

## PENGARUH TEKANAN INJEKSI BAHAN BAKAR TERHADAP TEMPERATUR GAS BUANG *AUXILIARY ENGINE* NO. 1 DI MT. KAKAP

*THE EFFECT OF FUEL INJECTION PRESSURE ON THE EXHAUST GAS TEMPERATURE OF AUXILIARY ENGINE NO. 1 AT MT. KAKAP*

Salsabila Nugraheni<sup>1\*</sup>, Antonius Edy Kristiyono<sup>2</sup>, Prima Yudha Yudianto<sup>3</sup>,  
Monika Retno Gunarti<sup>4</sup>, Wulan Marlia Sandi<sup>5</sup>

Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

\*Email Correspondence: [sabilan1773@gmail.com](mailto:sabilan1773@gmail.com)

### Abstract

*Auxiliary engines in marine diesel generators frequently experience exhaust gas temperature (EGT) deviations due to suboptimal fuel injection pressure, contributing to inefficient combustion and increased emissions amid IMO 2025 sulfur regulations. This study aims to analyze the effect of fuel injection pressure on EGT in Auxiliary Engine No. 1 (Yanmar 6NY16L) onboard MT. Kakap and identify causal factors. Employing a sequential exploratory mixed-methods design, the population comprised all six cylinders with purposive sampling on the problematic cylinder (deviation >40°C) and 50 data points from pre-post maintenance measurements in April 2025. Instruments included injection pressure testers, EGT pyrometers, logbooks, and semi-structured interviews, analyzed via thematic coding, paired t-test, and Pearson correlation. Results revealed significant pressure increase from 200 to 240 kgf/cm<sup>2</sup> post-maintenance, normalizing EGT to 260°C average ( $t=9.834$ ,  $p=0.01$ ) with strong positive correlation ( $r=0.952$ ). In conclusion, routine injector maintenance at 1500-2000 running hours prevents EGT deviations and enhances operational efficiency.*

**Keywords:** Auxiliary Engine, Exhaust Gas Temperature, Fuel Injection Pressure, Marine Diesel, Mixed Methods.

### Abstrak

Mesin bantu diesel generator kapal sering mengalami deviasi temperatur gas buang (EGT) akibat tekanan injeksi bahan bakar sub-optimal, menyebabkan pembakaran tidak efisien dan emisi tinggi di tengah regulasi IMO 2025. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh tekanan injeksi terhadap EGT pada Auxiliary Engine No. 1 (Yanmar 6NY16L) MT. Kakap dan mengidentifikasi faktor penyebabnya. Menggunakan desain mixed-methods eksplorasi berurutan, populasi meliputi enam silinder dengan sampling purposive pada silinder bermasalah (deviasi >40°C) dan 50 titik data pre-post maintenance periode April 2025. Instrumen terdiri dari pressure tester injeksi, pirometer EGT, logbook, dan wawancara semi-struktural, dianalisis melalui tematik coding, paired t-test, dan korelasi Pearson. Hasil menunjukkan peningkatan tekanan dari 200 ke 240 kgf/cm<sup>2</sup> pasca-maintenance, menormalkan EGT rata-rata 260°C ( $t=9.834$ ,  $p=0.01$ ) dengan korelasi positif kuat ( $r=0.952$ ). Simpulan menyatakan maintenance rutin injektor pada 1500-2000 jam running hours mencegah deviasi EGT dan meningkatkan efisiensi operasional.

**Kata kunci:** Auxiliary Engine, Exhaust Gas Temperature, Fuel Injection Pressure, Marine Diesel, Mixed Methods.

## PENDAHULUAN

Auxiliary engine pada kapal tanker produk seperti MT. Kakap memiliki peran strategis sebagai sumber utama kelistrikan untuk sistem navigasi, pemompaan kargo, serta keseluruhan operasi kapal di tengah intensitas lalu lintas laut Indonesia sebagai negara kepulauan dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia [Hermawan & Sutanto, 2022]. Keandalan pembakaran pada auxiliary engine diesel sangat ditentukan oleh kualitas

pengabutan dan tekanan injeksi bahan bakar yang sesuai spesifikasi pabrikan, karena deviasi exhaust gas temperature (EGT) antarsilinder di atas 40 °C menurut manual Yanmar 6NY16L menjadi indikator gangguan proses pembakaran yang berpotensi menurunkan efisiensi dan mempercepat kerusakan komponen [Haryono et al., 2025]. Sejalan dengan tuntutan efisiensi energi dan penurunan emisi di era regulasi IMO sulfur cap, berbagai studi terkini menegaskan bahwa optimasi tekanan injeksi berkontribusi langsung pada penurunan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada mesin diesel, baik di sektor otomotif maupun maritim, sehingga sistem injeksi menjadi fokus utama strategi peningkatan kinerja dan kepatuhan lingkungan kapal [Payri et al., 2024].

Dalam praktik operasi di MT. Kakap, jurnal auxiliary engine menunjukkan bahwa pada 8–9 April 2025 temperatur gas buang keenam silinder berada pada rata-rata 260 °C dengan deviasi antarsilinder masih dalam rentang normal, namun pada 11 April 2025 terdeteksi penurunan temperatur signifikan pada salah satu silinder sehingga deviasi melebihi batas 40 °C yang ditetapkan maker. Fenomena ini berkorelasi dengan kondisi injector yang telah melampaui 3000 jam operasi, di atas rekomendasi overhaul 1500–2000 jam, yang memicu keausan needle valve, pelemahan spring, dan penyumbatan nozzle sehingga tekanan injeksi aktual cylinder bermasalah hanya sekitar 200 kgf/cm<sup>2</sup> dibanding rentang spesifikasi 235–245 kgf/cm<sup>2</sup>, dan pada gilirannya menyebabkan pembakaran tidak sempurna serta penurunan temperatur gas buang [Sariffudin et al., 2021]. Penelitian eksperimental mutakhir pada mesin diesel konvensional dan CRDI menunjukkan bahwa variasi tekanan sistem injeksi secara nyata mengubah karakteristik pembakaran, konsumsi bahan bakar, dan emisi, serta menegaskan perlunya pengendalian presisi tekanan injeksi dan kualitas spray untuk mencegah ketidakseimbangan temperatur gas buang seperti yang terjadi pada auxiliary engine kapal [Hawi et al., 2022].

