



Analisis Kinerja dan Efisiensi Alat Uji *Nozzle Injector* Diesel Berbasis Limbah *Hydraulic Jack*

Julianro Elvis Sunbanu¹, Damianus Manesi^{1*}, Wofrid E. Bianome¹

Sitasi: J. E. Sunbanu, D. Manesi, and W. E. Bianome. (2026). Analisis Kinerja dan Efisiensi Alat Uji *Nozzle Injector* Diesel Berbasis Limbah *Hydraulic Jack*. J-TETA: Jurnal Teknik Terapan, vol. 5, no. 1, hlm. 48 – 57.



Copyright: © 2026 oleh para penulis. Karya ini dilisensikan di bawah Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License. (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

¹ Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Nusa Cendana, Kupang

* Korespondensi: damianus.manesi@staf.undana.ac.id

Abstract: *The limited availability of affordable and reliable diesel nozzle injector testing devices remains a significant constraint in small-scale workshops and mechanical engineering laboratories. In fact, the performance of a nozzle injector plays a critical role in determining fuel atomization quality, which directly affects combustion efficiency and exhaust emissions. This study aims to develop and evaluate the performance of a diesel nozzle injector testing device based on a recycled hydraulic jack as a cost effective and appropriate technology solution. The research employed a Research and Development (R&D) method with an experimental approach, including system design using SketchUp software, prototype fabrication and assembly, and performance testing. Experiments were conducted in five repetitions for each parameter, measuring maximum pressure, pressure stability after 10 seconds (P10s), and spray characteristics in terms of angle and width. The data were analyzed quantitatively using mean, standard deviation, coefficient of variation, as well as efficiency and effectiveness calculations. The results show that the device achieved an average pressure of 257 kg/cm² with a coefficient of variation below 20% and a pressure drop of approximately 7%, which falls within the standard operating range of conventional diesel nozzles (200-300 kg/cm²). The spray pattern exhibited a fan shape with an average angle of 19.67° and a width of 10.4 cm, indicating stable atomization performance. The system efficiency reached 93%, while the effectiveness was 33.3%, suggesting the need for improvement in pressure control.*

Keywords: *Nozzle Injector; Hydraulic Jack; Hydraulic Pressure; Efficiency; Effectiveness*

Abstrak: Keterbatasan ketersediaan alat uji nozzle injector diesel yang ekonomis dan representatif masih menjadi kendala di bengkel skala kecil maupun laboratorium pendidikan teknik mesin. Padahal, kinerja nozzle injector sangat menentukan kualitas atomisasi bahan bakar yang berdampak langsung pada efisiensi pembakaran dan emisi gas buang. Penelitian ini bertujuan mengembangkan serta mengevaluasi kinerja alat uji nozzle injector diesel berbasis limbah hydraulic jack sebagai solusi teknologi tepat guna yang murah dan fungsional. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan pendekatan eksperimental, meliputi tahapan perancangan sistem menggunakan perangkat lunak SketchUp, pembuatan dan perakitan prototipe, serta pengujian performa alat. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk setiap parameter dengan mengukur tekanan maksimum, kestabilan tekanan setelah 10 detik (P10s), serta karakteristik pola semprotan berupa sudut dan lebar semprotan. Data dianalisis secara kuantitatif menggunakan nilai rata-rata, simpangan baku, dan koefisien variasi, serta perhitungan efisiensi dan efektivitas sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat mampu menghasilkan tekanan rata-rata sebesar 257 kg/cm² dengan koefisien variasi di bawah 20% dan penurunan tekanan sekitar 7%, yang masih berada dalam rentang standar kerja nozzle diesel (200-300 kg/cm²). Pola semprotan berbentuk kipas dengan sudut rata-rata 19,67° dan lebar 10,4 cm menunjukkan atomisasi yang stabil. Efisiensi sistem mencapai 93%, sedangkan efektivitas sebesar 33,3% mengindikasikan perlunya peningkatan pada kontrol tekanan.

Kata Kunci: *Nozzle Injector; Hydraulic Jack; Tekanan Hidrolik; Efisiensi; Efektivitas*

1. Pendahuluan

Dalam dua puluh tahun terakhir, teknologi sistem injeksi bahan bakar pada mesin diesel telah mengalami kemajuan yang menunjukkan peningkatan presisi tekanan dan kualitas atomisasi. Hal ini dilakukan sebagai tanggapan terhadap tuntutan yang semakin ketat terhadap emisi dan efisiensi energi. Kinerja *nozzle* injector sangat penting karena berperan langsung dalam menentukan kualitas proses pembakaran di ruang bakar [1] serta homogenitas campuran udara-bahan bakar [2]. Atomisasi yang tidak optimal dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna, peningkatan konsumsi bahan bakar, dan peningkatan emisi partikulat dan NO_x [3]. Akibatnya, pengujian kinerja *nozzle* injector harus dilakukan secara khusus pada aspek tekanan buka, kestabilan tekanan, dan pola semprotan.

