



## MODIFICATION OF ALTERNATING CURRENT GENERATOR SYSTEM SIMULATOR: ANALYSIS USING BRUSHLESS DIRECT CURRENT MODULE

Asep Saepulloh<sup>1\*</sup>, Tatang Permana<sup>2</sup>, Ridwan Adam M. Noor<sup>3</sup>

Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154

Correspondent e-mail: [aasep112@upi.edu](mailto:aasep112@upi.edu)\*

### ABSTRACT/ABSTRAK

*This study aims to design and test a simulator of the alternating current generator starter system using a step-up dc to dc converter and a brushless direct current controller as an instructional medium. The simulator is developed to help learners understand the working principle of the alternating current generator starter system, which integrates the functions of both a starter and an alternator into a single unit. The research method employed is a technical and experimental approach, which includes needs analysis, component selection, assembly, and both electrical and mechanical testing. Testing was carried out to ensure the functionality of each part, such as increasing the voltage from 12V to 36V and regulating current through the brushless direct current controller to rotate the rotor. The results indicate that the simulator accurately replicates the operational characteristics of the alternating current generator starter system, including the relationships between voltage, current, rotor speed, and back electromotive force. Electrical stability and the simulator frame ensure the simulation runs smoothly without mechanical disruption, making it appropriate for educational and technical training purposes and offering potential for further development.*

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji simulator sistem starter *alternating current generator* menggunakan *step-up dc to dc converter* dan *controller brushless direct current* sebagai media pembelajaran. Simulator dirancang untuk membantu memahami prinsip kerja sistem starter *alternating current generator* yang menggabungkan fungsi starter dan alternator dalam satu unit. Metode penelitian menggunakan pendekatan teknis dan eksperimental yang meliputi analisis kebutuhan, pemilihan komponen, perakitan, dan pengujian kelistrikan serta mekanis. Pengujian dilakukan untuk memastikan fungsi setiap bagian, termasuk peningkatan tegangan dari 12V menjadi 36V dan pengaturan arus oleh *controller brushless direct current* untuk memutar rotor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simulator dapat mereplikasi karakteristik operasional sistem starter *alternating current generator* secara akurat, termasuk hubungan antara tegangan, arus, kecepatan rotor, dan *back electromotive force*. Stabilitas kelistrikan dan rangka simulator memastikan simulasi berjalan sesuai rancangan tanpa gangguan mekanis, sehingga simulator ini layak digunakan untuk pembelajaran dan pelatihan teknis serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Submitted/Received  
11 Mar 2025

First Revised  
25 Apr 2025

Accepted  
16 May 2025

Online Date  
18 May 2025

Publication Date  
01 Jun 2025

#### Keywords:

Simulator; Alternating current generator; Learning media

#### Kata kunci:

Simulator; Alternating current generator; Media pembelajaran

## 1. PENDAHULUAN

Bosch (2007) menjelaskan bahwa evolusi sistem otomotif terus bergerak menuju elektrifikasi untuk memenuhi tuntutan emisi yang lebih ketat dan efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi, dengan sistem seperti starter *generator*. Sistem starter adalah komponen vital dalam kendaraan bermotor yang berfungsi menghidupkan *engine*. Selama beberapa dekade terakhir, teknologi ini telah mengalami evolusi yang signifikan, terutama untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi kebisingan, dan memperpanjang masa pakai. Sejalan dengan pendapat Reif (2014) yang menyatakan bahwa perkembangan teknologi sistem penggerak kendaraan secara umum menuntut inovasi pada sistem starter agar mampu mendukung efisiensi energi yang lebih tinggi dan mengurangi emisi gas buang. Cho, *et al.* (2023) juga menyatakan bahwa sistem *alternating current generator* mampu menurunkan konsumsi bahan bakar dan mendukung sistem kendaraan beremisi rendah melalui integrasi fungsi alternator dan starter yang efisien.

Seiring berkembangnya kendaraan modern yang semakin fokus pada efisiensi energi dan keberlanjutan, sistem starter tradisional, yang sering menggunakan motor listrik dan mekanisme gigi, telah digantikan oleh sistem yang lebih inovatif seperti sistem starter *alternating current generator* yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Studi oleh Godoy, *et al.* (2021) menunjukkan bahwa sistem starter berbasis *alternating current generator* mampu meningkatkan efisiensi sistem penggerak sekaligus mengurangi emisi serta kebisingan pada kendaraan.

