



Eksperimen Pengaruh Variasi Diameter Nozzle Injektor dan Tekanan Injeksi terhadap Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar Mesin Diesel

Aditya Kris Samudera^{1*}, Alfat Sulistiya Nugraha², Ninik Martini³

¹⁻³ Universitas 17 Agustus Surabaya, Indonesia

Email : adityakrissamudera@gmail.com^{1*}, alfatnugraha35@gmail.com², ninikmartini@untag-sby.ac.id³

*Penulis Korespondensi: adityakrissamudera@gmail.com

Abstract: Diesel engines are widely used in the transportation and industrial sectors due to their high thermal efficiency and good operational durability. However, increased fuel consumption due to inefficiency of the injection system remains a common problem. Injector characteristics, particularly nozzle diameter and injection pressure, are important factors that affect the quality of fuel atomization, air-fuel mixing, and combustion efficiency. An inappropriate combination of parameters can cause suboptimal combustion and increase fuel consumption. This study aims to analyze the effect of variations in nozzle diameter and injection pressure on fuel consumption efficiency in diesel engines. The method used is an experiment with variations in nozzle diameter of 0.150 mm, 0.152 mm, and 0.154 mm and injection pressures of 400 bar, 420 bar, and 440 bar. Tests were conducted at engine speeds of 500 rpm, 1000 rpm, and 1500 rpm with a fuel consumption measurement time of one minute for each parameter combination. Fuel consumption was measured using the volumetric method and analyzed through the fuel volumetric flow rate, fuel mass flow rate, Brake Power (BP), and Brake Specific Fuel Consumption (BSFC). The results showed that the combination of a nozzle diameter of 0.150 mm and an injection pressure of 400 bar produced the lowest BSFC value, thus providing the best fuel consumption efficiency. Meanwhile, the combination of a nozzle diameter of 0.152 mm and an injection pressure of 420 bar showed the closest condition to optimal because it was able to provide a balance between atomization quality and the amount of fuel injected, resulting in efficient and stable combustion. Thus, the efficiency of a diesel engine is influenced by the balance of nozzle size and injection pressure, not solely by the lowest fuel consumption.

Keywords: Common Rail Injection; Diesel Engine; Fuel Consumption; Injection Pressure; Injector Nozzle Diameter.

Abstrak: Mesin diesel banyak digunakan pada sektor transportasi dan industri karena memiliki efisiensi termal yang tinggi serta daya tahan operasional yang baik. Namun, peningkatan konsumsi bahan bakar akibat ketidakefisienan sistem injeksi masih menjadi permasalahan yang sering ditemui. Karakteristik injektor, khususnya diameter nozzle dan tekanan injeksi, merupakan faktor penting yang memengaruhi kualitas atomisasi bahan bakar, pencampuran udara dan bahan bakar, serta efisiensi pembakaran. Kombinasi parameter yang kurang tepat dapat menyebabkan pembakaran tidak optimal dan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi diameter nozzle dan tekanan injeksi terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar pada mesin diesel. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi diameter nozzle sebesar 0,150 mm, 0,152 mm, dan 0,154 mm serta tekanan injeksi 400 bar, 420 bar, dan 440 bar. Pengujian dilakukan pada putaran mesin 500 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm dengan waktu pengukuran konsumsi bahan bakar selama satu menit untuk setiap kombinasi parameter. Konsumsi bahan bakar diukur menggunakan metode volumetrik dan dianalisis melalui laju aliran volumetrik bahan bakar, laju aliran massa bahan bakar, Brake Power (BP), serta Brake Specific Fuel Consumption (BSFC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi diameter nozzle 0,150 mm dan tekanan injeksi 400 bar menghasilkan nilai BSFC terendah sehingga memberikan efisiensi konsumsi bahan bakar terbaik. Sementara itu, kombinasi diameter nozzle 0,152 mm dan tekanan injeksi 420 bar menunjukkan kondisi yang paling mendekati optimal karena mampu memberikan keseimbangan antara kualitas atomisasi dan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, sehingga menghasilkan pembakaran yang efisien dan stabil. Dengan demikian, efisiensi mesin diesel dipengaruhi oleh keseimbangan ukuran nozzle dan tekanan injeksi, bukan semata-mata oleh konsumsi bahan bakar terendah.

Kata Kunci: Diameter Nozzle Injektor; Konsumsi Bahan Bakar; Mesin Diesel; Injeksi Common Rail; Tekanan Injeksi.

1. PENDAHULUAN

Mesin diesel merupakan salah satu mesin yang memiliki keunggulan dalam efisiensi termal, keunggulan dalam operasi, serta ketahanan, mesin diesel banyak diterapkan dan mendominasi pemanfaatan sumber daya di sektor transportasi darat (Fellezia Rahel Violeta Felle, 2025; Setyoko & Heru, 2019). Kinerja dan karakteristik emisi dari mesin diesel sangat dipengaruhi oleh atomisasi serta performa penyemprotan bahan bakar yang terjadi di nozzle injektor. Nozzle injektor salah satu bagian penting dalam mesin diesel. Selain itu jumlah lubang nosel, peningkatan tekanan injeksi, dan diameter lubang sangat berdampak pada pembakaran dan kinerja. Ukuran partikel bahan bakar cenderung mengecil seiring dengan kenaikan tekanan injeksi. Jika tekanan injeksi terlalu tinggi, periode tunda pengapian akan menjadi lebih singkat. Diameter nozzle injektor sangat penting untuk atomisasi semprotan diesel dan pembakar selain itu, ukuran lubang nozzle harus diperkecil untuk menghasilkan tetesan yang lebih kecil guna meminimalkan ukuran tetesan bahan bakar (Beyan and Walle 2022).

Peningkatan konsumsi bahan bakar menjadi salah satu permasalahan yang sering terjadi pada penggunaan mesin diesel (Roland Fatar Fernados Sirait et al., 2025). Meskipun tenaga mesin yang dihasilkan relatif tetap, kondisi tersebut mengindikasikan adanya ke tidak efisiensi dalam proses injeksi bahan bakar, sehingga mekanisme pengabutan dan distribusi bahan bakar tidak berlangsung optimal. Faktor-faktor yang menjadi penyebab ke tidak efisiensi konsumsi bahan bakar tersebut, antara lain ukuran diameter nozzle injektor yang kurang sesuai sehingga distribusi bahan bakar dalam ruang bakar tidak merata. Ketidak tepatan kombinasi diameter nozzle injektor dan tekanan injeksi dapat menyebabkan ukuran droplet bahan bakar menjadi lebih besar, sehingga pencampuran dengan udara kurang optimal dan waktu pembakaran lebih lama sehingga volume konsumsi bahan bakar meningkat (Widiyatmoko Widiyatmoko et al., 2024).

Menurut (Ni et al. 2022) variasi parameter injektor seperti nozzle hole diameter (NHD) dan tekanan injeksi bahan bakar memiliki pengaruh signifikan terhadap konsumsi bahan bakar serta emisi. Pada penelitian tersebut, dilakukan pengujian terhadap mesin diesel dua silinder dengan beberapa parameter diameter nozzle dan tekanan injeksi. Bahwa hasilnya menunjukkan

peningkatan injeksi cenderung menghasilkan atomisasi bahan bakar yang lebih halus, sehingga proses pencampuran udara dan bahan bakar lebih sempurna dan konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) dapat menurun. Sebaliknya, perubahan diameter nozzle yang terlalu besar dapat meningkatkan laju aliran bahan bakar per siklus dan berpotensi meningkatkan konsumsi total bila tidak diimbangi dengan tekanan injeksi yang sesuai. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan saling bergantung antara diameter nozzle dan tekanan injeksi dalam menentukan efisiensi pembakaran bahan bakar.

Selain itu, pada penelitian (Ni et al. 2022) juga menegaskan bahwa kombinasi optimal parameter antara variasi diameter nozzle pada tekanan injeksi untuk setiap kondisi operasi mesin (beban rendah, sedang, tinggi). Pada kondisi menengah, kombinasi diameter nozzle lebih kecil sekitar 0,12 mm dengan tekanan injeksi lebih tinggi di atas 90 Mpa mampu menurunkan konsumsi bahan bakar (BSFC) dan emisi.

Berdasarkan hasil pada penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa pengaruh diameter dan tekanan injeksi terhadap konsumsi bahan bakar mesin diesel sangat kompleks dan saling berkaitan. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih difokuskan pada mesin diesel dua silinder, serta masih difokuskan pada analisis emisi gas buang dan katarakteristik pembakaran. Selain itu tidak menjelaskan pengaruh tekanan injeksi terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar terhadap mesin diesel. Oleh karena itu, penelitian ini akan dilakukan untuk menganalisis secara eksperimental pengaruh variasi diameter nozzle injektor dan tekanan injeksi terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar pada mesin diesel satu silinder pada sistem injeksi common rail, sehingga dapat memberikan data empiris yang lebih aplikatif terhadap peningkatan efisiensi bahan bakar mesin diesel di lapangan.

