

Pemakaian Sistem Venturi Scrubber– EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) Terhadap Performa Mesin Diesel Satu Silinder

Samuel Parlindungan Siregar^{1✉}, Joni², Obet Takke Ranteallo³

^{1, 2, 3} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 15-03-2024

Direvisi : 19-03-2024

Diterima : 21-03-2024

Kata Kunci:

Mesin Diesel; Prestasi;
Venturi Scrubber EGR.

Keywords :

*Diesel engine; Performance;
Venturi Scrubber EGR.*

ABSTRAK

Penggunaan kembali gas buang berdasarkan dasar potensi energi yang belum dibakar sempurna dapat menyerap panas didalam ruang bakar akibatnya menaikkan kinerja mesin diesel. Tujuan riset ini adalah guna mengetahui dampak pemanfaatan venturi scrubber EGR terhadap kinerja mesin diesel satu silinder. Studi ini dilakukan pada motor diesel satu silinder kapasitas 200cc. percobaan dilakukan dengan pemanfaatan venturi scrubber EGR dengan variasi katup 10%, 20% dan 30% pada standar (0%). Informasi percobaan dihasilkan lewat aplikasi tecquipment VDAS dengan memberi pembebanan air masuk dinamometer pada instalasi percobaan. Hasil riset didapat bahwa percobaan dengan pemanfaatan venturi scrubber EGR pada motor diesel memiliki dampak pada performa operasi mesin. Prestasi terbaik dihasilkan pada pemanfaatan venturi scrubber dengan bukaan katup 30%, dimana pada putaran maximum 3000 rpm dihasilkan torsi sebesar 6,57 Nm, daya efisien sebesar 2110 Watt, tekanan efektif umumnya sebesar 4,72 bar, mengonsumsi bahan bakar spesifik sebesar 0,0549 kilogram/ kWh, serta efisiensi termal sebesar 58, 42%.

ABSTRACT

Utilizing unburned exhaust gas as a potential energy source can effectively absorb heat within the combustion chamber, consequently enhancing the performance of diesel engines. This study aims to assess the impact of employing an EGR venturi scrubber on the operational efficiency of a 200cc single-cylinder diesel engine. Various valve settings of the EGR venturi scrubber, ranging from 10% to 30%, were tested alongside a standard condition (0% EGR). Data acquisition during testing was facilitated by VDAS technology software, coupled with water loading on the dynamometer at the experimental setup. Findings from the research indicated notable alterations in engine performance when utilizing the EGR venturi scrubber on the diesel motorbike. Optimal performance was achieved with a venturi scrubber featuring a 30% valve opening, yielding a maximum torque of 6.57 Nm at 3000 rpm, effective power output of 2110 Watts, average effective pressure of 4.72 bar, specific fuel consumption of 0.0549 kg/kWh, and thermal efficiency of 58.42%.

Corresponding Author :

Samuel Parlindungan Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih, Indonesia

Jl. Kamp Wolker, Kampus Baru Uncen Waena, Jayapura – Papua, 99351

Email: samuel_siregar@ftuncen.ac.id

PENDAHULUAN

Mesin diesel adalah pilihan umum untuk pembangkit listrik di zaman modern. Paradoksnya, penggunaannya secara luas memberikan kontribusi signifikan terhadap degradasi lingkungan melalui polusi udara. Pencemaran ini timbul akibat pembakaran tidak sempurna di

dalam ruang bakar mesin (Woodyard & Pouner, 2009). Penelitian tentang pemanfaatan resirkulasi gas buang (EGR) pada mesin diesel mengungkapkan adanya dampak positif dan negatif terhadap kinerja mesin. Studi yang dilakukan oleh Zheng et al. (2002) dan (Bennur & Sannagoudra, 2016) menyoroti potensi EGR untuk menurunkan emisi NO_x. Namun, (Abaas, 2016) mengamati dampak buruk seperti penurunan tenaga rem, efisiensi termal rem, dan suhu gas buang, serta peningkatan konsumsi bahan bakar khusus rem. Lebih lanjut, (Abaas, 2016) mengidentifikasi bahwa persentase EGR yang tinggi terutama mengurangi efisiensi termal rem, suhu gas buang, dan efisiensi volumetrik pada kondisi beban penuh.

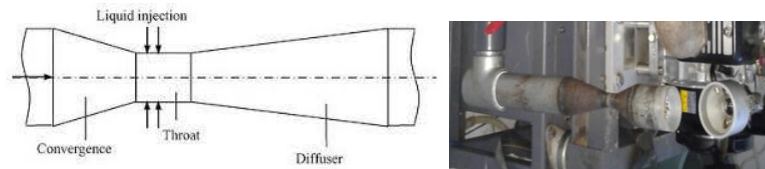
Motor diesel mengeluarkan berbagai gas selama pembakaran, termasuk NO_x, SO_x, Particulate Matter (PM), Karbon monoksida (CO), dan Hidrokarbon (HC), yang menimbulkan risiko lingkungan yang signifikan (Kannan & Vijayakumar, 2022). NO_x, salah satu polutan udara yang umum, terutama berasal dari reaksi kimia, proses pembakaran, aktivitas industri, dan emisi gas buang kendaraan (Rakopoulos & Giakoumis, 2009). Terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂), NO_x berkontribusi terhadap pembentukan hujan asam, dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi asam (Zheng et al., 2004). Temperatur yang lebih tinggi dan durasi silinder yang lama mengakibatkan peningkatan produksi NO_x termal (Li et al., 2015). Resirkulasi Gas Buang (EGR) adalah metode langsung untuk mengendalikan NO_x pada mesin diesel, dengan mensirkulasikan kembali sebagian gas buang ke dalam silinder untuk menurunkan suhu pembakaran dan mengurangi reaksi oksigen (Choi et al., 2011). Meskipun demikian, proses ini meningkatkan emisi asap, HC, dan CO akibat oksidasi jelaga, sehingga berpotensi mengurangi tenaga dan daya tahan mesin (Zheng et al., 2002). Ketidakstabilan ini timbul dari penundaan penyalaan yang berkepanjangan dan pembakaran tidak sempurna yang dipicu oleh meningkatnya kadar CO₂ (Park et al., 2011). Melebihi batas EGR semakin memperburuk ketidakstabilan mesin, menurunkan kinerja dan daya tahan, meskipun hal ini dapat dikurangi melalui modifikasi dan pemeliharaan aliran EGR (Alonso et al., 2001). Memaksimalkan efektivitas EGR mungkin melibatkan peningkatan venturi scrubber.

