PENGARUH DIAMETER PISTON TERHADAP PERUBAHAN TEMPERATUR SUHU KERJA MESIN PADA MOTOR 4 TAK

Naufal Anwaruddin [1], Imam Prasetyo [1*]

[1] Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Pekajangan Pekalongan

Jl. Raya Pahlawan No.10 Kajen, Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah 51161

imamprasetyo@umpp.ac.id [1]

ABSTRAK

Piston merupakan salah satu komponen utama motor bakar yang berperan dalam menentukan volume silinder, proses kompresi dan ekspansi, serta karakteristik beban termal mesin. Modifikasi diameter piston (*oversize piston*) dapat meningkatkan volume langkah dan memengaruhi proses pembakaran serta temperatur kerja mesin. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi diameter piston terhadap perubahan temperatur kerja mesin sepeda motor. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan membandingkan piston diameter standar dan piston diameter 58,5 mm pada kondisi operasi yang sama. Pengukuran temperatur dilakukan pada beberapa titik pengamatan selama waktu pengujian 5, 10, dan 15 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur rata-rata piston standar berturut-turut sebesar 58,84°C, 69,90°C, dan 92,92°C, sedangkan piston diameter 58,5 mm menghasilkan temperatur rata-rata sebesar 66,38°C, 81,47°C, dan 93,50°C. Pada waktu 5 menit, piston 58,5 mm menghasilkan temperatur 7,54°C lebih tinggi dibandingkan piston standar, sedangkan pada 10 menit perbedaannya mencapai 11,57°C. Pada menit ke-15, perbedaan temperatur menurun menjadi 0,58°C. Distribusi temperatur juga menunjukkan perbedaan antar titik pengukuran, dengan temperatur tertinggi pada piston 58,5 mm pada titik B sebesar 99,57°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan diameter piston cenderung meningkatkan temperatur kerja pada fase awal dan menengah pengujian, namun perbedaannya semakin kecil seiring tercapainya kondisi temperatur yang lebih stabil. Temuan ini menunjukkan bahwa modifikasi diameter piston perlu mempertimbangkan aspek performa dan beban termal mesin.

Kata kunci : diameter piston, over size, temperatur mesin, motor 4 tak.

Abstract

The piston is one of the main components of an internal combustion engine that plays an important role in determining cylinder volume, compression and expansion processes, and the thermal load characteristics of the engine. Modification of piston diameter (oversize piston) can increase the swept volume and affect the combustion process and engine operating temperature. This study aims to analyze the effect of piston diameter variation on changes in the operating temperature of a motorcycle engine. An experimental method was employed by comparing a standard piston with a 58.5 mm diameter piston under the same operating conditions. Temperature measurements were conducted at several observation points at testing times of 5, 10, and 15 minutes. The results showed that the average temperatures of the standard piston were 58.84°C, 69.90°C, and 92.92°C, respectively, while the 58.5 mm piston produced average temperatures of 66.38°C, 81.47°C, and 93.50°C. At 5 minutes, the 58.5 mm piston exhibited a temperature 7.54°C higher than the standard piston, while at 10 minutes, the difference reached 11.57°C. At 15 minutes, the temperature difference decreased to 0.58°C. The temperature distribution also varied among the measurement points, with the highest temperature recorded for the 58.5 mm piston at Point B, reaching 99.57°C. The results indicate that increasing the piston diameter tends to increase the engine operating temperature during the initial and intermediate stages of testing; however, the temperature difference decreases as a more stable thermal condition is reached. These findings indicate that piston diameter modification should consider both engine performance and thermal load aspects.

Key words : *piston diameter, over size, engine temperature, 4-stroke motor.*

PENDAHULUAN

Motor bakar merupakan salah satu teknologi konversi energi yang banyak digunakan sebagai penggerak kendaraan karena mampu menghasilkan daya mekanis dari energi kimia bahan bakar melalui proses pembakaran di dalam silinder [1]. Kinerja motor bakar dipengaruhi oleh berbagai parameter, seperti volume langkah, rasio kompresi, jumlah bahan bakar dan udara, putaran mesin, serta karakteristik perpindahan panas selama proses pembakaran. Salah satu komponen utama yang menentukan karakteristik kerja mesin adalah piston atau torak karena gerakannya secara langsung menentukan volume ruang silinder dan berhubungan dengan proses kompresi serta ekspansi gas hasil pembakaran [2]. Perubahan dimensi piston, khususnya diameter piston, menyebabkan perubahan volume langkah dan karakteristik geometris ruang bakar sehingga berpotensi memengaruhi tekanan dan temperatur selama siklus kerja mesin [3]. Oleh karena itu, kajian mengenai pengaruh perubahan diameter piston tidak hanya penting ditinjau dari aspek daya dan torsi, tetapi juga dari aspek temperatur kerja mesin.