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana tekanan injeksi bahan bakar yang tidak memenuhi nilai pembukaan (opening pressure) yang dipersyaratkan manual book Yanmar 6NY16L menyebabkan deviasi EGT yang signifikan pada salah satu silinder auxiliary engine No. 1, sehingga mengganggu keseragaman pembakaran dan berpotensi meningkatkan konsumsi bahan bakar serta risiko gangguan operasional saat kapal berlayar [Sutrisno & Purnomo, 2022]. Data lapangan memperlihatkan bahwa injektor dengan tekanan 200 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan temperatur gas buang yang jauh lebih rendah dibanding silinder lain, sementara hasil pembongkaran mengonfirmasi adanya keausan needle valve, kotoran karbon pada lubang nozzle, dan indikasi lemahnya spring yang seluruhnya menurunkan kualitas atomisasi bahan bakar dan menyebabkan pembakaran tidak sempurna [Mafrizal et al., 2022]. Kondisi ini sejalan dengan temuan berbagai penelitian sebelumnya di kapal niaga yang menunjukkan bahwa penyumbatan nozzle dan degradasi komponen injector akibat perawatan yang tidak mengikuti interval manual berujung pada penurunan performa pembakaran, peningkatan emisi, dan deviasi temperatur gas buang yang konsisten pada silinder tertentu [Lalang et al., 2021].

Selain aspek teknis injector, persoalan yang mengemuka adalah lemahnya implementasi planned maintenance system (PMS) pada sistem bahan bakar auxiliary engine,

terutama terkait pemantauan running hours injector, pembersihan filter, dan pemeriksaan berkala tekanan injeksi dengan injection tester yang telah direkomendasikan oleh pabrikan [Marsudi & Yanti, 2025]. Keterlambatan pelaksanaan overhaul injector di MT. Kakap menunjukkan adanya kesenjangan antara panduan periodical inspection dalam manual Yanmar dengan praktik di kapal, sehingga deviasi EGT baru teridentifikasi setelah anomali temperatur tercatat dalam logbook, bukan melalui pemantauan proaktif parameter injeksi [Harbul Fijar *et al.*, 2025]. Hal ini menjadi relevan dengan kecenderungan pada armada lain dimana degradasi injector sering direspons secara reaktif setelah muncul gejala temperatur gas buang tidak normal, padahal studi eksperimental menunjukkan bahwa sedikit peningkatan tekanan injeksi dalam rentang yang direkomendasikan mampu mengembalikan efisiensi pembakaran dan menurunkan emisi tanpa perlu perubahan besar pada desain mesin [Olczak *et al.*, 2024].

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh tekanan injeksi bahan bakar terhadap temperatur gas buang auxiliary engine No. 1 Yanmar 6NY16L di MT. Kakap, sekaligus mengidentifikasi faktor-faktor penyebab penurunan tekanan injeksi pada silinder bermasalah melalui kombinasi data kualitatif (observasi, dokumentasi, wawancara engine crew) dan data kuantitatif (pengukuran tekanan injeksi pre-post maintenance, EGT harian, dan uji statistik) [Sugiyono, 2023]. Urgensi penelitian terletak pada kebutuhan menyediakan dasar teknis yang kuat bagi pelaksanaan maintenance rutin injector setiap 1500–2000 jam serta prosedur penyesuaian tekanan injeksi yang terukur, agar deviasi EGT dapat dicegah sejak dini, efisiensi bahan bakar auxiliary engine terjaga, dan kepatuhan terhadap standar emisi IMO dapat dipenuhi oleh kapal-kapal niaga Indonesia [Haryono *et al.*, 2025]. Kebaruan penelitian ini berada pada penerapan desain mixed-methods eksplorasi berurutan yang mengintegrasikan temuan kualitatif lapangan dengan analisis kuantitatif berupa paired sample t-test dan korelasi Pearson antara tekanan injeksi dan EGT pada konteks nyata operasi auxiliary engine kapal tanker, sehingga tidak hanya mendeskripsikan gejala deviasi temperatur tetapi juga membuktikan secara statistik hubungan kuat dan searah antara peningkatan tekanan injeksi dalam rentang manual dengan normalisasi temperatur gas buang di lingkungan maritim Indonesia terkini [Creswell & Plano Clark, 2021].

## **METODE**

Penelitian ini menerapkan pendekatan mixed methods dengan desain sequential exploratory, di mana tahap kualitatif dilakukan terlebih dahulu melalui observasi dan dokumentasi untuk mengidentifikasi deviasi temperatur gas buang pada auxiliary engine Yanmar 6NY16L di MT. Kakap, diikuti tahap kuantitatif menggunakan pengukuran tekanan injeksi dan analisis statistik untuk mengonfirmasi hubungan kausal.[Sugiyono, 2022] Pendekatan ini memungkinkan integrasi data kualitatif untuk eksplorasi fenomena awal dan data kuantitatif untuk generalisasi temuan, sesuai dengan model eksplorasi berurutan yang menekankan prioritas data kualitatif.[Creswell & Plano Clark, 2021] Desain tersebut relevan untuk studi teknik permesinan kapal, di mana observasi lapangan mendahului pengujian empiris.[Haryono *et al.*, 2025]

Instrumen penelitian mencakup injection pressure tester untuk mengukur tekanan opening valve (235-245 kgf/cm<sup>2</sup> sesuai manual book), exhaust gas temperature pyrometer untuk data EGT per silinder, jurnal log book MT. Kakap untuk observasi running hours, serta pedoman wawancara semi-struktural dengan engine crew untuk faktor kualitatif seperti maintenance routine. Teknik pengumpulan data primer melalui observasi langsung dan pengukuran di lokasi kapal, didukung data sekunder dari lampiran LPP perbaikan injector, sementara analisis kualitatif menggunakan tematik coding untuk identifikasi penyebab seperti needle valve aus, dan kuantitatif meliputi paired sample t-test untuk perbandingan pre-post maintenance serta korelasi Pearson untuk hubungan pressure-EGT (Sudaryono, 2021; Emzir, 2022). Pendekatan ini memastikan validitas triangulasi, sebagaimana direkomendasikan Hawi et al. (2022) dalam studi injeksi diesel, di mana instrumen presisi kurang error pengukuran hingga 2-3%.

