

Optimasi Performa Mesin Diesel Matsumoto MDX-178F melalui Modifikasi Intake dan Exhaust

Dibyo Setiawan^{*1}, Rizal Jatnika¹, Derry Murtadho Muthohhary¹, Ilham Azmy¹, Toni Okviyanto², Cahyo Wibowo³.

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung; Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat Kode Pos 40559, 022 – 2013898

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya; Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang, Sumatera Selatan, Sumatera Selatan, Kode Pos 30139

³Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mpu Tantular; Jl. Cipinang Besar No.2, 68 Jakarta Timur, DKI Jakarta 13410

e-mail: ^{*1}dibyo.setiawan@polban.ac.id, ¹muhammad.rizal.tme22@polban.ac.id,

¹derry.murtadho.tme22@polban.ac.id, ¹ilham.azmy@polban.ac.id, ²toni.okviyanto@polsri.ac.id,

³cahyowibowo@mputantular.ac.id

Abstrak

Kondisi mesin diesel Matsumoto MDX-178F untuk Kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE) pada saat ini tidak berada diperforma maksimalnya, efisiensi dan torsi yang dihasilkannya menurun dari spesifikasi awal mesin. Tujuan kegiatan ini adalah untuk rekondisi dan modifikasi sistem pemasukan dan pembuangan udara pada mesin diesel Matsumoto MDX-178F guna mengoptimalkan performa mesin, meningkatkan efisiensi pembakaran, dan mengurangi emisi gas buang. Metode rekondisi dimulai dengan evaluasi sistem pemasukan dan pembuangan udara yang meliputi komponen-komponen seperti saluran udara, filter, saluran pembuangan, bagian head, piston, silinder, injector dan bagian lainnya. Dilakukan perbaikan atau penggantian pada komponen yang rusak atau memerlukan peyetelan ulang. Proses modifikasi dilakukan dengan cara melakukan porting dan polishing pada jalur pemasukan dan pembuangan. Peningkatan laju udara di ukur menggunakan flow bench, peningkatan daya diukur menggunakan dynotest, penurunan emisi gas buang diukur dengan alat exhaust gas analyzer. Penelitian ini berkontribusi ilmiah pada penerapan terintegrasi rekondisi dan optimasi geometri saluran intake–exhaust berbasis porting dan polishing pada mesin diesel satu silinder dalam konteks kendaraan hemat energi, yang masih terbatas dalam penelitian sebelumnya. Hasil dari rekondisi dan modifikasi ini dapat menunjukkan peningkatan yang cukup besar pada performa mesin, termasuk peningkatan daya dan efisiensi pembakaran. sehingga mesin menjadi lebih ramah lingkungan. Kesimpulan menunjukkan bahwa rekondisi dan perubahan sistem asupan dan pembuangan mesin diesel Matsumoto MDX-170F tidak hanya meningkatkan kinerja mesin, namun juga meningkatkan penghematan bahan bakar dan mengurangi dampak lingkungan.

Kata kunci— rekondisi, modifikasi, sistem pemasukan, pembuangan udara, porting polish.

Abstract

The current condition of the Matsumoto MDX-178F diesel engine for the Energy Efficient Car Competition (KMHE) is not at its maximum performance, the efficiency and torque it produces have decreased from the initial engine specifications. The purpose of this activity is to recondition and modify the air intake and exhaust system on the Matsumoto MDX-178F diesel engine to optimize engine performance, increase combustion efficiency, and reduce exhaust emissions. The reconditioning method begins with an evaluation of the air intake and exhaust system which includes components such as air ducts, filters, exhaust ducts, head parts, pistons,

cylinders, injectors and other parts. Repairs or replacements are carried out on components that are damaged or require readjustment. The modification process is carried out by porting and polishing the intake and exhaust lines. The increase in air flow is measured using a flow bench, the increase in power is measured using a dynotest, the reduction in exhaust emissions is measured using an exhaust gas analyzer. This study provides a scientific contribution through the integrated application of reconditioning and geometric optimization of intake–exhaust channels based on porting and polishing in a single-cylinder diesel engine within the context of energy-efficient vehicles, an area that remains limited in previous research. The results of this reconditioning and modification can show a significant increase in engine performance, including increased power and combustion efficiency. so that the engine becomes more environmentally friendly. The conclusion shows that the reconditioning and modification of the intake and exhaust systems of the Matsumoto MDX-170F diesel engine not only improves engine performance, but also improves fuel economy and reduces environmental impact.

Keywords— *reconditioning, modification, intake system, air exhaust, porting polish*

1. PENDAHULUAN

Mesin diesel merupakan salah satu mesin pembakaran dalam yang banyak digunakan di sektor industri karena memiliki efisiensi termal yang tinggi dan daya tahan operasional yang baik dibandingkan mesin bensin [1], [2] Keunggulan tersebut menjadikan mesin diesel banyak diaplikasikan pada sistem pembangkit listrik dan alat berat yang menuntut keandalan serta konsumsi bahan bakar yang ekonomis [3]. Salah satu produk yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mesin diesel Matsumoto MDX-178F, kapasitas 296 cc dengan konfigurasi satu silinder. Namun, seiring dengan penggunaan yang intensif dan proses penuaan komponen (*aging*), kinerja dan efisiensi mesin mengalami penurunan [4]. Mesin yang saat ini didaftarkan pada Kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE) tahun penyelenggaraan 2025 tersebut menunjukkan beberapa permasalahan teknis, antara lain penurunan performa, peningkatan konsumsi bahan bakar, serta munculnya suara abnormal pada wilayah *head* silinder [5], [6] Kondisi ini mengindikasikan adanya degradasi pada sistem pembakaran maupun mekanisme katup yang memerlukan analisis lebih lanjut [7]. Gambar 1 menunjukkan konstruksi fisik mesin diesel yang digunakan dalam untuk kompetisi KMHE ini.



Gambar 1 Mesin Diesel Matsumoto MDX 178-F

Sistem pemasukan udara dan gas buang merupakan subsistem krusial dalam mesin diesel karena secara langsung memengaruhi kualitas proses pembakaran, daya keluaran, dan efisiensi konsumsi bahan bakar [8]. Pada mesin diesel, rasio udara–bahan bakar yang optimal sangat menentukan terbentuknya pembakaran sempurna di dalam ruang bakar [5] [9]. Jika terjadi hambatan aliran udara masuk, mengakibatkan restriksi pada saluran *intake* atau penurunan performa katup, maka suplai oksigen menjadi tidak mencukupi sehingga pembakaran

berlangsung tidak sempurna [10]. Kondisi ini mengakibatkan penurunan daya efektif serta peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*) [11].