Perkembangan sistem starter yang lebih maju seperti sistem starter *alternating current generator* memungkinkan pengurangan komponen mekanis yang rentan terhadap kerusakan dan keausan. Sistem ini menggabungkan fungsi alternator dan starter dalam satu unit, sehingga mengurangi kompleksitas dan berat kendaraan. Sistem starter *alternating current generator* menghasilkan suara yang lebih halus saat menyalakan *engine* sehingga memberikan pengalaman berkendara yang lebih nyaman dan tenang. Kemampuan ini sangat penting dalam konteks kendaraan perkotaan, di mana polusi suara menjadi masalah yang semakin diperhatikan. Sejalan dengan pendapat Santoso (2021) yang menyatakan penggunaan sistem starter ini mampu menurunkan kebisingan mesin hingga 30%, sehingga memberikan pengalaman berkendara yang lebih tenang dan ramah lingkungan.

Selain aspek efisiensi dan kebisingan, penggunaan sistem starter modern juga berkontribusi pada efisiensi bahan bakar dan pengurangan emisi. Sistem starter *alternating current generator* sering digunakan dalam kendaraan yang memiliki fitur *start and stop, engine* dapat dimatikan secara otomatis saat kendaraan berhenti dan dinyalakan kembali

dengan cepat saat dibutuhkan. Studi oleh Pavković, *et. al.* (2022) juga menunjukkan bahwa penggunaan *alternating current generator* berkontribusi dalam pengurangan konsumsi bahan bakar dan emisi CO<sub>2</sub> hingga 10% pada kondisi lalu lintas perkotaan. Kondisi tersebut mampu menghemat bahan bakar dan mengurangi emisi gas buang, mendukung inisiatif global untuk mengurangi dampak lingkungan. Sejalan dengan pendapat Reif (2014) yang menyatakan bahwa sistem *start-stop* dengan starter *generator* terintegrasi adalah salah satu teknologi kunci untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi CO<sub>2</sub> di kendaraan konvensional.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan mencakup pendekatan teknis dan eksperimental untuk memastikan simulasi yang akurat dan efektif. Sejalan dengan pendapat Sukardi (2022) yang menjelaskan bahwa pendekatan rekayasa teknologis dalam pendidikan teknik sangat tepat untuk menghasilkan media pembelajaran berbasis praktik dan kebutuhan lapangan. Metode penelitian perancangan dan pengembangan simulator sistem starter *alternating current generator* adalah melakukan analisis terhadap spesifikasi teknis dari sistem starter *alternating current generator* yang termasuk mempelajari prinsip kerja, komponen utama, dan karakteristik operasional sistem. Mao dan Guo (2025) juga menyatakan bahwa validasi fungsional sangat penting dalam memastikan simulasi sistem kelistrikan berjalan mendekati kondisi nyata di lapangan. Pengembangan model konseptual yang mencakup struktur dasar simulator, mencakup aspek mekanik, elektronik, dan perangkat lunak. Pendekatan ini sejalan dengan metode penelitian yang digunakan oleh Maulana (2024) dalam pengembangan media pembelajaran berbasis sistem starter *alternating current generator*, yang menekankan pentingnya uji coba langsung dalam desain sistem elektronik otomotif.

Colton (2010) menjelaskan bahwa proses rekayasa desain memerlukan pendekatan literatif di mana pengujian fungsional dan analisis dilakukan secara berulang untuk memastikan ketepatan rancangan dan keandalan hasil. Langkah selanjutnya adalah mengimplementasikan desain dalam bentuk prototipe fisik yang melibatkan pemilihan bahan dan komponen yang sesuai dalam proses pembuatan dan perakitan. Pengujian eksperimental harus dilakukan untuk memastikan fungsi dan keandalan. Pengujian mungkin mencakup uji tahanan dan performa untuk memastikan bahwa simulator bekerja seperti yang diharapkan. Sejalan dengan Prasetya (2021) yang menjelaskan bahwa pengujian pada alat peraga otomotif harus mempertimbangkan kesesuaian antara hasil simulasi dengan karakteristik aktual kendaraan, terutama dalam pengujian tegangan, arus, dan rotasi motor.

