

ANALISIS KARAKTERISTIK VISUALISASI SEMPROTAN DAN EVALUASI KINERJA INJEKTOR COMMON RAIL PADA ALAT UJI NOZZLE DIESEL

JUARI ADITYA PANGINAN
MARKUS SAMPE BANNE

Program Studi Diploma IV Teknik Mesin
Politeknik Saint Paul Sorong

Email ; markus_sampe@yahoo.co.id; juariaditya157@gmail.com

ABSTRAK

Injektor merupakan komponen vital dalam sistem bahan bakar mesin diesel yang menentukan kualitas pencampuran udara dan bahan bakar melalui proses pengabutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik visualisasi semprotan dan mengevaluasi kinerja injektor common rail pada alat uji nozzle diesel (trainer) yang telah dirancang. Metode penelitian yang digunakan menggabungkan studi pustaka dan metode eksperimental melalui pengujian langsung pada alat trainer. Parameter yang diuji meliputi pola, sudut, dan panjang penetrasi semprotan, serta kestabilan tekanan pada rail, respons aktuator, dan tingkat kebocoran sistem. Hasil pengamatan visual menunjukkan bahwa multi-hole nozzle (tipe Denso dengan 6 lubang) menghasilkan pola semprotan kipas radial simetris yang fokus dan merata dengan sudut total berkisar antara 120°-150°. Estimasi tekanan semprot berada pada rentang 300–450 bar dengan kondisi nozzle yang masih baik dan layak pakai, meskipun terdapat variasi ketebalan kecil antar jet yang mengindikasikan awal keausan atau deposit karbon ringan. Evaluasi kinerja menunjukkan bahwa alat trainer bekerja secara optimal dan memenuhi seluruh kriteria lulus uji. Pada pengujian selama 5 menit menggunakan injektor common rail solenoid, sistem mampu mencapai tekanan maksimum rail sebesar 30 MPa dengan durasi semprot 5,0 ms dan frekuensi 20 Hz secara stabil, serta tidak ditemukan adanya kebocoran (leakage).

Kata Kunci: *Injektor, Common Rail, Visualisasi Semprotan, Nozzle Diesel, Alat Trainer.*

ABSTRACT

The injector is a vital component in the diesel engine fuel system that determines the quality of air-fuel mixing through the atomization process. This study aims to analyze the spray visualization characteristics and evaluate the performance of a common rail injector on a newly designed diesel nozzle test equipment (trainer). The research methodology combines literature review and experimental methods via direct testing on the trainer rig. The parameters evaluated include spray pattern, angle, and penetration length, as well as rail pressure stability, actuator response, and system leakage. Visual observation results showed that the multi-hole nozzle (Denso type with 6 holes) produced a focused and evenly distributed symmetrical radial fan spray pattern with a total cone angle ranging from 120°-150°. The estimated spray pressure was within the range of 300–450 bar, indicating that the nozzle condition was still good and usable, despite minor thickness variations between jets suggesting early hole wear or light carbon deposits. Performance evaluation demonstrated that the trainer equipment operated optimally and met all passing criteria. During a 5-minute test using a common rail solenoid injector, the system stably achieved a maximum rail pressure of 30 MPa with an injection duration of 5.0 ms and a frequency of 20 Hz, with no leakage detected.

Keywords: *Injector, Common Rail, Spray Visualization, Diesel Nozzle, Trainer Kit.*

PENDAHULUAN

Mesin diesel menggunakan bahan bakar solar, bahan bakar yang fosil yang mempunyai

nilai titik didih yang tinggi. Oleh sebab itu, sebelum mengoperasikan mesin diesel perlu

Cara Kerja Injektor

Injektor bekerja untuk mengoptimalkan bahan bakar yang disalurkan dari pompa injeksi pada tekanan tinggi serta memberi tenaga penyebaran, pembagian dan penerobosan bahan bakar. Jadi injektor berfungsi untuk mengabutkan bahan bakar ke ruang bakar agar terjadi pembakaran yang sempurna dalam waktu singkat. (Wibawa et al., 2015)

Proses kerja injektor sebagai berikut:

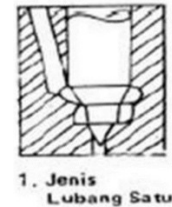
1. Sebelum Penginjeksian
Bahan bakar solar yang memiliki tekanan yang tinggi akan mengalir dari pompa injeksi melalui saluran bahan bakar pada *nozzle holder* kemudian bahan bakar ini akan menuju ke *oil pool* pada bagian bawah *nozzle body*.
2. Penginjeksian Bahan Bakar
Apabila tekanan bahan bakar yang berada di *oil pool* ini naik maka bahan bakar ini akan menekan permukaan ujung *needle*. Apabila tekanan bahan bakar ini melebihi tekanan pegas maka *nozzle needle* akan kedorong ke atas oleh tekanan bahan bakar sehingga *nozzle needle* akan terlepas dari kedudukannya (*nozzle body seat*). Kejadian tersebut membuat bahan bakar dapat keluar sehingga akan terjadi langkah penginjeksian atau penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar.
3. Akhir Penginjeksian
Bila pompa injeksi berhenti mengalirkan bahan bakar maka tekanan bahan bakar yang menuju ke injektor *Nozzle* akan mengembalikan *nozzle needle* ke posisi semula. Pada saat ini *nozzle needle* akan tertekan oleh pegas pengembali dengan kuat pada dudukannya (*nozzle body seat*) dan akan menutup saluran bahan bakar untuk keluar. Sebagian bahan bakar yang berada di dalam *injektor nozzle* akan kembali melalui ke *over flow pipe*.

Jenis-jenis Nosel

Jenis-jenis *nozzle* dengan sifat pengabutan dan karakteristik yang berbeda, maka untuk fungsi pemakaiannya juga berbeda dimana bergantung pada proses pembakarannya. Proses pembakaran ini, ditentukan oleh bentuk ruang bakarnya. (Halimah, 2020)

Nozzle berlubang satu (*single Hole*)

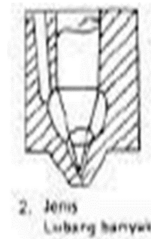
Nozzle berlubang satu (*single hole*) proses pengabutannya sangat baik tetapi memerlukan tekanan *injection pump* yang tinggi. Demikian halnya dengan injektor berlubang banyak (*multi hole*) pengabutannya sangat baik. Injektor ini sangat tepat digunakan pada injektor langsung (*direct injection*).



Gambar 2. Nozzle Berlubang Satu Sumber : (Prasetyadi, n.d.)

Nozzle berlubang banyak (*multi hole*)

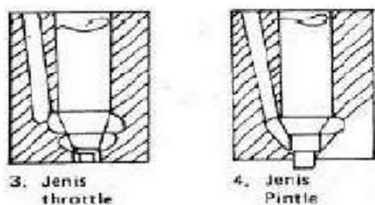
Nozzle berlubang banyak tipe ini digunakan pada ruang bakar *valve* pada *nozzle* tipe ini mempunyai bentuk kerucut pada ujungnya yang didudukkan dengan tipe *direct injection*. *Needle* pada *valve seat*. Pada ujung *valve body* terdapat beberapa lubang yang dibuat secara simetris. Diameter lubangnya berkisar antara 0,2-0,4 mm. Tekanan injeksi pada *nozzle* tipe ini berkisar antara 150-300 kg/cm².



Gambar 3. Nozzle Berlubang banyak (Prasetyadi, n.d.)

Nozzle model *pintle* dan *throttle*

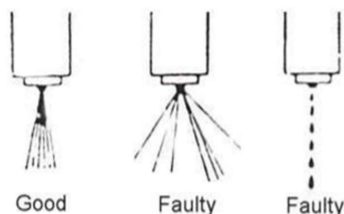
Nozzle model throttle dan model *pintle* lebih tepat digunakan pada motor diesel dengan ruang bakar yang memiliki *combustion chamber*, kamar muka maupun kamar puser (*turbulen*). Sedangkan dari segi pemakaian dan posisi injektor terdiri dari injektor tidak langsung (*precombustion chamber*) dan injektor langsung (*direct injection*). Kedua jenis injektor ini sering digunakan, karena keduanya memiliki kekurangan serta kelebihan masing-masing.



Gambar 4. Nozzle Model Pintle dan Throttle (Prasetyadi, n.d.)

Bentuk-Bentuk Pengabutan pada Injektor

Didalam menyemprotkan bahan bakar, *nozzle* memiliki bentuk-bentuk penyemprotan bahan bakar, bentuk penyemprotan ini sangat berpengaruh terhadap kualitas campuran bahan bakar di dalam silinder. Di bawah ini akan dijelaskan mengenai bentuk penyemprotan *nozzle* serta pengaruhnya terhadap pembakaran. (Daud, 2014)



Gambar 5. Bentuk Penyemprotan pada Injektor (Prasetyadi, n.d.)