Sistem gas buang juga berpengaruh terhadap tekanan balik (*back pressure*) yang dapat memengaruhi efisiensi volumetrik mesin [11], [12], [13]. Ketidakefektifan proses pembakaran berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas buang berbahaya, seperti karbon monoksida (*CO*), nitrogen oksida (*NOx*), dan partikulat (*PM*) [14]. Seiring meningkatnya tuntutan efisiensi energi dan kepedulian terhadap aspek lingkungan, diperlukan optimalisasi atau modifikasi pada sistem pemasukan udara dan pembuangan gas buang guna meningkatkan kualitas pembakaran sekaligus menekan emisi yang dihasilkan [14], [15]. Upaya ini menjadi penting terutama pada mesin diesel yang digunakan dalam KMHE, dimana performa dan efisiensi menjadi parameter utama evaluasi [16], [17].

Hendro Prastyo dkk melakukan kegiatan untuk mengetahui pengaruh porting saluran *intake* dan *exhaust* terhadap kinerja *Kawasaki Ninja 2* tak 150 cc. Metode eksperimen dengan membentuk kembali lubang *intake* dan *exhaust* silinder blok dari *intake port* 44 mm menjadi 42,5 mm dari bibir blok silinder atas dan *exhaust* dari lebar 36 mm menjadi 41,5 mm, tinggi *exhaust* 35 mm menjadi 29,5 mm dari bibir atas silinder blok, untuk mengetahui data Torsi dan Daya yang dihasilkan alat uji *Dynojet*. Hasil data didapat dari blok standar memperoleh daya 23,49 HP pada putaran 6.915 rpm menjadi 27,92 HP pada putaran 8.584 rpm dan hasil torsi pada blok silinder standar mendapatkan data putaran 19,31 HP pada putaran 6.723 rpm menjadi 21,85 pada 8.018 rpm. Kesimpulan perubahan *porting* pada *intake* dan *exhaust*, dapat meningkatkan daya dan torsi serta mempengaruhi performa mesin [18].

M. F. Samuri dkk melakukan kegiatan membahas bentuk dan kondisi kepala silinder mesin bensin *Spark Ignition (SI)* 1,6 liter setelah proses modifikasi dengan *porting* dan *polishing*. Metode eksperimen dengan bukaan katup dengan nilai yang menggunakan mesin *SuperFlow SF 600 FlowBench*. Kepala silinder yang dimodifikasi memberikan peningkatan aliran sebesar 12,7% pada pengangkatan katup maksimum dibandingkan dengan kepala silinder standar. Dalam hal koefisien debit, kepala silinder yang dimodifikasi juga memberikan nilai koefisien debit yang lebih tinggi dibandingkan dengan kepala silinder standar, yaitu masing-masing 0,94 dan 0,82 pada pengangkatan katup maksimum. Kesimpulannya membuktikan bahwa pengerjaan *porting* dan *polishing* pada area saluran masuk dapat secara signifikan meningkatkan aliran ke dalam mesin dan meningkatkan daya mesin [19].

Mohd Taufik Bin Abd Kadir dengan melakukan kegiatan modifikasi aliran pada saluran masuk dengan memperbesar wilayah saluran masuk antara dua kepala silinder, *Toyota 4AGE* 1.6L dan *Proton 4G92* 1.6L. Modifikasi yang dilakukan meliputi *porting*, *polishing*, pelepasan pemandu katup, dan pemasangan *velocity stack* tambahan. Pengaruh modifikasi pada kedua kepala silinder diuji secara eksperimental dengan membuka *lift* katup dengan nilai signifikan melalui perhitungan menggunakan mesin *Flowbench Superflow® SF-1020*. Hasil eksperimen membuktikan secara signifikan meningkatkan aliran ke dalam mesin dan akibatnya mengubah kecepatan pusaran ke nilai yang lebih tinggi untuk kedua kepala silinder, dan meningkat secara luar biasa ketika *velocity stack* ditambahkan bersamaan dengan modifikasi [20].

Wardiana dkk melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh *intake manifold* standar dengan *intake manifold* modifikasi terhadap performa mesin. Pengujian torsi dan daya dilakukan pada putaran 1500-8000 rpm, sedangkan untuk pengujian konsumsi bahan bakar dilakukan pada putaran 2500-7000 rpm. Hasil pengujian daya maksimal menggunakan *intake manifold* standar dan modifikasi sama sebesar 7.6 HP. Tetapi pada putaran mesin 1500-4399 rpm daya lebih tinggi menggunakan *manifold* modifikasi. Untuk torsi maksimal menggunakan *intake manifold* modifikasi lebih besar dari standar yaitu 18.8 pada putaran mesin 2087 rpm. Dan untuk konsumsi bahan bakar menggunakan *intake manifold* modifikasi lebih boros dibanding *intake manifold* standar [21].

Aldiyan Rizky melakukan eksperimental *intake port* dengan *dimple porting* terhadap daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar motor bakar 4 langkah. Metode yang digunakan dengan

cara menguji secara langsung pengaruh suatu variabel terhadap variabel lainnya. Tujuan penelitian mengamati pengaruh *dimple porting* terhadap daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar spesifik yang dihasilkan sepeda motor 100 cc *Honda Supra Fit X* dengan putaran mesin 3000, 4000, dan 5000 rpm dengan variasi *intake port* standar dan *intake port dimple porting*. Hasil didapatkan daya terbesar pada *intake port dimple porting* sebesar 4,1 hp pada putaran mesin 5000 rpm, sedangkan torsi terbesar yang dihasilkan sebesar 6,12 Nm pada putaran mesin 5000 rpm dengan penggunaan *intake port dimple porting*. Konsumsi bahan bakar spesifik minimal yang dihasilkan sebesar 0,315 kg/kWH dengan penggunaan *intake port standar* [22].

Faiq Al Fudlola dkk. melakukan penelitian untuk menganalisis pengaruh modifikasi porting intake dan exhaust pada blok silinder terhadap kinerja mesin dan laju perpindahan kalor pada *Kawasaki Ninja RR 150*. Metode meliputi proses *porting* pada saluran masuk dan buang, kemudian dilakukan pengukuran daya, torsi, dan temperatur mesin, serta evaluasi laju perpindahan kalor untuk menilai perubahan disipasi panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi porting meningkatkan efisiensi aliran gas sehingga berdampak positif terhadap peningkatan daya mesin. Selain itu, perubahan pada saluran *exhaust* membantu menurunkan temperatur berlebih dan meningkatkan kestabilan kinerja mesin pada putaran tinggi [23].

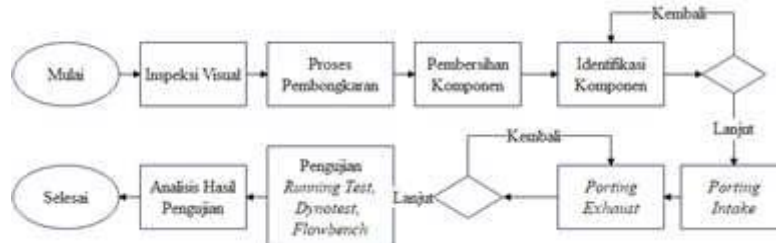
Zhang dkk. mengkaji kinerja mesin diesel berat dua tahap turbocharged dengan FHVVS, membandingkan performa pada mode asli dan siklus Miller. Penelitian ini menunjukkan bahwa EIVC pada siklus Miller mengurangi tekanan gas buang rata-rata dan meningkatkan suhu gas buang, meskipun perbedaan suhu turbin tetap konsisten. Rasio dorongan kompresor serupa di kedua mode, dan tekanan intake rata-rata meningkat dalam kondisi tertentu. Perbedaan tekanan intake dan exhaust pada siklus Miller berkurang, mengurangi kerugian pemompaan sebesar 67,1 kPa dan menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) sebesar 4,4 g/(kW·h) rata-rata [24].