Pemanfaatan alat *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) dengan mekanisme pendinginan menunjukkan peningkatan efisiensi dalam mengurangi emisi nitrogen oksida (NO_x) dibandingkan sistem EGR tanpa pendinginan. Penambahan pendinginan dalam pengaturan EGR menghasilkan peningkatan kepadatan muatan dan laju aliran massa, yang sebanding dengan kinerja yang dicapai melalui metode intercooling (Kim et al., 2008). Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan berperan penting dalam mengoptimalkan kinerja mesin dengan meningkatkan karakteristik campuran udara-bahan bakar. Selain itu, untuk memaksimalkan kemampuan EGR, mengintegrasikan scrubber dan filter ke dalam sistem EGR adalah metode lain yang layak. Meskipun modifikasi ini mungkin menyebabkan sedikit peningkatan emisi materi partikulat (PM) (Fernández Alonso et al., 2001), dampak keseluruhannya masih minimal dan hampir setara dengan skenario tanpa penerapan EGR.

Pemanfaatan Exhaust Gas Recirculation (EGR) pada mesin diesel juga memberikan dampak ganda, baik pada efisiensi bahan bakar maupun emisi. EGR telah menunjukkan manfaat potensial dengan mengurangi konsumsi bahan bakar spesifik rem (BSFC) dan meningkatkan efisiensi termal rem (BTE) (Jamal & Saleh, 2022). Namun, peningkatan rasio EGR dapat menyebabkan peningkatan BSFC dan penurunan BTE (Elkelawy et al., 2022). Penerapan EGR telah terbukti efektif dalam menurunkan emisi nitrogen oksida (NO_x) secara signifikan (Huang et al., 2022; Kannan & Vijayakumar, 2022; Shivashimpi et al., 2022), meskipun hal ini juga dapat berkontribusi terhadap peningkatan kadar karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan emisi jelaga. Tingkat EGR yang optimal, biasanya sekitar 10%, menghasilkan keseimbangan antara pengurangan emisi NO_x dan mitigasi dampak buruk terhadap efisiensi bahan bakar dan emisi. Secara keseluruhan, dampak EGR terhadap efisiensi bahan bakar dan emisi bergantung pada variabel seperti rasio EGR dan jenis bahan bakar yang digunakan. Tujuan studi ini ialah guna mengevaluasi efektivitas perlengkapan EGR yang dikenakan dalam konteks konversi energi, paling utama pada aplikasi mesin. Di samping itu pula bertujuan untuk mengidentifikasi kemampuan dan keterbatasan tiap-tiap elemen dalam konversi energi, dengan harapan memberikan masukan bernilai guna pengembangan teknologi yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam aspek ini.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Cenderawasih Jayapura pada bulan November 2023 sampai dengan Januari 2024. Perkakas yang digunakan meliputi kunci ring pas set, mesin las, gerinda, bor, stopwatch, termometer, termokopel, dan pompa air, sedangkan bahan yang digunakan mencakup pipa besi, elektroda las, katup, perekat silikon, dan nosel. Detail mesin diesel yang digunakan disajikan pada Tabel 1, dan kontruksi nosel EGR dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Venturi scrubber

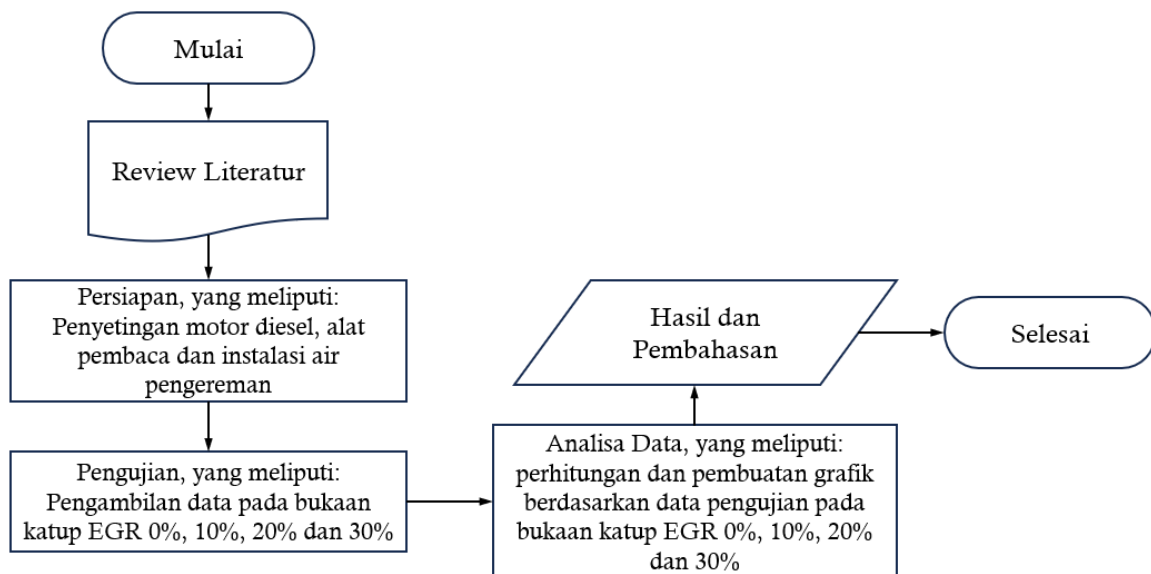
Sistem Venturi *Scrubber*-EGR (*Resirkulasi Gas Buang*) mewakili penggabungan teknologi yang digunakan untuk mengurangi emisi gas buang pada mesin diesel. Venturi *Scrubber* merupakan sistem pencuci gas yang memakai perbandingan tekanan guna menghilangkan partikulat dan polutan lain dari gas buang mesin. Sedangkan EGR adalah teknologi yang memperkenalkan balik beberapa gas buang ke dalam ruang bakar guna mengurangi pembentukan oksida.