Pada sistem bahan bakar diesel, instruktur harus memiliki kedua pengetahuan teoretis dan pengalaman praktis dalam pengujian komponenn [4]. Namun, kenyataannya, banyak bengkel tidak memiliki alat uji *nozzle* injector yang layak. Kondisi ini menyebabkan proses perbaikan sering kali menjadi tidak maksimal dan bahkan menimbulkan keluhan dari para pelanggan. Kondisi ini juga secara tidak langsung mendorong mekanik untuk melakukan inovasi untuk mengatasi masalah teknis ini.

Tren global saat ini menunjukkan bahwa ekonomi sirkular dan pengelolaan limbah menciptakan peluang untuk inovasi dalam rekayasa alat berbasis komponen bekas yang masih berguna [5]. Menurut hukum Pascal, jack hidrolik lama masih memiliki sistem hidrolik bertekanan tinggi, karena itu masih dapat digunakan sebagai sumber tekanan alternatif [6]. Dengan cara yang sama, penelitian yang dilakukan oleh Prihatin et al. [7] menunjukkan bahwa viskositas fluida dan mekanisme pemompaan memengaruhi karakteristik tekanan sistem hidrolik, yang berarti bahwa meningkatkan performa tekanan dapat dicapai melalui pengoptimalan desain. Tekanan maksimum yang dicapai dalam penelitian ini, bagaimanapun, masih relatif kecil dan belum sepenuhnya mendekati rentang tekanan kerja *nozzle* diesel standar.

Tekanan kerja *nozzle* injector konvensional berada biasanya pada kisaran 200–300 kg/cm², Sudarso [8] dan Manesi [9]. Oleh karena itu, alat uji alternatif harus mampu mencapai dan mempertahankan tekanan dalam rentang ini agar relevan secara pedagogis dan teknis. Sampai saat ini, literatur nasional masih sangat terbatas tentang penelitian yang secara khusus mengembangkan alat uji *nozzle* injector berbasis limbah *hydraulic jack* yang melibatkan analisis kuantitatif terhadap efisiensi dan efektivitas kinerjanya. Sebagian besar penelitian hanya berfokus pada aspek modifikasi sistem hidrolik tanpa melakukan evaluasi menyeluruh terhadap kestabilan tekanan dan sifat pola semprotan yang dapat diukur [10].

Menurut uraian tersebut, ada kesenjangan penelitian, atau gap penelitian, antara kebutuhan untuk alat uji *nozzle* injector yang efisien dan ekonomis untuk bidang teknik. Hal ini disebabkan oleh ketersediaan perangkat komersial yang mahal dan jumlah studi eksperimental yang terbatas yang menilai secara menyeluruh kinerja alat modifikasi berbasis limbah *hydraulic jack*. Selain itu, tidak banyak penelitian yang menggabungkan kualitas pola semprot, kestabilan jangka pendek (juga dikenal sebagai *drop pressure*), dan analisis efisiensi tekanan ke dalam sistem pengujian terpadu yang berbasis pada pendekatan penelitian dan pengembangan (R&D) [11].

Penggunaan jack *hydraulic* limbah sebagai sumber tekanan alternatif yang direkayasa ulang untuk mencapai rentang tekanan standar *nozzle* diesel; pengujian kuantitatif yang mencakup analisis efektivitas, efisiensi, kestabilan tekanan (P10s), dan karakteristik sudut dan lebar semprotan; dan kontribusi terhadap pengembangan alat pengujian berbasis teknologi tepat guna yang sesuai dengan prinsip inovasi dan keberlanjutan dapat menambah kebaruan metode dalam penelitian ini. Metode ini juga memperhatikan aspek fungsional alat serta validasi kinerja teknis yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Penelitian ini semakin penting karena pentingnya menyediakan sarana pengujian alat yang kontekstual, relevan, dan ekonomis untuk meningkatkan servis pada pekerjaan sistem bahan bakar diesel di bengkel. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan mengevaluasi kinerja alat uji *nozzle* injector diesel berbasis limbah *hydraulic jack*. Ini akan dilakukan dengan melakukan analisis tekanan maksimum, kestabilan tekanan, efisiensi, efektivitas, dan kualitas

pola semprotan bahan bakar. Hasil penelitian diharapkan dapat membantu dalam pembangunan laboratorium pendidikan teknik mesin yang inovatif, berkelanjutan, dan berbasis rekayasa terapan.

Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada pengembangan alat uji nozzle injector diesel berbasis limbah hydraulic jack yang dianalisis secara komprehensif melalui beberapa parameter kinerja, yaitu tekanan maksimum, kestabilan tekanan jangka pendek (P10s), karakteristik pola semprotan (sudut dan lebar), serta efisiensi dan efektivitas sistem. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada capaian tekanan sistem hidrolis, penelitian ini mengintegrasikan analisis performa tekanan dan kualitas atomisasi dalam satu sistem pengujian terpadu berbasis pendekatan Research and Development (R&D). Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menawarkan solusi alat uji yang ekonomis, tetapi juga memberikan kontribusi ilmiah berupa evaluasi kuantitatif yang lebih menyeluruh terhadap kinerja alat uji nozzle injector.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan eksperimental sebagaimana dijelaskan oleh Sugiyono [11]. Tahapan penelitian meliputi perancangan alat, pembuatan prototipe, serta pengujian performa alat terhadap tekanan dan pola semprotan bahan bakar.

2.2. Alat dan Bahan

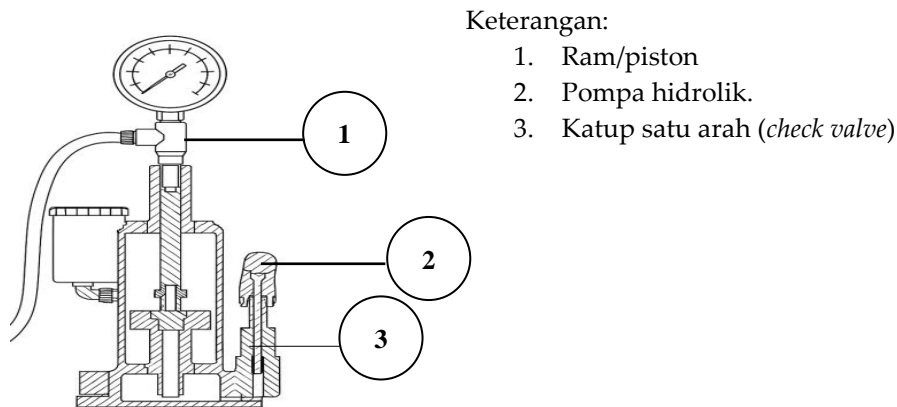
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam tabel 1 berikut .:

Tabel 1. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
1. Limbah <i>hydraulic jack</i>	1. Oli hidrolis
2. <i>Nozzle injector</i>	2. Bahan bakar diesel
3. <i>Pressure gauge</i>	3. Plat besi,
4. Pipa <i>nozzle</i> ,	4. Baut,
5. Nepel pipa	5. Mur
6. Sambungan T,	6. Seal.
7. <i>Double nepel</i> ,	
8. Fitting.	
9. Multimeter	
10. Stopwatch.	
11. Mesin Las	
12. Laptop dan Software Sketchup	

2.3. Prosedur Pengembangan dan Pengujian

Prosedur pengembangan dalam penelitian ini mengacu pada model *Research and Development* (R&D) yang terdiri atas beberapa tahapan, yaitu studi literatur terkait sistem hidrolis, *nozzle injector*, serta pemanfaatan limbah *hydraulic jack*, dilanjutkan dengan tahap perancangan alat [11]. Perancangan alat dilakukan menggunakan perangkat lunak SketchUp untuk menghasilkan desain konseptual dan teknis yang terstruktur. Representasi desain sistem ditunjukkan pada **Gambar 1**, yang memperlihatkan penampang potong dari alat uji yang dikembangkan.