Beberapa penelitian Sebelumnya meskipun telah mengkaji pengaruh porting dan polishing terhadap peningkatan performa mesin, namun sebagian besar studi difokuskan pada mesin bensin atau motor bakar berkapasitas kecil tanpa mempertimbangkan karakteristik pembakaran mesin diesel, khususnya pada aplikasi kendaraan hemat energi. Selain itu, penelitian sebelumnya cenderung hanya mengevaluasi peningkatan daya dan torsi tanpa mengintegrasikan aspek efisiensi bahan bakar dan stabilitas operasional mesin secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan mengkaji secara komprehensif pengaruh rekondisi dan optimasi sistem intake–exhaust berbasis porting dan polishing pada mesin diesel satu silinder yang digunakan dalam kompetisi efisiensi energi (KMHE).

Riset sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan *porting polish* berpengaruh terhadap perubahan konsumsi bahan bakar spesifik mesin. Pada putaran rendah, konsumsi bahan bakar cenderung menurun, sedangkan pada putaran tinggi justru meningkat. Oleh karena itu, kegiatan ini diarahkan untuk memperoleh penurunan konsumsi bahan bakar yang lebih merata dari putaran rendah hingga putaran tinggi melalui prosedur rekondisi dan metode *porting polish* yang disertai pengujian aliran dan evaluasi kinerja secara komprehensif. Tujuan penelitian ini rekondisi komponen yang mengalami keausan atau penyimpangan toleransi dan modifikasi sistem pemasukan dan pembuangan pada mesin diesel *Matsumoto MDX-178F*. Melalui pendekatan ini, diharapkan terjadi peningkatan performa, penurunan konsumsi bahan bakar spesifik, serta pengurangan emisi gas buang, sehingga mesin dapat beroperasi lebih efisien dan ramah lingkungan, khususnya dalam mendukung kebutuhan pengujian dan partisipasi kejuaraan KMHE.

2. METODE PENELITIAN

Metode kegiatan menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi efektivitas proses rekondisi dan modifikasi sistem pemasukan serta pembuangan pada mesin diesel *Matsumoto MDX-178F*. Berikut diagram alir kegiatan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alir Kegiatan

Proses Inspeksi dilakukan dengan pemeriksaan mesin diesel sebelum dilakukan pembongkaran (*disassembly*). Meliputi pemeriksaan komponen seperti kebocoran *seal*, keausan, korosi, dan keretakan yang terjadi pada bagian luar. Inspeksi visual dilaksanakan secara sistematis dengan mengamati seluruh bagian eksternal mesin, termasuk sambungan baut, *housing*, sistem bahan bakar, sistem pelumasan, serta saluran *intake* dan *exhaust*. Proses inspeksi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Inspeksi Visual

Proses Pembongkaran (*Disassembly*) dilakukan dengan memisahkan komponen utama mesin untuk dapat dilakukan pemeriksaan lebih detail kelayakan, pengukuran toleransi, serta evaluasi tingkat keausan atau kerusakan yang terjadi. Pembongkaran meliputi pelepasan silinder *head* beserta komponen di dalamnya seperti katup, pegas katup, *camshaft*, *injector*, *pushrod*, *valve lifter*, serta komponen pendukung lainnya. Langkah-langkah rinci dalam tahap pembongkaran mesin diesel *Matsumoto MDX-178F* ditunjukkan pada Gambar 4, 5 dan 6.



Gambar 4 Proses Pembongkaran Tahap 1

Gambar 4 merupakan tahapan proses pembongkaran tahap 1 sebagai berikut:

Pastikan mesin dalam kondisi mati dan temperatur telah turun ke kondisi aman, kemudian melepas kabel baterai untuk mencegah terjadinya konsleting, percikan api, maupun kecelakaan kerja akibat mesin hidup secara tidak sengaja. Pengosongan bahan bakar dilakukan dengan melepaskan saluran bahan bakar dari tangki menuju sistem injeksi guna menghindari kebocoran, tumpahan, serta risiko kebakaran selama proses pembongkaran berlangsung. Melepaskan *drain plug* oli untuk menguras seluruh oli mesin hingga habis, sehingga komponen internal tidak terendam pelumas saat dibuka. Oli bekas harus ditampung dalam wadah khusus sesuai prosedur pengelolaan limbah agar tidak mencemari lingkungan. Melepaskan pipa *exhaust* yang terhubung

ke mesin dengan memperhatikan kondisi *gasket* dan ulir baut untuk mencegah kerusakan pada dudukan *exhaust*.



Gambar 5 Proses Pembongkaran Tahap 2

Gambar 5 merupakan tahapan proses pembongkaran tahap 2 sebagai berikut :

Lepaskan dan beri tanda *alternator* beserta seluruh kabel penghubungnya untuk mencegah kerusakan pada sistem kelistrikan. Lepaskan *starter* motor guna memberikan ruang kerja yang lebih luas saat pembongkaran komponen utama mesin. Lepaskan saluran bahan bakar yang terhubung antara pompa bahan bakar dan *Injector*. Lepaskan pompa injeksi bahan bakar sesuai prosedur dengan membuka baut pengikat secara bertahap dan terkendali, serta perhatikan posisi *timing* agar tidak terjadi perubahan setelan saat proses perakitan kembali. Lepaskan *Injector* bahan bakar menggunakan alat yang sesuai untuk menghindari kerusakan pada ulir dan dudukan *Injector*, kemudian simpan pada tempat yang bersih dan tertutup guna mencegah kontaminasi kotoran pada ujung *nozzle*.



Gambar 6 Proses Pembongkaran Tahap 3

Gambar 6 merupakan Tahapan proses pembongkaran tahap 3 sebagai berikut :

Lepaskan tutup mekanisme katup (*valve cover*) dengan membuka baut pengikat secara merata untuk menghindari tekanan tidak seimbang pada permukaan penutup, kemudian periksa kondisi *gasket* apakah masih elastis atau sudah mengalami pengerasan dan retak. Lepaskan baut kepala silinder dengan urutan yang tepat secara bertahap dan berlawanan arah jarum jam guna mencegah terjadinya deformasi atau *warping* pada kepala silinder akibat pelepasan tegangan yang tidak merata. Lepaskan pompa oli beserta saluran oli yang terhubung ke mesin, kemudian lakukan pemeriksaan visual terhadap *rotor*, *gear*, dan celah kerja pompa untuk memastikan tidak terjadi keausan berlebih yang dapat menurunkan tekanan pelumasan.