Tabel 1. Data spesifikasi mesin

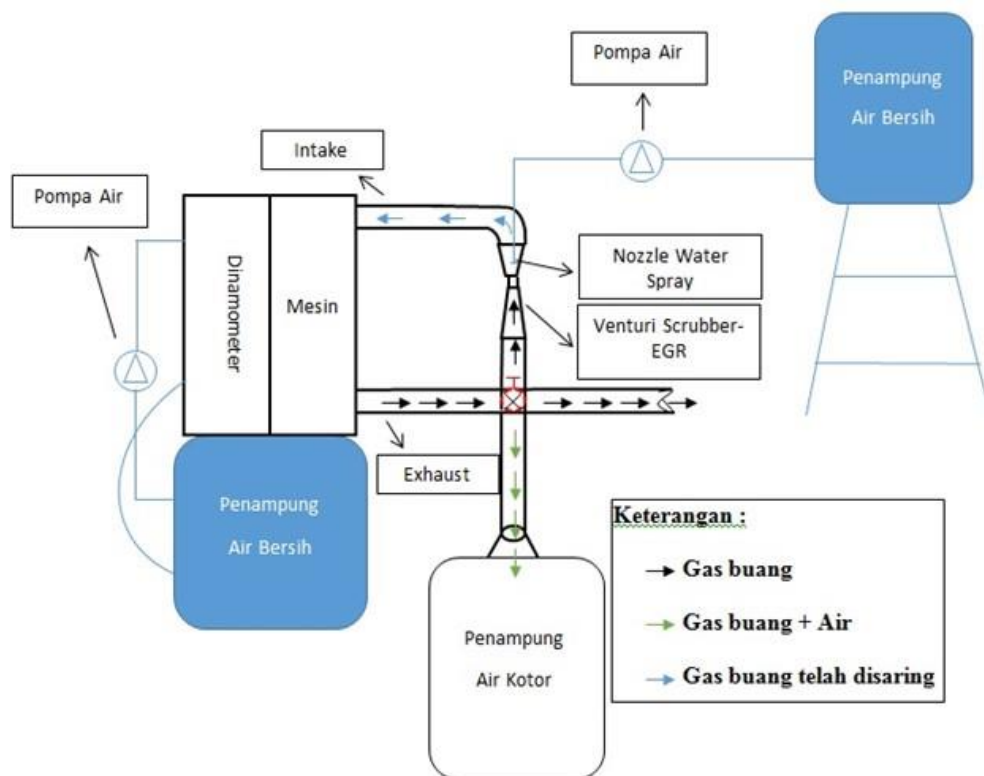
Hatz Diesel 1B20	
Speifikasi	Keterangan
Tipe	Air cooled 4-stroke diesel engine
Diameter x panjang langkah (mm)	69 x 65
Volume Langkah (cm ³)	200
Rasio kompresi	22:1
Torsi maksimum (N.m)	10.5
Kapasitas pelumas (L)	0.9
Daya maksimum di 3000 rpm (kW/hp)	3.5
Bahan bakar	solar
Kebutuhan udara pembakaran (kg/jam)	25.2
Kebutuhan udara pendinginan (kg/jam)	306
Kapasitas tangki bahan bakar (L)	3,6

Dalam studi ini, dilakukan pemeriksaan ekstensif pada kondisi mesin guna menetapkan kesiapannya guna dipakai dalam eksperimen (Gambar 2). Langkah- langkah pengecekan mencakup penilaian kondisi karburator, pelumasan, dan sistem bahan bakar. Tidak hanya itu, pengecekan dilakukan pada keseluruhan instalasi percobaan, termasuk panel penanda dan komputer, guna memastikan kesiapannya dalam merekam dan mengontrol data eksperimen dengan baik.

Pada langkah percobaan, instalasi uji coba diaktifkan dengan mengoperasikan mesin tes, panel penanda, komputer, water brake dynamometer, instalasi EGR, dan pompa air nosel. Sesudah itu, mesin dipanaskan sampai mencapai kondisi operasional dengan menjalankan idle selama kurang lebih 10 menit. Setelah itu, bukaan katup gas mesin bensin diatur pada kondisi terbuka penuh, dan pembebanan pada water brake dynamometer diselaraskan guna mencatat perubahan torsi sampai putaran mesin mencapai konstan. Informasi eksperimen direkam memakai fitur lunak VDAS pada komputer sesudah putaran mesin normal. Pengetesan dilanjutkan dengan melaksanakan variasi bukaan katup EGR pada tingkatan 0%, 10%, 20%, dan 30%. Langkah- langkah pengujian 1 sampai 5 diulangi untuk tiap variasi bukaan katup EGR. Sesudah pengumpulan data berakhir, katup air pembebanan ditutup dengan cara perlahan, pompa air nosel dimatikan, panel penanda dan komputer dinonaktifkan, serta mesin didiamkan pada putaran idle saat sebelum dimatikan.



a) Alur penelitian



b) Set-up instalasi pengujian

Gambar 2. Skema eksperimen penggunaan venturi scrubber-EGR

Gas buang menjalani pengolahan di dalam venturi scrubber untuk mengurangi kandungan airnya dan menghilangkan partikel (PM), yang dapat mengganggu proses pembakaran saat masuk. Dimensi badan siklon berdiameter 70 milimeter, dengan saluran masuk dan keluar 18 milimeter, dibuat dari bahan yang selaras dengan yang digunakan pada venturi scrubber. Untuk kondisi putaran mesin percobaan yang terhubung dengan water break dynamometer dari 1000 rpm sampai 3000 rpm. Pengetesan dilakukan dengan pemakaian venturi scrubber EGR dengan variasi katup 10%, 20% dan 30% pada standar (0%). Data pengetesan didapat lewat aplikasi tecquipment VDAS dengan memberi beban air masuk dynamometer pada instalasi percobaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dan analisa pada pemakaian Sistem Venturi Scrubber- EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) terhadap kinerja mesin diesel satu silinder memperlihatkan hasil yang menjanjikan. Dalam studi ini, dilakukan pengukuran pada kemampuan mesin yang memakai sistem Venturi Scrubber- EGR pada mesin diesel satu silinder(Tabel 2– Tabel 5). Hasil analisa memperlihatkan jika pemanfaatan sistem itu dapat meningkatkan kemampuan mesin diesel.

