar 48.98% dan PM naik 9.87 %. Penurunan yang cukup banyak disebabkan temperatur dari gas buang yang akan difungsikan lagi untuk pembakaran menurun yang akhirnya mempengaruhi temperature ruang bakar, untuk PM juga relatif menurun dari variasi sebelumnya karena *cyclonic separator* juga difungsikan, Karen fungsi dari *cyclonic separator* sendiri bertujuan untuk mengurangi kandungan PM dan kadar air pada gas output dari EGR yang akan dimanfaatkan kembali untuk proses pembakaran.

### IV KESIMPULAN

Pada saat EGR tidak dikombinasikan dengan *venturi scrubber* dan *cyclonic separator*, konsentrasi NO<sub>x</sub> pada gas buang tereduksi 23.14 % dan PM mengalami kenaikan 69.87 %. Dengan ditambahnya *venturi scrubber* dan *cyclonic separator* pada EGR dapat menurunkan NO<sub>x</sub> sebesar 48.89% dan mengurangi kenaikan PM dari 69,87% menjadi 9.87%.

### IV UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada BBTCL PPM Surabaya yang telah membantu dalam penyedia peralatan untuk uji emis, kepada Bapak Agus P dan Bpk Nur Afandi yang telah banyak membantu dalam proses penyiapan alat sampai dengan uji emisi.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Park, S. Choi, S. Chung, J. Ha, J., 2003. "A study on exhaust characteristics in HIDI diesel engine applied EGR cooler". Proceedings of KSAE 2003 Fall Conference 393-397
- [2] Woodyard, doug. 2004. "Pounder's Marine Diesel Engine And Gas Turbine". Eighth edition. Oxford
- [3] IMO, Annex VI MARPOL 73/78 Regulation for the Prevention of Air Pollution from Ships and NO<sub>x</sub> Technical Code. International Maritime Organization, London, (1998).
- [4] Rakapolos, Constantine and Giakoumis, E. 2009. "Diesel Engine Transient Operation". National Technical University of Athens. Athens.
- [5] Machacon H, Shiga S, Karasawa T, Nakamura H. 2000. "Simultaneous reduction of soot and NO<sub>x</sub> by intake gas variation. 6th International Symposium on Marine Engineering,

- [6] Zheng M, Reader GT. 2001. "An experimental analysis of EGR on operational stabilities of Diesel engines". ASME ICE, vol. 36-1.
- [7] Zheng M, Irick DK, Hodgson J. 2002. "Stabilizing excessive EGR with an oxidation catalyst on a modern Diesel engine". ASME ICE, vol. 38, ICE-455.
- [8] Seungmok Choi, Wonah Park, Sangyul Lee, Kyoungdoug Min, Hoimyoung Cho. 2011. "Methods for in-cylinder EGR stratification and its effects on combustion and emission characteristics in a diesel engine".
- [9] Hendrajat, Muhammad. 2011., Studi Experiment Penggunaan Water Scrubber Untuk Meningkatkan Kinerja Pada Sistem Exhaust Gas Recirculation (EGR) Dalam Menurunkan NOx Pada Motor Diesel, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS, Surabaya.
- [10] Roy, Murari Mohon et al. 2011. Use of exhaust gas recirculation (EGR) and cyclonic separator for simultaneous NOx and PM reduction in DI diesel engines. Journal of Petroleum and Gas Engineering Vol. 2(3), pp. 54-63.
- [11] Ekman, F. O., & Johnstone, H. F. 1951. "Collection of aerosols in Venturi scrubbers". Industrial and Engineering Chemistry, 43, 1358-1363.
- [12] A. Rahimi, 2002 "Simulation of air pollutant removal in a non-isothermal venturi scrubber", PhD Thesis, University of Shiraz, Iran,
- [13] S. Nasseh, A. Mohebbi, Z. Jeirani, A. Sarrafi. 2006. " Predicting pressure drop in venturi scrubbers with artificial neural networks"
- [14] Derksen, S. Sundaresan, H.E.A. van den Akker, 2006. "Simulation of massloading effects in gas-solid cyclone separators", Power Technology 163 (59-68).
- [15] Wan, Gujun. Gougang. Xiaohu Xue, Mingxiang Shi. 2007. "Solid concentration Simulation of Different Particles in a Cyclone Separator". Power Technology 183 94-104.