Modifikasi diameter piston atau *oversize piston* telah banyak dilakukan dalam pengembangan dan peningkatan performa kendaraan [4]. Perubahan diameter piston dapat meningkatkan volume langkah sehingga jumlah campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar menjadi lebih besar. Kondisi tersebut dapat memengaruhi proses pembakaran, tekanan gas di dalam silinder, dan beban termal komponen mesin. Pratama [5] dalam penelitian melakukan eksperimental dengan variasi diameter piston 52,5 mm, 53 mm, dan 53,5 mm pada sepeda motor Honda Supra X 125. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan diameter piston berpengaruh terhadap torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar. Diameter 53,5 mm menghasilkan peningkatan torsi sebesar 12,49%, daya sebesar 7,02%, dan konsumsi bahan bakar sebesar 17,15% dibandingkan kondisi standar. Temuan tersebut menunjukkan bahwa perubahan diameter piston memberikan konsekuensi terhadap karakteristik operasi mesin, tetapi penelitian tersebut belum memasukkan temperatur sebagai parameter utama yang diamati. Selain itu, Mahendra [6] menemukan bahwa penggunaan piston oversize dapat meningkatkan suhu kerja mesin. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi diameter piston tidak hanya berdampak pada performa, tetapi juga pada kondisi termal mesin yang harus diperhatikan untuk menjaga keandalan.

Dari perspektif termal, temperatur piston dan dinding silinder merupakan parameter penting karena berkaitan dengan perpindahan panas, efisiensi termal, tegangan termal, deformasi, dan keandalan komponen mesin [7]. Sharma [8] melakukan analisis termal secara eksperimental pada piston dan dinding silinder mesin diesel empat langkah menggunakan termokopel serta pemodelan *Finite Element Method* (FEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur piston dan dinding silinder meningkat seiring bertambahnya beban mesin, sedangkan distribusi temperatur pada piston juga berhubungan dengan beban termal yang diterima selama proses pembakaran. Penelitian tersebut menegaskan pentingnya pengukuran temperatur komponen mesin untuk memahami karakteristik perpindahan panas dan menjaga ketahanan piston serta dinding silinder terhadap beban termal.

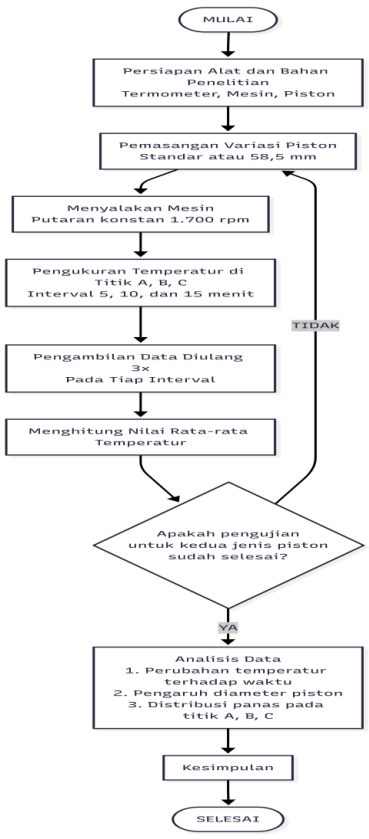
Kajian mengenai perubahan dimensi mesin juga menunjukkan bahwa aspek termal perlu menjadi pertimbangan dalam modifikasi geometri motor bakar. Sroka [9] menganalisis pengaruh *downsizing* terhadap parameter termodinamika dan beban termal mesin, termasuk perubahan diameter silinder. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa perubahan diameter silinder merupakan salah satu bentuk perubahan geometri mesin yang dapat memengaruhi temperatur maksimum campuran udara-bahan bakar, perpindahan panas konveksi, tekanan efektif rata-rata, konsumsi bahan bakar, serta beban termal piston. Bahkan, penelitian tersebut menekankan bahwa optimasi perubahan dimensi mesin harus mempertimbangkan kemungkinan peningkatan beban termal pada piston. Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut terlihat adanya research gap, yaitu penelitian variasi diameter piston pada sepeda motor lebih banyak diarahkan pada parameter performa seperti daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar, sedangkan keterkaitan langsung antara variasi diameter piston dengan perubahan temperatur kerja mesin belum dikaji secara komprehensif dalam penelitian eksperimental yang sama.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa analisis eksperimental hubungan antara variasi diameter piston dan perubahan temperatur kerja mesin, dengan mempertahankan kondisi operasi mesin agar pengaruh perubahan diameter piston dapat diamati secara lebih terukur. Temperatur dapat diamati pada beberapa titik yang representatif, seperti kepala silinder, blok silinder, piston atau area sekitar ruang bakar, serta temperatur gas buang, kemudian dikaitkan dengan perubahan diameter piston dan parameter kinerja mesin. Pendekatan ini diharapkan menghasilkan pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai hubungan diameter piston–volume silinder–proses pembakaran–beban termal–kinerja mesin. Dengan demikian, kontribusi penelitian