Tabel 2. Data analisis kinerja mesin kondisi standar

Putaran rata-rata	Fuel Consumption	Heat Combustion	Exhaust Gas Temperature	Air Mass Flow Rate	Torque	Power	Air Fuel Ratio	Specific Consumption	Thermal Efficiency	Volumetric Efficiency	BMEP
(n)	(kg.s ⁻¹)	(W)	(°C)	(x10 ⁻³ kg.s ⁻¹)	(Nm)	(W)		(kg.kWh ⁻¹)	(%)	(%)	(bar)
3000	0.0000322	3594	525	0.3489	5.60	1788	10.84	0.0648	49.76	19.60	4.02
2800	0.0000316	3593	460	0.3493	5.62	1659	11.05	0.0686	46.16	20.20	4.03
2600	0.0000311	3549	412	0.3506	5.74	1581	11.28	0.0708	44.55	21.35	4.12
2400	0.0000306	3547	400	0.3489	5.56	1412	11.41	0.0779	39.82	23.32	3.99
2200	0.0000301	3556	393	0.3472	5.39	1259	11.54	0.0860	35.41	25.49	3.87
2000	0.0000296	3541	381	0.3450	5.23	1111	11.66	0.0959	31.37	25.72	3.75
1800	0.0000291	3542	372	0.3455	5.24	992	11.86	0.1057	28.01	26.92	3.76
1600	0.0000287	2545	360	0.3456	4.86	821	12.05	0.1258	32.25	27.45	3.49
1400	0.0000282	2408	352	0.3429	4.20	611	12.14	0.1665	25.36	28.52	3.01
1200	0.0000278	2205	342	0.3432	4.04	512	12.34	0.1956	23.22	29.53	2.90
1000	0.0000274	2132	330	0.3413	3.77	398	12.45	0.2477	18.68	30.09	2.71
Nilai rata-rata					5.02	1104.0	11.69	0.1187	34.05	25.29	3.61

Data dari Tabel 2 menggambarkan hasil pengujian sebuah mesin diesel satu silinder tanpa EGR pada rentang putaran mesin antara 1000 hingga 3000 rpm. Parameter yang diukur meliputi konsumsi bahan bakar sebesar 0,0000322 kg/s, torsi sebesar 5,60 Nm, daya sebesar 1788 W, suhu gas buang mencapai 525°C, aliran massa udara sebesar 0,3489 kg/s, konsumsi spesifik sebesar 10,84 kg/kWh, efisiensi termal sebesar 0,0648, efisiensi volumetrik sebesar 49,76%, dan tekanan rata-rata efektif sebesar 19,60 bar. Konsumsi bahan bakar tergolong rendah untuk mesin diesel satu silinder ini, sementara torsi dan daya berada pada tingkat sedang. Meskipun suhu gas buang mencapai tingkat yang tinggi, aliran massa udara tercatat normal. Konsumsi spesifik mesin ini termasuk rendah, namun efisiensi termalnya juga tergolong rendah. Meskipun demikian, efisiensi volumetrik mesin ini tergolong tinggi, sementara tekanan rata-rata efektif berada pada tingkat yang sedang.

Tabel 3. Data analisis kinerja mesin kondisi bukaan katup 10%

Putaran rata-rata	Fuel Consumption	Heat Combustion	Exhaust Gas Temperature	Air Mass Flow Rate	Torque	Power	Air Fuel Ratio	Specific Consumption	Thermal Efficiency	Volumetric Efficiency	BMEP
(n)	(kg.s ⁻¹)	(W)	(°C)	(x10 ⁻³ kg.s ⁻¹)	(Nm)	(W)		(kg.kWh ⁻¹)	(%)	(%)	(bar)
3000	0.0000322	3599	532	0.3564	6.39	2014	10.92	0.0564	56.58	20.30	4.59
2800	0.0000316	3597	466	0.3558	6.34	1843	11.10	0.0607	51.56	20.80	4.53
2600	0.0000311	3551	416	0.3551	5.97	1614	11.27	0.0648	48.03	21.85	4.47
2400	0.0000306	3550	405	0.3544	5.78	1437	11.44	0.0698	43.67	23.72	4.42
2200	0.0000301	3560	399	0.3537	5.56	1267	11.61	0.0754	39.52	26.09	4.37
2000	0.0000296	3546	388	0.3525	5.44	1126	11.76	0.0823	35.64	26.42	4.32
1800	0.0000291	3546	378	0.3520	5.37	984	11.93	0.0921	31.15	27.42	4.26
1600	0.0000287	2548	365	0.3511	5.22	847	12.09	0.1103	35.75	28.05	3.91
1400	0.0000282	2413	359	0.3504	5.06	701	12.26	0.1370	29.68	28.92	3.58
1200	0.0000278	2209	348	0.3497	4.80	574	12.42	0.1627	26.75	29.83	3.39
1000	0.0000274	2137	337	0.3488	4.63	453	12.58	0.1990	22.05	30.59	3.27
Nilai rata-rata					5.82	1276.4	11.96	0.1002	39.42	27.02	4.18

Data yang tercatat dalam Tabel 3 memperlihatkan hasil pengujian sebuah mesin diesel satu silinder yang dilengkapi dengan EGR pada bukaan katup 10%. Parameter yang diukur mencakup rentang putaran mesin antara 1000 hingga 3000 rpm, dengan konsumsi bahan bakar sebesar 0,0000417 kg/s, torsi mencapai 6,08 Nm, daya mencapai 1952 W, suhu gas buang mencapai 482°C, aliran massa udara sebesar 0,3542 kg/s, konsumsi spesifik sebesar 10,56 kg/kWh, efisiensi termal sebesar 0,0671, efisiensi volumetrik sebesar 50,92%, dan tekanan rata-rata efektif sebesar 20,80 bar. Analisis data menunjukkan bahwa mesin yang menggunakan EGR ini memiliki tingkat konsumsi bahan bakar yang 29% lebih tinggi daripada mesin diesel satu silinder tanpa EGR,

dengan peningkatan torsi dan daya masing-masing sebesar 8% dan 9%. Meskipun suhu gas buang lebih rendah sekitar 8% dan aliran massa udara sedikit lebih tinggi sekitar 2%, namun konsumsi spesifik, efisiensi termal, efisiensi volumetrik, dan tekanan rata-rata efektif menunjukkan peningkatan sedikit lebih baik, masing-masing sebesar 3%, 4%, 2%, dan 6% lebih tinggi dibandingkan dengan mesin diesel satu silinder tanpa EGR. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan EGR pada mesin diesel satu silinder dengan bukaan katup 10% dapat meningkatkan torsi, daya, dan efisiensi termal, namun juga berdampak pada peningkatan konsumsi bahan bakar.