Cr-C Common Rail Injector Drive

Cr-C *Common Rail Injector Drive* merupakan sistem pengendali injektor yang digunakan pada sistem *common rail*. Sistem ini menggunakan sinyal listrik untuk mengontrol injektor dan mengatur jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang bakar. Dengan demikian, sistem *common rail* dan *common rail injector drive* dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja mesin diesel, serta mengurangi emisi gas buang.

Menggunakan *common rail injector drive* memungkinkan penggunaan bahan bakar yang lebih efisien, dapat meningkatkan kinerja mesin dengan memungkinkan tekanan bahan bakar yang lebih tinggi serta stabil, dan dapat mengurangi emisi gas buang dengan memungkinkan penggunaan bahan bakar yang lebih efisien. (Su & Liu, 2019)

METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Studi Pustaka, Dalam hal ini penulis dapat memperoleh berbagai informasi tentang data yang dibutuhkan berupa buku-buku dan juga dari situs web yang berhubungan dengan masalah yang akan dibahas mengenai alat pengujian ini. (Adlini et al., 2022)

Metode Eksperimental yaitu melakukan percobaan dan pengujian untuk memvalidasi desain dan kinerja mesin. (Sugiyono, 2017)

Prosedur Penelitian

Langkah-langkah dalam prosedur penelitian adalah :

1. Mengatur komponen-komponen *injector Nozzle diesel* guna memastikan *injector Nozzle diesel* berfungsi dengan baik;
2. Melakukan pengujian *injector nozzle diesel*;
3. Mengukur parameter yang diperlukan seperti tekanan, aliran, dan suhu;
4. Menganalisis hasil pengujian untuk memastikan *injector nozzle diesel* memenuhi spesifikasi yang diperlukan;
5. Membersihkan *injector nozzle diesel*.

PEMBAHASAN

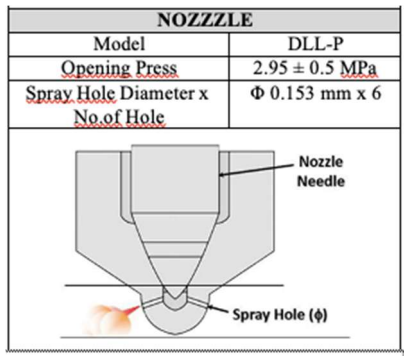
Komponen dan Spesifikasi Trainer Injektor Nozzle Diesel

Komponen-komponen utama alat trainer injektor Nozzle diesel adalah:

1. Meja *Trainer Injektor Nozzle Diesel*
2. Cr-C *Common Rail Injector Drive*
3. *Nozzle Tester*
4. *Nozzle Injektor Denso* (Mitsubishi Triton 2019)
5. Ragum

INJECTOR	
Injector	62 Type
Engine Model	4D56
Operating Voltage	2 Times

Gambar 6. Spesifikasi Injektor



Gambar 7. Spesifikasi Nozzle

Pengujian Trainer Injector Nozzle Diesel

Pengujian Trainer Injector Nozzle bertujuan untuk mengetahui performa kerja sistem trainer injector, memeriksa akurasi sensor (tekanan & suhu), menguji pola semprotan injektor pada *mode pilot* dan *main injection*, mengevaluasi kestabilan tekanan pada rail saat proses injeksi, serta menguji respons aktuator terhadap sinyal kontrol.

Tabel 1. Hasil Pengujian Trainer Injector Nozzle Diesel

Parameter	Satuan	Hasil Pengujian
Kode Injektor	-	A
Jenis injektor	-	Common rail solenoid injektor
Tipe Nozzle	-	Denso
Tegangan operasi	-	110 V AC
Jenis bahan bakar	-	Solar
Tekanan rail bahan bakar (maksimum)	MPa	30 MPa
Tekanan rail bahan bakar (minimum)	MPa	25 MPa
Jumlah pemompaan	kali	10
Waktu per pemompaan	sekon	16,45
Volume penyemprotan	ml	1,48
Lama waktu penyemprotan tiap siklus	ms	5,0
Frekuensi penyemprotan per detik	Hz	20
Pola semprotan	-	Fokus dan merata