bukan hanya pada pembuktian pengaruh modifikasi *oversize* terhadap performa, tetapi juga menghasilkan informasi mengenai konsekuensi termal dari perubahan diameter piston. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam menentukan ukuran modifikasi piston yang mampu meningkatkan kinerja mesin tanpa menyebabkan peningkatan temperatur yang berlebihan sehingga mendukung pengembangan teknologi motor bakar yang efektif, efisien, dan memiliki keandalan termal yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen laboratoris [10]. Pendekatan kuantitatif digunakan karena data penelitian berupa data numerik hasil pengukuran temperatur dan parameter kinerja mesin yang selanjutnya dianalisis secara statistik. Metode eksperimen digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan diameter piston terhadap temperatur kerja melalui pemberian perlakuan berupa penggunaan piston dengan diameter yang berbeda, sementara variabel lain dikendalikan agar perubahan hasil pengujian dapat dikaitkan dengan perlakuan tersebut. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilaksanakan menggunakan mesin bensin empat langkah dengan kondisi mesin yang sama untuk setiap perlakuan. Diameter piston menggunakan 2 variasi yaitu diameter standar dan diameter 58,5 mm dengan menyesuaikan spesifikasi mesin. Setiap variasi diuji pada kondisi operasi beban yang beda. Pengukuran temperatur dilakukan menggunakan termometer inframerah *(infrared thermometer)* pada tiga titik pengukuran di kepala silinder, yaitu titik A, titik B, dan titik C seperti pada gambar 2. Pengambilan data dilakukan setelah mesin dihidupkan pada putaran tetap 1.700 rpm, dengan interval waktu pengujian selama 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Untuk memperoleh karakteristik perubahan temperatur dan kinerja mesin secara menyeluruh.

Dalam pelaksanaan penelitian, variasi diameter piston ditempatkan sebagai variabel bebas, sedangkan temperatur kepala silinder menjadi variabel terikat yang diamati. Variabel bebas terdiri atas piston berdiameter standar dan piston berdiameter 58,5 mm. Adapun putaran mesin dan waktu pengamatan ditetapkan sebagai kondisi pengujian yang dijaga agar tetap, yaitu putaran mesin 1.700 rpm serta pengamatan pada menit ke-5, ke-10, dan ke-15. Penetapan kondisi tersebut dimaksudkan agar data dari kedua variasi piston dapat dibandingkan berdasarkan tahapan waktu pengoperasian yang sama.

Sebelum pengambilan data, mesin disiapkan dengan memasang piston sesuai variasi yang akan diuji. Pemeriksaan kondisi pemasangan dilakukan untuk memastikan komponen terpasang sebagaimana mestinya sehingga proses pengujian dapat berlangsung. Setelah persiapan selesai, mesin dioperasikan dan putaran dijaga pada 1.700 rpm. Pengamatan temperatur dilakukan ketika mesin bekerja pada kondisi putaran tersebut. Prosedur yang sama diterapkan pada masing-masing variasi piston agar proses pengumpulan data memiliki alur yang konsisten.

Pengukuran temperatur menggunakan termometer inframerah dilakukan pada tiga titik di bagian kepala silinder, yaitu titik A, titik B, dan titik C. Penentuan beberapa titik pengamatan ini bertujuan untuk memperoleh gambaran distribusi temperatur, karena panas pada kepala silinder tidak selalu tersebar secara merata. Setiap titik diukur pada interval waktu yang telah ditentukan. Dengan demikian, data yang diperoleh tidak hanya menunjukkan perubahan temperatur terhadap lamanya mesin beroperasi, tetapi juga memperlihatkan perbedaan temperatur pada lokasi pengukuran yang berbeda.