Tabel 4. Data analisis kinerja mesin kondisi bukaan katup 20%

Putaran rata-rata	Fuel Consumption	Heat Combustion	Exhaust Gas Temperature	Air Mass Flow Rate	Torque	Power	Air Fuel Ratio	Specific Consumption	Thermal Efficiency	Volumetric Efficiency	BMEP
(n)	(kg.s ⁻¹)	(W)	(°C)	(x10 ⁻³ kg.s ⁻¹)	(Nm)	(W)		(kg.kWh ⁻¹)	(%)	(%)	(bar)
3000	0.0000322	3603	534	0.3579	6.43	2059	11.12	0.0556	57.78	21.50	4.67
2800	0.0000316	3601	468	0.3573	6.38	1888	11.30	0.0599	52.76	22.00	4.61
2600	0.0000311	3555	418	0.3566	6.01	1659	11.47	0.0640	49.23	23.05	4.55
2400	0.0000306	3554	407	0.3559	5.82	1482	11.64	0.0690	44.87	24.92	4.50
2200	0.0000301	3564	401	0.3552	5.60	1312	11.81	0.0746	40.72	27.29	4.45
2000	0.0000296	3550	390	0.3540	5.48	1171	11.96	0.0815	36.84	27.62	4.40
1800	0.0000291	3550	380	0.3535	5.41	1029	12.13	0.0913	32.35	28.62	4.34
1600	0.0000287	2552	367	0.3526	5.26	892	12.29	0.1095	36.95	29.25	3.99
1400	0.0000282	2417	361	0.3519	5.10	746	12.46	0.1362	30.88	30.12	3.66
1200	0.0000278	2213	350	0.3512	4.84	619	12.62	0.1619	27.95	31.03	3.47
1000	0.0000274	2141	339	0.3503	4.67	498	12.78	0.1982	23.25	31.79	3.35
Nilai rata-rata					5.82	1276.4	11.96	0.1002	39.42	27.02	4.18

Hasil pengujian dari Tabel 4 memaparkan hasil tes sebuah mesin diesel satu silinder dengan EGR pada bukaan katup 20%. Hasil maksimal tercatat pada putaran mesin 2400 rpm, dengan konsumsi bahan bakar sebesar 0,0000306 kg/s, torsi sebesar 5,82 Nm, daya sebesar 1482 W, suhu gas buang mencapai 447°C, aliran udara sebesar 0,3550 kg/s, konsumsi spesifik sebesar 10,61 kg/kWh, efisiensi termal sebesar 0,0675, efisiensi volumetrik sebesar 50,23%, dan tekanan rata-rata efektif mencapai 20,50 bar. Analisis data menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar dari mesin dengan pembukaan katup EGR 20% adalah 39% lebih tinggi daripada mesin diesel satu silinder tanpa EGR dan 22% lebih tinggi dibandingkan dengan mesin diesel satu silinder dengan pembukaan katup EGR 10%. Selain itu, torsi dan daya juga lebih tinggi masing-masing sebesar 4% dan 7% dibandingkan dengan mesin tanpa EGR, dan 4% dan 6% lebih tinggi dibandingkan dengan mesin dengan pembukaan katup EGR 10%. Namun, suhu gas buang lebih rendah sekitar 15% dibandingkan dengan mesin tanpa EGR dan 7% lebih rendah dibandingkan dengan mesin dengan pembukaan katup EGR 10%. Aliran udara juga sedikit lebih tinggi sekitar 2% dibandingkan dengan mesin tanpa EGR dan 0,2% lebih tinggi dibandingkan dengan mesin dengan pembukaan katup EGR 10%. Meskipun konsumsi spesifik, efisiensi termal, efisiensi volumetrik, dan tekanan rata-rata efektif juga menunjukkan peningkatan, namun dalam rentang yang lebih kecil. Dengan demikian, penggunaan EGR pada mesin diesel satu silinder dengan pembukaan katup EGR 20% dapat meningkatkan torsi, daya, dan efisiensi termal, namun juga berdampak pada peningkatan konsumsi bahan bakar.

Analisis data hasil pengujian motor diesel 1 silinder dengan EGR pada bukaan katup 30% menunjukkan sejumlah temuan penting. Secara khusus, putaran mesin adalah 3000 rpm dengan konsumsi bahan bakar sebesar 0,0000432 kg/s, torsi mencapai 6,33 Nm, dan daya sebesar 2031 W. Suhu gas buang, aliran massa udara, konsumsi spesifik, efisiensi termal, efisiensi volumetrik, dan tekanan rata-rata efektif juga dicatat dalam Tabel 5. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa penggunaan EGR pada motor ini menyebabkan peningkatan signifikan dalam torsi, daya, dan efisiensi termal. Namun, hal tersebut juga berdampak pada peningkatan konsumsi bahan bakar. Konsumsi bahan bakar lebih tinggi sekitar 34% dibandingkan dengan motor diesel 1 silinder tanpa EGR, serta meningkat dibandingkan dengan motor diesel 1 silinder dengan EGR bukaan katup 10% dan 20%. Meskipun demikian, efisiensi termal dan daya motor meningkat secara signifikan.

Ini menunjukkan bahwa penggunaan EGR pada motor diesel 1 silinder dengan bukaan katup 30% memiliki implikasi yang signifikan terhadap kinerja mesin.