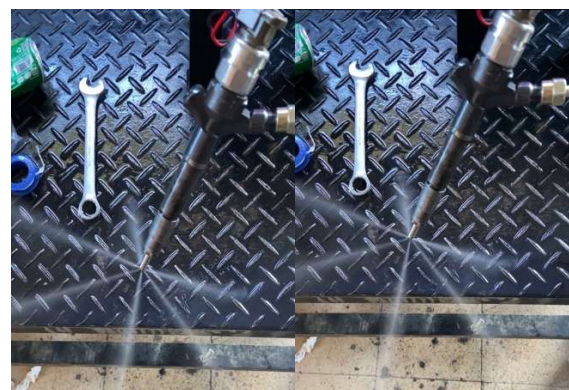
Parameter	Satuan	Hasil Pengujian
Kebocoran	-	Tidak terdapat kebocoran pada injektor
Status kinerja	-	Optimal

Analisa Hasil Pengujian Trainer Injector Nozzle Diesel

Hasil pengujian *Trainer Injector Nozzle Diesel* dengan kode injektor A, menggambarkan bahwa untuk waktu pengujian beberapa siklus selama kurang lebih 5 menit diperoleh tekanan rail bahan bakar sebesar 30 MPa, jumlah pemompaan sebanyak 10 kali, waktu pemompaan 16,45 detik, debit penyemprotan 1,48 ml, frekuensi penyemrotan per detik sebesar 20 Hz, lama waktu penyemprotan tiap siklus 5,0 MS dapat disimpulkan bahwa pola semprotannya fokus dan merata dan juga tidak terdapat kebocorn pada injektor sehingga dapat dikatakan status kinerja dari *trainer injector Nozzle diesel* yang penulis dan tim buat bekrja optimal. Disampingitu juga hasil pengujian memenuhi semua kriteria lulus uji yang ditentukan, dengan kata lain *trainer injector Nozzle diesel* berfungsi dengan baik dan memenuhi semua kriteria lulus uji selama proses pengujian berlangsung.

Pengujian Penyemprotan Nozzle

Adapun hasil pengamatan visualisasi semprotan dari nozzle diesel berbasis tekanan yang dibuat adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Hasil Penyemprotan

Analisa Hasil Visualisasi Semprotan Nozzle Diesel Berbasis Tekanan

Dari hasil pengamatan visualisasi semprotan Nozzle Diesel Berbasis tekanan maka analisisnya sebagai berikut:

Pola semprotan (spray pattern)

Dari gambar dokumentasi terlihat bahwa *Multi-hole Nozzle* (beberapa lubang) yang semprotannya membentuk kipas radial simetris ($\pm 6-7$ jet terlihat), dimana setiap jet relatif lurus tidak menyebar berlebihan di dekat ujung Nozzle. Ini menandakan bahwa distribusi lubang Nozzle masih cukup seragam dan tidak ada lubang yang benar-benar mati.

Sudut Semprotan (spray cone angle)

Sudut total semprotan kira-kira $120-150^\circ$ dimana jet menyebar merata dari pusat. Sudut seperti ini merupakan ciri khas dari injektor diesel tekanan menengah-tinggi dan cocok untuk pencampuran udara-bahan bakar yang baik di ruang bakar.

Panjang Penetrasi Semprotan

Jet menembus cukup jauh sebelum menyebar tidak langsung “pecah” di dekat Nozzle, yang merupakan ciri dari: tekanan injeksi masih kuat, cocok untuk mesin diesel konvensional. Jika tekanan rendah maka, semprotan pendek dan mudah jatuh ke bawah karena gravitasi lebih dominan.

Simetri & indikasi kondisi Nozzle

Tidak ada jet yang membelok tajam, Tidak terlihat “*dribble*” atau tetesan besar, sehingga terindikasi: Ada sedikit variasi ketebalan antar jet → awal keausan lubang atau deposit karbon ringan namun belum tergolong parah.

Perbandingan dua gambar hasil pengamatan

Jika kita bandingkan gambar pertama: jet terlihat sedikit lebih menyebar dan gambar kedua: jet tampak lebih fokus dan panjang, kemungkinan penyebabnya: Fluktuasi tekanan pompa, Perbedaan durasi semprot atau perubahan viskositas fluida uji.