Lepaskan *crankshaft cover* dan periksa kondisi *gasket*, *bearing*, serta komponen lainnya untuk mengidentifikasi adanya keausan, goresan, atau tanda-tanda kegagalan pelumasan. Lepaskan *camshaft*, *cam gear*, dan *balancer* untuk dilakukan pemeriksaan kondisi fisik, termasuk profil *nok*, keausan *journal*, serta keseimbangan komponen guna memastikan sistem mekanisme katup dan putaran mesin tetap presisi. Lakukan pemeriksaan terhadap *piston*, pegas katup, dan katup dengan mengukur tingkat keausan, kebulatan, kelurusan batang katup, serta kondisi permukaan mahkota *piston* dari kemungkinan kerak karbon atau retakan mikro.

Metode pembersihan menggunakan kuas, amplas halus, cairan pembersih dan udara bertekanan sesuai kebutuhan masing-masing komponen, sehingga proses pembongkaran dapat berlangsung lebih mudah dan aman tanpa menimbulkan kerusakan tambahan. Proses pembersihan komponen ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Pembersihan *Head Silinder, Valve, Piston, Blok Silinder, Camshaft, Crankcase* dan *Crankshaft*

Pembersihan *head* silinder merupakan tahapan krusial dalam proses perawatan maupun *overhaul* mesin pembakaran internal karena kerak karbon hasil pembakaran yang menempel pada ruang bakar dan permukaan katup dapat mengganggu rasio kompresi serta kualitas pembakaran. Pembersihan piston reduksi gejala kehilangan tenaga, konsumsi oli berlebih, atau *knocking*. Pembersihan *camshaft* dari sisa oli teroksidasi, lumpur pelumas, dan partikel logam halus yang menempel pada poros *nok*. Sementara itu, pembersihan *crankcase* dan *crankshaft* dilakukan untuk memastikan seluruh ruang internal mesin terbebas dari lumpur oli, serpihan logam, dan kontaminan lain yang berpotensi merusak *bearing* maupun mengganggu sistem pelumasan.

Tahap identifikasi komponen untuk mengevaluasi kondisi fisik dan fungsional setelah proses pembongkaran dan pembersihan mencakup pemeriksaan kebocoran pada saluran udara, penyumbatan atau penurunan performa *filter*, ketidakefisienan sistem pembuangan yang berpotensi menimbulkan *back pressure*, serta pengukuran toleransi komponen seperti *piston*, silinder, katup, *camshaft*, dan *bearing* sesuai spesifikasi teknis pabrikan. Proses ini dilakukan menggunakan inspeksi visual, pengukuran dengan alat ukur presisi *feeler gauge*, mikrometer, *dial indicator*. Proses identifikasi ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Identifikasi Komponen

Pada perakitan (*assembly*) seluruh komponen yang telah dibongkar (*disassembly*) dirakit kembali sebagai persiapan sebelum dilakukan proses pengujian performa mesin. Proses perakitan (*assembly*) seluruh komponen ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Perakitan *Camshaft, Balancer, Piston* dan *Crankcase Cover*

Modifikasi sistem pemasukan (*intake*) dan pembuangan (*exhaust*) dilakukan untuk meningkatkan efisiensi volumetrik mesin. Proses ini difokuskan pada optimasi geometri saluran dengan metode *porting* dan *polishing*, yaitu memperbaiki bentuk penampang, mengurangi ketidakteraturan permukaan, serta meminimalkan hambatan aliran (*flow restriction*). Pada sisi *intake*, dilakukan perataan dan penyesuaian diameter saluran agar distribusi udara menuju ruang bakar lebih homogen serta meningkatkan koefisien debit (*coefficient of discharge*). *Porting* dan *polishing Intake* dan *Exhaust* ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 *Porting* dan *polishing Intake* dan *Exhaust*

Setelah proses rekondisi dan modifikasi sistem pemasukan (*intake*) serta pembuangan (*exhaust*) selesai dilakukan, tahap selanjutnya yaitu pengujian performa untuk parameter yang dianalisis meliputi daya keluaran (*output power*), torsi, efisiensi konsumsi bahan bakar. Selain itu, dilakukan perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik dan evaluasi kestabilan putaran mesin pada berbagai rentang RPM.



Gambar 11 Pelaksanaan *Running Test*

Pengujian *running test* dilakukan untuk mengevaluasi kondisi operasional mesin setelah proses rekondisi dan modifikasi, khususnya untuk mendeteksi adanya gejala abnormal seperti getaran berlebih, suara tidak normal, ketidakstabilan putaran (*idle*), maupun gangguan respon akselerasi. Prosedur pengujian dimulai dengan menghidupkan mesin dalam kondisi stasioner hingga mencapai putaran ± 3000 rpm untuk memastikan mesin berada pada temperatur kerja normal. Selanjutnya dilakukan pengukuran konsumsi bahan bakar dengan mengisi bahan bakar sebanyak 100 ml. Jarak tempuh yang diperoleh dicatat untuk menghitung efisiensi konsumsi bahan bakar dalam satuan km/liter disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Instrumen hasil pengukuran *running test*

No	Konsumsi Bahan Bakar	Kondisi Mesin	Keterangan
1.	4,97 km / 100 ml 49,7 km / 1 liter	baik tidak ada bunyi abnormal	Baik

Pengujian *dyno test* dilakukan untuk mengetahui peningkatan daya (*horsepower*) dan torsi (*torque*) mesin setelah proses rekondisi dan modifikasi sistem pemasukan serta pembuangan. Langkah-langkah pengujian *dyno* pada mesin umumnya terdiri dari beberapa tahapan penting sebagai berikut:

Persiapan Mesin dengan memeriksa kondisi mesin, kelistrikan mesin dan alat pengujian: memastikan *dynamometer* berfungsi dan terkalibrasi. Pemanasan Mesin untuk mencapai suhu kerja normal sebelum pengujian dilakukan. Pemasangan Mesin pada *Dyno* dihubungkan ke *dynamometer*, Sensor torsi, temperatur, tekanan, dan kecepatan mesin dipasang untuk memonitor data selama pengujian. Prosedur Pengujian Beban Stabil: Mesin dioperasikan pada berbagai tingkat beban dan kecepatan untuk melihat respons mesin pada torsi dan daya yang dihasilkan. Peningkatan kecepatan secara bertahap: Mesin akan dijalankan pada berbagai putaran mesin (RPM) untuk mengukur performa di berbagai rentang RPM. Pengujian pada kecepatan konstan: Pada beberapa *dyno*, pengujian juga dilakukan dengan mempertahankan kecepatan konstan untuk mengukur efisiensi bahan bakar atau torsi.