Untuk menjaga keterbandingan hasil, pengamatan pada piston standar dan piston berdiameter 58,5 mm dilakukan dengan urutan waktu pengukuran yang sama. Pada setiap variasi,

temperatur dicatat pada menit ke-5, ke-10, dan ke-15. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan sebagaimana diterapkan dalam pengujian, kemudian nilai rata-rata digunakan sebagai data yang mewakili setiap kondisi pengukuran. Penggunaan nilai rata-rata tersebut membantu mengurangi pengaruh variasi pembacaan pada setiap pengulangan dan memudahkan perbandingan ant variasi piston.

Data hasil pengukuran selanjutnya dikelompokkan berdasarkan diameter piston, titik pengukuran, dan waktu pengujian. Pengelompokan ini diperlukan agar perubahan temperatur dapat ditelusuri secara sistematis, baik berdasarkan lamanya mesin beroperasi maupun berdasarkan lokasi pengukuran pada kepala silinder. Data numerik kemudian disusun dalam tabel dan digunakan untuk membuat grafik perbandingan. Penyajian tersebut memudahkan pengamatan terhadap pola kenaikan temperatur serta selisih temperatur antara penggunaan piston standar dan piston berdiameter 58,5 mm.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai temperatur rata-rata pada setiap variasi diameter piston dan setiap interval waktu. Analisis diarahkan untuk melihat kecenderungan kenaikan temperatur dari menit ke-5 hingga menit ke-15, mengidentifikasi titik pengukuran dengan temperatur relatif lebih tinggi, serta mengetahui besar perbedaan temperatur antara kedua variasi piston. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan dengan memperhatikan perubahan diameter piston dan kondisi pengoperasian mesin. Pendekatan ini digunakan untuk menjelaskan kecenderungan hasil pengujian berdasarkan data yang diperoleh, tanpa menarik kesimpulan di luar cakupan pengukuran temperatur kepala silinder.



Gambar 2. Titik Pengukuran Suhu

Kemudian untuk analisis data dilakukan secara analisis deskriptif digunakan untuk mengetahui kecenderungan perubahan temperatur dan kinerja mesin akibat perubahan diameter piston. Data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik hubungan antara diameter piston dengan temperatur kepala silinder.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian temperatur kepala silinder (*cylinder head*) dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan piston standar dan piston berdiameter 58,5 mm. Pengujian suhu dilakukan dengan putaran mesin stasioner stabil pada angka 1.700 rpm. Dengan menggunakan termometer inframerah, temperatur dipindai pada titik A, B, dan C yang berada di area kepala silinder. Untuk melihat tren perubahan panas, data diambil setiap interval 5, 10, dan 15 menit. Setiap sesi pengambilan data dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Angka rata-rata dari pengulangan inilah yang kemudian dicatat sebagai hasil akhir, sehingga akurasi data lebih terjamin dan margin kesalahan ukur dapat direduksi. Data perbandingan pengukuran temperatur disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Rata-Rata Pengujian Temperatur Mesin

Diameter Piston	Waktu	Titik A	Titik B	Titik C
Diamater Standar	5	38,77 °C	65,97 °C	71,77 °C
	10	48,80 °C	74,83 °C	86,07 °C
	15	83,50 °C	97,43 °C	97,83 °C
Diameter 58,5 mm	5	56,80 °C	74,23 °C	68,10 °C
	10	74,57 °C	84,47 °C	85,37 °C
	15	82,27 °C	99,57 °C	98,67 °C

4. Analisis perubahan temperatur terhadap waktu

Pada **piston standar**, terlihat bahwa temperatur kepala silinder meningkat seiring bertambahnya waktu pengoperasian mesin. Rata-rata temperatur meningkat dari **58,84°C pada menit ke-5,** menjadi **69,90°C pada menit ke-10,** dan mencapai **92,92°C pada menit ke-15.** Dengan demikian, terjadi peningkatan rata-rata sebesar **34,08°C atau sekitar 57,93%** dari menit ke-5 sampai menit ke-15. Peningkatan paling besar terjadi pada titik A, yaitu dari 38,77°C menjadi 83,50°C atau meningkat sekitar **115,37%.** Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin lama mesin beroperasi, akumulasi panas pada kepala silinder semakin besar.