Tahap akhir melibatkan evaluasi dan validasi simulator untuk memastikan fungsinya berjalan normal. Proses ini dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data nyata dari sistem starter *alternating current generator* untuk memastikan simulator meniru karakteristik operasional sistem dengan tepat. Hasil evaluasi membantu peneliti menemukan bagian yang perlu diperbaiki dan memastikan simulator siap digunakan untuk penelitian dan pelatihan teknis.

### 3. HASIL PENELITIAN

Pengujian dilakukan setelah seluruh rangkaian simulator sistem starter *alternating current generator* selesai dirakit dengan komponen utama berupa stator dan rotor, selanjutnya komponen pendukung seperti baterai 12V sebagai sumber daya, *step-up dc to dc converter* untuk menaikkan tegangan, dan *controller brushless direct current*. Proses ini bertujuan untuk memastikan semua bagian bekerja sesuai rancangan dan dapat mereplikasi prinsip kerja sistem starter *alternating current generator* secara efektif sebagai media pembelajaran. Sejalan dengan temuan Chen, *et. al.* (2022) menyatakan bahwa simulasi berbasis *brushless direct current* dapat secara akurat meniru pola kerja alternator-starter dalam sistem *alternating current generator* kendaraan modern.

Tahap awal dilakukan pemeriksaan menyeluruh terhadap sambungan listrik dan integritas komponen untuk mencegah potensi kerusakan selama pengujian. Setiap kabel, konektor, dan komponen diuji secara manual untuk memastikan aliran arus berjalan dengan benar tanpa adanya hubungan pendek. Hasil pemeriksaan menunjukkan semua komponen berfungsi sesuai spesifikasi dan simulator siap untuk dioperasikan.

Sumber daya dari baterai 12V kemudian dialirkan ke *step-up dc to dc converter* yang berfungsi menaikkan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan *controller brushless direct current*. Hasil pengukuran menggunakan voltmeter menunjukkan bahwa tegangan berhasil ditingkatkan menjadi 36V secara stabil, bahkan ketika terjadi perubahan arus *input*. Rata-rata tegangan *output* berada pada kisaran yang diharapkan, membuktikan efektivitas *step-up converter* dalam menyediakan daya yang diperlukan. Temuan ini sejalan dengan studi oleh Gathadi & Bhole (2018) yang menunjukkan bahwa integrasi *step-up converter* dengan pengaturan arus melalui *brushless controller* dapat meningkatkan efisiensi sistem starter kendaraan secara signifikan.

*Controller brushless direct current* menerima tegangan 36V dari *step-up converter* dan mendistribusikan arus listrik ke *controller brushless direct current* sesuai dengan perintah dari tombol starter. Saat tombol diaktifkan, *controller brushless direct current* mulai

berputar dengan cepat, memutar rotor dan menunjukkan bahwa simulator berhasil merepresentasikan mekanisme kerja starter *alternating current generator*. Respon sistem terhadap perintah *input* cukup cepat, memperlihatkan kinerja yang sesuai dengan rancangan awal. Studi Mao & Khorasani (2023) menunjukkan bahwa sistem *step-up converter* dan *brushless direct current controller* yang dirancang secara optimal dapat menciptakan aliran daya yang konsisten untuk motor starter dan mengurangi lonjakan arus.

Kecepatan rotor diuji pada beberapa kondisi arus untuk memeriksa kestabilan sistem dalam berbagai skenario. Wang (2013) menjelaskan kestabilan (*back electromotive force*) yang dihasilkan oleh motor *brushless direct current* dalam sistem *alternating current generator* dapat digunakan sebagai indikator performa keseluruhan sistem penggerak awal. Nilai kecepatan rotor dan tegangan balik (*back electromotive force*) yang dihasilkan tercatat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Kecepatan Rotor

<b>Tegangan Output</b> (V)	<b>Arus Input</b> (A)	<b>Kecepatan Rotor</b> (RPM)	<b>Back Electromotive Force</b> (EMF)
36	2.5	100	1.05
36	3.0	150	1.57
36	3.5	200	2.09

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *back electromotive force* yang dihasilkan rotor pada kecepatan 100 RPM adalah sekitar 1,05 V, sangat mendekati hasil perhitungan teoritis 1,047 V. Konsistensi ini mengindikasikan bahwa simulasi yang dilakukan mampu menggambarkan kondisi operasional sistem starter *alternating current generator* secara akurat. Penelitian sebelumnya oleh Hartono (2019) juga mengungkapkan bahwa akurasi penggambaran hubungan antara kecepatan rotor dan tegangan balik merupakan indikator penting dalam evaluasi performa sistem starter *alternating current generator*.