Untuk menjamin konsistensi dan validitas data, seluruh pengujian dilakukan dengan kondisi operasi yang terkontrol dan berulang. Setiap parameter pengujian dilakukan sebanyak

tiga kali pengulangan, kemudian diambil nilai rata-rata untuk meminimalkan deviasi pengukuran. Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan dengan temperatur sekitar $27 \pm 2^\circ\text{C}$ dan tekanan atmosfer standar, menggunakan bahan bakar solar dengan spesifikasi yang sama pada seluruh pengujian. Mesin dioperasikan hingga mencapai temperatur kerja normal sebelum pengambilan data dilakukan untuk memastikan kestabilan kondisi termal.

Pengambilan data yang dihasilkan oleh dyno akan mencakup daya (*horsepower*), torsi (*torque*), dan karakteristik mesin lainnya pada berbagai rentang RPM. Semua data akan direkam dan dianalisis untuk melihat performa mesin pada kondisi yang berbeda. Analisis Hasil Pengujian yang diperoleh akan dianalisis untuk memverifikasi daya dan torsi yang dihasilkan oleh mesin. Grafik hubungan daya dengan RPM, torsi dengan RPM untuk menilai performa mesin.

Pengujian *flowbench* dilakukan pada silinder *head* untuk untuk mengetahui peningkatan kapasitas aliran udara serta mengevaluasi efisiensi volumetrik kepala silinder berdasarkan parameter perbedaan tekanan (*pressure drop*) dan debit aliran udara. Berikut adalah langkah-langkah dalam proses *flow head* pada *flowbench*: Persiapan *flowbench* dengan memastikan semua komponen *flowbench* dalam kondisi baik dan telah terkalibrasi dengan benar, termasuk manometer, *ventury*, dan pengukur aliran udara. Pengaturan kecepatan udara yang akan digunakan dalam pengujian sesuai dengan standar mesin yang sedang diuji. Pemasangan kepala silinder dengan tepat yang akan diuji dipasang pada dudukan *flowbench*. Pastikan posisi kepala silinder terpasang dengan stabil dan rapat agar tidak ada kebocoran udara. Pasang *port* yang Tepat dengan memastikan bahwa saluran masuk (*intake*) dan saluran keluar (*exhaust*) dipasang dengan tepat agar tidak ada kebocoran yang dapat mempengaruhi hasil pengujian. Pemasangan peralatan pengukuran sensor aliran udara dilakukan untuk mendapatkan data terukur tentang jumlah udara yang mengalir melalui *port* kepala silinder. Manometer yang digunakan yaitu untuk mengukur perbedaan tekanan antara *port* masuk dan keluar.

Pengujian aliran udara berbagai kecepatan udara dengan mendistribusikan udara melalui saluran masuk (*intake*) dan saluran keluar (*exhaust*) kepala silinder pada berbagai kecepatan dan tekanan. Pengujian dilakukan pada beberapa level aliran udara untuk memetakan performa kepala silinder pada berbagai kondisi. Saluran Masuk (*intake flow*) dengan mendistribusikan udara diuji pada saluran masuk untuk mengetahui penerimaan udara ke dalam ruang bakar. Saluran keluar (*exhaust flow*) dengan mendistribusikan udara pada saluran keluar untuk memeriksa seberapa baik gas hasil pembakaran dikeluarkan. Pengujian pada berbagai posisi *port* untuk mendapatkan aliran udara yang optimal. Pengambilan data rekam data aliran udara dilakukan untuk pengambilan data termasuk aliran udara maksimum, kecepatan udara, perbedaan tekanan (*pressure drop*), dan karakteristik aliran di berbagai titik dalam *port* kepala silinder. Grafik aliran udara untuk menginterpretasikan hasil pengujian digambarkan dalam bentuk grafik aliran udara terhadap tekanan (*flow curve*) untuk visualisasi performa *port*. Berikut merupakan contoh grafik *flow head* sebelum dan sesudah dilakukan *porting*.



Gambar 12. Grafik Hubungan Buka-an Katup Dengan Aliran Udara

Pengujian aliran udara menggunakan flow bench dilakukan dengan mengacu pada prinsip pengukuran debit berbasis perbedaan tekanan (*pressure drop*) pada saluran intake dan exhaust. Pengujian dilakukan pada variasi bukaan katup 1–9 mm untuk memperoleh

karakteristik kurva aliran udara (flow curve). Parameter yang diukur meliputi debit aliran udara (CFM), tekanan diferensial (Pa), dan koefisien aliran (discharge coefficient). Pengujian performa mesin menggunakan dynamometer dilakukan untuk memperoleh data daya (HP) dan torsi (Nm) pada berbagai putaran mesin (RPM). Prosedur pengujian mengacu pada metode steady-state testing, di mana mesin dioperasikan pada kondisi beban dan putaran tertentu hingga mencapai kondisi stabil sebelum data dicatat.

Analisis dari hasil evaluasi aliran udara di interpretasikan dalam grafik dan data yang diperoleh untuk melihat di mana aliran udara terbaik atau terburuk terjadi dalam saluran masuk dan keluar. Identifikasi masalah dilakukan apabila terdapat wilayah dengan aliran udara yang tidak optimal, seperti hambatan aliran atau turbulensi yang berlebihan, ini akan membantu mengidentifikasi area yang perlu diperbaiki, misalnya dengan perataan *port*, perubahan sudut, atau peningkatan desain saluran.





Gambar 13 Proses Flow Bench

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

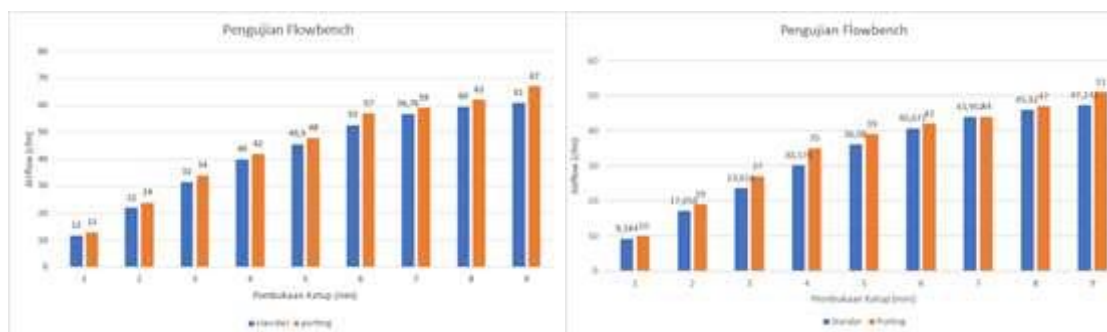
Hasil pengujian performa mesin setelah dilakukan proses rekondisi dan modifikasi, yang kemudian Evaluasi dilakukan melalui *running test* untuk mengamati parameter awal seperti kemudahan starter, kestabilan idle, respons akselerasi, suara mesin, serta gejala abnormal lainnya sebelum dan sesudah perbaikan. Berikut disajikan tabel 2 hasil *running test* sebagai acuan analisis perbandingan kondisi sebelum dan sesudah tindakan perbaikan.