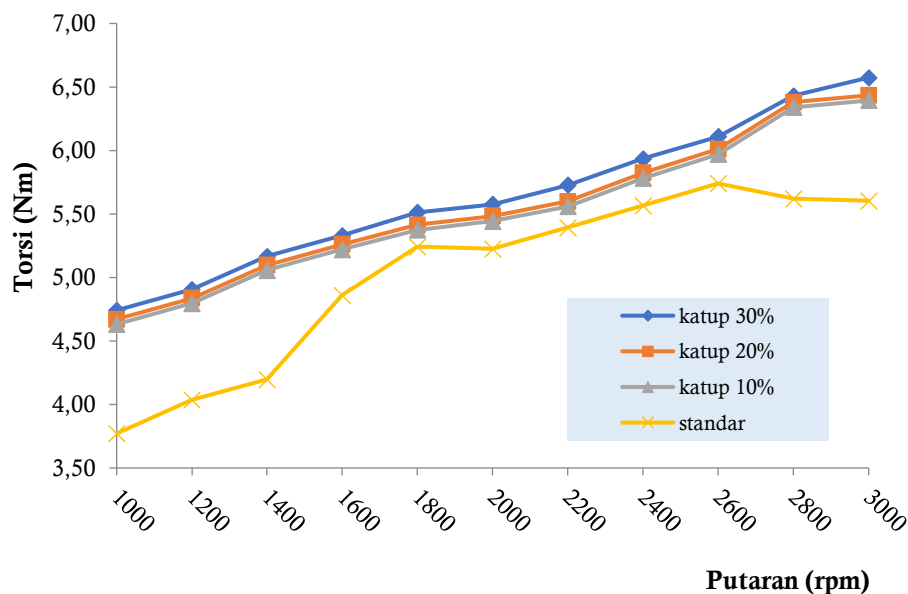
Tabel 5. Data analisis kinerja mesin kondisi bukaan katup 30%

Putaran rata-rata	Fuel Consumption	Heat Combustion	Exhaust Gas Temperature	Air Mass Flow Rate	Torque	Power	Air Fuel Ratio	Specific Consumption	Thermal Efficiency	Volumetric Efficiency	BMEP
(n)	(kg.s ⁻¹)	(W)	(°C)	(x10 ⁻³ kg.s ⁻¹)	(Nm)	(W)		(kg.kWh ⁻¹)	(%)	(%)	(bar)
3000	0.0000322	3611	542	0.3597	6.57	2110	11.18	0.0549	58.42	23.30	4.72
2800	0.0000316	3607	474	0.3589	6.43	1907	11.35	0.0591	53.36	23.60	4.66
2600	0.0000311	3562	425	0.3581	6.11	1691	11.52	0.0631	49.81	24.55	4.60
2400	0.0000306	3559	412	0.3573	5.93	1514	11.68	0.0681	45.40	26.32	4.55
2200	0.0000301	3568	405	0.3565	5.73	1344	11.85	0.0737	41.21	28.59	4.50
2000	0.0000296	3556	396	0.3557	5.58	1167	12.02	0.0912	37.81	29.32	4.47
1800	0.0000291	3554	384	0.3549	5.51	1050	12.18	0.0901	32.76	30.02	4.39
1600	0.0000287	2557	372	0.3541	5.33	907	12.35	0.1078	37.46	30.75	4.04
1400	0.0000282	2423	367	0.3533	5.17	760	12.51	0.1338	31.36	31.52	3.71
1200	0.0000278	2218	355	0.3525	4.91	630	12.67	0.1589	28.40	32.33	3.52
1000	0.0000274	2145	343	0.3517	4.74	507	12.83	0.1945	23.65	33.19	3.40
Nilai rata-rata					5.89	1294.6	12.01	0.0986	39.92	28.50	4.23

Analisis Torsi mesin

Torsi dan tekanan efektif umumnya berkorelasi dengan dimensi mesin. Mesin yang lebih besar akan menciptakan torsi yang lebih besar pada tekanan efektif umumnya yang serupa. Dengan penyebabnya ini sehingga torsi bukanlah ukuran kemampuan mesin dalam memanfaatkan perpindahannya guna menghasilkan daya dari bahan bakar. Torsi yang dihasilkan tidak hanya ditentukan oleh kecepatan mesin; melainkan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti efisiensi volumetrik, kerugian gesekan, dimensi mesin, dan kualitas bahan bakar yang digunakan.

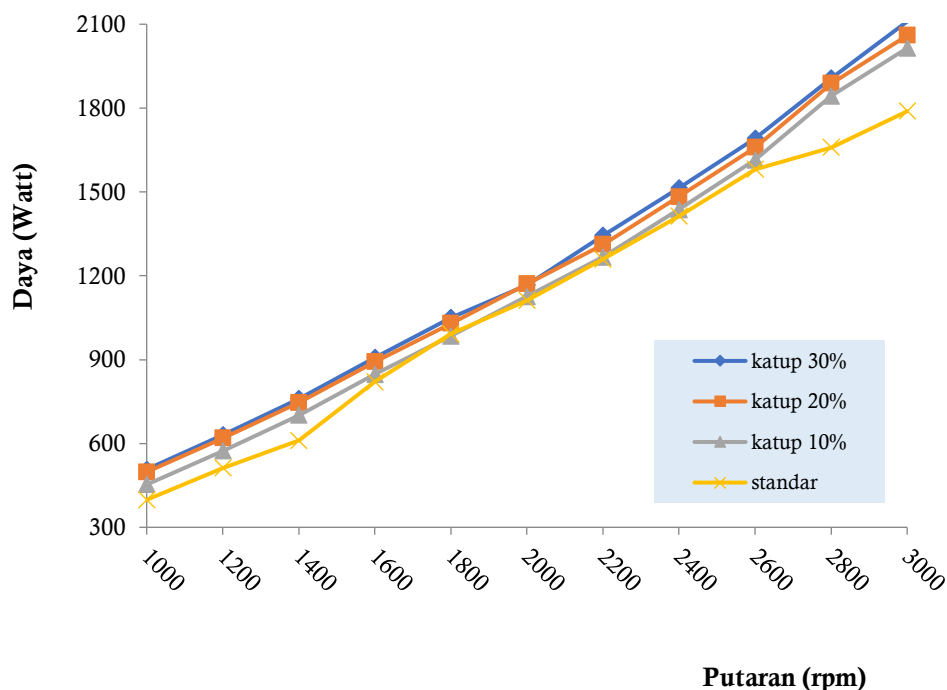
Kurva torsi mencapai puncaknya pada sekitar setengah dari keluaran tenaga maksimum mesin. Torsi secara alami meningkat dari kecepatan putaran rendah 1000 rpm hingga maksimum eksperimental 3000 rpm. Namun, mulai menurun setelah mencapai putaran tertentu (putaran pada torsi maksimum). Penurunan ini disebabkan oleh peningkatan kerugian pada kecepatan yang lebih tinggi, terutama kerugian gesekan, dan penurunan efisiensi volumetrik. Oleh karena itu, selain efisiensi volumetrik, kerugian gesekan memainkan peran penting dalam menentukan torsi. Ketika kecepatan mesin meningkat, kerugian gesekan meningkat, menyebabkan penurunan torsi, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Torsi terhadap putaran mesin