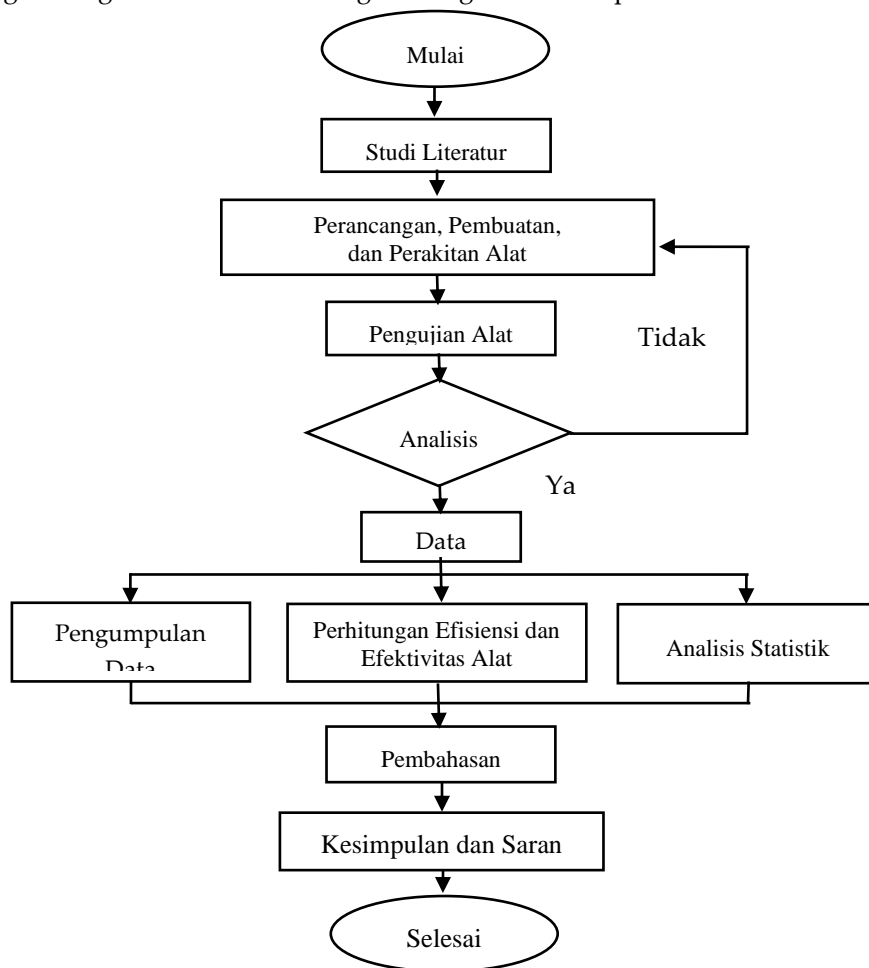


Gambar 1. Gambar Penampang Potong

Gambar 1 menunjukkan konfigurasi utama sistem yang terdiri atas ram/piston sebagai penghasil tekanan, pompa hidrolik sebagai sumber energi fluida, serta katup satu arah (*check valve*) yang berfungsi menjaga kestabilan aliran dan tekanan fluida dalam sistem. Susunan komponen ini dirancang untuk memastikan distribusi tekanan yang merata sesuai dengan prinsip hukum Pascal, sehingga tekanan yang dihasilkan dapat diteruskan secara optimal menuju *nozzle injector* selama proses pengujian.

2.4. Diagram Alir Penelitian

Penelitian pengembangan ini dilakukan dengan mengikuti alur seperti dalam Gambar 2 berikut :



Gambar 2. Diagram Alir

2.5. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif dengan menghitung rata-rata, simpangan baku, dan koefisien variasi. Efisiensi alat dihitung dari perbandingan antara tekanan keluaran aktual dan tekanan teoritis, sedangkan efektivitas dilihat dari kestabilan tekanan serta kualitas pola semprotan bahan bakar [12].

Data dianalisis secara kuantitatif menggunakan parameter statistik dan kinerja sistem sebagai berikut:

1. Rata-rata (mean)

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

2. Simpangan Baku (*Sample Standard Deviation, S*)

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - P_{bar})^2}$$

3. Koefisien Variasi (CV)

$$CV (\%) = \frac{S}{\bar{p}} \times 100\%$$

4. Efisiensi

$$Efisiensi (\eta) = \frac{Basic Output}{Basic Input} \times 100\%$$

Efisiensi alat dihitung dengan membandingkan energi yang dihasilkan oleh sistem dengan energi yang dimasukkan.

5. Efektivitas

$$Efektifitas = \frac{Semprotan yang optimal}{Total Semprotan} \times 100\%$$

Sedangkan, efektivitas alat diukur berdasarkan kemampuan alat dalam menghasilkan pola semprotan yang optimal. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali pengulangan untuk setiap parameter guna meningkatkan reliabilitas data dan mengurangi pengaruh kesalahan acak (random error). Jumlah pengulangan ini dianggap cukup untuk analisis statistik sederhana pada skala laboratorium, terutama dalam menghitung nilai rata-rata, simpangan baku, dan koefisien variasi.

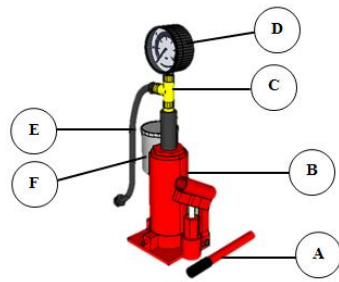
3. Hasil dan Pembahasan

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Rancang Bangun Alat Uji Nozzle Injector Diesel

Gambar 3 menunjukkan desain konseptual alat uji menggunakan perangkat lunak *SketchUp*, dan yang sudah direalisasikan dalam bentuk alat siap pakai. Secara konstruktif, sistem terdiri atas *hydraulic jack* kapasitas 2 ton sebagai sumber tekanan, *pressure gauge* sebagai indikator tekanan aktual, serta sistem sambungan pipa dan fitting menuju *nozzle injector*. Desain ini mengadopsi prinsip hukum Pascal, di mana tekanan yang diberikan pada fluida tertutup akan diteruskan secara merata ke segala arah [9].