Dengan demikian maka, berdasarkan visual dapat disimpulkan bahwa:

- Tekanan injeksi: menengah ke tinggi
- Pola semprotan: baik dan simetris
- Atomisasi: cukup, belum optimal high-pressure

Nozzle: layak pakai, tapi mulai perlu *cleaning/flow test*

Dengan rentang tekanan 0-600 bar dan 0-8000 psi maka;

- Klasifikasi Sistem Injeksi
Rentang maks 600 bar / 8000 psi menunjukkan bahwa Nozzle yang digunakan bukan untuk common rail modern (biasanya 1200–2500 bar). Injektor diesel mekanikal / unit injektor lama yang secara umum digunakan pada truk & bus generasi lama, genset industri, alat berat jenis lama dan mesin kapal kecil-menengah
- Hubungan Tekanan Berdasarkan Visual Semprotan
Pada tekanan 0–100 bar; belum terjadi atomisasi, bahan bakar menetes / jet lemah, tidak relevan untuk pembakaran normal.
Pada tekanan 100–250 bar; jet mulai terbentuk, semprotan masih kasar dan panjang, *droplet* besar biasanya *idle / start*. Sehingga visual yang diharapkan: garis jet jelas dan sudut semprotan sempit.
Pada Tekanan 250–400 bar; zona kerja optimal, atomisasi mulai baik, sudut semprot stabil & simetris. Sehingga berdasarkan ciri visual dari hasil dokumentasi terlihat bahwa, jet terlihat jelas tapi mulai ada kabut, penetrasi cukup jauh, pola *multi-hole* konsisten.
Pada tekanan 400–600 bar; atomisasi lebih halus, jet individual mulai “pecah”, kabut dominan, jika diuji di tekanan ini maka: pola masih simetris atau dengan kata lain Nozzle sangat sehat, pola pecah / tidak seimbang dengan kata lain lubang aus atau mengalami erosi.
Estimasi tekanan
Berdasarkan dokumentasi hasil pengamatan maka terlihat; jet masih terlihat tegas, kabut belum dominan, penetrasi cukup panjang. Sehingga estimasi tekanan semprot: 300–450 bar ($\approx 4.300 - 6.500$ psi)
Analisa Kondisi Nozzle
Secara umum kondisi Nozzle baik jika sudut antar jet konsisten, tidak ada tetesan besar, tidak ada jet miring. Indikasi mulai aus: satu jet lebih gemuk, sudut sedikit melebar, kabut tidak merata.
Dari hasil pengamatan maka disimpulkan bahwa; Nozzle masih layak, disarankan

ultrasonic cleaning, uji opening pressure & leak-down.

Untuk Nozzle yang digunakan dan dari hasil pengamatan pada saat pengujian terlihat bahwa kondisi Nozzle masih positif atau baik, tidak ada *dribbling*, tidak ada jet bengkok, distribusi lubang cukup seimbang. Walaupun masih ada beberapa catatan penting antara lain; automisasi belum “fog” dengan kata lain masih normal di 600 bar, ada variasi kecil antar jet. Sehingga secara umum status nozzle masih layak pakai, namun perlu untuk kalibrasi ulang

Parameter Referensi

Parameter : 4D56 / 4M41

Tipe : Denso CR

Jumlah lubang : 6

Tekanan mesin : 1200–1800 bar

Tekanan bench : 300–600 bar

Pola ideal bench : Jet simetris + kabut ringan.

PENUTUP

1. Semprotan membentuk kipas radial simetris (terlihat 6–7 jet) dengan arah yang fokus dan merata. Setiap jet relatif lurus, tidak menyebar secara berlebihan di dekat ujung nozzle, serta tidak membelok tajam. Distribusi lubang nozzle dinilai seimbang dan seragam, serta tidak ada lubang yang mati. Sudut total semprotan berkisar antara 120°–150° dengan jet yang menyebar merata dari pusat. Panjang penetrasi jet cukup jauh sebelum menyebar (tidak langsung “pecah” di dekat nozzle), yang mengindikasikan tekanan injeksi masih kuat dan berada pada estimasi tekanan semprot 300–450 bar. Pengujian secara visual menunjukkan kondisi nozzle masih positif atau baik, tidak terjadi *dribbling* (tetesan besar/kebocoran), dan tidak ada jet yang bengkok. Meski demikian, terdapat variasi ketebalan kecil antar jet yang mengindikasikan adanya awal keausan lubang atau deposit karbon ringan sehingga disarankan untuk dilakukan pembersihan ulang (*ultrasonic cleaning*) atau kalibrasi.
2. Alat *trainer injector nozzle diesel* yang dibuat dinyatakan bekerja secara optimal dan berfungsi dengan baik. Semua hasil pengujian memenuhi kriteria lulus uji yang telah ditentukan. Pada pengujian beberapa

