Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 13, No. 3, Tahun 2025
Online: https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm

PERKEMBANGAN TEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM DESAIN MOTOR BAKAR TORAK UNTUK KENDARAAN BERMESIN *HYBRID*

Sultan Haydar At Toriq[1], Paryanto[2] Rusnaldy[2]
[1]Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
[2]Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059
E-mail: sultan141102@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi kendaraan hybrid dengan mesin pembakaran internal (ICE) sebagai range extender, khususnya yang menggunakan mesin Wankel dan Atkinson, telah memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan efisiensi bahan bakar dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Kendaraan hybrid menggabungkan motor listrik dengan ICE untuk mengoptimalkan kinerja dan efisiensi bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggunaan mesin Wankel dan Atkinson sebagai range extender dalam kendaraan hybrid. Metodologi yang digunakan meliputi simulasi numerik dengan menggunakan siklus uji WLTP, yang mengukur berbagai parameter kinerja kendaraan seperti konsumsi bahan bakar, emisi CO2, dan efisiensi thermal mesin. Hasil simulasi menunjukkan bahwa mesin Wankel dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar, mengurangi penggunaan energi baterai, dan mengurangi emisi gas buang, sedangkan mesin Atkinson terbukti lebih efisien dalam konsumsi bahan bakar dan memiliki emisi yang lebih rendah. Penggunaan campuran bioetanol dengan bensin pada kendaraan hybrid juga menunjukkan penurunan emisi CO2 hingga 20%. Meskipun terdapat tantangan dalam hal pemulihan energi dan optimasi ukuran baterai, hasil penelitian ini memberikan gambaran optimis mengenai potensi teknologi ini dalam meningkatkan kinerja dan keberlanjutan kendaraan hybrid.

Kata Kunci: bioetanol; efisiensi bahan bakar; emisi co_2; kendaraan hybrid; mesin atkinson

Abstract

The development of hybrid vehicle technology with internal combustion engines (ICE) as range extenders, specifically using Wankel and Atkinson engines, has made significant contributions to improving fuel efficiency and reducing greenhouse gas emissions. Hybrid vehicles combine electric motors with ICEs to optimize performance and fuel efficiency. This study aims to analyze the effectiveness of using Wankel and Atkinson engines as range extenders in hybrid vehicles. The methodology employed includes numerical simulations using the WLTP test cycle, measuring various performance parameters such as fuel consumption, CO2 emissions, and engine thermal efficiency. Simulation results show that the Wankel engine improves fuel efficiency, reduces battery energy usage, and decreases exhaust emissions, while the Atkinson engine proves to be more efficient in fuel consumption and has lower emissions. The use of ethanol-gasoline blends in hybrid vehicles also shows a reduction in CO2 emissions by up to 20%. Despite challenges in energy recovery and battery size optimization, the findings of this research provide an optimistic outlook on the potential of this technology to improve the performance and sustainability of hybrid vehicles.

***Keywords**: atkinson engine; bioethanol; co_2 emissions; fuel efficiency; hybrid vehicles*

1. Pendahuluan

Industri otomotif global sedang mengalami perubahan besar dalam pengembangan teknologi kendaraan, dengan fokus utama pada peningkatan efisiensi bahan bakar dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Salah satu solusi utama dalam pencapaian tujuan ini adalah penggunaan kendaraan hybrid, yang menggabungkan mesin pembakaran internal (ICE) dengan motor listrik untuk meningkatkan efisiensi operasional. Kendaraan hybrid memiliki kemampuan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, mengurangi emisi karbon, dan meningkatkan efisiensi bahan bakar [1][7].

Seiring dengan meningkatnya regulasi ketat mengenai emisi dan polusi udara, kendaraan yang mengandalkan motor bakar torak tradisional kini mulai mengadopsi teknologi terbaru, seperti mesin Wankel dan Atkinson, untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi mereka dalam konfigurasi powertrain hybrid. Teknologi mesin Wankel, yang dikenal dengan desain kompak dan efisiensi termalnya, menjadi kandidat potensial untuk digunakan sebagai range extender dalam kendaraan

hybrid, memperpanjang jarak tempuh kendaraan dengan efisiensi lebih baik. Selain itu, penggunaan mesin Atkinson, yang memiliki rasio kompresi tinggi dan siklus ekspansi panjang, juga menawarkan efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin pembakaran konvensional [1][9].

Dalam konteks ini, kendaraan hybrid yang dilengkapi dengan teknologi range extender**,** yang berfungsi untuk mengisi ulang baterai kendaraan ketika kapasitasnya rendah, menjadi penting. Mesin pembakaran internal yang digunakan dalam range extender ini tidak perlu bekerja pada kondisi transien seperti pada kendaraan konvensional, sehingga dapat dioptimalkan untuk bekerja pada kondisi yang lebih efisien [6][10].