Dari sisi rekayasa, penggunaan *hydraulic jack* bekas tetap mempertahankan sistem silinder dan seal internal, sehingga kehilangan tekanan (*pressure loss*) dapat diminimalkan. Hal ini berbeda dengan penelitian Hermawan [6], yang memanfaatkan *hydraulic jack* sebagai sumber tekanan umum, namun tidak secara spesifik diintegrasikan dengan sistem pengujian *nozzle injector* diesel. Penelitian ini menunjukkan integrasi yang lebih sistematis, termasuk kedudukan *nozzle* dan sistem distribusi fluida yang lebih presisi.



Keterangan:

- A. Tuas Pemompa
- B. Hydraulic Jack 2 Ton Bekas
- C. Sambungan T
- D. Pressure Gauge
- E. Selang/Pipa Nozzle
- F. Reservoir

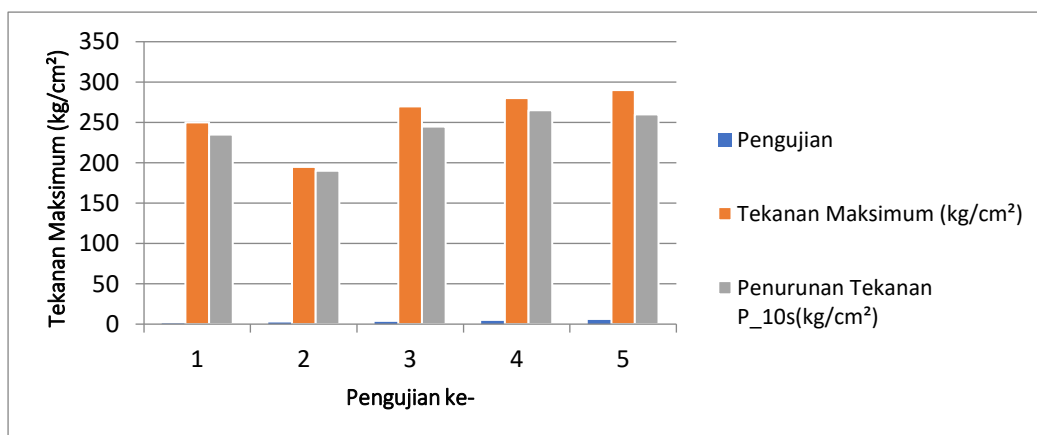
Gambar 3. Bentuk fisik dari alat uji *nozzle injector* yang telah selesai dirakit.

Secara teknis, desain ini memiliki keunggulan pada kesederhanaan mekanisme dan kemudahan perawatan, sehingga relevan untuk bengkel kecil atau laboratorium teknik mesin. Pendekatan ini juga selaras dengan konsep teknologi tepat guna yang ekonomis dan aplikatif dalam pembelajaran vokasi.

3.2. Analisis Tekanan Maksimum dan Kestabilan

Tabel 2. Data tekanan maksimum dan P10s

Pengujian	Tekanan Maksimum (kg/cm ²)	Penurunan Tekanan P_10s (kg/cm ²)
1	250	235
2	195	190
3	270	245
4	280	265
5	290	260



Gambar 4. Grafik tekanan maksimum dan P10s

Data pada tabel 2 dan visualisasinya pada gambar 4 memperlihatkan grafik tekanan maksimum dan tekanan setelah 10 detik (P10s). Lebih lanjut, data pada tabel 3 dibawah menunjukkan bahwa dari lima kali pengujian, tekanan

maksimum rata-rata mencapai 257 kg/cm² dengan simpangan baku 37,68 kg/cm² dan koefisien variasi 14,66%. Nilai ini berada dalam rentang standar tekanan kerja *nozzle* diesel konvensional, yaitu 200-300 kg/cm² [8], [13]. Artinya, secara fungsional alat telah memenuhi syarat minimum sebagai alat uji tekanan *nozzle*.

Tabel 3. Ringkasan kestabilan tekanan

Parameter	Rata-rata (kg/cm ²)	Simpangan Baku	Koefisien Variasi (%)
Tekanan Maksimum	257	37.68	14.66
P10s	239	29.87	12.5