Pada piston diameter 58,5 mm, pola yang sama juga terlihat. Rata-rata temperatur meningkat dari 66,38°C pada menit ke-5, menjadi 81,47°C pada menit ke-10, kemudian mencapai 93,50°C pada menit ke-15. Peningkatan rata-rata dari menit ke-5 hingga menit ke-15 adalah 27,13°C atau sekitar 40,87%. Pada variasi ini, peningkatan temperatur

relatif lebih merata pada ketiga titik pengukuran dibandingkan piston standar. Titik A mengalami peningkatan dari 56,80°C menjadi 82,27°C, titik B dari 74,23°C menjadi 99,57°C, sedangkan titik C dari 68,10°C menjadi 98,67°C.

5. Analisis pengaruh diameter piston

Jika dibandingkan pada waktu pengujian yang sama, penggunaan piston 58,5 mm menghasilkan temperatur rata-rata lebih tinggi daripada piston standar pada menit ke-5 dan ke-10. Pada menit ke-5, rata-rata temperatur piston 58,5 mm mencapai 66,38°C, sedangkan piston standar sebesar 58,84°C, sehingga terdapat selisih 7,54°C atau sekitar 12,82%. Pada menit ke-10, selisih semakin besar, yaitu 11,57°C, dengan temperatur rata-rata piston 58,5 mm sebesar 81,47°C dibandingkan 69,90°C pada piston standar. Hal ini menunjukkan adanya kecenderungan bahwa peningkatan diameter piston menyebabkan temperatur kerja kepala silinder meningkat pada fase awal hingga pertengahan pengujian.

Namun, pada menit ke-15, perbedaan temperatur rata-rata kedua variasi piston menjadi sangat kecil. Piston standar menghasilkan temperatur rata-rata 92,92°C, sedangkan piston 58,5 mm mencapai 93,50°C, dengan selisih hanya 0,58°C. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa setelah mesin beroperasi lebih lama, temperatur kedua variasi piston cenderung mendekati kondisi temperatur yang relatif stabil atau menuju keseimbangan termal.

6. Analisis pada setiap titik pengukuran

Perbedaan temperatur antar titik menunjukkan adanya distribusi panas yang tidak seragam pada kepala silinder. Pada piston standar, titik C merupakan lokasi dengan temperatur tertinggi pada menit ke-5 dan ke-10, masing-masing sebesar 71,77°C dan 86,07°C. Namun pada menit ke-15, temperatur tertinggi berada pada titik C sebesar 97,83°C, sangat dekat dengan titik B sebesar 97,43°C.

Pada piston 58,5 mm, titik B menjadi lokasi dengan temperatur tertinggi pada menit ke-15, yaitu 99,57°C, diikuti titik C sebesar 98,67°C dan titik A sebesar 82,27°C. Perbedaan temperatur antar titik ini dapat dipengaruhi oleh posisi masing-masing titik terhadap ruang pembakaran, saluran pendinginan, aliran panas, dan karakteristik perpindahan panas pada kepala silinder.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan piston berdiameter 58,5 mm memberikan pengaruh terhadap peningkatan temperatur kerja mesin dibandingkan piston standar, terutama pada fase awal hingga pertengahan pengoperasian mesin. Peningkatan temperatur tersebut merupakan akibat langsung dari bertambahnya volume silinder yang memungkinkan lebih banyak campuran udara dan bahan bakar masuk ke ruang bakar sehingga menghasilkan energi panas yang lebih besar pada setiap siklus pembakaran. Namun demikian, setelah mesin mencapai temperatur operasi normal, perbedaan temperatur antara kedua mesin menjadi sangat kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa modifikasi piston lebih berpengaruh terhadap laju kenaikan temperatur (*rate of heating*) daripada terhadap temperatur operasi maksimum mesin.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa temperatur kepala silinder pada kedua variasi piston meningkat seiring bertambahnya waktu pengoperasian mesin. Pada piston standar, temperatur rata-rata meningkat dari 58,84°C pada menit ke-5 menjadi 92,92°C pada menit ke-15, sedangkan pada piston diameter 58,5 mm meningkat dari 66,38°C menjadi 93,50°C. Peningkatan tersebut menunjukkan adanya akumulasi panas selama mesin beroperasi hingga mendekati kondisi keseimbangan termal. Piston diameter 58,5 mm menghasilkan temperatur rata-rata lebih tinggi pada menit ke-5 dan ke-10 dibandingkan piston standar, masing-masing dengan selisih 7,54°C dan 11,57°C. Namun, pada menit ke-15 perbedaannya hanya 0,58°C, sehingga temperatur kedua variasi cenderung mendekati kondisi yang sama setelah pengoperasian lebih lama.