2. TINJAUAN LITERATUR

Mesin Diesel

Mesin diesel adalah pembakaran dalam yang beroperasi dengan menggunakan minyak gas atau minyak berat sebagai bahan bakar dengan suatu prinsip bahan bakar tersebut disemprotkan (diinjeksikan) ke dalam silinder yang di dalamnya sudah terdapat udara dengan tekanan dan

suhu yang tinggi sebagai bahan bakar tersebut secara spontan. (Tanadi et al. 2022) Mesin diesel merupakan jenis mesin pembakaran dalam, dimana bahan bakar menyala akibat tekanan kompresi yang tinggi didalam silinder (compression ignition engine) dan bukan oleh alat bantu berenergi seperti busi (spark plug).

Prinsip mesin diesel didasarkan pada konsep pembakaran internal, di mana bahan bakar dibakar di dalam mesin untuk menghasilkan kerja mekanis. Tidak seperti mesin bensin yang menggunakan busi untuk menyalakan campuran udara-bahan bakar, mesin diesel beroperasi berdasarkan prinsip pengapian kompresi, di mana udara dikompresi hingga mencapai suhu dan tekanan tinggi, yang menyebabkan bahan bakar terbakar secara spontan.

Sistem Injeksi Bahan Bakar Mesin Diesel

Sistem injeksi bahan bakar common rail telah menghilangkan sistem injeksi bahan bakar yang digerakkan oleh camshaft dan mendominasi sebagai sistem bahan bakar utama. Prinsip kerja sistem common rail melewati pipa bahan bakar dan terbagi menjadidua cabang di persimpangan ruang bahan bakar. Satu cabang terhubung ke akumulator melalui pipa bahan bakar, katup jarum, dan nozzle, sementara nozzle terhubung ke tekanan silinder. Cabang lainnya terhubung ke ruan kontrol melalui pipa bahan bakar dan katup gas masuk, dan katup solenoid, yang mengontrol sakelar saluran keluar bahan bakar. Bahan bakar masuk ke tangki bahan bakar melalui ruang luapan dan katup gas tangki bahan bakar (Chen et al. 2020).

Komponen utama sistem injeksi meliputi pompa bahan bakar bertekanan tinggi, common rail, injektor, saluran tekanan tinggi, serta sensor dan unit kontrol elektronik (ECU).

Injektor adalah salah satu komponen utama dalam sistem bahan bakar diesel. Injektor berfungsi untuk menghantarkan bahan bakar diesel dari injection pump ke dalam silinder pada setiap akhir langkah kompresi dimana torak (piston) mendekati posisi TMA. Injektor dirancang untuk menerima tekanan bahan bakar dari injection pump yang bertekanan tinggi untuk membentuk kabut yang bertekanan, tekanan ini mengakibatkan peningkatan suhu pembakaran didalam silinder (A. Harbul Fijar 2025).

Mekanisme Pembakaran di Mesin Diesel

Mesin diesel dapat beroperasi pada rasio kompresi tinggi, sementara mesin bensin, hanya beroperasi pada rasio rendah hingga sedang untuk menghindari katukan mesin. Karena rasio kompresi yang relative tinggi, mesin diesel lebih hemat bahan bakar, menjadikan pilihan alami untuk keperluan kerja berat. Pada mesin diesel modern yang menggunakan teknologi common rail, injektor bertekanan tinggi digunakan untuk memasukan bahan bakar cair berkecepatan tinggi ke dalam udara bertekanan panas. Tekanan bahan bakar dinaikkan ke tingkat yang diinginkan menggunakan pompa, yang memindahkan bahan bakar cair dari tangki ke beberapa injektor. Karena beban mesin dapat berubah-ubah dalam putaran mesin selama kendaraan dioperasikan, beban tersebut perlu disesuaikan dengan mengatur jumlah bahan bakar yang akan disuntikkan. Setiap injektor kemudian menyebarkan bahan bakar cair dalam tetesan-tetesan kecil. Saat bahan bakar menembus ruang bakar, bahan bakar ini kemudian terurai menjadi tetesan-tetesan lebih kecil, menguap, pembakaran utama akhirnya terjadi di dalam ruang bakar (Djamari et al. 2022; Ngatmin et al., 2023).

Karakteristik pembakaran, performa, dan emisi mesin diesel bergantung pada beberapa faktor seperti waktu injeksi bahan bakar, jumlah bahan bakar pada mesin diesel yang diinjeksikan, bentuk ruang bakar, ukuran lubang nozzle, dan tekanan injeksi bahan bakar. Fungsi sistem injeksi terhadap mesin diesel adalah untuk mengatomisasi bahan bakar yang diinjeksikan hingga tingkat tinggi agar penetrasi dan penguapannya lebih baik dalam waktu yang sangat singkat dan mencapai efisiensi pembakaran yang lebih tinggi (Mondal & Mandal, 2024).

Konsumsi Bahan Bakar

Penggunaan Bahan Bakar Mesin Diesel adalah aspek krusial dalam mengevaluasi performa dan efisiensi mesin diesel. Umumnya, Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) digunakan untuk menilai jumlah bahan bakar yang dipakai mesin per unit tenaga efektif (daya rem) selama periode waktu tertentu. BSFC diukur dalam gram per kilowatt-jam (g/kWh) dan merupakan penanda utama efisiensi mesin, di mana nilai BSFC yang lebih rendah menunjukkan penggunaan bahan bakar yang lebih hemat (Gedeon n.d.).

Pengaruh Diameter Nozzle dan Tekanan Injeksi Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Salah satu pengaruh penting yang menentukan efisiensi pembakaran dan konsumsi bahan bakar pada mesin diesel adalah karakteristik sistem injeksi bahan bakar, khususnya diameter nozzle dan tekanan injeksi. Kedua parameter ini berperan langsung terhadap proses atomisasi, penyebaran bahan bakar, serta homogenitas campuran udara dan bahan bakar di dalam ruang bakar (Li et al. 2023). Semakin baik atomisasi dan pencampuran bahan bakar, semakin sempurna pembakaran sehingga bahan bakar spesifik (Brake Specific Fuel Consumption) BSFC dapat ditekan.

Kombinasi Tekanan Injeksi dan Diameter Nozzle

Parameter tekanan injeksi bahan bakar dan diameter nozzle termasuk diameter lubang, jumlah lubang, dan profile orifice tidak bekerja secara independen, melainkan saling berhubungan untuk menentukan karakteristik semprotan, penguapan, pencampuran udara dan bahan bakar, dan akhirnya konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC). Sebagai contoh, hasil penelitian (Djamari et al. 2022) menunjukkan bahwa peningkatan tekanan injeksi bersamaan dengan pengurangan diameter lubang nozzle secara signifikan menurunkan Saunter Mean Diameter (SMD), mempercepat penguapan, dan meningkatkan homogenitas campuran yang berpotensi menurunkan BSFC. Pendekatan ini di perkuat oleh kajian (El Marnissi and Hwang 2024), yang menggunakan analisis untuk menunjukkan bahwa di bawah tekanan injeksi tinggi, nozzle dengan diameter kecil menghasilkan tetesan halus serta jarak penetrasi yang lebih pendek tetapi penyebaran bahan bakar lebih cepat, menandakan pembakaran lebih efisien. Dengan demikian penelitian terhadap konsumsi bahan bakar mesin diesel perlu merancang variasi injeksi yang mempertimbangkan kombinasi tekanan injeksi dan diameter nozzle secara simultan agar diperoleh konfigurasi yang menghasilkan BSFC terendah dengan batas emisi dan rugi minimal.

Peran Tekanan Injeksi dan Diameter Nozzle Terhadap Efisiensi Pembakaran

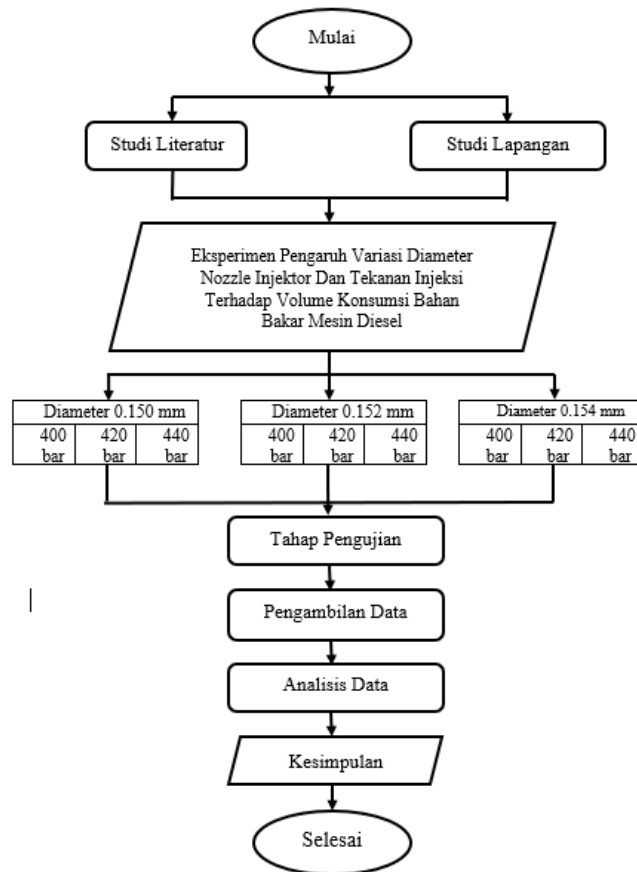
Tekanan injeksi dan diameter nozzle memiliki peran sangat krusial dalam meningkatkan efisiensi pembakaran mesin diesel melalui mekanisme atomisasi, penyebaran semprotan dan pencampuran udara dan bahan bakar. Ketikan tekanan injeksi dinaikkan, kecepatan keluaran bahan baar meningkat dan ukuran tetesan Saunter Mean Diameter (SMD)

cenderung mengecil sehingga laju penguapan bertambah dan pencampuran menjadi lebih homogen, yang pada akhirnya dapat meningkatkan Brake Thermal Efficiency (BTE) dan menurunkan Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) (Aziz and Fahmi 2022).