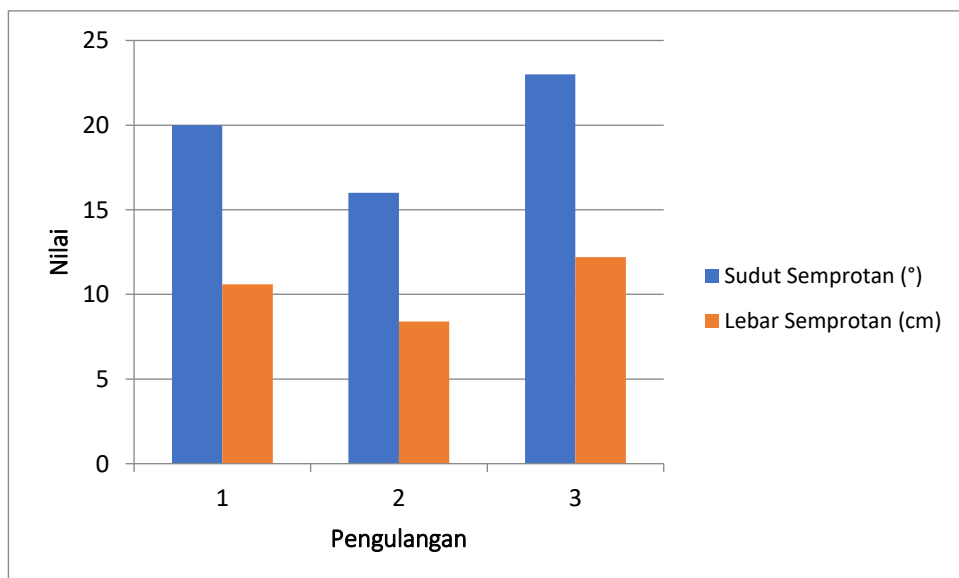
Penurunan tekanan rata-rata dari 257 kg/cm² menjadi 239 kg/cm² (sekitar 7%) dalam 10 detik menunjukkan kestabilan sistem hidrolik yang relatif baik. Koefisien variasi P10s sebesar 12,5% mengindikasikan konsistensi performa antar pengujian masih dalam batas toleransi laboratorium (<20%).

Jika dibandingkan dengan penelitian Prihatin [7], yang melaporkan tekanan maksimum sistem hidrolik modifikasi sebesar ±145 kg/cm², capaian tekanan pada penelitian ini jauh lebih tinggi dan mendekati kondisi kerja aktual mesin diesel. Perbedaan ini diduga dipengaruhi oleh optimasi sistem sambungan, kualitas seal, serta rasio luas penampang piston terhadap *nozzle*. Selain itu, penelitian ini menggunakan konfigurasi sistem tertutup yang lebih minim kebocoran. Hasil ini menunjukkan bahwa secara komparatif, alat yang dikembangkan memiliki performa tekanan yang lebih representatif terhadap sistem bahan bakar diesel konvensional dibandingkan studi sebelumnya.

3.3. Analisis Sudut, Lebar, dan Pola Semprotan

Tabel 4. Data sudut dan lebar semprotan *nozzle*

Ulangan	Sudut Semprotan (°)	Lebar Semprotan (cm)
1	20	10.6
2	16	8.4
3	23	12.2
Rerata	19,67	10,4



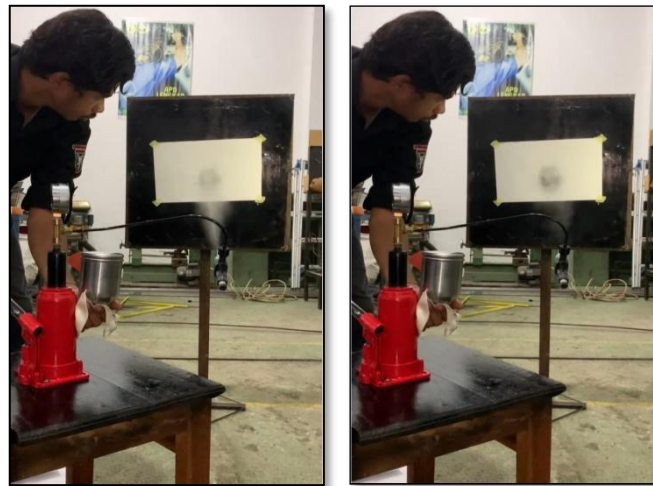
Gambar 5. Grafik sudut dan lebar semprotan *nozzle*

Tabel 4 dan Gambar 5 menunjukkan grafik sudut dan lebar semprotan *nozzle*. Hasil pengujian memperlihatkan sudut semprotan rata-rata 19,67° dengan variasi antara 16°-23°. Nilai ini masih berada dalam rentang ideal *nozzle* tipe pintle (18°-22°) sebagaimana dijelaskan dalam literatur sistem injeksi diesel [14].