Tabel 2 *RunningTest*

No	Nama Bahan	Parameter 1 Sebelum	Parameter 2 Sesudah
1.	Saat <i>Starter</i> Awal Mesin	Sulit untuk hidup	Mudah untuk distarter
2.	Kondisi <i>idle</i>	Tidak bisa melangsam dan mati terus atau gas terlalu tinggi	Bisa mengatur <i>idle</i> sesuai kebutuhan
3.	Performa mesin	Ketika di putaran rendah mesin masih tidak ada tenaga untuk maju jadi harus pada rpm tinggi dan torsi masih kurang tinggi.	Ketika <i>throttle</i> dibuka setelah <i>idle</i> mesin sudah maju sesuai bukaan gas
4.	Suara abnormal dari dalam mesin	Suara abnormal yang keluar dari dalam mesin terdengar, penyebabnya dari <i>bearing dan seal</i> aus, penyetelan komponen yang belum sesuai.	Tidak ada tanda – tanda suara abnormal yang keluar dari mesin, getaran pun masih dalam batas wajar
5.	Konsumsi Bahan Bakar	 33,3 km/liter	 49,7 km/liter

Tabel 2 hasil *running test*, terlihat adanya peningkatan signifikan terhadap kinerja mesin setelah dilakukan proses rekondisi dan penyetelan ulang. Pada kondisi starter awal, mesin yang sebelumnya sulit dihidupkan menunjukkan perbaikan dengan kemampuan start yang lebih responsif dan stabil, yang mengindikasikan sistem pengapian, suplai bahan bakar, serta kompresi telah bekerja secara optimal. Setelah dilakukan perbaikan, respons akselerasi meningkat secara nyata, di mana mesin mampu menghasilkan tenaga sesuai bukaan *throttle* baik secara bertahap maupun spontan (*full throttle*), menunjukkan peningkatan karakteristik torsi pada putaran rendah hingga menengah. Pada parameter suara abnormal, kondisi awal memperlihatkan banyak bunyi tidak normal akibat keausan *bearing*, *seal* yang tidak layak, serta penyetelan komponen yang kurang presisi. Setelah dilakukan penggantian dan penyetelan ulang, suara abnormal tidak lagi terdeteksi dan tingkat getaran berada dalam batas wajar, meskipun rangka masih dalam tahap prototipe. Konsumsi bahan bakar mengalami peningkatan, di mana efisiensi meningkat dari 33,3 km/liter menjadi 49,7 km/liter, membuktikan bahwa proses rekondisi dan penyetelan ulang berhasil meningkatkan performa, stabilitas operasional, serta efisiensi mesin secara menyeluruh.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode *flowbench*, mesin *Matsumoto MDX 178F* menunjukkan nilai daya maksimum sebesar 12,688 HP. Namun demikian, ketika dilakukan pengujian aktual menggunakan dynamometer (*dynotest*) di Bengkel *Taufik Garage*, terjadi koreksi nilai daya sebesar ± 4 HP dari hasil pengujian sebelumnya. Berdasarkan pengalaman operasional mereka terhadap tingkat deviasi pembacaan alat, dilakukan reduksi nilai untuk mendekati kondisi riil performa mesin. Dengan demikian, daya aktual yang ditetapkan dan dijadikan acuan performa mesin ini adalah sebesar 8,688 HP, yang dianggap lebih representatif terhadap kondisi kerja nyata dibandingkan nilai teoritis hasil *flow bench test*.

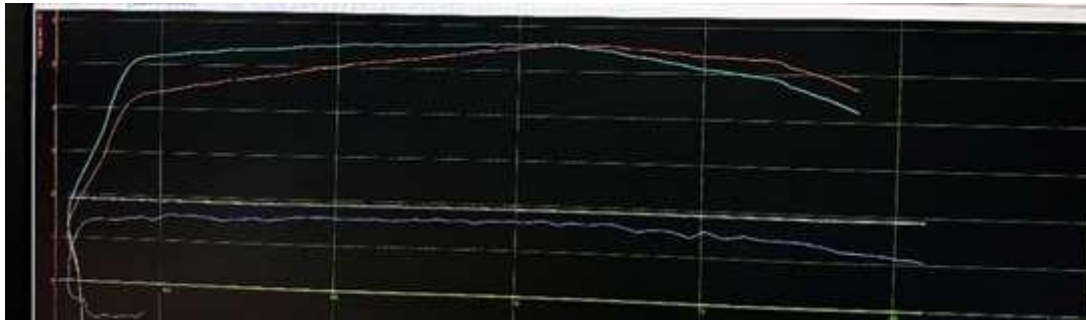


Gambar 14 Grafik Pengujian *Flow Bench*

Gambar 15 yang menampilkan grafik hasil pengujian *flow bench*, terlihat perbandingan karakteristik aliran udara antara kondisi standar dan setelah dilakukan proses porting pada berbagai variasi pembukaan katup (1–9 mm). Pada kedua grafik, sumbu horizontal menunjukkan pembukaan katup (mm), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan debit aliran udara (CFM). Secara umum, kurva hasil *porting* (warna *orange*) menunjukkan nilai aliran yang lebih tinggi dibandingkan kondisi standar (warna biru) pada setiap tingkat bukaan katup, baik pada saluran *intake* maupun *exhaust*. Pada pembukaan katup rendah (1–3 mm), peningkatan debit aliran sudah mulai terlihat, meskipun selisihnya relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan geometri *port* mulai memberikan efek terhadap kelancaran aliran udara sejak bukaan awal. Seiring bertambahnya pembukaan katup (4–6 mm), selisih antara kondisi standar dan porting semakin signifikan, yang mengindikasikan berkurangnya hambatan aliran (*flow restriction*) akibat proses pembentukan ulang dan penghalusan permukaan saluran. Pada bukaan maksimum (7–9 mm), peningkatan debit aliran semakin jelas, di mana kondisi porting mampu mencapai nilai aliran tertinggi dibandingkan standar.

Hasil pengujian *Dynotest* dengan pendekatan metode *on wheel dyno test*, mesin *Matsumoto MDX 178F* memperoleh daya maksimum aktual sebesar 5,6 HP, torsi maksimum

5,45 Nm, dan kecepatan maksimum 81,1 km/jam. Nilai daya yang diperoleh pada pengujian roda ini lebih rendah dibandingkan hasil pengujian *on engine dyno* maupun spesifikasi pada *manual book* yang mencantumkan daya sebesar 6,6 HP pada poros mesin (*crankshaft output*). Penurunan daya sebesar $\pm 20\%$ – 30% tersebut merupakan fenomena yang umum terjadi pada pengujian *wheel horsepower* (WHP) karena adanya kehilangan daya (*power losses*) pada sistem pemindah tenaga. Kerugian daya utama berasal dari sistem *drivetrain* yang meliputi transmisi, *differential*, *axle*, serta komponen kopling dan rantai/*sprocket*, yang secara mekanis menyerap sebagian energi akibat gesekan dan inersia rotasional. Secara teoritis, *losses* pada sistem ini dapat mencapai 10%–15%, bahkan lebih tergantung desain dan kondisi komponen. Hasil pengujian *on wheel dyno* sebesar 5,6 HP dikoreksi dengan mempertimbangkan estimasi drivetrain loss, maka nilai daya poros mesin yang dihasilkan berada pada kisaran $\pm 6,6$ HP.