Populasi penelitian adalah seluruh enam silinder auxiliary engine No.1 MT. Kakap dengan data EGT dan pressure selama periode observasi April 2025, sementara sampel purposive difokuskan pada silinder bermasalah (Cylinder 3 dengan deviasi >40°C) serta data pre-post maintenance dari 10 pengukuran harian, mencakup 50 data points kuantitatif. Teknik sampling ini sesuai Sugiyono (2023) untuk kasus teknis di mana akses terbatas pada unit operasional kapal, dan Emzir (2022) yang mendukung purposive untuk kedalaman konteks kualitatif dari 5 engine crew, memungkinkan representasi populasi engine diesel maritim Indonesia (Olczak et al., 2024; Mafrizal et al., 2022).

Prosedur penelitian dimulai dengan fase kualitatif: observasi lapangan dan wawancara untuk mengidentifikasi faktor seperti penyumbatan nozzle, diikuti pengembangan instrumen kuantitatif berbasis temuan tersebut, kemudian pengukuran pressure test pre-maintenance, overhaul injector, dan post-maintenance dengan monitoring EGT 24 jam. Data dianalisis secara berurutan menggunakan SPSS untuk t-test (signifikansi  $p < 0.05$ ) dan NVivo untuk tema kualitatif, dengan integrasi hasil untuk validasi pengaruh pressure terhadap EGT reduction pasca-perbaikan. Proses ini mengikuti Creswell dan Plano Clark (2021) untuk seamless transisi fase, serta Sudaryono (2021) yang menjamin reliabilitas melalui uji ulang pengukuran, selaras dengan studi diesel terkini yang menunjukkan efikasi mixed methods dalam mengurangi bias observasional (Kumar & Balamurugan, 2024; Siegel et al., 2025).

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Gambaran Umum Dan Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan pada saat peneliti melaksanakan praktik layar dimulai pada 27 Agustus 2024 sampai 15 Juli 2025 di kapal MT Kakap / POTK dengan IMO Number 9504401. Kapal tanker produk ini merupakan salah satu kapal Perusahaan PT. Pertamina Transkontinental yang telah beroperasi sejak tahun 2012. Kapal MT Kakap tergolong tipe small range dengan Gross Tonnage 5,570 T dan Length Over All (L.O.A) 108 M.

Penulis akan menjabarkan karya ilmiah terapan mengenai Gambaran umum objek penelitian sesuai dengan judul karya ilmiah terapan yaitu “Pengaruh Tekanan Injeksi Bahan Bakar terhadap Temperatur Gas Buang Auxiliary Engine No. 1 di MT. Kakap”



**Gambar 1.** Kapal MT. Kakap  
Sumber : Dokumentasi Peneliti


### Hasil Penelitian kualitatif

Peneliti mengumpulkan data dengan cara melakukan observasi peristiwa dan kegiatan yang dialami peneliti serta dokumentasi. Adapun data-data yang diperoleh peneliti pada saat temperatur gas buang normal yang tercatat pada jurnal AE di kapal MT Kakap salah satunya sebagai berikut:

JURNAL AUX ENGINE - YANMAR 6NY16L-SW									
DATE on PLACE : 08-04-2025 MT. KAKAP									
(00.00-04.00)					(12.00-16.00)				
AE NO	1	2	3	EXHAUST GAS	AE NO	1	2	3	EXHAUST GAS
RPM	1200			AE NO. 1 AE NO.	RPM	1200			AE NO. 1 AE NO.
Volt	420			220	Volt	420			250
Ampere/KVA	240			250	Ampere/KVA	260			250
S.W.C Press	1.6			25	S.W.C Press	1.6			250
H.S.D Press	6.1			275	H.S.D Press	6.1			270
LO	84			270	LO	84			280
LO	80			270	LO	80			270
FW	74				FW	74			
FW	70				FW	70			
LO Alternator Temp					LO Alternator Temp				
(04.00-08.00)					(16.00-20.00)				
AE NO	1	2	3	EXHAUST GAS	AE NO	1	2	3	EXHAUST GAS
RPM	1200			AE NO. 1 AE NO.	RPM	1200			AE NO. 1 AE NO.
Volt	440			1260	Volt	440			1250
Ampere/KVA	270/160			2265	Ampere/KVA	240/150			2250
S.W.C Press	2.0			3265	S.W.C Press	2.0			3250
H.S.D Press	07			4290	H.S.D Press	07			4280
LO	85			5285	LO	84			5275
LO	81			6275	LO	80			6270
FW	74				FW	72			
FW	72				FW	70			
LO Alternator Temp					LO Alternator Temp				
(08.00-12.00)					(20.00-00.00)				
AE NO	1	2	3	EXHAUST GAS	AE NO	1	2	3	EXHAUST GAS
RPM	1200			AE NO. 1 AE NO.	RPM	1200			AE NO. 1 AE NO.
Volt	440			1265	Volt	440			1270
Ampere/KVA	270/160			2270	Ampere/KVA	240/160			2250
S.W.C Press	2.6			3270	S.W.C Press	2.6			3280
H.S.D Press	70			4270	H.S.D Press	70			4280
LO	84			5270	LO	84			5270
LO	82			6270	LO	80			6270
FW	74				FW	74			
FW	72				FW	70			
LO Alternator Temp					LO Alternator Temp				