Selama pengujian, *step-up converter* memperlihatkan kinerja yang stabil dalam menjaga tegangan *output*, meskipun terjadi fluktuasi arus input. Stabilitas ini penting karena motor *brushless direct current* memerlukan tegangan yang konstan untuk mempertahankan performa optimal. Kinerja yang baik dari converter membuktikan bahwa komponen ini mampu memenuhi tuntutan simulasi sistem starter *alternating current generator*.

Motor *brushless direct current* juga menunjukkan respon yang cepat terhadap pengaturan yang diberikan *controller*. Variasi *duty cycle* pada *controller* memberikan dampak langsung pada kecepatan rotor, menunjukkan hubungan yang proporsional antara pengaturan *pulse width modulation* dan kecepatan motor. Fakta tersebut menunjukkan

bahwa simulator mampu memperlihatkan secara nyata prinsip pengendalian motor *brushless direct current*.

Selain pengukuran kelistrikan, dilakukan pula penilaian pada aspek mekanis simulator. Rangka simulator mampu menopang seluruh komponen dengan baik, menjaga kestabilan selama motor beroperasi pada kecepatan tinggi, dan meminimalkan getaran yang berlebihan. Kondisi ini penting agar pengujian dapat berjalan lancar dan hasil yang diperoleh akurat.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa simulator yang dirancang mampu bekerja sesuai dengan rancangan teknis, menaikkan tegangan dari 12V menjadi 36V, menggerakkan motor *brushless direct current* secara stabil, dan merepresentasikan prinsip kerja sistem starter *alternating current generator*. Simulator ini dapat dijadikan sarana efektif untuk mempelajari mekanisme sistem starter modern sekaligus menjadi media latihan teknis

#### 4. PEMBAHASAN

Hasil pengujian simulator menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu menjalankan fungsi dasar dari sistem starter *alternating current generator* dengan baik. Peningkatan tegangan dari 12V menjadi 36V menggunakan *step-up dc to dc converter* berjalan sesuai perhitungan, menyediakan daya yang cukup untuk mengoperasikan *controller brushless direct current*. Baldizzone (2012) juga menjelaskan bahwa keberhasilan pengembangan simulator sistem kelistrikan bergantung pada ketepatan desain dan integrasi komponen utama. Kemampuan ini menunjukkan bahwa rangkaian yang dibangun dapat mengilustrasikan prinsip kerja sistem starter *alternating current generator* secara nyata. Sejalan dengan temuan oleh Amelia (2023) juga menekankan pentingnya kestabilan tegangan dan kontrol arus dalam mendukung simulasi sistem starter berbasis *alternating current generator* sebagai media pembelajaran yang efektif. Majedi, *et. al.* (2022) juga menyebutkan bahwa penerapan simulasi berbasis perangkat keras dalam pendidikan teknik terbukti meningkatkan pemahaman siswa terhadap prinsip sistem kelistrikan kendaraan.

Keberhasilan *step-up converter* menjaga kestabilan tegangan *output* meskipun terjadi fluktuasi arus input menunjukkan bahwa komponen ini memiliki peran penting dalam menjaga performa sistem. *Controller brushless direct current* memerlukan tegangan yang konstan untuk berputar stabil, dan kinerja konverter yang baik mendukung fungsi tersebut. Kondisi ini juga menjadi bukti bahwa rancangan simulasi sesuai dengan kebutuhan teknis sistem starter *alternating current generator*.

*Controller brushless direct current* bertugas mengatur distribusi arus ke motor menggunakan teknik *pulse width modulation*. Pengujian membuktikan bahwa perubahan pada *duty cycle* secara langsung memengaruhi kecepatan rotor, sehingga prinsip pengendalian motor dapat diamati dengan jelas. Fitur ini mempermudah pemahaman mengenai bagaimana sistem starter *brushless direct current* memanfaatkan pengaturan arus untuk mengontrol putaran rotor.

Simulator juga menampilkan keterkaitan antara tegangan, arus, dan kecepatan rotor sesuai teori. Peningkatan arus *input* menyebabkan kenaikan kecepatan rotor dan *back electromotive force*, mendekati nilai perhitungan teoretis. Konsistensi ini menunjukkan bahwa simulator mampu mereplikasi karakteristik operasional sistem starter *alternating current generator* secara akurat, memberikan pemahaman yang lebih mendalam kepada pengguna.