Parameter Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar

- a) Metode Volumetric
- b) Laju Aliran
- c) Brake Power (BP)
- d) Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

3. METODE



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Uraian Diagram Alir Penelitian

Mulai

Penelitian diawali dengan penentuan topik/judul, perumusan masalah, tujuan penelitian, serta penentuan variabel bebas (diameter nozzle, tekanan injeksi dan rpm) dan variabel terikat (efisiensi konsumsi bahan bakar/BSFC).

Studi Literatur

Pengumpulan referensi berfungsi untuk mengkaji referensi berupa jurnal teori, jurnal ilmiah, buku dan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem injeksi bahan bakar mesin diesel, variasi tekanan injeksi, variasi diameter nozzle, serta metode pengukuran konsumsi bahan bakar menggunakan volumetric.

Studi Lapangan

Melakukan pengujian secara langsung pada sistem injeksi common rail mesin diesel dengan berbagai variasi diameter nozzle dan tekanan injeksi untuk memperoleh data konsumsi bahan bakar.

Tahap Pengujian

Tahap Pengujian eksperimen bertujuan untuk mendapatkan informasi dan data-data yang dibutuhkan dalam menyelesaikan permasalahan. Pada pengujian ini menggunakan variasi diameter nozzle injektor, tekanan injeksi dan rpm. Pada pengujian ini menggunakan metode volumetric pada metode ini, volume bahan bakar yang dikonsumsi saat proses pengukuran secara langsung menggunakan alat ukur volume gelas buret, atau flowmeter volumetric.

Pengambilan Data

Proses pengambilan data dibutuhkan untuk mendapatkan informasi setelah melakukan pengujian eksperimen untuk menyelesaikan permasalahan. Data yang didapatkan merupakan data hasil proses pengukuran langsung pada alat ukur dari setiap percobaan pada eksperimen variasi diameter nozzle injektor dan tekanan injeksi. Berikut table untuk pengambilan data dari pengujian.

Tabel 1. Pengujian Pengaruh Variasi Diameter Nozzle dan Tekanan Injeksi

Diameter	Tekanan	Rpm	Volume			Nilai
			1	2	3	Rata-rata
0.150	400 bar	500	40	38	38	38,6
		1000	58	59	58	58,3
		1500	74	74	74	74
	420 bar	500	40	41	41	40,6
		1000	62	62	62	62
		1500	78	78	78	78
	440 bar	500	42	42	42	42
		1000	65	65	65	65
		1500	80	81	80	80,3
0.152	400 bar	500	40	39	40	39,6
		1000	62	62	63	62,3
		1500	79	77	77	77,6
	420 bar	500	44	43	44	43,6
		1000	65	67	65	65,6
		1500	81	82	81	81,3
	440 bar	500	46	47	44	46,3
		1000	68	68	70	68,6
		1500	85	85	84	84,6
0.154	400 bar	500	44	43	44	43,6
		1000	66	66	64	65,3
		1500	79	79	79	79
	420 bar	500	45	45	45	45
		1000	69	68	69	68,6
		1500	85	84	84	84,3
	440 bar	500	48	48	47	47,6
		1000	74	73	73	73,3
		1500	87	85	87	86,3

Analisis Data

Setelah didapatkan data dari hasil pengujian eksperimen, maka data tersebut dapat diolah dengan cara menghitung sesuai rumus-rumus yang tercantum pada dasar teori (laju aliran volumetric bahan bakar, laju aliran massa bahan bakar, BP, BSFC) serta menganalisis hubungan antara diameter nozzle, tekanan injeksi dan efisiensi bahan bakar yang lebih optimal.

Kesimpulan

Kesimpulan diambil sebagai penutup dari pengujian data eksperimen mengenai pengaruh variasi diameter nozzle injector dan tekanan injeksi terhadap volume konsumsi bahan bakar mesin diesel.

Selesai

Setelah semua selesai pengujian dan analisis data perhitungan serta kesimpulan sudah didapat, maka penulis sudah selesai pada tahap pengujian penelitian ini. Sehingga dapat melakukan melanjutkan penyusunan laporan hasil penelitian. Penelitian selesai setelah semua data diolah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Penelitian

Pada penelitian ini pengujian pengambilan data dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter nozzle injektor, tekanan injeksi dan rpm yang berbeda terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar mesin diesel yang berguna menentukan tekanan injeksi yang optimal untuk meminimalkan penggunaan bahan bakar tanpa mengurangi performa mesin. berdasarkan parameter utama, yaitu diameter nozzle injector yang berdiameter 0.150, 0.152, 0.152 mm dan variasi tekanan injeksi 400 bar, 420 bar, 440 bar serta setiap kombinasi kedua variabel masing-masing dilakukan dengan 500, 1000, 1500 rpm. Setiap kombinasi dari kedua variabel tersebut diuji dalam kondisi tekanan yang stabil, guna memastikan kestabilan pengukuran dan hasil volume konsumsi bahan bakar yang dihasilkan.

Data hasil pengukuran kemudian disusun secara sistematis dalam bentuk tabel dan grafik, agar mempermudah proses interpretasi serta perbandingan antar konfigurasi. Selain itu dilakukan perhitungan parameter-parameter penting untuk menilai penggunaan volume konsumsi bahan bakar, seperti laju aliran volumetric bahan bakar (Q), laju aliran massa bahan bakar (\dot{m}), brake power (BP), brake specific fuel consumption (BSFC). Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar untuk melakukan analisis kuantitatif terhadap eksperimen pengaruh variasi diameter nozzle injektor dan tekanan injeksi terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar

mesin diesel. Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel rata-rata konsumsi bahan bakar untuk setiap kombinasi variabel, yang selanjutnya akan dianalisis dalam bentuk grafik untuk melihat hubungan antar variabel.

Data Hasil Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 2. Data hasil pengujian variasi diameter nozzle dan tekanan injeksi

Diameter	Tekanan	Rpm	Volume			Nilai
			1	2	3	Rata-rata
0,150	400bar	500	40	38	38	38,6
		1000	58	59	58	58,3
		1500	74	74	74	74
	420bar	500	40	41	41	40,6
		1000	62	62	62	62
		1500	78	78	78	78
	440bar	500	42	42	42	42
		1000	65	65	65	65
		1500	80	81	80	80,3
0.152	400 bar	500	40	39	40	39,6
		1000	62	62	63	62,3
		1500	79	77	77	77,6
	420 bar	500	44	43	44	43,6
		1000	65	67	65	65,6
		1500	81	82	81	81,3
	440 bar	500	46	47	44	46,3
		1000	68	68	70	68,6
		1500	85	85	84	84,6
0.154	400 bar	500	44	43	44	43,6
		1000	66	66	64	65,3
		1500	79	79	79	79
	420 bar	500	45	45	45	45
		1000	69	68	69	68,6
		1500	85	84	84	84,3
	440 bar	500	48	48	47	47,6
		1000	74	73	73	73,3
		1500	87	85	87	86,3

Data Hasil Perhitungan Parameter Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 3. Hasil Perhitungan Laju Aliran Volumetrik Bahan Bakar

Diameter Nozzle	Tekanan Injeksi	Rpm	Laju Aliran Volumetrik Bahan Bakar (m ³ /s)
0.150 mm	400 bar	500	0,00064
		1000	0,00097
		1500	0,00123
	420 bar	500	0,00067
		1000	0,00103
		1500	0,0013
0.152 mm	440 bar	500	0,0007
		1000	0,00108
		1500	0,00133
	400 bar	500	0,00066
		1000	0,00103
		1500	0,00129
0.154 mm	420 bar	500	0,00072
		1000	0,00109
		1500	0,00135
	440 bar	500	0,00077
		1000	0,00114
		1500	0,00141
0.154 mm	400 bar	500	0,000728
		1000	0,001089
		1500	0,001317
	420 bar	500	0,000750
		1000	0,001144
		1500	0,001406
440 bar	500	0,000794	
	1000	0,001222	
	1500	0,001439	

Rumus perhitungan laju aliran volumetrik bahan bakar (m³/s):

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0,0386}{60} = 0,00064 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Laju Aliran Massa Bahan Bakar(\dot{m}_f)