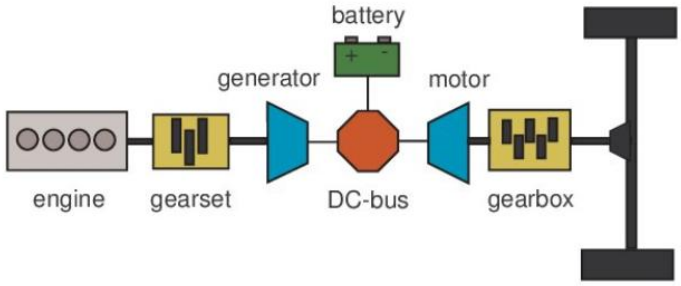
2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah studi pustaka berbasis analisis terhadap dampak teknologi terbaru pada desain motor bakar torak untuk kendaraan hybrid, penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi numerik. Penelitian ini menggabungkan analisis performa kendaraan hybrid dengan berbagai konfigurasi powertrain, termasuk penggunaan mesin Wankel atau Atkinson sebagai range extender. Penelitian dilakukan dengan menggunakan siklus uji WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure), yang digunakan untuk mengukur berbagai parameter performa kendaraan, termasuk konsumsi bahan bakar, emisi gas buang, dan efisiensi thermal mesin [2][3]. Data eksperimental diambil untuk membandingkan performa mesin konvensional dengan mesin yang menggunakan campuran biofuel, seperti bioetanol [5][8].

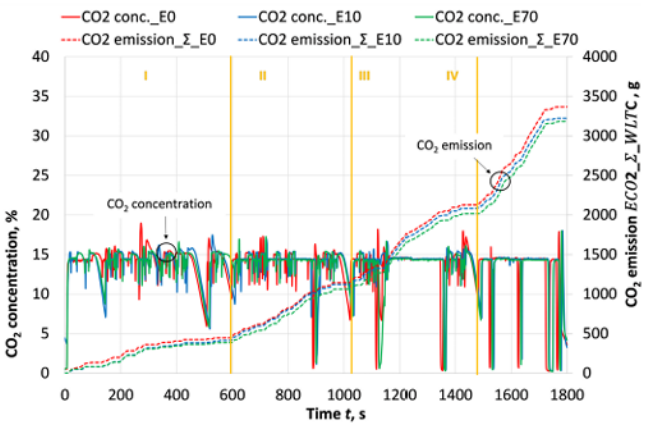
Simulasi numerik dilakukan untuk membandingkan performa kendaraan dengan mesin konvensional dan mesin yang menggunakan campuran biofuel, seperti bioetanol. Hal ini penting untuk memahami dampak dari penggunaan bahan bakar alternatif terhadap efisiensi dan emisi kendaraan hybrid. Selain itu, analisis juga mencakup penggunaan teknologi pemulihan energi seperti pengereman regeneratif dan pemulihan energi dari sistem pembuangan untuk mengoptimalkan efisiensi keseluruhan kendaraan [4][7].

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan mesin Wankel sebagai range extender dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar kendaraan hybrid dengan signifikan, terutama pada saat kapasitas baterai rendah. Mesin Wankel, yang beroperasi dengan siklus termodinamika yang efisien, mampu menghasilkan daya yang dibutuhkan tanpa membebani sistem propulsi utama kendaraan, yaitu motor listrik [1]. Mesin ini terbukti mengurangi konsumsi bahan bakar sebesar 10–15% dibandingkan dengan penggunaan ICE konvensional pada kendaraan hybrid yang tidak dilengkapi dengan range extender [6].



Gambar 1. Diagram skematis powertrain hybrid [3]



Gambar 2. Konsentrasi dan emisi CO2 selama WLTC, menggunakan berbagai bahan bakar [9]

Selain itu, mesin Atkinson, dengan rasio kompresi yang tinggi dan panjang siklus ekspansi, terbukti mengurangi konsumsi bahan bakar hingga 25%, dengan efisiensi thermal yang lebih baik dibandingkan mesin konvensional. Efisiensi thermal yang lebih tinggi dan pengurangan kehilangan energi dalam sistem memungkinkan kendaraan untuk mencapai efisiensi bahan bakar yang lebih baik. Mesin Atkinson juga meminimalkan emisi karena proses pembakaran yang lebih bersih, menjadikannya pilihan yang lebih ramah lingkungan dalam sistem powertrain hybrid [9][10]. Hal ini selaras dengan temuan pada grafik (Gambar 2) yang membandingkan emisi CO2 dan konsentrasi CO2 dalam kendaraan hybrid yang menggunakan berbagai campuran bahan bakar. Grafik menunjukkan bahwa penggunaan bioetanol dalam campuran bahan bakar (E10 dan E70) dapat meningkatkan emisi CO2 pada kendaraan hybrid, terutama selama fase percepatan dan kecepatan konstan. Meskipun bioetanol memiliki potensi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dalam beberapa kondisi, kendaraan dengan bioetanol menunjukkan emisi yang lebih tinggi, yang mengindikasikan perlunya optimasi lebih lanjut dalam penggunaan bahan bakar alternatif ini pada sistem powertrain hybrid.