Selain aspek kelistrikan, stabilitas mekanis simulator juga menjadi sorotan. Rangka simulator yang kokoh mampu menopang semua komponen dan meminimalkan getaran saat motor beroperasi pada kecepatan tinggi. Kondisi tersebut menjamin hasil pengujian bebas dari gangguan faktor mekanis sehingga simulasi tetap akurat. Sejalan dengan pendapat Sumarna (2022) yang menjelaskan bahwa simulator sistem starter *alternating current generator* yang memiliki kestabilan mekanis tinggi dapat menjadi alat yang tepat untuk pengembangan keterampilan teknis siswa pada program keahlian otomotif di SMK maupun pelatihan vokasional.

Pengujian menunjukkan bahwa penggunaan *controller brushless direct current* sebagai pengganti *electronic control unit* berhasil menjalankan fungsi starter pada simulator. Pengaturan tegangan yang tepat memungkinkan motor bekerja efisien, membuktikan bahwa desain ini dapat menjadi alternatif yang ekonomis dan mudah diimplementasikan untuk tujuan pembelajaran. Simulator yang dihasilkan dapat digunakan sebagai media pembelajaran yang efektif karena mampu memvisualisasikan kerja sistem starter *alternating current generator* secara langsung. Proses peningkatan tegangan, distribusi arus, dan putaran rotor dapat diamati secara nyata, sehingga memudahkan siswa memahami konsep yang kompleks. Pendekatan ini membantu mengatasi keterbatasan media pembelajaran konvensional yang hanya mengandalkan penjelasan teoritis.

Kinerja sistem yang stabil memperlihatkan potensi simulator untuk digunakan dalam pelatihan teknis. Desain yang sederhana serta penggunaan komponen yang mudah ditemukan membuat simulator ini cocok digunakan secara luas di lingkungan pendidikan untuk membantu siswa mengasah pengetahuan dan keterampilan pada sistem starter

*alternating current generator*. Sejalan dengan pendapat Wijaya (2021) yang menegaskan bahwa kestabilan sistem kelistrikan dalam simulator otomotif sangat penting dalam memastikan keakuratan hasil pengujian dan keselamatan operasional alat.

Analisis dari hasil pengujian juga menegaskan bahwa simulator dapat menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut. Penambahan fitur pemantauan arus dan tegangan yang lebih detail, serta peningkatan kualitas komponen, dapat meningkatkan keakuratan simulasi dan memperluas fungsinya dalam penelitian. Rahmat (2020) menyoroti bahwa pemanfaatan media pembelajaran berbasis teknologi dapat memfasilitasi keterampilan teknis siswa secara lebih nyata dibandingkan dengan metode ceramah konvensional. Secara keseluruhan, pembahasan ini menunjukkan bahwa simulator sistem starter *alternating current generator* dengan *controller brushless direct current* berhasil memenuhi tujuan perancangan. Simulator ini tidak hanya memberikan gambaran yang jelas tentang cara kerja sistem starter *alternating current generator* tetapi juga menjadi sarana pembelajaran yang aplikatif dan relevan untuk mendukung pendidikan teknik otomotif.

## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membuat simulator sistem starter *alternating current generator* menggunakan *step-up dc converter* dan *controller brushless direct current*. Proses perancangan meliputi pemilihan komponen, perakitan rangka, serta pengaturan kelistrikan yang mampu menaikkan tegangan dari 12V menjadi 36V secara stabil. Simulator ini dirancang agar sederhana, mudah diperoleh komponennya, dan dapat menirukan prinsip kerja sistem starter *alternating current generator* sebagai media pembelajaran.

Pengujian menunjukkan bahwa simulator dapat mereplikasi fungsi starter dan alternator secara akurat, sesuai dengan karakteristik operasional sistem *alternating current generator*. Hubungan antara tegangan, arus, kecepatan rotor, dan *back electromotive force* sesuai dengan perhitungan teoritis. Hasil ini membuktikan bahwa simulator layak digunakan untuk tujuan pembelajaran dan pelatihan teknis, serta dapat menjadi dasar pengembangan media pendidikan yang lebih efektif di bidang teknik otomotif.

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan jurnal ini. Apresiasi disampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan yang sangat

berharga selama proses penelitian dan penulisan. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada rekan-rekan yang membantu dalam pengujian simulator, serta pihak-pihak lain yang secara langsung maupun tidak langsung berkontribusi pada kelancaran penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik otomotif.