Gambar 15 Grafik Hasil Dynotest

Gambar 15 yang menampilkan grafik hasil *dyno test*, terlihat kurva hubungan antara putaran mesin (*RPM*) terhadap daya (*HP*) dan torsi (*Nm*) yang dihasilkan selama pengujian *on wheel dynamometer*. Pola grafik menunjukkan bahwa daya meningkat seiring kenaikan *RPM* hingga mencapai titik maksimum, kemudian mengalami penurunan setelah melewati putaran puncaknya. Kurva torsi memperlihatkan karakteristik yang relatif stabil pada putaran menengah sebelum akhirnya menurun pada *RPM* tinggi. Kurva yang terbentuk cukup halus tanpa fluktuasi ekstrem, yang menunjukkan proses pembakaran dan suplai bahan bakar berlangsung stabil selama pengujian.

Channel	View	Name	RPMmax	N/Mmax	KM/H	Rpm	Date/Time	Spk Device
Accel Front	0 0	MATSUMOTO_MDX178F_TUGAS AHR POLBAN_000	43 / 80,2	4,47 / 31,8	83,5	6,477	05/06/2025 19:13:07	5
Ruler RPM	0 R	MATSUMOTO_MDX178F_TUGAS AHR POLBAN_001	49 / 88,9	4,73 / 32,2	71,2	6,477	05/06/2025 19:23:59	5
Engine RPM	0 R	MATSUMOTO_MDX178F_TUGAS AHR POLBAN_002	61 / 92,3	4,26 / 31,6	77,5	6,477	05/06/2025 19:24:36	5
Interaxle	0 0	MATSUMOTO_MDX178F_TUGAS AHR POLBAN_003	52 / 86,8	4,91 / 36,3	73,6	6,477	05/06/2025 19:25:09	5
Torque	0 0	MATSUMOTO_MDX178F_TUGAS AHR POLBAN_004	60 / 89,0	6,09 / 44,0	80,0	6,477	05/06/2025 19:27:47	5
Calc RPM	0 0	MATSUMOTO_MDX178F_TUGAS AHR POLBAN_005	61 / 88,1	5,45 / 39,5	72,5	6,477	05/06/2025 19:28:10	5
Revolve	0 N	MATSUMOTO_MDX178F_TUGAS AHR POLBAN_006	60 / 88,8	4,34 / 31,4	73,5	6,477	05/06/2025 19:29:02	5
Air Speed	0 S	MATSUMOTO_MDX178F_TUGAS AHR POLBAN_007	61 / 89,8	4,28 / 30,9	74,1	6,477	05/06/2025 19:29:27	5
Ign Angle	0 S	MATSUMOTO_MDX178F_TUGAS AHR POLBAN_008	62 / 88,7	4,07 / 29,3	74,1	6,477	05/06/2025 19:29:42	5
PG Target	0 F	MATSUMOTO_MDX178F_TUGAS AHR POLBAN_009	64 / 87,7	4,56 / 33,7	74,2	6,477	05/06/2025 19:29:53	5
Scale Front 1	0 N	MATSUMOTO_MDX178F_TUGAS AHR POLBAN_010	66 / 79,8	4,52 / 33,3	81,1	6,477	05/06/2025 19:30:05	5

Gambar 16 Data Logger Hasil Dynotest

Gambar 16 yang menampilkan data numerik hasil *dyno test*, tercatat bahwa daya maksimum aktual yang diperoleh adalah sebesar 5,6 HP, dengan torsi maksimum 5,45 Nm, serta kecepatan maksimum mencapai 81,1 km/jam. Data ini merupakan hasil pengujian pada roda (*wheel horsepower*), sehingga nilai yang terbaca sudah termasuk kerugian daya akibat sistem *drivetrain*. Jika dibandingkan dengan spesifikasi *manual book* mesin *Matsumoto MDX 178F* yang mencantumkan daya 6,6 HP pada poros mesin (*engine output*), maka terjadi selisih sekitar 20%–30%, yang secara teknis masih dalam batas wajar akibat losses transmisi, gesekan mekanis, kondisi bearing, pelumasan, serta hambatan rotasional lainnya.

Secara keseluruhan, grafik dan data hasil *dyno test* menunjukkan bahwa mesin bekerja dengan karakteristik performa yang normal dan stabil. Setelah dikonversikan dari daya roda ke estimasi daya poros mesin dengan mempertimbangkan *drivetrain loss*, nilai yang diperoleh mendekati 6,6 HP, sehingga dapat disimpulkan bahwa performa mesin telah sesuai dengan spesifikasi pabrikan dan hasil pengujian mendukung validitas proses rekondisi serta penyetelan yang telah dilakukan sebelumnya. Secara operasional, *running test* menunjukkan perbaikan signifikan pada kemudahan starter, kestabilan *idle*, respons akselerasi, serta eliminasi suara abnormal, disertai peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar dari 33,3 km/liter menjadi 49,7 km/liter, sehingga dapat disimpulkan bahwa rekondisi presisi dan optimasi geometri saluran *intake-exhaust* memberikan dampak positif terhadap kualitas pembakaran, daya keluaran, serta keandalan mesin dalam aplikasi kendaraan hemat energi.

4. KESIMPULAN

Proses rekondisi komponen mesin diesel *Matsumoto MDX-178F* yang mengalami keausan serta modifikasi sistem pemasukan dan pembuangan melalui metode *porting* dan *polishing* terbukti efektif meningkatkan performa dan efisiensi mesin. Hasil *running test* menunjukkan perbaikan signifikan pada kemudahan *starter*, kestabilan *idle*, respons akselerasi, serta hilangnya suara abnormal, yang menandakan kondisi mekanis dan penyetelan telah kembali sesuai spesifikasi kerja. Pengujian *flow bench* memperlihatkan peningkatan debit aliran udara pada seluruh variasi bukaan katup, yang mengindikasikan peningkatan efisiensi volumetrik akibat berkurangnya hambatan aliran (*flow restriction*). Hasil *dyno test* menunjukkan daya maksimum roda sebesar 5,6 HP yang, setelah dikoreksi terhadap *drivetrain loss*, mendekati spesifikasi pabrikan sebesar 6,6 HP pada poros mesin, sehingga validasi performa dapat dinyatakan tercapai. Selain itu, efisiensi konsumsi bahan bakar meningkat dari 33,3 km/liter menjadi 49,7 km/liter, yang menunjukkan pembakaran lebih optimal dan sistem bekerja lebih efisien. Dengan demikian, kombinasi rekondisi presisi dan optimasi geometri saluran *intake-exhaust* berbasis pengujian eksperimental mampu meningkatkan daya, torsi, stabilitas operasional, serta efisiensi bahan bakar.