Diameter Nozzle	Tekanan In- jeksi	Rpm	Laju Aliran Massa Bahan Bakar (\dot{m}_f)
0.150 mm	400 bar	500	0,000534
		1000	0,000806
		1500	0,000102
	420 bar	500	0,000562
		1000	0,000857
		1500	0,001079
0.152 mm	440 bar	500	0,000581
		1000	0,000899
		1500	0,000111
	400 bar	500	0,000548
		1000	0,000862
		1500	0,001074
0.154 mm	420 bar	500	0,000604
		1000	0,000908
		1500	0,000112
	440 bar	500	0,000640
		1000	0,000949
		1500	0,000117
0.154 mm	400 bar	500	0,00060
		1000	0,00090
		1500	0,00109
	420 bar	500	0,00062
		1000	0,00095
		1500	0,00117
440 bar	500	0,00066	
	1000	0,00101	
	1500	0,00119	

Rumus perhitungan laju aliran massa bahan bakar (\dot{m}_f):

$$\dot{m}_f = \rho \cdot Q = 0,830 \cdot 0,00064 = 0,000534 \text{ kg/s}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Brake Power (BP)

Diameter Nozzle	Tekanan Injeksi	Rpm	Brake Power (BP)
0.150 mm	400 bar	500	1831,6
		1000	3663,3
		1500	5495
	420 bar	500	1831,6
		1000	3663,3
		1500	5495
0.152 mm	440 bar	500	1831,6
		1000	3663,3
		1500	5495
	420 bar	500	1831,6
		1000	3663,3
		1500	5495
0.154 mm	400 bar	500	1831,6
		1000	3663,3
		1500	5495
	420 bar	500	1831,6
		1000	3663,3
		1500	5495
0.152 mm	440 bar	500	1831,6
		1000	3663,3
		1500	5495
	420 bar	500	1831,6
		1000	3663,3
		1500	5495

Rumus Perhitungan Brake Power (BP):

$$BP = \frac{2\pi NT}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 500 \cdot 35}{60} = 1.832,6 \text{ Kw}$$

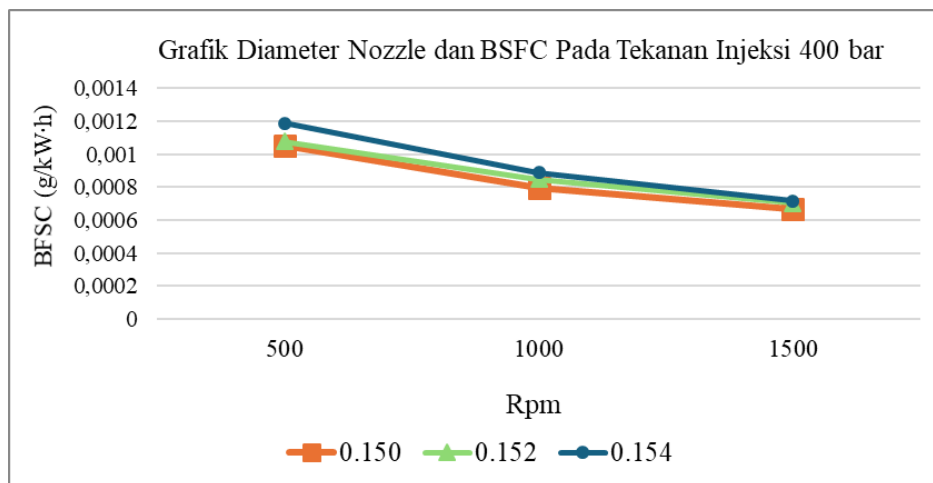
Tabel 6. Data hasil perhitungan brake specific fuel consumptions (BSFC)

Diameter Nozzle	Tekanan In- jeksi	Rpm	Brake Spesifik Fuel Consump- tion (BSFC))
0.150 mm	400 bar	500	0.00105
		1000	0.00079
		1500	0.00067
	420 bar	500	0.00110
		1000	0.00084
		1500	0.00070
	440 bar	500	0,00114
		1000	0.00088
		1500	0.00072
0.152 mm	400 bar	500	0.00107
		1000	0.00084
		1500	0.00070
	420 bar	500	0.00118
		1000	0.00089
		1500	0.00073
	440 bar	500	0.00126
		1000	0.00093
		1500	0.00076
0.154 mm	400 bar	500	0.00118
		1000	0.00088
		1500	0.00071
	420 bar	500	0.00122
		1000	0.00093
		1500	0.00076
	440 bar	500	0,00129
		1000	0.00099
		1500	0.00078

Rumus perhitungan brake specific fuel consumptions:

$$BSFC = \frac{\dot{m}f \times 3600}{BP} = \frac{0,00053 \times 3600}{1832,5} = 0,00105 \text{ g/Kw.h}$$

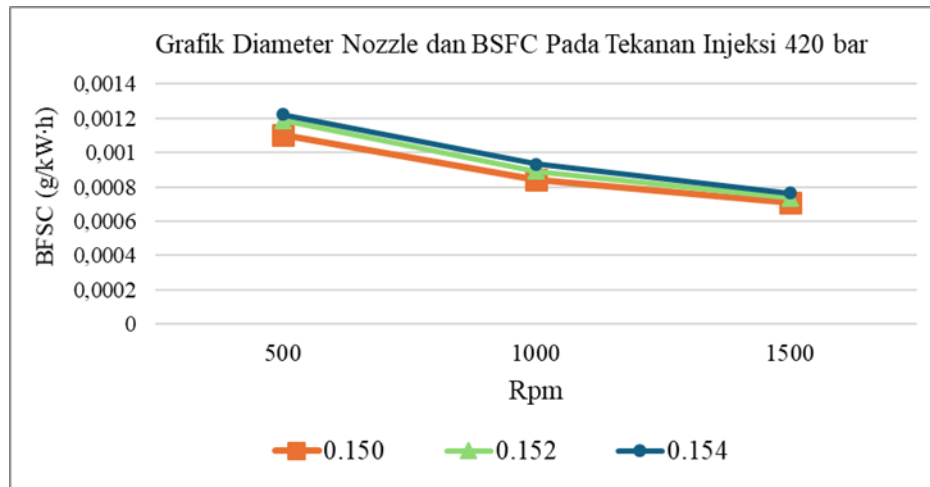
Analisis Pengaruh Diameter Nozzle terhadap Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar



Gambar 2. Grafik Diameter Nozzle dan BSFC

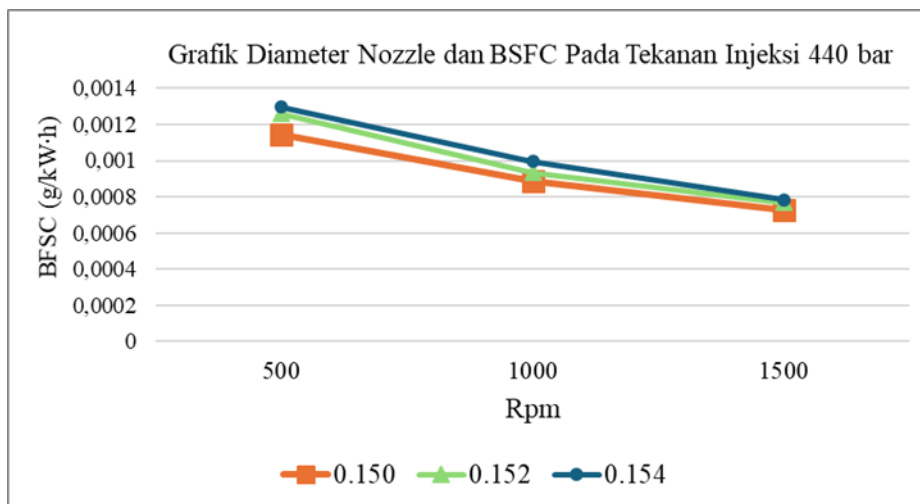
Berdasarkan grafik hubungan antara putaran mesin (Rpm) terhadap BSFC pada tekanan injeksi 400 bar. Pada diameter nozzle injektor 0.150 mm, nilai BSFC mengalami penurunan dari 0,00105 (g/kW·h) dengan putaran mesin 500 rpm menjadi 0,00079 (g/kW·h) pada 1000 rpm dan mencapai nilai terendah sebesar 0,00067 (g/kW·h) pada 1500 rpm. Pada diameter nozzle injektor 0.152, nilai BSFC juga menunjukkan hasil penurunan dari 0.00107 (g/kW·h) dengan putaran mesin 500 rpm menjadi 0.00084 (g/kW·h) pada 1000 rpm dan sebesar 0.00070 (g/kW·h) pada 1500 rpm, Meskipun terjadi peningkatan efisiensi seiring dengan kenaikan rpm nilai BSFC pada diameter ini lebih tinggi dibandingkan dengan diameter 0.00015 pada setiap kondisi putaran mesin. Pada diameter nozzle 0.154, nilai BSFC menghasilkan nilai paling tinggi dibandingkan diameter nozzle injektor lainnya yaitu sebesar 0.00118 (g/kW·h) dengan putaran mesin 500 rpm, 0.00088 (g/kW·h) pada 1000 rpm, dan 0.00071 (g/kW·h) pada 1500 rpm. Maka, dapat di analisis dari hasil grafik di atas disimpulkan bahwa pada diameter nozzle injektor yang lebih kecil, efisiensi pembakaran cenderung lebih baik terutama pada putaran mesin yang lebih tinggi dan menghasilkan ukuran droplet bahan bakar yang lebih halus sehingga proses atomisasi menjadi lebih optimal. Atomisasi yang baik akan meningkatkan pencampuran bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar, sehingga pembakaran berlangsung lebih sempurna dan efisiensi meningkat yang ditunjukkan dengan nilai BSFC yang lebih rendah. Selain itu, diameter nozzle yang lebih besar meningkatkan debit bahan bakar yang masuk ke ruang bakar, namun tidak di imbangi dengan kualitas atomisasi yang baik. Akibatnya,

sebagian bahan bakar tidak terbakar sepenuhnya secara optimal sehingga terjadi peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik.