## 7. REFERENSI

- Amelia, N. (2023). Studi Sistem Starter *Alternating Current Generator* pada kendaraan perkotaan. *Jurnal Energi dan Kendaraan ITB*, 12(2), 101–108.
- Baldizzone, S. (2012). *Performance And Fuel Economy Analysis of A Mild Hybrid Vehicle Equipped with Belt Starter Generator*. [Master's Thesis, University of Windsor]. University of Windsor Research Repository.
- Bosch, R. (2007). *Bosch Automotive Handbook (7th ed.)*. Germany: John Wiley & Sons.
- Chen, B., Pan, X., & Evangelou, S. A. (2022). *Optimal Energy Management of Series Hybrid Electric Vehicles with Engine Start-Stop System*. *arXiv preprint*.
- Cho, C. P., Wylam, W., & Johnston, R. (2000). *The Integrated Starter Alternator Damper: The First Step Toward Hybrid Electric Vehicles*. *SAE Technical Paper* 2000-01-1571.
- Colton, J. L. (2010). Design of an integrated starter-alternator for a series hybrid electric vehicle: Axial flux permanent magnet machine design. [Ph.D. Thesis, University of Nebraska–Lincoln]. University of Nebraska–Lincoln Research Repository.
- Gathadi, P., & Bhole, A. A. (2018). *Integrated Starter Alternator Using PMSM*. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 62(2), 113–117.
- Godoy, R. B., de Brito, M. A. G., Garcia, R. C., Kimpara, M. L. M., & Pinto, J. O. P. (2021). *Integrated Starter Alternator PMSM Drive for Hybrid Vehicles*. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 32, 165–174.
- Hartono, F. (2019). Simulasi *Starter Alternating Current Generator* pada Kendaraan Bermotor. *Jurnal Teknik UII*, 7(1), 55–61.
- Maulana, R. (2024). Pengembangan Media Pembelajaran *Alternating Current Generator Starter* Berbasis Android. *Jurnal Teknik Elektro UPI*, 8(1), 45–52.
- Majedi, F., Susant, F., & Hardiyanto, A. T. (2025). Penerapan Sistem *Alternating Current Generator* pada Motor Bensin CX200. *Jurnal Teknologi Terpadu (JTT)*, 6(1), 82–89.
- Mao, H., & Guo, Y. (2025). Modeling and fault simulation of starter/generator in all-electric APU. *arXiv preprint*, 2506, 10562.
- Mao, H., & Khorasani, K. (2025). Enhancing fault detection using starter/generator signals in all-electric APU. *arXiv preprint*, 2503.14986.
- Pavković, D., Cipek, M., Plavac, F., & Krznar, M. (2022). *Internal Combustion Engine Starting and Torque Boosting Control System for Mild Hybrid Vehicle*. *Energies*, 15(4), 1-24.
- Praselia, A. (2021). Pengembangan Alat Peraga Sistem *Starter Alternating Current Generator* untuk Peningkatan Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin UNNES*, 10(2), 107–114.
- Rahmat, E. (2020). Analisis Sistem *Integrated Starter Alternator* di Indonesia. *Jurnal Elektronika UNDIP*, 18(3), 112–120.
- Reif, K. (2014). *Automotive Powertrain Technology*. Springer Vieweg.

- Santoso, L. (2021). Pengaruh Starter *Alternating Current Generator* terhadap Kebisingan Mesin. *Jurnal Teknik Otomotif UGM*, 14(2), 88–94.
- Sumarna, B. (2022). Efisiensi Starter *Alternating Current Generator* pada *Hybrid Vehicle*. *Jurnal Otomotif Indonesia*, 15(1), 33–40.
- Sukardi, P. (2022). Aplikasi *Start-Stop Engine* dengan Sistem *Alternating Current Generator*. *Jurnal Teknologi Mobil Listrik UPN*, 5(1), 66–72.
- Wang, B. (2013). *Research on Control Strategies of Full Hybrid Electric Vehicle with Integrated Starter Generator*. [Master's Thesis, Henan University of Science and Technology]. Henan University of Science and Technology Research Repository.
- Wijaya, D. (2023). Studi Komponen *Starter Alternating Current Generator* pada Kendaraan Elektrik. *Jurnal Teknik Mesin ITS*, 11(2), 77–85.