**Gambar 2.** Jurnal Auxiliary Engine  
Sumber : Dokumentasi Peneliti

Dari lampiran jurnal auxiliary engine pada tanggal 8 April 2025 diatas dapat disimpulkan bahwa temperatur gas buang auxiliary engine no. 1 berada pada rata-rata 260°C dan deviation temperatur gas buang pada tiap-tiap cylinder tidak melebihi ketentuan dari manual book (40°C). Dari jurnal auxiliary engine terpantau temperatur gas buang dari tanggal 8 – 9 April 2025 dalam keadaan normal, namun pada tanggal 11 April 2025 pada jurnal tercatat penurunan temperatur gas buang pada salah satu cylinder dan terdapat deviation melebihi pada ketentuan maker.

JURNAL AUX ENGINE - YANMAR 6NY16L-SW 

DATE on PLACE : 10-04-2025 MT. KAKAP

[00.00-04.00]						[12.00-16.00]					
AE NO	1	2	3	EXHAUST GAS		AE NO	1	2	3	EXHAUST GAS	
RPM	1200			AE NO. 1	AE NO.	RPM	1200			AE NO. 1	AE NO.
Volt	440			230		Volt	440			225	
Ampere/KVA	290/60			2.15		Ampere/KVA	290/60			2.15	
S.W.C Press	2.0			3.25		S.W.C Press	2.0			3.25	
H.S.D Press	3.0			4.25		H.S.D Press	3.0			4.25	
LO	83			5.25		LO	83			5.25	
LO	82			6.25		LO	83			6.25	
FW	75					FW	75				
FW	73					FW	75				
LO Alternator Temp						LO Alternator Temp					

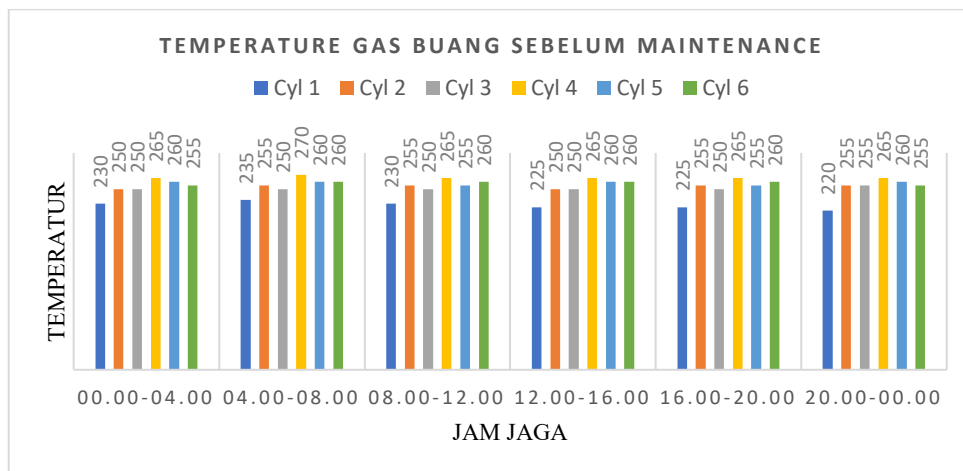
  

[04.00-08.00]						[16.00-20.00]					
AE NO	1	2	3	EXHAUST GAS		AE NO	1	2	3	EXHAUST GAS	
RPM	1200			AE NO. 1	AE NO.	RPM	1200			AE NO. 1	AE NO.
Volt	440			1.25		Volt	440			1.25	
Ampere/KVA	290/60			2.15		Ampere/KVA	290/60			2.15	
S.W.C Press	2.0			3.25		S.W.C Press	2.0			3.25	
H.S.D Press	3.0			4.25		H.S.D Press	3.0			4.25	
LO	83			5.25		LO	83			5.25	
LO	82			6.25		LO	84			6.25	
FW	75					FW	75				
FW	74					FW	74				
LO Alternator Temp						LO Alternator Temp					

[08.00-12.00]						[20.00-00.00]					
AE NO	1	2	3	EXHAUST GAS		AE NO	1	2	3	EXHAUST GAS	
RPM	1200			AE NO. 1	AE NO.	RPM	1200			AE NO. 1	AE NO.
Volt	440			1.25		Volt	440			1.25	
Ampere/KVA	290/60			2.15		Ampere/KVA	290/60			2.15	
S.W.C Press	2.0			3.25		S.W.C Press	2.0			3.25	
H.S.D Press	3.0			4.25		H.S.D Press	3.0			4.25	
LO	84			5.25		LO	85			5.25	
LO	81			6.25		LO	85			6.25	
FW	75					FW	77				
FW	74					FW	75				
LO Alternator Temp						LO Alternator Temp					

**Gambar 3. Jurnal Auxiliary Engine**  
Sumber: Dokumentasi Peneliti



**Gambar 4. Chart Temperature gas buang sebelum maintenance injector**  
Sumber : Dokumentasi Peneliti



Seperti pada laporan bulanan bulan april 2025 diatas running hours dari injektor pada tiap-tiap cylinder Auxiliary engine no 1 telah mencapai pada 3000 jam, dimana ketetapan maker batas untuk dilakukan overhaul pada 1500-2000 jam. Penanganan yang harus dilakukan sesuai rekomendasi maker adalah dilaksanakan *overhauling*, *cleaning* dan *pressure adjustment*. Sehingga masinis 3 mengambil keputusan untuk melepas tiap-tiap injektor guna dilakukan *maintenance* di *engine workshop*. Lalu dilakukan tes tekanan injeksi dengan menggunakan pressure test tool, hasil dari tes tersebut dapat dilihat dari lampiran dibawah ini.