Gambar 3. Grafik Hubungan Nozzle dan BSFC

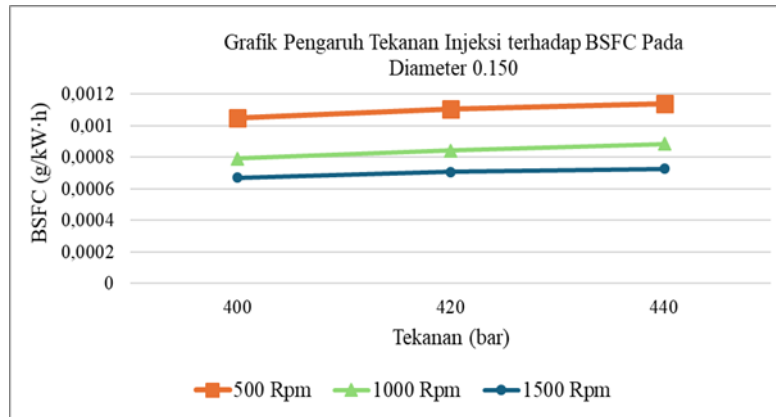
Berdasarkan grafik hubungan antara putaran mesin (Rpm) terhadap BSFC pada tekanan injeksi 420 bar. Pada diameter nozzle injektor 0.150, nilai BSFC mengalami penurunan dari 0,00110 (g/kW·h) dengan putaran mesin 500 rpm menjadi 0,00084 (g/kW·h) pada 1000 rpm dan mencapai nilai terendah sebesar 0,00070 (g/kW·h) pada 1500 rpm. Pada diameter nozzle injektor 0.152, nilai BSFC juga menunjukkan hasil penurunan dari 0.00118 (g/kW·h) dengan putaran mesin 500 rpm menjadi 0.00089 (g/kW·h) pada 1000 rpm dan sebesar 0.00073 (g/kW·h) pada 1500 rpm, Pada diameter nozzle 0.154, nilai BSFC menghasilkan nilai paling tinggi dibandingkan diameter nozzle injektor lainnya yaitu sebesar 0.00122 (g/kW·h) dengan putaran mesin 500 rpm, 0.00093 (g/kW·h) pada 1000 rpm, dan 0.00076 (g/kW·h) pada 1500 rpm. Maka, dapat disimpulkan bahwa nilai BSFC mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya putaran mesin (Rpm) untuk semua variasi diameter nozzle. Namun, dibandingkan dengan tekanan 400 bar terdapat nilai BSFC pada tekanan 420 bar cenderung lebih tinggi pada setiap putaran mesin dan diameter nozzle.



Gambar 4. Grafik Diameter Nozzle dan BSFC

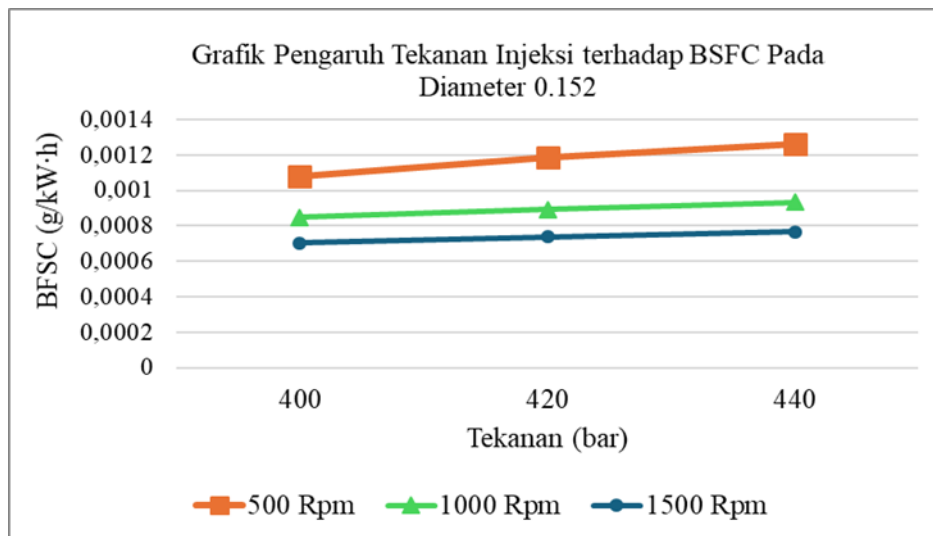
Berdasarkan grafik hubungan antara putaran mesin (Rpm) terhadap BSFC pada tekanan injeksi 420 bar. Pada diameter nozzle injektor 0.150, nilai BSFC mengalami penurunan dari 0,00114 (g/kW·h) dengan putaran mesin 500 rpm menjadi 0,00088 (g/kW·h) pada 1000 rpm dan mencapai nilai terendah sebesar 0,00072 (g/kW·h) pada 1500 rpm. Pada diameter nozzle injektor 0.152, nilai BSFC juga menunjukkan hasil penurunan dari 0.00126 (g/kW·h) dengan putaran mesin 500 rpm menjadi 0.00093 (g/kW·h) pada 1000 rpm dan sebesar 0.00076 (g/kW·h) pada 1500 rpm, Pada diameter nozzle 0.154, nilai BSFC menghasilkan nilai paling tinggi dibandingkan diameter nozzle injektor lainnya yaitu sebesar 0.00129 (g/kW·h) dengan putaran mesin 500 rpm, 0.00099 (g/kW·h) pada 1000 rpm, dan 0.00078 (g/kW·h) pada 1500 rpm. Maka, dapat disimpulkan bahwa nilai BSFC mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya putaran mesin (Rpm) untuk semua variasi diameter nozzle. Namun, dibandingkan dengan tekanan 400 bar dan 420 bar, pada tekanan 440 bar nilai BSFC cenderung lebih tinggi pada semua diameter nozzle yang menunjukkan bahwa peningkatan tekanan injeksi pada kondisi penelitian ini tidak selalu meningkatkan efisiensi pembakaran terdapat nilai BSFC pada tekanan 420 bar cenderung lebih tinggi pada setiap putaran mesin dan diameter nozzle.

Analisis Pengaruh Tekanan terhadap Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar



Gambar 5. Grafik Tekanan Injeksi dan BSFC

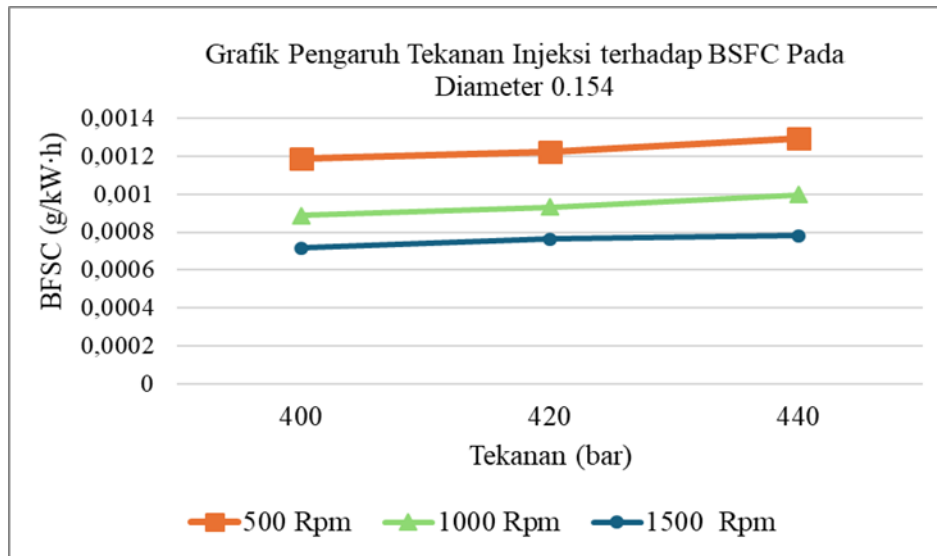
Berdasarkan grafik hubungan antara tekanan injeksi terhadap nilai BSFC pada tiga variasi putaran mesin, yaitu 500 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm, dengan kondisi diameter nozzle tetap. Terlihat bahwa hasil nilai BSFC meningkat seiring dengan peningkatan tekanan injeksi dari 400,420, 440 bar pada semua variasi putaran mesin. Pada putaran mesin 500 rpm, terlihat nilai BSFC meningkat dari sekitar 0.00105 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 400 bar menjadi 0.00110(g/kW·h) pada tekanan injeksi 420 bar dan mencapai 0,00114 (g/kW·h) pada 440 bar. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pada putaran rendah, kenaikan tekanan injeksi memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik. Sedangkan, pada putaran mesin 1000 rpm, terlihat nilai BSFC juga mengalami peningkatan dari 0,00079 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 400 bar, menjadi 0,00084 (g/kW·h) pada tekanan 420 bar dan 0,00088 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 440 bar. Meskipun nilai BSFC lebih rendah dibandingkan pada 500 rpm, yang dimana peningkatan akibat tekanan injeksi masih terus mempengaruhi nilai efisiensi konsumsi bahan bakar. Selanjutnya, pada putaran mesin tinggi 1500 rpm, nilai BSFC merupakan yang paling rendah, yaitu sebesar 0.00067 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 400 bar, meningkat menjadi 0,00070 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 420 bar, dan mencapai nilai BSFC tertinggi 0,00072 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 440 bar. Maka, dapat disimpulkan nilai BSFC menunjukkan efisiensi pembakaran meningkat pada putaran mesin tinggi dan pengaruh tekanan injeksi terhadap peningkatan BSFC mempengaruhi efisiensi konsumsi bahan bakar.