Lebar semprotan rata-rata sebesar 10,4 cm menunjukkan distribusi bahan bakar berbentuk kipas (*fan-shape*) yang relatif simetris. Koefisien variasi sudut (17,38%) dan lebar semprotan (18,35%) masih berada di bawah 20%, sehingga dapat dikategorikan stabil untuk skala kecil atau laboratorium.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang hanya berfokus pada capaian tekanan [6], penelitian ini memberikan kontribusi tambahan berupa analisis kuantitatif karakteristik spray pattern. Hal ini penting karena kualitas atomisasi tidak hanya ditentukan oleh tekanan maksimum, tetapi juga oleh konsistensi distribusi bahan bakar [8].

Secara teknis, variasi kecil pada sudut semprotan kemungkinan dipengaruhi oleh fluktuasi mikro tekanan saat proses pemompaan manual. Ini menjadi indikator bahwa sistem kontrol tekanan masih dapat ditingkatkan, misalnya melalui penambahan katup kontrol atau sistem peredam getaran tekanan.



Gambar 6. Pola semprotan *nozzle*

Gambar 6 menunjukkan pola semprotan *nozzle* berbentuk kipas (*fan-shape*) yang relatif simetris dengan distribusi bahan bakar merata serta tanpa gejala dribbling atau penyimpangan arah semprotan, yang menandakan mekanisme pembukaan dan penutupan jarum *nozzle* bekerja responsif. Pola ini konsisten dengan tekanan rata-rata 257 kg/cm² yang berada dalam rentang standar sistem diesel konvensional (200–300 kg/cm²) [1], sehingga secara fungsional atomisasi telah mendekati karakteristik teoritis [14]. Dibandingkan penelitian sebelumnya yang hanya menitikberatkan pada capaian tekanan tanpa evaluasi visual spray pattern [6], [7], hasil ini memberikan validasi lebih komprehensif karena menghubungkan parameter tekanan dengan kualitas semprotan secara langsung. Meskipun pengamatan masih bersifat makro visual dan belum menganalisis ukuran droplet secara presisi, stabilitas bentuk dan sudut semprotan memperkuat bahwa modifikasi *hydraulic jack* bekas mampu menghasilkan performa atomisasi yang layak untuk pengujian tekanan injeksi dan kualitas pembakaran.

3.4. Efisiensi dan Efektivitas Alat

Tabel 5. Efisiensi dan efektivitas alat uji

Parameter	Nilai (%)
Efisiensi	93
Efektivitas	33.3

Tabel 5 dan gambar 7 di atas menunjukkan efisiensi alat yang mencapai 93%, yang berarti bahwa energi tekanan yang dihasilkan *hydraulic jack* tersalurkan secara efektif menuju *nozzle injector*. Namun, efektivitas sebesar 33,3% memperlihatkan bahwa masih terdapat aspek yang dapat ditingkatkan, terutama terkait kontrol tekanan dan karakteristik *spray* yang lebih presisi untuk mendekati kondisi uji profesional [12]. Meskipun demikian, nilai efisiensi yang tinggi membuktikan bahwa alat ini cukup layak digunakan pada kegiatan praktikum dan penelitian dasar, dimana hasil penelitian ini juga sejalan dengan temuan penelitian yang dilakukan oleh Stone [12], yang memanfaatkan *hydraulic jack* sebagai sumber tekanan namun hanya mencapai 145 kg/cm². Perbaikan desain kedudukan *nozzle* dan sambungan hidrolik pada penelitian ini memungkinkan peningkatan kapabilitas alat modifikasi [12]. Selain itu, temuan

ini mendukung studi [7], yang menyatakan bahwa kecepatan pemompaan serta viskositas bahan bakar berpengaruh pada performa tekanan sistem hidrolik.

Secara umum, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa limbah *hydraulic jack* dapat dimanfaatkan sebagai sumber tekanan alternatif yang ekonomis dan fungsional untuk pengujian *nozzle* diesel. Selain mendukung kegiatan pembelajaran mengenai prinsip hukum Pascal dan sistem hidrolik, penggunaan limbah industri sebagai alat fungsional juga berkontribusi terhadap penerapan konsep *circular economy* dan keberlanjutan (SDGs), khususnya pada aspek inovasi industri dan produksi berkelanjutan.

Nilai efektivitas sebesar 33,3% menunjukkan bahwa sistem masih memiliki keterbatasan dalam mempertahankan kestabilan tekanan secara optimal. Hal ini diduga disebabkan oleh beberapa faktor teknis, antara lain sistem pemompaan yang masih dilakukan secara manual sehingga menimbulkan fluktuasi tekanan, kemungkinan adanya kebocoran mikro pada sambungan hidrolik, serta belum adanya komponen pengontrol tekanan seperti regulator atau katup stabilisasi. Rendahnya efektivitas ini berimplikasi pada kurang optimalnya konsistensi pola semprotan, meskipun tekanan maksimum yang dihasilkan telah memenuhi standar kerja *nozzle* diesel. Oleh karena itu, peningkatan pada sistem kontrol tekanan menjadi aspek penting dalam pengembangan alat selanjutnya

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain belum dilakukannya pengukuran ukuran droplet secara mikroskopis untuk menganalisis kualitas atomisasi secara lebih detail, sistem kontrol tekanan yang masih bersifat manual, serta belum adanya perbandingan langsung dengan alat uji *nozzle injector* komersial. Keterbatasan ini menjadi peluang untuk pengembangan penelitian selanjutnya agar diperoleh hasil yang lebih komprehensif dan akurat.