5. SARAN

Perlu dilakukan pengembangan secara terus menerus untuk memperoleh pengaturan dan penggunaan teknologi dalam rangka menekan konsumsi bahan bakar namun tetap menjaga performansi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada yang telah memberi dukungan **financial** terhadap penelitian ini. (Jika ada)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Akasah, R. A. Prahmana, T. Meurah, I. Riayatsyah, L. Putri, and M. Syaukani, "Uji Performa Motor Diesel Satu Silinder Generator Set Menggunakan Campuran Bahan Bakar Crude Palm Oil-Dexlite Dengan Penambahan Bioaditif Alami," *J. Ilm. Tek. MESIN*, vol. 05, no. 04, pp. 47–55, 2024.
- [2] V. S. Godiganur, S. Nayaka, and G. N. Kumar, "Materials Today : Proceedings Thermal barrier coating for diesel engine application – A review," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.112.
- [3] S. Samadi and K. Heidarbeigi, "Heliyon Acoustic analysis of a single-cylinder diesel engine using magnetized biodiesel-diesel fuel blends," *Heliyon*, vol. 6, no. 9, p. e05113, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05113.
- [4] G. M. Szymański, "Engine valve clearance diagnostics based on vibration signals and

- machine learning methods,” *Maint. Reliab.*, vol. 22, no. 2, pp. 331–339, 2020.
- [5] G. Di Blasio, G. Belgiorno, and C. Beatrice, “Effects on performances, emissions and particle size distributions of a dual fuel (methane-diesel) light-duty engine varying the compression ratio,” *Appl. Energy*, vol. 204, no. July, pp. 726–740, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.07.103.
- [6] S. Cylinder, D. Engine, I. Dual, and F. C. Based, “Analysis of Performance, Emission, Noise & Vibration on Single Cylinder Diesel Engine After Installing Dual Fuel Converter-Kit Based on ECU,” *J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 19, no. 1, pp. 42–49, 2022.
- [7] T. Yu *et al.*, “Diesel Engine Emission Aftertreatment Device Aging Mechanism and Durability Assessment Methods : A Review,” *Atmosphere (Basel)*, vol. 14, 2023.
- [8] and M. K. Tadeusz Dziubak, “Experimental Study of the Effect of Air Filter Pressure Drop on Internal Combustion Engine Performance,” *Energies*, vol. 15, 2022.
- [9] H. Baek, G. Jung, Q. D. Vuong, and J. Lee, “Effect of Performance by Excessive Advanced Fuel Injection Timing on Marine Diesel Engine,” *Appl. Sci.*, vol. 13, 2023.
- [10] E. Performance and D. Engine, “Experimental Study on the Effects of Air Supply Control on Combustion and Emissions Performance at Medium and Low Load for a Dual-Fuel,” *Energies*, vol. 11, 2018, doi: 10.3390/en11112944.
- [11] P. Puzdrowska and W. Nowicka, “Analysis Of The Possibility Of Using Exhaust Gas Composition In The Diagnosis Of A Diesel Engine,” *Sci. J. Gdynia Marit. Univ.*, vol. 6988, no. 134, pp. 40–55, 2025, doi: 10.26408/134.03.
- [12] W. Guan, H. Zhao, Z. Ban, and T. Lin, “Exploring Alternative Combustion Control Strategies for Low Load Exhaust Gas Temperature Management of a Heavy-Duty Diesel Engine,” *Int. J. Engine Res.*, vol. 20, no. 4, 2018.
- [13] G. Ö. Yiğit Gülmez, “Effects of Exhaust Backpressure Increment on the Performance and Exhaust Emissions of a Single Cylinder Diesel Engine,” *J. ETA Marit. Sci.*, vol. 9, no. 3, pp. 177–191, 2021, doi: 10.4274/jems.2021.25582.
- [14] D. E. Vehicles, “State-of-the-Art of Strategies to Reduce Exhaust Emissions from Diesel Engine Vehicles,” *Energies*, vol. 14, pp. 1–24, 2021.
- [15] M. R. Ebrahimnataj *et al.*, “The effect of soot accumulation and backpressure of an integrated after-treatment system on diesel engine performance,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 147, no. 15, pp. 8435–8443, 2022, doi: 10.1007/s10973-021-11135-0.
- [16] H. Sapra, M. Godjevac, K. Visser, D. Stapersma, and C. Dijkstra, “Experimental and simulation-based investigations of marine diesel engine performance against static back pressure,” *Appl. Energy*, vol. 204, pp. 78–92, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.06.111.
- [17] Z. Huang, J. Huang, J. Luo, D. Hu, and Z. Yin, “Performance enhancement and emission reduction of a diesel engine fueled with different biodiesel-diesel blending fuel based on the multi-parameter optimization theory,” *Fuel*, 2021, doi: 10.1016/j.fuel.2021.122753.
- [18] H. Prastyo, T. Supriyanto, and S. Subekti, “Pengaruh porting saluran intake dan exhaust terhadap kinerja kawasaki ninja 2 tak 150 cc Effect of intake and exhaust channel porting on kawasaki ninja 2 stroke 150 cc performance,” *J. Terap. Tek. Mesin*, vol. 4, no. April, pp. 11–17, 2023.
- [19] M. F. Samuri, M. F. M. Said, N. A. M. Shafie, Z. A. Latiff, and A. A. Aziz, “Intake Port Flow Study On Cylinder Head Using Flowbench,” *J. Transp. Syst. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 29–35, 2015.
- [20] M. T. B. A. Kadir, “Intake Port Flow Study on Various Cylinder Head Using Flowbench,” 2008.
- [21] M. G. Wardiana, “Modifikasi Intake Manifold Terhadap Performa Mesin Motor Yamaha Mio Soul Tahun 2008,” *Saintesa*, vol. 1, no. 1, pp. 7–13, 2021.
- [22] Aldiyan Rizky, “Studi Eksperimental Intake Port Dengan Dimple Porting Terhadap
-

-
- Daya, Torsi, Dan Konsumsi Bahan Bakar Motor Bakar 4 Langkah,” Magelang, 2022.
- [23] F. Al Fudlola, R. M. T. Mesin, F. Teknik, and U. Proklamasi, “Pengaruh Porting Intake Dan Exhaust Blok Silinder Terhadap Kinerja Mesin dan Laju Perpindahan Kalor Kasawaki Ninja RR 150,” *J. Pendidik. Tek. Otomotif Univ. Muhammadiyah Purworejo*, vol. 20, no. 02, pp. 91–103, 2025.
- [24] J. Zhang, S. Wang, Z. Wang, Z. Xie, and Y. Chang, “Investigation of intake and exhaust performance in heavy-duty diesel engines with variable Miller cycle,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 265, p. 125547, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.125547>.
-