Gambar 6. Grafik Tekanan Injeksi dan BSFC

Berdasarkan grafik hubungan antara tekanan injeksi terhadap nilai BSFC pada tiga variasi putaran mesin, yaitu 500 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm, dengan kondisi diameter nozzle tetap. Terlihat bahwa hasil nilai BSFC meningkat seiring dengan peningkatan tekanan injeksi dari 400, 420 dan 440 bar pada semua variasi putaran mesin. Pada putaran mesin 500 rpm, terlihat nilai BSFC meningkat dari sekitar 0.00107 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 400 bar menjadi 0.00118 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 420 bar dan mencapai 0,00125 (g/kW·h) pada 440 bar. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pada putaran rendah, kenaikan tekanan injeksi memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik. Sedangkan, pada putaran mesin 1000 rpm, terlihat nilai BSFC juga mengalami peningkatan dari 0,00084 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 400 bar, menjadi 0,00089 (g/kW·h) pada tekanan 420 bar dan 0,00093 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 440 bar. Meskipun nilai BSFC lebih rendah dibandingkan pada 500 rpm, yang dimana peningkatan akibat tekanan injeksi masih terus mempengaruhi nilai efisiensi konsumsi bahan bakar. Selanjutnya, pada putaran mesin tinggi 1500 rpm, nilai BSFC merupakan yang paling rendah, yaitu sebesar 0.00070 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 400 bar, meningkat menjadi 0,00073 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 420 bar, dan mencapai nilai BSFC tertinggi 0,00076 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 440 bar. Maka, dapat disimpulkan nilai BSFC menunjukkan efisiensi pembakaran meningkat

pada putaran mesin tinggi dan pengaruh tekanan injeksi terhadap peningkatan BSFC mempengaruhi efisiensi konsumsi bahan bakar.

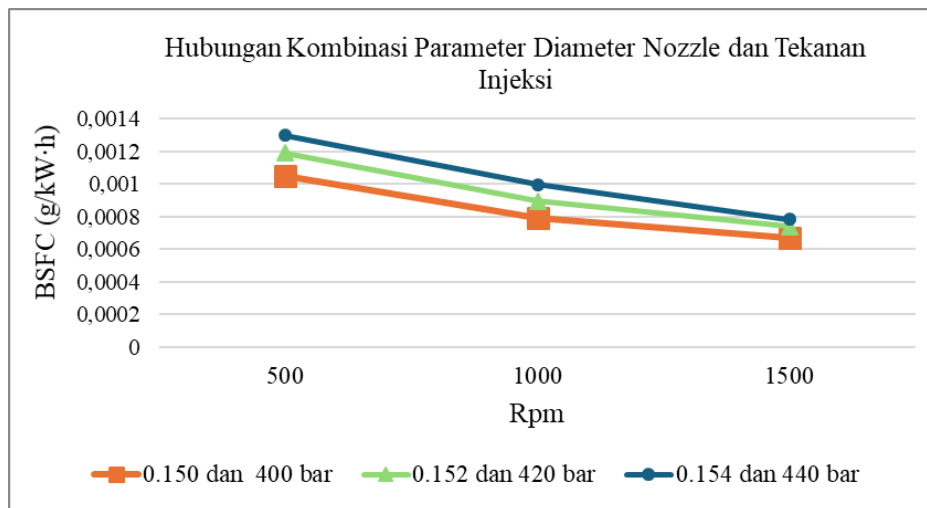


Gambar 7. Grafik Tekanan Injeksi dan BSFC

Berdasarkan grafik hubungan antara tekanan injeksi terhadap nilai BSFC pada tiga variasi putaran mesin, yaitu 500 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm, dengan kondisi diameter nozzle tetap. Terlihat bahwa hasil nilai BSFC meningkat seiring dengan peningkatan tekanan injeksi dari 400 bar ke 440 bar pada semua variasi putaran mesin. Pada putaran mesin 500 rpm, terlihat nilai BSFC meningkat dari sekitar 0.00118 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 400 bar menjadi 0.00122 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 420 bar dan mencapai 0,00129 (g/kW·h) pada 440 bar. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pada putaran rendah, kenaikan tekanan injeksi memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik. Sedangkan, pada putaran mesin 1000 rpm, terlihat nilai BSFC juga mengalami peningkatan dari 0,00088 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 400 bar, menjadi 0,00093 (g/kW·h) pada tekanan 420 bar dan 0,00099 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 440 bar. Meskipun nilai BSFC lebih rendah dibandingkan pada 500 rpm, yang dimana peningkatan akibat tekanan injeksi masih terus mempengaruhi nilai efisiensi konsumsi bahan bakar. Selanjutnya, pada putaran mesin tinggi 1500 rpm, nilai BSFC merupakan yang paling rendah, yaitu sebesar 0.00071 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 400 bar, meningkat menjadi 0,00076 (g/kW·h) pada tekanan injeksi 420 bar, dan mencapai nilai BSFC tertinggi 0,00078 (g/kW·h) pada tekanan injeksi

440 bar. Maka, dapat disimpulkan nilai BSFC menunjukkan efisiensi pembakaran meningkat pada putaran mesin tinggi dan pengaruh tekanan injeksi terhadap peningkatan BSFC mempengaruhi efisiensi konsumsi bahan bakar.

Analisis Kombinasi Diameter Nozzle dan Tekanan Injeksi terhadap Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar



Gambar 8. Grafik Kombinasi Parameter Diameter Nozzle dan Tekanan Injeksi

Berdasarkan grafik hubungan kombinasi parameter diameter nozzle dan tekanan injeksi terhadap nilai BSFC, dapat dianalisis bahwa seluruh variasi menunjukkan hasil penurunan nilai BSFC seiring meningkatnya putaran mesin dari 500 rpm hingga 1500 rpm. Pada Kombinasi diameter nozzle 0.150 mm dan tekanan injeksi 400 bar diperoleh nilai BSFC paling rendah dibandingkan variasi lainnya, yaitu sebesar 0.00105 (g/kW·h) pada 500 rpm, turun menjadi 0.00079 (g/kW·h) pada 1000 rpm, dan mencapai 0.00067 (g/kW·h) pada 1500 rpm. sementara itu, kombinasi diameter nozzle yang lebih besar menghasilkan nilai BSFC yang lebih tinggi pada setiap putaran mesin. Bahwa hal ini menunjukkan semakin besar diameter nozzle dan semakin tinggi tekanan pada penelitian ini cenderung meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifik.

Pada penelitian ini mengalami penurunan nilai BSFC pada seluruh variasi putaran mesin menunjukkan bahwa efisiensi pembakaran meningkat pada rpm yang lebih tinggi. Bahwa kondisi ini terjadi karena pada putaran mesin yang lebih tinggi proses atomisasi bahan bakar menjadi lebih baik, sehingga pencampuran udara dan bahan bakar didalam ruang bakar

berlangsung homogen. Hal ini menunjukkan kesamaan teori sebelumnya yang terkait karakteristik pembakaran dan efisiensi termal, tekanan injeksi dan atomisasi yang baik menghasilkan ukuran droplet bahan bakar yang lebih kecil sehingga proses penguapan dan pembakaran menjadi sempurna.

Bahwa hasil dari grafik menunjukkan diameter nozzle yang lebih kecil menghasilkan efisiensi konsumsi bahan bakar yang lebih baik. Pada diameter 0.150 mm, bahan bakar yang keluar dari injektor memiliki ukuran partikel lebih halus sehingga distribusi bahan bakar di ruang bakar menjadi merata. Pada teori sebelumnya menjelaskan bahwa pengaruh diameter nozzle lebih kecil mampu meningkatkan kualitas atomisasi dan homogenitas campuran udara dan bahan bakar. Kondisi tersebut menyebabkan proses pembakaran lebih sempurna dan konsumsi bahan bakar spesifik menjadi lebih rendah. Sebaliknya, pada nozzle injektor yang lebih besar seperti 0.152 dan 0.154 mm, menghasilkan debit bahan bakar yang keluar meningkat namun atomisasi menjadi kurang optimal sehingga sebagian bahan bakar tidak terbakar secara sempurna dan menyebabkan nilai BSFC meningkat.