Salah satu aspek menarik yang ditemukan adalah penggunaan campuran bioetanol dengan bensin pada kendaraan hybrid. Studi menunjukkan bahwa penambahan bioetanol hingga 70% dalam campuran bahan bakar dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar dan menurunkan emisi CO2 hingga 20%. Penggunaan bioetanol juga berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca karena bioetanol berasal dari bahan baku yang dapat terbarukan, seperti tanaman [8]. Namun, meskipun kendaraan hybrid dengan mesin Wankel atau Atkinson menunjukkan peningkatan efisiensi, ada tantangan dalam hal pemulihan energi. Penggunaan teknologi pengereman regeneratif dan konversi energi dari sistem pembuangan gas sangat berpotensi meningkatkan efisiensi keseluruhan, meskipun implementasinya masih terbatas pada pengujian eksperimental [7][9].

4. Kesimpulan

Simulasi numerik terbukti menjadi pendekatan yang sangat efektif dalam memahami dan menganalisis fenomena perpindahan panas dan massa pada proses pengeringan berbasis udara panas. Melalui pemodelan Computational Fluid Dynamics (CFD), Discrete Element Method (DEM), dan kombinasi keduanya (CFD-DEM), berbagai aspek penting dalam proses pengeringan dapat dianalisis secara mendalam, termasuk distribusi suhu, kelembaban, pola aliran udara, serta interaksi partikel dan fluida.

Hasil kajian menunjukkan bahwa efisiensi pengeringan sangat dipengaruhi oleh parameter desain dan operasi, seperti konfigurasi inlet dan outlet udara, kecepatan aliran, suhu udara, geometri ruang pengering, dan sifat fisik material. Distribusi suhu dan kelembaban yang tidak merata sering kali menjadi penyebab utama rendahnya efisiensi proses dan kualitas produk akhir. Simulasi numerik memungkinkan visualisasi fenomena ini secara akurat dan menyediakan data penting untuk perbaikan desain alat pengering

Validasi eksperimental terhadap hasil simulasi menunjukkan tingkat kecocokan yang tinggi, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) umumnya di atas 0,95. Ini menunjukkan bahwa model numerik yang digunakan cukup andal dan dapat diterapkan dalam skenario nyata. Selain itu, beberapa penelitian juga telah mengintegrasikan analisis deformasi dan tegangan internal akibat proses pengeringan, memberikan kontribusi terhadap prediksi kualitas struktural produk setelah dikeringkan.Dengan mempertimbangkan efisiensi energi, akurasi kontrol mutu, dan fleksibilitas desain, simulasi numerik menjadi alat penting dalam pengembangan teknologi pengeringan modern. Pendekatan ini tidak hanya dapat digunakan untuk skala laboratorium, tetapi juga berpotensi untuk diterapkan dalam desain dan optimasi sistem pengering industri yang kompleks dan berskala besar. Ke depan, integrasi antara pemodelan numerik, data eksperimen, dan kecerdasan buatan diprediksi akan semakin memperkuat kemampuan simulasi sebagai platform pengembangan sistem pengering yang efisien, berkelanjutan, dan presisi tinggi.

5. Daftar Pustaka

[1] Ozkan A, Arslan H, Sen O. Investigation of the Series Hybrid Electric Powertrain Architecture with Wankel Engine as a Range Extender. GU J Sci 2022;35(3):1078-1089.
[2] Ahn A, Welles T, Kumgeh BA. Analysis of Current Hybrid-Electric Automobile Drivetrains and Proposal of an Alternative Powertrain. Power2020-16997.
[3] Alanazi F. Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation. Appl Sci 2023;13(10):6016.
[4] de Lima AJTB, Rufino CH, Ferreira JV, Gallo WLR. Study on Exergy Recovery in Hybrid Vehicles via Wastegate Losses. Int J Thermodyn 2020;23(1):43-51.
[5] Kobbi MD, Alombah NH, Ngwabie NG. Energy Harvesting Technologies in Electric Vehicles and Applications in Sustainable Agricultural Transportation: A Review. REM 2024;7(2):17798.
[6] Oganisyan A, Koryagin V, Porokhnya A. Adjusting the Service Frequency of Hybrid Vehicles Based on the Use of Diagnostics Tools. E3S Web Conf 2023;371:03052.

[7] Wragge-Morley RT, Vorraro G, Turner JWG, Brace CJ, Xue X, Badra J, Abdulmanan A. Numerical Evaluation and Optimization of a Hybrid Vehicle Employing a Hydrogen Internal Combustion Engine as a Range Extender. Powertrain Systems for Net-Zero Transport; First Edition. 2020.
[8] Khan MS, Gupta C, Kumar A. Simulation Design and Analysis of Power Converters for Hybrid Electric Vehicle Applications. Shodh Sangam 2021;4(6):65.
[9] Rimkus A, Mejeras G, Dittrich A, Pukalskas S, Barta D. Effect of the Concentration of Bioethanol Mixed with Gasoline on the Energy and Environmental Performance of a Hybrid Vehicle in the Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle. Appl Sci 2024;14:10858.
[10] Wang L, Song Z, Wang S. Application and Simulation of Atkinson Cycle Engine for the Range Extender. ICECTT 2018;584-587.