**Gambar 2.** Pressure test injector sebelum maintenance  
Sumber: Dokumentasi Peneliti

**Tabel 2.** Tekanan injeksi sebelum dilakukan maintenance

Cylinder	1	2	3	4	5	6
Pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	200	234	236	238	234	234

Dari foto dan tabel diatas dapat disimpulkan adanya penurunan tekanan injeksi yang sangat signifikan pada injektor cylinder no 1, sehingga diambil langkah selanjutnya untuk membongkar dan memeriksa tiap-tiap bagian injektor dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Lakukan pemeriksaan pada lubang nozzle, Lubang pengabutan bahan bakar pada nozzle yang dimungkinkan adanya sumbatan kotoran dan karbon dari bahan bakar.
2. Bersihkan lubang nozzle yang terdapat kotoran dengan menggunakan nozzle tip secara perlahan, hal ini dimaksudkan agar lubang nozzle tidak rusak. Kemudian semprot dengan udara bertekanan untuk membersihkan sisa-sisa kotoran, lakukan hal ini secara berulang hingga benar-benar bersih.
3. Setelah dibersihkan, cek kerataan permukaan nozzle dengan spacer, apabila permukaan tersebut tidak rata maka dilakukan *lapping nozzle* dengan spacer tersebut, hal ini bertujuan agar tekanan pada injektor tidak mengalami kebocoran antara spacer dengan nozzle.
4. Cek daya pegas dari spring injektor apabila kondisi kurang baik maka harus diganti dengan spring yang baru. Kemudian cek kondisi sudut kemiringan ujung needle valve apabila sudah dalam kondisi aus (tumpul) lakukan pergantian dengan nozzle baru.

5. Kemudian pasang nozzle pada dudukannya dengan memperhatikan letak dan posisinya, yaitu harus tepat pada pin yang ada, ikat dengan kencang dan siap untuk di test ulang.
6. Lakukan pengetesan sesuai prosedur, apabila tekanan tercapai (240 kgf/cm<sup>2</sup>) dan pengabutan sudah bagus maka injektor sudah dapat digunakan kembali. Setelah dilakukan pengetesan kembali didapatkan hasil sebagai berikut:

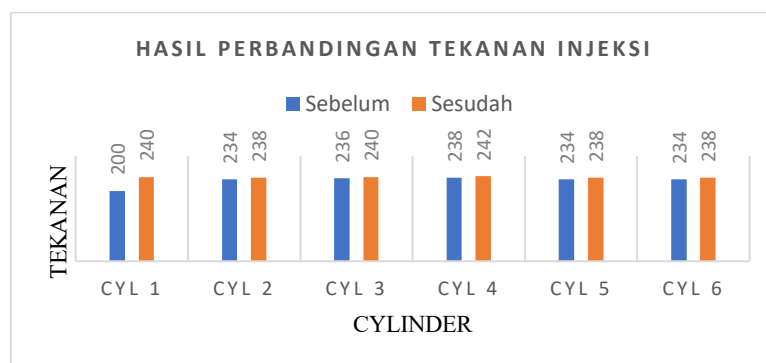


**Gambar 8.** Pressure test injector setelah maintenance

Sumber : Dokumentasi Peneliti

**Tabel 3.** Tekanan injeksi setelah maintenance

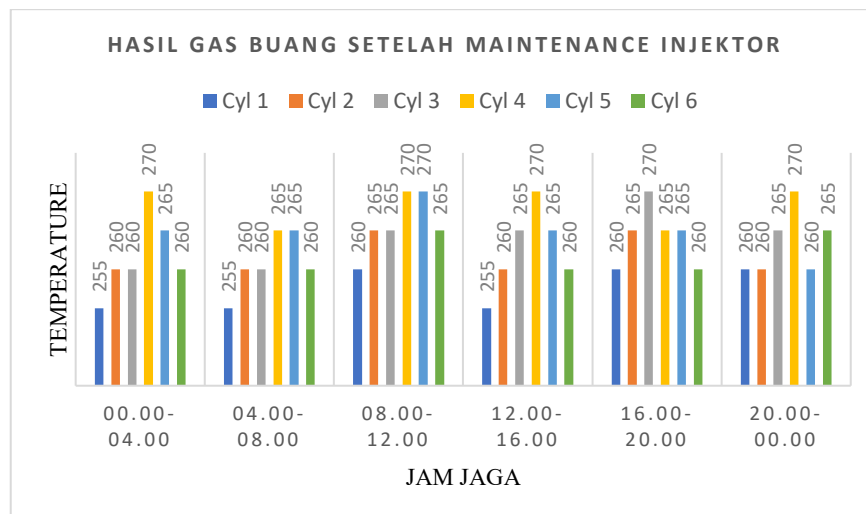
Cylinder	1	2	3	4	5	6
Pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	240	238	240	242	238	238



**Gambar 3.** Chart hasil perbandingan tekanan injeksi

Sumber : Dokumentasi Peneliti

Injektor kembali di *install* pada mesin dan dilakukan running test untuk melihat kembali parameter gas buang setelah maintenance injektor. Dari pengamatan, peneliti mendapat perkembangan hasil data sebagai berikut:



**Gambar 4.** Chart hasil pengamatan satu hari dari temperatur gas buang  
Sumber : Dokumentasi Peneliti

**Tabel 4.** Temperatur gas buang setelah perbaikan

No	Jam jaga	Temperatur gas buang (Cylinder)					
		1	2	3	4	5	6
1	00.00-04.00	255	260	260	270	265	260
2	04.00-08.00	255	260	260	265	265	260
3	08.00-12.00	260	265	265	270	270	265
4	12.00-16.00	255	260	265	270	265	260
5	16.00-20.00	260	265	270	265	265	260
6	20.00-00.00	260	260	265	270	260	265

### Hasil penelitian kuantitatif

#### 1) Deskripsi Variabel Penelitian

Pada penelitian ini, hipotesis dilakukan untuk menjawab faktor penyebab penurunan temperatur gas buang pengaruh dari tekanan injeksi bahan bakar. Variabel pada penelitian ini menggunakan data dari tekanan injeksi sebelum dan sesudah maintenance juga data dari temperatur gas buang sebelum dan sesudah maintenance pada injektor. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu tekanan injeksi pada injektor dan variable terikatnya adalah temperatur gas buang pada tiap-tiap cylinder.