Selaitu itu, tekanan injeksi juga penyebab pengaruh terhadap konsumsi bahan bakar, yang dimana menurut teori sebelumnya pengaruh tekanan injeksi meningkat dapat memperbaiki atomisasi karena bahan bakar disemprotkan dengan kecepatan tinggi. Namun, pada hasil penelitian ini peningkatan tekanan injeksi dari 400, 420 dan 440 bar justru menunjukkan nilai kenaikan BSFC. Hal ini disebabkan karena kombinasi tekanan injeksi tinggi dengan diameter nozzle yang lebih besar menyebabkan debit bahan bakar yang masuk ke ruang bakar menjadi terlalu banyak sehingga campuran bahan bakar udara dan bahan bakar tidak terbakar secara optimal. Akibatnya efisiensi pembakaran menurun dan konsumsi bahan bakar meningkat.

Maka, pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kombinasi parameter paling efisien adalah diameter nozzle 0.150 mm dengan tekanan 400 bar karena menghasilkan nilai BSFC terendah pada keseluruhan variasi putaran mesin. Hasil pada penelitian ini menunjukkan kesamaan teori sebelumnya bahwa kombinasi tekanan injeksi dan diameter yang menyatakan efisiensi pembakaran sangat dipengaruhi oleh kesesuaian kombinasi antara diameter nozzle

dan tekanan injeksi untuk menghasilkan atomisasi, penetrasi semprotan, dan pencampuran bahan bakar yang optimal di dalam ruang bakar mesin diesel.

Perbandingan Hasil Antar Variasi Parameter

Perbandingan Diameter Nozzle terhadap BSFC

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan, diperoleh perbandingan nilai Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) pada variasi diameter nozzle yaitu 0.150, 0.152, dan 0.154 pada berbagai kondisi putaran mesin dan tekanan injeksi. Pada hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter nozzle memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai BSFC. Fenomena ini dapat dijelaskan berdasarkan teori sebelumnya mengenai proses atomisasi bahan bakar. Dimana diameter nozzle yang lebih kecil akan menghasilkan butiran droplet bahan bakar yang lebih halus, sehingga luas permukaan ruang bahan bakar dengan udara dan meningkatnya homogenitas pada suatu campuran udara dan bahan bakar di dalam ruang bakar. Akibatnya, proses pembakaran berlangsung lebih sempurna dan efisiensi meningkat yang ditunjukkan dengan hasil nilai BSFC yang lebih rendah. Maka, dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian ini terdapat kesamaan pada penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa ukuran diameter nozzle sangat mempengaruhi kualitas atomisasi bahan bakar dan efisiensi pembakaran, dimana diameter nozzle yang lebih kecil cenderung menghasilkan pembakaran yang lebih efisien, sedangkan diameter yang lebih besar dapat menurunkan efisiensi jika tidak diimbangi dengan kondisi parameter operasi yang optimal.

Perbandingan Tekanan Injeksi terhadap BSFC

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh perbandingan nilai Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) pada variasi tekanan injeksi yaitu 400, 420, dan 440 bar pada berbagai kondisi putaran mesin dan diameter nozzle. Pada hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tekanan injeksi memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai BSFC. Fenomena ini dapat dijelaskan berdasarkan teori sebelumnya mengenai proses injeksi bahan bakar pada mesin diesel. Secara teoritis, peningkatan tekanan injeksi akan meningkatkan kualitas atomisasi bahan bakar, yang dimana dapat menghasilkan droplet yang

lebih halus, serta memperbaiki pencampuran bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar, kondisi ini seharusnya dapat meningkatkan efisiensi pembakaran.

Namun, berdasarkan hasil penelitian ini peningkatan tekanan injeksi menyebabkan peningkatan nilai BSFC. Hal ini dikarenakan tekanan injeksi yang lebih tinggi tidak hanya meningkatkan kualitas atomisasi, tetapi juga meningkatkan jumlah bahan bakar. Apabila peningkatan jumlah bahan bakar tersebut tidak diimbangi dengan kondisi pembakaran yang optimal, maka akan menyebabkan pembakaran kurang efisien dan meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifik. Selain itu, hubungan tekanan injeksi dengan diameter nozzle juga mempengaruhi hasil pembakaran. Pada diameter nozzle yang lebih besar, peningkatan tekanan injeksi cenderung memperbesar jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar, sehingga menyebabkan peningkatan nilai BSFC. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh tekanan injeksi tidak berdiri sendiri, melainkan dipengaruhi oleh parameter lain dalam sistem injeksi. Maka, dapat disimpulkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tekanan injeksi yang terlalu tinggi tidak selalu menghasilkan efisiensi pembakaran yang lebih baik, dan diperlukan optimasi tekanan injeksi sesuai dengan kondisi mesin dan parameter lainnya.

Perbandingan Kombinasi Parameter terhadap Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kombinasi antara diameter nozzle dan tekanan injeksi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai Brake Specific Fuel Consumption (BSFC). Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kondisi kombinasi parameter yang menghasilkan efisiensi konsumsi bahan bakar terbaik, sedang, dan terburuk pada mesin diesel. Dari hasil penelitian ini, diketahui bahwa kombinasi diameter nozzle 0.150 dengan tekanan injeksi 400 bar menghasilkan nilai BSFC paling rendah pada semua variasi putaran mesin, sehingga pada penelitian ini sebagai kombinasi paling efisien. Sebaliknya, kombinasi diameter nozzle 0.154 dengan tekanan injeksi 440 bar menghasilkan nilai BSFC paling tinggi, yang menunjukkan kondisi paling tidak efisien.

Selain itu, kombinasi diameter nozzle 0.152 dengan tekanan 420 bar menunjukkan nilai BSFC sedang yang berada di antara kedua kondisi tersebut, sehingga dapat dikategorikan sebagai kombinasi kondisi sedang. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan kecil pada diameter

nozzle dan tekanan injeksi dapat memberikan perbedaan yang cukup signifikan terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar. Dimana nilai BSFC yang lebih rendah pada kombinasi terbaik juga dipengaruhi oleh efisiensi konversi pada mesin, di mana jumlah bahan bakar yang digunakan lebih sedikit untuk menghasilkan daya yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi parameter yang tepat dapat meningkatkan performa mesin sekaligus mengurangi konsumsi bahan bakar.

Analisis Hubungan Parameter terhadap Efisiensi Mesin

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada variasi putaran mesin (Rpm), diameter nozzle dan tekanan injeksi, diperoleh bahwa ketiga parameter tersebut memiliki hubungan terhadap kinerja mesin diesel, khususnya terhadap konsumsi bahan bakar spesifik (Brake Specific Fuel Consumption atau BSFC). Analisis hubungan ini dilakukan untuk memahami hubungan antar parameter serta pengaruh terhadap efisiensi pembakaran. Pada penelitian ini nilai BSFC merupakan indikator utama dalam menilai efisiensi penggunaan konsumsi bahan bakar pada mesin diesel. Nilai BSFC dipengaruhi oleh laju aliran volumetrik bahan bakar (\dot{m}_v), laju aliran massa bahan bakar (\dot{m}_f) dan daya yang dihasilkan mesin (Brake Power atau BP). Oleh karena itu, perubahan pada parameter sistem injeksi dan kondisi operasi mesin akan berdampak langsung terhadap ketiga parameter tersebut. Kombinasi parameter yang terlalu ekstrem, seperti diameter nozzle besar dengan tekanan injeksi tinggi, cenderung meningkatkan konsumsi bahan bakar tanpa meningkatkan efisiensi pembakaran secara signifikan. Sebaliknya, kombinasi parameter yang seimbang, mampu menghasilkan pembakaran yang lebih optimal. Pada penelitian ini, kondisi yang optimal diperoleh pada parameter diameter nozzle 0.152 dengan tekanan injeksi 420 bar pada putaran mesin 1000 rpm, yang menunjukkan keseimbangan antara kualitas atomisasi dan jumlah bahan bakar yang terinjeksikan.