4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa alat uji *nozzle injector* diesel berbasis limbah *hydraulic jack* mampu mencapai tekanan rata-rata 257 kg/cm² yang berada dalam rentang standar kerja *nozzle* diesel konvensional (200–300 kg/cm²), dengan kestabilan tekanan yang baik ditunjukkan oleh penurunan hanya sekitar 7% dalam 10 detik dan koefisien variasi di bawah 20%. Pola semprotan yang dihasilkan berbentuk kipas (*fan-shape*) relatif simetris dengan sudut rata-rata 19,67° dan lebar semprotan 10,4 cm, menunjukkan karakteristik atomisasi yang mendekati kondisi teoritis serta mendukung kualitas pembakaran yang optimal. Efisiensi sistem yang mencapai 93% mengindikasikan bahwa energi tekanan dari *hydraulic jack* tersalurkan secara efektif menuju *nozzle*, meskipun efektivitas 33,3% menunjukkan masih adanya peluang pengembangan pada aspek kontrol tekanan dan presisi semprotan. Secara komparatif, performa tekanan yang dicapai lebih representatif dibandingkan beberapa penelitian modifikasi sistem hidrolik sebelumnya, sehingga penelitian ini tidak hanya menghadirkan solusi ekonomis dan ramah lingkungan berbasis prinsip *circular economy*, tetapi juga memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan alat praktikum yang fungsional, aplikatif, dan relevan untuk pendidikan teknik mesin serta pengujian sistem injeksi diesel skala laboratorium. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan integrasi sistem kontrol tekanan otomatis serta pengujian pada berbagai jenis *nozzle injector* guna meningkatkan akurasi dan validitas performa alat.

Referensi

- [1] Y. Herlina, G. D. Pratama, and F. Waspodo, "Mengamati turunnya kinerja injector motor induk di kapal KM. Zaisan Star II PT. Zaisan Citra Mandiri," *J. Sains Teknol. Transp. Marit.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2019.
- [2] S. Petrus, "Pengaruh Kerusakan Injektor Pada Sistem Injeksi Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Emisi Gas Buang Pada Kendaraan Ringan 1.500 CC," *Mek. J. Ilm. Bid. Tek. Mesin*, vol. 18, no. 2, pp. 49–59, 2025.
- [3] S. Wulan, "Optimasi Proses Pembakaran Dan Emisi Gas Buang Pada Mesin Pembakaran Internal Dengan Penambahan Aditif Biofuel Berbasis Biomassa Lokal," *TATAL*, vol. 2, no. 01, 2023.
- [4] N. A. Wigraha, K. R. Dantes, and A. Gede, "Engine Diesel: Perbaikan Trainer Untuk Menunjang Pembelajaran Berbasis Proyek (PjBL) BT - Seminar Nasional Riset Inovatif," 2024.
- [5] O. Alfernando *et al.*, *Material Maju Berbasis Lingkungan*.
- [6] R. Hermawan, A. Setiawan, and Septyanto, "Studi Eksperimental Pemanfaatan Limbah *Hydraulic jack* Dalam Sistem Hidrolik," *J. Tek. Mesin*, pp. 67–74, 2021.
- [7] J. Y. Prihatin, I. S. Al Amin, S. Pambudi, and Karminton, "Pengaruh Viskositas BBM, Jarak, dan Kecepatan Pemompaan Terhadap Performa Tekanan Hidrolik Injeksi Mesin Diesel," *JTE*, pp. 32–38, 2023.
- [8] Sudarso, *Teknologi Motor Diesel*. Jakarta: Bumi Aksara, 2019.

-
- [9] D. Manesi, *Elemen Mesin 1 (Untuk Mahasiswa & Umum)*. 2017.
 - [10] I. D. G. A. T. Putra, W. N. Septiadi, D. N. K. P. Negara, and T. G. T. Nindhia, *Atomisasi Ultrasonik Prinsip-prinsip dan Aplikasinya dalam Engineering*. MEGA PRESS NUSANTARA, 2024.
 - [11] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta, 2017.
 - [12] R. Stone, *Introduction to Internal Combustion Engine*. Palgrave Macmillan, 2012.
 - [13] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York: McGraw-Hill, 1998.
 - [14] W. W. Pulkrabek, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Pearson Prentice Hall, 2004.