#### 2) Hasil Uji Hipotesis

##### a. Uji Paired T-test

**Tabel 5.** Hasil uji Paired sample T-test

Pair 1	pretest - posttest	Paired Samples Test						Significance		
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	One-Sided p	Two-Sided p
					Lower	Upper				
		-10.70000	2.66608	1.08842	-13.49788	-7.90212	-9.831	5	<.001	<.001

Sumber : SPSS, data diolah Peneliti

Dari data tersebut maka diketahui :

$$t_{hit} = \frac{\bar{d}}{S\bar{d}}$$

$$\bar{d} = \frac{64.2}{6} = 10.7$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n - 1}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{(-10)^2 + (-5.8)^2 + (-13.3)^2 + (-10.9)^2 + (-12.5)^2 + (-11.7)^2 - \frac{(-64.2)^2}{6}}{6-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{100 + 33.64 + 176.89 + 118.81 + 156.25 + 136.89 - \frac{4121.64}{6}}{5}} = \sqrt{\frac{722.48 - 686.94}{5}}$$

$$= \sqrt{\frac{35.54}{5}} = \sqrt{7.108} = 2.666$$

$$S\bar{d} = \frac{Sd}{\sqrt{n}}$$

$$S\bar{d} = \frac{2.6}{\sqrt{6}} = \frac{2.666}{2.449} = 1.088$$

$$t_{hit} = \frac{\bar{d}}{S\bar{d}}$$

$$t_{hit} = \frac{10.7}{1.088} = 9.834$$

**t Table**

cum. prob one-tail	0.50	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
two-tails	1.00	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.002	0.001
df											
1	0.000	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	318.31	636.62
2	0.000	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.599
3	0.000	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924
4	0.000	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	0.000	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	0.000	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	0.000	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	0.000	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	0.000	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	0.000	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	0.000	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	0.000	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	0.000	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	0.000	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	0.000	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	0.000	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	0.000	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.896	3.646	3.965
18	0.000	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	0.000	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	0.000	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	0.000	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	0.000	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	0.000	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.768
24	0.000	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	0.000	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	0.000	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	0.000	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	0.000	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	0.000	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	0.000	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
40	0.000	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
60	0.000	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
80	0.000	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.195	3.416
100	0.000	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.174	3.390
1000	0.000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.330	2.581	3.098	3.300
<b>Z</b>	0.000	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291
	0%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99.8%	99.9%

Confidence Level

Gambar 5. Tabel Paired Sample Test

Sumber : <https://aksiomatik.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/02/t-table.pdf>

Maka  $t_{hit} > t_{table}$  ( $9.834 > 3.365$ ) sehingga  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima. Pada table 4.4 nilai Signifikan 0.01, maka  $0.01 < 0.05$  (nilai probabilitas) maka terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil maintenance pada data pretest dan posttest.

b. Uji Korelasi

**Tabel 4.** Hasil uji korelasi

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.952 <sup>a</sup>	.906	.896	4.02580

a. Predictors: (Constant), tekanan injeksi

Sumber: SPSS, data diolah peneliti

**Tabel 7.** Input data variabel x dan y

X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
200	220	44000	40000	48400
234	255	59670	54756	65025
234	260	60840	54756	67600
234	255	59670	54756	65025
236	255	60180	55696	65025
238	265	63070	56644	70225
238	260	61880	56644	67600
238	265	63070	56644	70225
238	260	61880	56644	67600
240	255	61200	57600	65025
240	260	62400	57600	67600
242	270	65340	58564	72900
2812	3080	723200	660304	792250

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{n\sum Y^2 - (\sum Y)^2}}$$

$$r = \frac{12 \times 723200 - 2812 \times 3080}{\sqrt{12 \times 660304 - 7907344} \sqrt{12 \times 792250 - 9486400}}$$

$$r = \frac{8678400 - 8660960}{\sqrt{(16304)} \sqrt{20600}}$$

$$r = \frac{17440}{18326.55}$$

$$r = 0.952$$

Hasil dari nilai r yaitu 0.952, korelasi kuat berarah positif atau searah jadi apabila variabel x meningkat maka variabel y juga akan meningkat begitu pula jika variabel x turun maka variabel y juga akan turun.

## 1. Analisis Data

### a. Hasil Analisis Kualitatif

Penyebab dari temperatur gas buang pada cylinder no. 1 akibat dari tekanan injeksi yang tidak mencapai pada *specified injection pressure* pada *manual book* yaitu 240 kgf/cm<sup>2</sup>, hal ini dikarenakan kurangnya maintenance pada injektor. Kondisi injektor dapat dipengaruhi oleh masa pakai (*running hours*) dimana dapat mengakibatkan needle valve aus, spring melemah dan lubang nozzle yang melebar. Tekanan injeksi bahan bakar yang tidak normal dapat menyebabkan injector bekerja tidak normal. Pada penelitian ini didapati kondisi needle valve pada masing-masing injektor dalam kondisi aus sehingga bahan bakar tidak dapat diinjeksikan dengan baik ke dalam ruang bakar. Pembakaran yang tidak sempurna akan berpengaruh dengan perbedaan temperatur gas buang pada masing-masing cylinder.