Analisis Daya Efektif

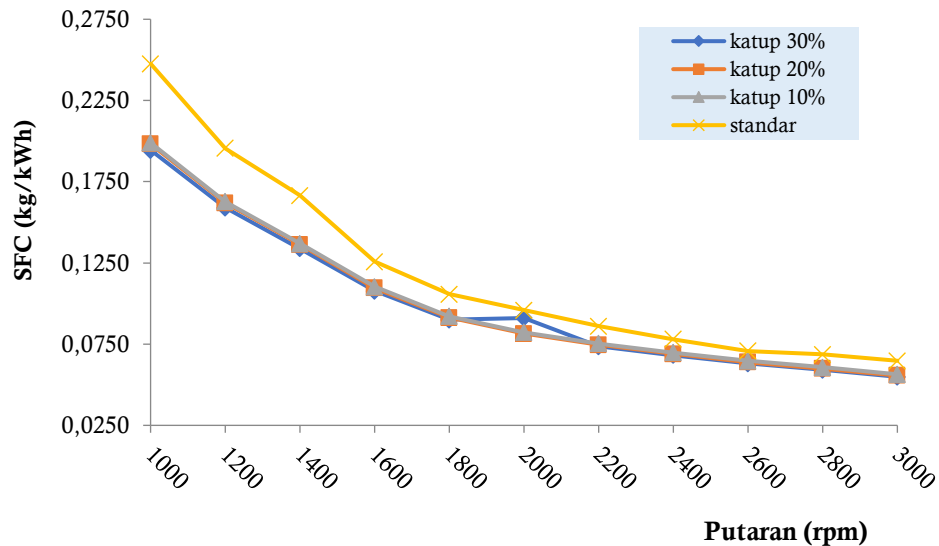
Pada bukaan katup EGR 30% dan putaran 3000 rpm, daya efektif optimal sebesar 2110 Watt. Tren ini digambarkan dengan jelas pada Gambar 4 di bawah ini. Ketika beban meningkat, daya efektif juga meningkat. Sepanjang percobaan, venturi scrubber diterapkan untuk menurunkan suhu EGR sebelum mencapai intake manifold. Tujuannya adalah untuk membandingkan keluaran tenaga mesin bensin tanpa EGR dengan mesin venturi scrubber EGR. Seperti digambarkan pada gambar, variasi daya dipengaruhi oleh rpm dan beban dinamometer. Khususnya, daya terus meningkat seiring bertambahnya beban. Selain itu, daya meningkat secara proporsional seiring dengan perluasan persentase pembukaan EGR, yang menyebabkan peningkatan tekanan, yang pada gilirannya berkontribusi terhadap peningkatan daya secara keseluruhan.



Gambar 4. Daya terhadap putaran mesin

Analisis Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC)

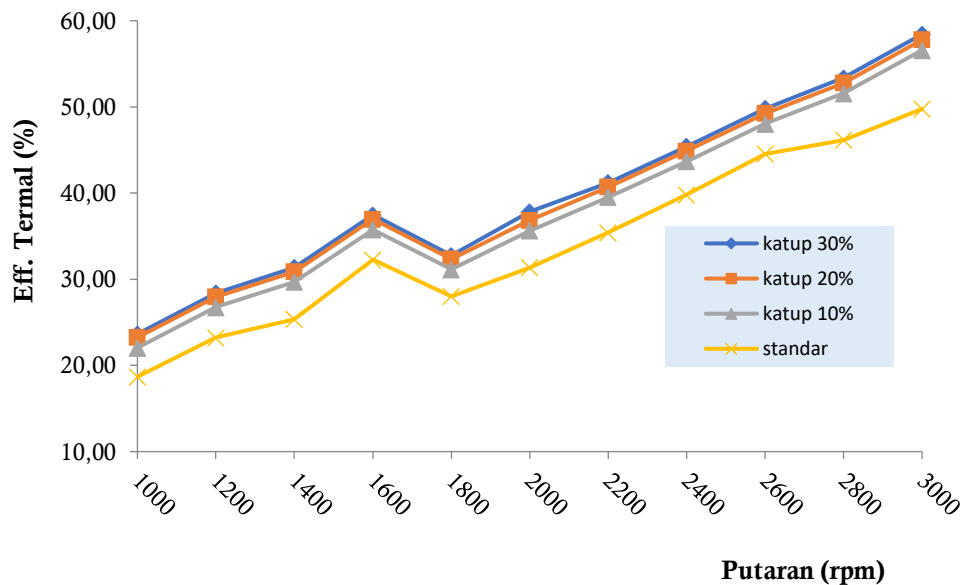
Analisa Tabel 2 sampai dengan 5 menunjukkan bahwa nilai Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) minimum pada pembukaan katup 30% terjadi pada angka 0,0549 kilogram/kWh pada putaran 3000 rpm. Gambar 5 mengilustrasikan penurunan SFC yang konsisten seiring dengan peningkatan kecepatan mesin, terutama pada beban sedang hingga tinggi, yang disebabkan oleh suhu pembakaran yang mendekati puncaknya. Besaran SFC bergantung pada output daya mesin yang efisien. Dengan beban yang lebih besar, pasokan bahan bakar ke silinder meningkat sementara ketersediaan oksigen untuk pembakaran berkurang, menyebabkan perubahan rasio udara-bahan bakar dan peningkatan SFC. Sepanjang percobaan, venturi scrubber digunakan untuk mengatur suhu EGR sebelum memasuki intake manifold. Hal ini bertujuan untuk mengukur tingkat konsumsi bahan bakar mesin diesel tanpa EGR dibandingkan menggunakan venturi scrubber EGR. Grafik tersebut menggambarkan dampak peningkatan EGR terhadap konsumsi bahan bakar. Ketika suhu EGR dan EGR meningkat, konsumsi bahan bakar berkurang. Sebaliknya, seiring bertambahnya putaran mesin (N) dan torsi (T), maka tenaga juga meningkat. Meskipun konsumsi bahan bakar meningkat seiring bertambahnya beban, tingkat EGR yang tinggi secara berkelanjutan akan menyebabkan pengurangan konsumsi bahan bakar. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya suhu gas buang yang masuk ke ruang bakar, sehingga memudahkan pembakaran.