Selain itu, distribusi temperatur pada kepala silinder tidak seragam pada setiap titik pengukuran. Pada piston standar, temperatur tertinggi cenderung terjadi pada titik C, sedangkan pada piston diameter 58,5 mm temperatur tertinggi pada menit ke-15 terjadi di titik B sebesar 99,57°C. Perbedaan temperatur antar titik dipengaruhi oleh karakteristik distribusi panas pada kepala silinder, terutama kedekatan terhadap ruang pembakaran dan mekanisme perpindahan panas. Dengan demikian, peningkatan diameter piston 58,5 mm menunjukkan kecenderungan meningkatkan temperatur kepala silinder pada tahap awal hingga pertengahan pengujian, tetapi pengaruh tersebut semakin kecil setelah mesin mencapai kondisi temperatur yang relatif stabil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Pekajangan Pekalongan, khususnya Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, atas

dukungan dan fasilitas yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama proses persiapan, pelaksanaan pengujian, pengambilan data, hingga penyusunan artikel penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang teknik mesin, khususnya terkait karakteristik termal dan modifikasi komponen motor bakar empat langkah.

DAFTAR PUSTAKA

[1] T. J. Saputra, R. Irawan, P. Studi, S. Teknik, dan F. Teknik, "Pengaruh Suhu Terhadap Tenaga Mesin Honda BEAT FI K81," vol. 2, no. 3, hal. 88–93, 2023.

[2] R. F. Saepuddin, Ahmad Tjiptady, Bella Cornelia Pradhana, Candra Rohman, Mojibur Meditama, "Pengaruh Modifikasi Knalpot Terhadap Performa dan Suhu Mesin Pada Sepeda Motor Satria F150," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 7, no. 1, hal. 280–288, 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i1.1928.

[3] B. C. Purnomo dan S. Munahar, "Pengaruh Tekanan Kompresi Terhadap Daya Dan Torsi Pada Engine Single Piston," *J. Quantum Tek.*, vol. 1, no. 1, hal. 14–18, 2019, doi: 10.18196/jqt.010103.

[4] F. Fatra, J. Suwignyo, dan A. Aziz, "Efektivitas Pergantian Diameter Piston Terhadap Performa Mesin Sepeda Motor 4 Tak," *J. Automot. Technol. Vacat. Educ.*, vol. 04, no. 1, hal. 40–52, 2023.

[5] I. G. Billy, A. Pratama, I. G. Wiratmaja, dan N. A. Wigraha, "Pengaruh Variasi Diameter Torak terhadap Performansi Sepeda Motor Bertransmisi Manual," *QUANTUM Tek.*, vol. 5, no. 1, hal. 14–20, 2023.

[6] E. R. A. Mahendra, I. M. Mara, dan R. Sutanto, "Analisis Eksperimental Pengaruh Variasi Ketinggian Dome Piston terhadap Performa Mesin 4-Tak," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 4, no. 2, hal. 73–81, 2025.

[7] M. Z. Zakhroni dan I. A. Pahlawan, "Analisis Pengaruh Perubahan Ukuran Piston Oversize Dari Standar Pabrik Pada Sepeda Motor Matic Vario 150 CC," *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap. (JTMIT*, vol. 5, no. 2, hal. 1155–1161, 2026.

[8] S. K. Sharma, P. K. Saini, dan N. K. Samria, "Experimental Thermal Analysis of Diesel Engine Piston and Cylinder Wall," *J. Eng.*, vol. 2015, hal. 1–10, 2015, doi: 10.1155/2015/178652.

[9] Z. J. Sroka, "Some Aspects of Thermal Load and Operating Indexes After Downsizing For Internal Combustion Engine," *J Therm Anal Calorim*, hal. 51–58, 2012, doi: 10.1007/s10973-011-2064-x.

[10] A. Jedun, "Metodologi Penelitian Eksperimen," Yogyakarta: Fakultas Teknik dan Lembaga Penelitian Universitas Negeri Yogyakarta (UNY), 2011, hal. 38–47.