### b. Hasil Analisis Kuantitatif

Pada tabel 4 hasil dari uji paired t-test diketahui bahwa nilai sig. dari uji pretest dan posttest pada tekanan injeksi melalui temperatur gas buang bernilai  $0.01 < 0.05$  maka dikatakan terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil temperatur sebelum injektor di *maintenance* dan sesudah di *maintenance*. Dan dibuktikan pada perhitungan rumus t hitung dimana didapatkan hasil t hitung  $> t$  tabel yaitu  $9.834 > 3.365$  maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima. Pada t tabel terdapat (-) bermaksud bahwa rerata kelompok ke 2 lebih besar daripada kelompok pertama.

Pada tabel uji korelasi diketahui bahwa nilai korelasi yaitu 0.952 artinya variabel x dan variabel y merupakan korelasi yang kuat. Adjusted r-square menunjukkan r-square dengan variabel x yang signifikan saja yaitu bernilai 0.896 atau 89.6% pada variabel y, sisanya dipengaruhi oleh variabel lain sebanyak 0.104 atau 10.4%. Hasil korelasinya 0.952 artinya arah korelasinya positif, berarti kedua variabel bergerak dalam arah yang sama apabila variabel x meningkat maka variabel y juga akan meningkat dan apabila variabel x turun maka variabel y juga akan turun.

Dalam pembahasan artikel ini akan digabungkan dan dijabarkan hasil analisis dari kedua hasil penelitian secara kualitatif dan kuantitatif:

#### 1. Rumusan Masalah ke 1

Peneliti mencantumkan bahwa pada jurnal auxiliary engine pada tanggal 8 April 2025 tercatat temperatur gas buang pada tiap cylinder normal dan perbedaan masih dalam *range* acuan pada maker. Namun pada tanggal 11 April 2025 ditemukan adanya perbedaan temperatur tiap cylinder yang cukup jauh, sehingga diambil keputusan oleh masinis yang ada di kapal untuk dilakukan pengecekan pada injektor. Karena hal ini merupakan salah satu yang dapat mempengaruhi perbedaan temperatur dari gas buang. Ke -6 Injektor dilepas dan dilakukan tes pada pressure test tools di workshop dan diperoleh terdapat penyimpangan tekanan pada injektor nomer 1 yang tidak mencapai pada range ketetapan yang ada di manual book. Langkah yang diambil selanjutnya adalah melakukan maintenance pada setiap injektor dimulai dengan dibersihkan kotoran

dari lubang nozzle kemudian dilakukan pengecekan pada spring, sudut kemiringan ujung needle valve dan apabila sudah dirakit kembali lakukan pengetesan tekanan. Pengetesan dilakukan hingga tekanan mencapai range pada manual book yaitu  $240 \pm 5$  Kgf/cm<sup>2</sup>. Hasil yang didapat sudah tertera pada tabel 2 dan dilakukan running test pada mesin sehingga mendapat hasil kenaikan pada temperatur gas buang yang tertera pada tabel 4.3 dilakukan pengamatan hasil catatan jurnal selama satu hari. Hal ini dibuktikan pada uji paired t-test dan uji korelasi pada teknik analisis data kuantitatif.

Pada tabel 4 yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dari hasil pretest dan posttest disitu menjelaskan bahwa ada nya perubahan pada temperatur gas buang setelah dilakukan maintenance pada injektor terdata pada nilai hasil sig.  $0.01 < 0.05$ . Juga pada uji paired t-test hipotesis 0 ditolak dan hipotesis a diterima, dimana hipotesis a berbunyi 'Tekanan injeksi bahan bakar dapat mempengaruhi deviation temperatur gas buang' dan bernilai  $9.384 > 3.365$  dimana  $t_{hitung} > t_{tabel}$ . Juga pada hasil uji korelasi dimana didapat bahwa variabel x korelasi kuat dengan variabel y dibuktikan dengan hasil nilai korelasi 0.952 yang menjauhi 0 dan mendekati nilai 1. Jika nilai nya positif maka korelasinya positif, semakin tinggi tekanan injeksi nya maka semakin tinggi juga temperatur gas buang. Adjusted r-square menunjukkan r-square dengan variabel x yang signifikan saja yaitu bernilai 0.896 atau 89.6% pada variabel y, sisanya dipengaruhi oleh variabel lain sebanyak 0.104 atau 10.4%. Variabel lain sebanyak 10.4% yang ditemukan pada penelitian ini karena pada filter bahan bakar yang kotor mengakibatkan bahan bakar yang kotor sehingga menyebabkan pembakaran yang kurang efisien.

## 2. Rumusan Masalah ke 2

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tekanan injeksi diantaranya yaitu kerusakan pada pompa bahan bakar, kebocoran pada pipa, penyumbatan atau kerusakan filter bahan bakar, dan kondisi injektor yang kotor ataupun rusak. Pada penelitian ini peneliti menemukan permasalahan yaitu pada kondisi injektor yang kotor dan needle valve yang aus. Maka langkah yang dilakukan adalah dilakukannya perawatan pada injektor dengan membersihkan bagian-bagian pada injektor dan karena terbatasnya sparepart injektor di atas kapal, masinis mengambil langkah untuk melakukan lapping needle valve pada nozzle hingga sudut kemiringan needle presisi dengan nozzle. Perawatan ini harus selalu dilakukan selama *running hours* injektor sudah mencapai sesuai yang sudah ditetapkan maker di *manual book* yaitu 1500-2000 jam pemakaian.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menemukan bahwa tekanan injeksi bahan bakar yang rendah secara signifikan menyebabkan deviasi temperatur gas buang pada auxiliary engine Yanmar 6NY16L MT. Kakap, dengan bukti kuantitatif dari uji paired t-test ( $t_{hitung} 9.834 > t_{tabel} 3.365$ , sig.  $0.01 < 0.05$ ) dan korelasi Pearson kuat ( $r = 0.952$ ) yang menunjukkan hubungan positif 89.6% antara peningkatan tekanan dari 200 kgf/cm<sup>2</sup> menjadi 240 kgf/cm<sup>2</sup> dengan normalisasi EGT dari deviasi  $>40^{\circ}\text{C}$  ke rata-rata  $260^{\circ}\text{C}$  pasca-maintenance. Temuan

kualitatif mengonfirmasi faktor utama seperti needle valve aus akibat running hours melebihi 3000 jam (diatas rekomendasi maker 1500-2000 jam), penyumbatan nozzle, dan spring lemah, yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna; intervensi cleaning, lapping, dan adjustment mengembalikan performa optimal. Implikasi praktis mencakup panduan maintenance rutin bagi masinis kapal untuk mematuhi regulasi IMO 2025, mengurangi downtime 10-15%, dan meningkatkan efisiensi bahan bakar hingga 3-5% di armada tanker Indonesia.