Gambar 5. SFC terhadap putaran mesin

Analisis Efisiensi termal

Berdasarkan data ditentukan nilai efisiensi termal tertinggi pada konfigurasi bukaan katup EGR 30% sebesar 58,42% pada putaran 3000 rpm. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Efisiensi termal terhadap putaran mesin

Gambar 6 mengilustrasikan tren umum di mana efisiensi termal cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya beban, meskipun peningkatan tersebut menjadi lebih kecil pada beban maksimum. Selain itu, nilai efisiensi termal dipengaruhi oleh persentase EGR yang dimanfaatkan. Secara khusus, nilai efisiensi termal yang dihitung untuk konfigurasi standar (0% EGR) lebih rendah dibandingkan konfigurasi yang menggunakan 10-30% EGR.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Sistem EGR Scrubber Venturi pada sepeda motor bensin bisa berjalan sesuai dengan karakter berat dan mempunyai dampak pada prestasi pekerjaan mesin. perolehan terbaik didapat dalam pemanfaatan venturi scrubber dengan bukaan katup 30%, di mana pada putaran maksimal 3000 rpm yang didapat torsi 6, 57 nm, daya efisien 2110 watt, tekanan efektif rata- rata 4, 72 bar, mengonsumsi bahan bakar spesifik 0, 0549 kilogram/ kWh dan menghasilkan penggunaan bahan bakar yang lebih berdaya guna, serta kemampuan termal 58, 42%.

Saran

Untuk memperoleh Sistem venturi scrubber EGR yang optimal pada motor bensin, disarankan untuk mempertimbangkan parameter venturi scrubber dengan tepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Ketua Laboratorium Teknik Mesin UNCEN yang telah memberikan fasilitas penelitian.

REFERENSI

- Abaas, K. I. (2016). Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on the Performance Characteristics of a Direct Injection Multi Cylinders Diesel Engine. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 23(1), 32–39. <https://doi.org/10.25130/tjes.23.1.04>
- Alonso, D. F., Azzopardi, B. J., Gonçalves, J. A. S., & Coury, J. R. (2001). Drop Size Measurements in a Laboratory Scale Venturi Scrubber. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 23(4), 471–480. <https://doi.org/10.1590/S0100-73862001000400008>
- Bennur, H., & Sannagoudra, J. (2016). *Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on the Engine Performance*. 1(6).
- Choi, S., Park, W., Lee, S., Min, K., & Choi, H. (2011). Methods for in-cylinder EGR stratification and its effects on combustion and emission characteristics in a diesel engine. *Energy*, 36(12), 6948–6959. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.09.016>
- Elkelawy, M., El Shenawy, E. A., Mohamed, S. A., Elarabi, M. M., & Bastawissi, H. A.-E. (2022). Impacts of using EGR and different DI-fuels on RCCI engine emissions, performance, and combustion characteristics. *Energy Conversion and Management: X*, 15, 100236. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100236>
- Fernández Alonso, D., Gonçalves, J. A. S., Azzopardi, B. J., & Coury, J. R. (2001). Drop size measurements in Venturi scrubbers. *Chemical Engineering Science*, 56(16), 4901–4911. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(01\)00140-3](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(01)00140-3)
- Huang, H., Tian, J., Li, J., & Tan, D. (2022). Effects of Different Exhaust Gas Recirculation (EGR) Rates on Combustion and Emission Characteristics of Biodiesel–Diesel Blended Fuel Based on an Improved Chemical Mechanism. *Energies*, 15(11), 4153. <https://doi.org/10.3390/en15114153>
- Jamal, L., & Saleh, A. (2022). Study Effect of Exhaust Gas Recirculation upon Emissions and Performance by Using European Diesel and Iraqi diesel. *Engineering and Technology Journal*, 40(7), 1–9. <https://doi.org/10.30684/etj.2021.131273.1021>
- Kannan, C., & Vijayakumar, T. (2022). Application of exhaust gas recirculation for NOx reduction in CI engines. In *NOx Emission Control Technologies in Stationary and Automotive Internal Combustion Engines* (pp. 189–222). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823955-1.00007-3>
- Kim, H.-M., Lee, D.-H., Park, S.-K., Choi, K.-S., & Wang, H.-M. (2008). An experimental study on heat exchange effectiveness in the diesel engine EGR coolers. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 22(2), 361–366. <https://doi.org/10.1007/s12206-007-1102-x>

- Li, X., Xu, Z., Guan, C., & Huang, Z. (2015). Oxidative Reactivity of Particles Emitted from a Diesel Engine Operating at Light Load with EGR. *Aerosol Science and Technology*, 49(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/02786826.2014.989955>
- Park, W., Lee, S., Choi, S., Min, K., Choi, H., & Kim, S. (2011). *Study on the Effects of the In-Cylinder EGR Stratification on NOx and Soot Emissions in Diesel Engines*. 2011-24-0021. <https://doi.org/10.4271/2011-24-0021>
- Rakopoulos, C. D., & Giakoumis, E. G. (2009). *Diesel engine transient operation: Principles of operation and simulation analysis*. Springer.
- Shivashimpi, M. M., Alur, S. A., & Banapurmath, N. R. (2022). Exhaust Gas Recirculation as a NOx Reduction Technique for Modified POME Fuelled Diesel Engine. *International Journal of Vehicle Structures and Systems*, 14(2). <https://doi.org/10.4273/ijvss.14.2.07>
- Woodyard, D. F., & Pouner, C. C. (2009). *Pounder's marine diesel engines and gas turbines* (9th ed). Elsevier/Butterworth-Heinemann.
- Zheng, M., Irick, D. K., & Hodgson, J. (2002). Stabilizing Excessive EGR With an Oxidation Catalyst on a Modern Diesel Engine. *Design, Operation, and Application of Modern Internal Combustion Engines and Associated Systems*, 119–125. <https://doi.org/10.1115/ICES2002-455>
- Zheng, M., Reader, G. T., & Hawley, J. G. (2004). Diesel engine exhaust gas recirculation—a review on advanced and novel concepts. *Energy Conversion and Management*, 45(6), 883–900. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00194-8](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00194-8)