Selain itu, kombinasi yang paling mendekati kondisi optimal diameter nozzle 0.152 dengan tekanan injeksi 420 bar dan rpm 1000 dan juga kombinasi diameter nozzle 0.150 tekanan injeksi 440 bar dan rpm 1000. Hal ini ditunjukkan oleh nilai BSFC dari kombinasi diameter nozzle 0.154 tekanan injeksi 400 bar dan rpm 1000 yang sangat mendekati, yaitu sebesar 0,00088 g/kW·h dan juga kombinasidiameter nozzle 0.150 tekanan injeksi 440 bar dan

rpm 1000 juga mendekati, yaitu sebesar 0,00088 g/kW·h, dibandingkan dengan nilai pada kondisi optimal sebesar 0,00089 g/kW·h. Kedekatan nilai ini menunjukkan adanya efek kompensasi antara diameter nozzle yang lebih berbeda dan tekanan injeksi yang berbeda juga, sehingga menghasilkan nilai konsumsi bahan bakar spesifik yang hampir sama.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa dengan variasi diameter nozzle dan tekanan injeksi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai brake specific fuel consumption (BSFC) pada mesin. Diameter nozzle yang lebih kecil cenderung menghasilkan nilai BSFC yang lebih rendah karena mampu menghasilkan atomisasi bahan bakar yang lebih baik, sehingga proses pembakaran menjadi lebih sempurna. Sebaliknya, diameter nozzle yang lebih besar menyebabkan peningkatan debit bahan bakar dan penurunan kualitas atomisasi, sehingga nilai BSFC menjadi lebih tinggi.

Ternyata, peningkatan tekanan injeksi juga cenderung memiliki peningkatan nilai BSFC, karena meskipun dapat memperbaiki proses penyemprotan bahan bakar, tekanan yang terlalu tinggi menyebabkan jumlah bahan bakar menjadi berlebihan dan tidak seluruhnya terbakar secara optimal

Dari hasil penelitian, efisiensi dari kombinasi diameter nozzle 0.150 dan tekanan injeksi 400 bar menghasilkan nilai BSFC paling rendah sehingga menghasilkan nilai paling efisien. Tetapi dengan kombinasi diameter nozzle 0.152 dan tekanan 420 bar merupakan kondisi yang paling mendekati optimal, karena memberikan keseimbangan antara kualitas atomisasi dan jumlah bahan bakar yang di keluarkan, menghasilkan pembakaran yang cukup efisien dan stabil.

Demikian, dapat disimpulkan bahwa efisiensi mesin diesel tidak hanya ditentukan oleh nilai konsumsi bahan bakar terendah, tetapi juga oleh keseimbangan parameter ukuran maupun tekanan sistem injeksi yang di gunakan.

REFERENSI

- Ai, Wenbo, and Haeng Muk Cho. 2024. "Predictive Models for Biodiesel Performance and Emission Characteristics in Diesel Engines : A Review."
- Aziz, Amiral, and Zul Fahmi. 2022. "Recondition Injector Nozzle and Its Pressure Effect on Performance Parameters of Diesel Engine Komatsu Types." 26(2): 165–72.
- Beerge, Ramesh, and Sachin Devarmani. 2024. "Diesel-Powered Engine and Agriculture." *Diesel Engines - Current Challenges and Future Perspectives*: 1–25. doi:10.5772/intechopen.1003701.
- Beyan, Mukur, and Menelik Walle. 2022. "Pengaruh Jumlah Lubang Nosel Injektor Dan Tekanan Injeksi Bahan Bakar Terhadap Karakteristik Mesin Diesel Yang Dioperasikan Dengan Campuran Biodiesel Minyak Jelantah." : 275–94.
- Bitire, Sarah Oluwabunmi, and Tien Chien Jen. 2022. "Performance and Emission Analysis of a CI Engine Fueled with Parsley Biodiesel–Diesel Blend." *Materials for Renewable and Sustainable Energy* 11(2): 143–53. doi:10.1007/s40243-022-00213-4.
- Chen, Guojin, Chang Chen, Yiming Yuan, and Lingjun Zhu. 2020. "Modelling and Simulation Analysis of High-Pressure Common Rail and Electronic Controlled Injection System for Diesel Engine." *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences* 5(2): 345–56. doi:10.2478/amns.2020.2.00043.
- Djamari, Djati Wibowo, Muhammad Idris, Permana Andi Paristiawan, Muhammad Mujtaba Abbas, Olusegun David Samuel, Manzoore Elahi M. Soudagar, Safarudin Gazali Herawan, et al. 2022. "Diesel Spray: Development of Spray in Diesel Engine." *Sustainability (Switzerland)* 14(23). doi:10.3390/su142315902.
- El Marnissi, Yassine, and Joonsik Hwang. 2024. "Microscopic Imaging on Diesel Spray and Atomization Process." *Processes* 12(2): 1–14. doi:10.3390/pr12020359.
- Fellezia Rahel Violeta Felle (2025). Identifikasi dan Penanganan Gangguan Mesin Diesel melalui Pemeliharaan Korektif di PLTD Jayapura. *Jurnal Riset Rumpun Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 4(3). <https://doi.org/10.55606/jurrimipa.v4i3.7706>
- Gedeon, Gilbert. "Diesel Engine Fundamentals Credit: 4 PDH." (877). www.cedengineering.com.
- Grisso, Robert D., Michael F. Kocher, and David H. Vaughan. 2004. "Predicting Tractor Fuel Consumption." *Applied Engineering in Agriculture* 20(5): 553–61. doi:10.13031/2013.13732.
- Harbul Fijar, Monika Retno Gurnarti. 2025. "Impression : Jurnal Teknologi Dan Informasi Analisis Penyebab Ketidaktepatan Proses Pengabutan Pada Injector Mesin Induk Type Zichai-Yanmar 6N330-EW." 4(1).
- John, B. 21 *INTERNAL COMBUSTION ENGINE*.

- Li, Zhipeng, Qiang Zhang, Fujun Zhang, Hongbo Liang, and Yu Zhang. 2023. "Investigation of Effect of Nozzle Numbers on Diesel Engine Performance Operated at Plateau Environment." *Sustainability (Switzerland)* 15(11). doi:10.3390/su15118561.
- Liu, Yize, and Wanhua Su. 2024. "The Influence of Injector Nozzle Diameter on High-Density and Lean Mixture Combustion in Heavy-Duty Diesel Engines." *Energies* 17(11). doi:10.3390/en17112549.
- Milojević, Saša, Ondrej Stopka, Nataša Kontrec, Olga Orynych, Martina Hlatká, Mladen Radojković, and Blaža Stojanović. 2025. "Analytical Characterization of Thermal Efficiency and Emissions from a Diesel Engine Using Diesel and Biodiesel and Its Significance for Logistics Management." *Processes* 13(7). doi:10.3390/pr13072124.
- Model, Butanol-diesel Using Gt-power, Salman Abdu Ahmed, Song Zhou, Yuanqing Zhu, Yongming Feng, and Adil Malik. 2019. "Influence of Injection Timing on Performance and Exhaust Emission of CI Engine Fuelled With."
- Mondal, Pijush Kanti, and Bijan Kumar Mandal. 2024. "Effect of Fuel Injection Pressure on the Performances of a CI Engine Using Water-Emulsified Diesel (WED) as a Fuel." *Energy, Sustainability and Society* 14(1): 1–14. doi:10.1186/s13705-024-00442-7.
- Ngatmin, et al. (2023). Analisa Kegagalan Ring Piston Mesin Diesel Type YMD MAN B&W(5S35MC-C9-2) di KM. Spil Hasya. *Ocean Engineering : Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, 2(4). <https://doi.org/10.58192/ocean.v2i4.1903>
- Ni, Peiyong, Haiyan Xu, Ziheng Zhang, and Xuewen Zhang. 2022. "Effect of Injector Nozzle Parameters on Fuel Consumption and Soot Emission of Two-Cylinder Diesel Engine for Vehicle." *Case Studies in Thermal Engineering* 34(April): 101981. doi:10.1016/j.csite.2022.101981.
- Nolandy, Henry, M S K Tony, Suryo Utomo, Berkah Fajar, Tamtomo Kiono, Respatya Teguh Soewono, Kurnia Fajar, et al. 2023. "Majalah Ilmiah Pengkajian Industri A Gravimetric Methodology for Measuring Fuel Mass Flow Rate in a No-Load Engine Operating at Various RPMs." : 0–5.
- Roland Fatar Fernados Sirait, et al. (2025). Analisis Konsumsi Bahan Bakar Alat Gali Muat-Angkut pada Kegiatan Pengupasan Overburden PIT Seloklai: PT. Mitra Indah Lestari Kota Samarinda. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 3(3). <https://doi.org/10.61132/venus.v3i3.844>
- Setyoko & Heru (2019). Penerapan Pembelajaran Discovery untuk Meningkatkan Aktivitas dan Prestasi Belajar Memperbaiki Mesin Diesel. *Jurnal Komunikasi Pendidikan*, 3(1). <https://doi.org/10.32585/jkp.v3i1.297>
- Singh, Veena, Supriya B Chavan, and Yogesh C Sharma. 2022. "Experimental Investigation of Engine Performance for 2nd Generation Biodiesel Derived from Mg 2 Zr 5 O 12 Catalyst."

Tanadi, Derrick, Ryan Alexander, David Chandra, Tulus Burhanuddin Sitorus, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, and Universitas Sumatera Utara. 2022. "Jurnal Dinamis." 10(2): 53–60.

Widiyatmoko Widiyatmoko, et al. (2024). Pelatihan ECO - Riding Pada Pelajar Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Untuk Mengurangi Konsumsi Bahan Bakar dan Resiko Kecelakaan. *Jurnal Pengabdian dan Perubahan Sosial*, 1(4).
<https://doi.org/10.62951/karya.v1i4.821>