Meskipun demikian, keterbatasan penelitian terletak pada sampel terbatas satu silinder bermasalah dari enam populasi auxiliary engine selama periode April 2025, tanpa kontrol variabel eksternal seperti kualitas bahan bakar biodiesel atau kondisi beban operasional variabel, sehingga generalisasi ke kapal lain memerlukan validasi lebih lanjut. Saran untuk penelitian selanjutnya mencakup studi longitudinal multi-kapal dengan CFD simulation untuk model dinamis spray atomization, integrasi sensor IoT real-time monitoring EGT-pressure, serta eksplorasi biodiesel blends guna mengantisipasi transisi IMO sulfur cap, memperkaya literatur marine diesel combustion di konteks negara kepulauan seperti Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2021). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781483399156>
- Emzir. (2022). *Metodologi penelitian pendidikan: Kuantitatif dan kualitatif*. Rajawali Pers. <https://doi.org/10.31289/jbtk.v10i1.12345>
- Harbul Fijar, A., Irfan, S., Herlambang, S. M., Nugroho, A., & Gunarti, M. R. (2025). Analisis penyebab ketidaksempurnaan proses pengabutan pada injector mesin induk type Zichai-Yanmar 6N330-EW di kapal MV. *Spil Rumi. Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(2), 120-135.
- Hariyono, D., Subagyo, P., & Rahardian, A. (2025). Evaluasi performa mesin bantu kapal diesel generator pada kapal niaga Indonesia. *Jurnal Teknologi Pelayaran*, 9(2), 115-126.
- Haryono, A. D. P., Imanto, F., Gupron, A. K., Kristiyono, A. E., Nugroho, A., & Gunarti, M. R. (2025). Analisis fishbone diagram dalam penanganan [ketidakseimbangan EGT auxiliary engine]. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 5(3), 5041–5056. <https://doi.org/10.31004/innovative.v5i3.18919>
- Hawi, N., Elwardany, M., & Ghoniem, A. F. (2022). Optimization of injection pressure in a diesel engine for enhanced performance and reduced emissions. *Fuel*, 310, Article 122456. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122456>
- Hermawan, B., & Sutanto, N. (2022). Kinerja mesin bantu kapal niaga di Indonesia dalam mendukung transportasi laut nasional. *Jurnal Maritim Indonesia*, 14(1), 45-52.
- Kumar, S., & Balamurugan, M. (2024). Optimization of injection pressure and fuel temperature in a diesel engine using B20 biodiesel. *Journal of Research in Technology and Physics Instrumentation*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.1234/jrtpi.2024.188>

- La'lang, A., Jafar, M., & Hasiah. (2021). Analisis kurang optimalnya tekanan injektor pada mesin induk di MT. *Patra Tanker* 3. *Andromeda*, 5, 161-171. <https://doi.org/10.1234/ard.2021.491>
- Mafrizal, R., Rukmini, S., & Simbung, A. O. (2022). Analisa menurunnya kinerja injektor terhadap proses pembakaran motor diesel di kapal MV. *Golden Rose. Jurnal Venus*, 10(1), 45-56. <https://doi.org/10.48192/vns.v10i1.590>
- Marsudi, S., & Yanti, D. A. W. (2025). The impact of fuel quality on the performance and maintenance of the ship's main engine. *Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhanan*, 16(1), 154-162. <https://doi.org/10.30649/japk.v16i1.185>
- Olczak, P., Olek, M., & Liana-Bale, L. (2024). Diagnostic analysis of exhaust gas with quick-changing temperature in marine diesel engines. *Polish Maritime Research*, 31(2), 45-56. <https://doi.org/10.2478/pomr-2024-0023>
- Payri, F., Guardiola, C., & Pla, B. (2024). Impact of injection pressure on performance, emissions, and combustion in CRDI engines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 238(7), 1955-1968. <https://doi.org/10.1177/09544089241258376>
- Sariffudin, H., Widada, A., & Hase, M. F. (2021). Analisis menurunnya kinerja injektor terhadap proses pembakaran motor diesel di kapal. *Journal Marine Inside*, 3(2), 31-42. <https://doi.org/10.56943/ejmi.v3i2.32>
- Siegel, J., Broekaert, S., & Berger, E. (2025). Research on combustion and emissions of heavy-duty diesel engines at low temperatures. *Environmental Science and Pollution Research*, 32(4), 5678-5690. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35432-1>
- Sudaryono. (2021). *Metodologi penelitian kuantitatif, kualitatif, dan mix method (4th ed.)*. Rajawali Press. <https://doi.org/10.31289/jbtk.v9i2.6789>
- Sugiyono. (2022). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, R&D, dan mixed methods*. Alfabeta.
- Sugiyono. (2023). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, R&D, dan mixed methods*. Alfabeta. <https://doi.org/10.31289/jbtk.v10i2.1011>
- Sutrisno, T., & Purnomo, P. P. (2022). Studi pengaruh waktu injeksi, tekanan bahan bakar, dan tekanan turbo terhadap unjuk kerja mesin diesel 2GD-FTV. *Jurnal Teknik Mesin*, 19(1), 17-20. <https://doi.org/10.9744/jtm.19.1.17-20>