siklus selama kurang lebih 5 menit menggunakan injektor kode A (*Common rail solenoid injector*), sistem mampu mencapai tekanan maksimum rail bahan bakar sebesar 30 MPa (dengan tekanan minimum 25 MPa). Pengujian menunjukkan respons yang stabil dengan jumlah pemompaan sebanyak 10 kali dalam waktu 16,45 detik. Volume penyemprotan tercatat sebesar 1,48 ml dengan frekuensi penyemprotan sebesar 20 Hz, dan lama waktu penyemprotan (durasi) tiap siklus adalah 5,0 millisecond. Evaluasi menunjukkan tidak terdapat kebocoran (*leakage*) sama sekali pada injektor selama proses pengujian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmat, B., Sa, A., & Bungin, S. S. (2024). Mekanisme Kinerja dan Kualitas Perawatan Injector Mesin Induk di Kapal KMP . Merak PT . ASDP Indonesia Ferry. 5(1), 5–12.
- Adlini, M. N., Dinda, A. H., Yulinda, S., & Chotimah, O. (2022). METODE PENELITIAN STUDI PUSTAKA. 6(1), 974–980.
- Ashari, A., Wahab, A., & Marlina, E. (n.d.). Pengaruh Variasi Tekanan Injektor Dan Putaran Terhadap Performa Dan Gas Buang Pada Motor Diesel.
- Christian, R., Diesel, K., & Diesel, R. (1913). Sejarah Mesin Diesel. 3–5.
- Daud. (2014). PERANCANGAN ULANG ALAT PENGUJI INJEKTOR MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN METODE KAIZEN DI LAB MOTOR DIESEL JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA Daud. 7–14.
- Halimah, D. W. I. N. U. R. (2020). Perawatan injektor meningkatkan performa diesel generator di mt. serang jaya.
- Helena Hotmauli Sinaga, Benedikta Anna Haulian Siboro, Chrisdio Marbun, Herlina, Y., Pratama, G., & Wasposito, F. (2019). Mengamati Turunnya Kinerja Injector Motor Induk Di Kapal KM . Zaisan. I(1), 1– 9.
- Muchta, A. (2017). Sepuluh Komponen Utama Mesin Diesel.
- Musyaddad, I. Al, & Pratama, R. (2022).

- Pengaruh Kerja injektor Pada Proses Pembakaran Mesin Diesel. 1, 51–57.
- Prasetyadi, J. (n.d.). Tipe-tipe Nozzle Injector Diesel.
- Prihatin, J., Amin, I., Pambudi, S., & Karminto. (2023). Pengaruh viskositas bbm, jarak dan kecepatan pemompaan terhadap performa tekanan hidrolik injektor mesin diesel. 8, 32–38.
- Purwanto, F. (2014). Analisa Pengaruh Tekanan Pembukaan Injector (Nosel) Terhadap Kinerja Mesin Pada Motor Diesel Injeksi Tidak Langsung/Indirect Injection.
- Rafael, E., & Wilson, R. (2015). Failure in Fuel Injector Nozzles Used in Diesel Engines. January. <https://doi.org/10.17265/2159-5275/2015.05.005>
- Santoso, Purwoko, & Anugrah, A. (n.d.). Analisis Jumlah Lubang Injektor Dan Nilai Oktan Terhadap Kinerja Motor Bensin. 53– 59.
- Su, W., & Liu, E. (2019). Study on Effects of Common Rail Injector Drive. c. <https://doi.org/10.3390/en12030564>
- Sugiyono. (2017). Metode Penelitian.
- Wibawa, I. W. S., Bagus, I. G., Kusuma, W., & Nyoman, I. (2015). Uji Variasi Tekanan Nosel Terhadap Karakteristik Semprotan Bahan Bakar Biodiesel. 1(2), 35–44.
- Yanuar, P., Khoryanton, A., & Oktariza, G. (2021). Rancang Bangun Alat Uji Injektor Nozzle Spray Semi Otomatis Padang. 16(2), 279–285.