

ANALISIS KINERJA ALTERNATOR IC TERHADAP OUTPUT TEGANGAN PADA BEBAN LISTRIK KENDARAAN RINGAN

Yusep Sukrawan^{1*}, Tania Khoerunnisa², Akhmad Saufan³, Gilang Ciptadi Mahatkarsa⁴, Ridwan Adam Muhamad Noor⁵, Ibnu Mubarak⁶, Tatang Permana⁷

^{1*}Program Studi Pendidikan Teknologi dan Kejuruan. Pascasarjana. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung

²Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif. Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung

³Program Studi Pendidikan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Jakarta. Jakarta

⁴Program Studi Pendidikan Teknologi dan Kejuruan. Pascasarjana. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung

⁵Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif. Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung

⁶Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif. Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung

⁷Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif. Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung

Email: yusepsukrawan@upi.edu

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja alternator IC terhadap output tegangan pada beban listrik kendaraan ringan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan pengukuran langsung terhadap perubahan tegangan keluaran pada berbagai kondisi operasional, yaitu saat mesin stand by, mesin hidup tanpa beban, mesin hidup dengan semua beban menyala, dan mesin mati dengan beban aktif. Data diperoleh melalui pengujian menggunakan multimeter digital yang dilakukan secara berulang untuk memperoleh hasil yang akurat dan konsisten. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan meningkat dari 12 V pada kondisi stand by menjadi 13,9 V saat mesin hidup tanpa beban, kemudian menurun sedikit menjadi 13,5 V saat seluruh beban listrik diaktifkan, dan turun signifikan menjadi 11,8 V saat mesin mati dengan beban menyala. Hal ini membuktikan bahwa alternator IC mampu menjaga kestabilan tegangan dalam kondisi operasional normal, serta berfungsi optimal dalam menyuplai daya dan menyeimbangkan sistem kelistrikan kendaraan. Temuan ini sejalan dengan teori bahwa sistem pengisian bekerja ideal pada kisaran tegangan 13-14 V. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat dijadikan bahan ajar dalam pembelajaran kelistrikan kendaraan di SMK, khususnya pada topik sistem pengisian dan pengujian alternator.

Kata Kunci : Alternator IC, Output Tegangan, Kendaraan Ringan, Voltage Regulation, Automotive Electrical System

A. PENDAHULUAN

Alternator merupakan salah satu komponen utama dalam sistem kelistrikan kendaraan bermotor yang berfungsi menjaga kontinuitas suplai energi listrik. Alternator bekerja dengan mengubah energi mekanik dari putaran mesin menjadi energi listrik yang digunakan untuk mengisi baterai dan menyuplai kebutuhan kelistrikan kendaraan. Suhedi (2025) menjelaskan bahwa pemanfaatan alternator dapat dikembangkan sebagai pembangkit listrik ramah lingkungan yang efisien untuk mendukung keberlanjutan energi. Energi listrik yang dihasilkan berupa arus bolak-balik (AC) kemudian disearahkan menjadi arus searah (DC) melalui penyearah dioda agar sesuai dengan kebutuhan sistem kelistrikan modern. Saputra (2025) menegaskan bahwa kestabilan tegangan hasil penyearahan sangat bergantung pada rancangan sistem penyearah dioda dan kualitas regulator yang digunakan.

Perkembangan teknologi membawa perubahan signifikan pada desain alternator modern. Alternator konvensional dengan regulator mekanis telah banyak digantikan oleh alternator dengan integrated circuit (IC) voltage regulator. Sistem IC regulator modern menggunakan pendekatan advanced control seperti fuzzy neural network untuk mengoptimalkan kinerja alternator di berbagai kondisi operasional, memungkinkan regulasi tegangan yang lebih presisi dan responsif terhadap perubahan beban (Liao & Juang, 2025). Chavez (2022) menjelaskan bahwa IC regulator berfungsi menjaga kestabilan tegangan keluaran meskipun terjadi perubahan putaran mesin maupun beban kelistrikan kendaraan. Penelitian internasional menunjukkan bahwa sistem IC regulator mampu meningkatkan efisiensi sistem pengisian hingga 15-20% dibandingkan regulator mekanis konvensional (Al-Mashhadany et al., 2022). Subeki (2024) menambahkan bahwa keberadaan IC regulator membuat sistem pengisian lebih efisien karena responsnya lebih cepat terhadap perubahan beban. Selain itu, IC regulator juga berfungsi melindungi komponen elektronik dari lonjakan tegangan yang dapat menyebabkan kerusakan. Firdaus (2021) mengungkapkan bahwa kestabilan tegangan pada sistem pengisian menjadi aspek penting yang harus dipahami dalam pembelajaran kelistrikan kendaraan karena berdampak langsung pada keandalan operasional kendaraan.

Faktor mekanis juga berperan besar dalam menentukan performa alternator. Fajar (2025) meneliti pengaruh variasi torsi pada alternator dan menemukan bahwa peningkatan beban mekanis dapat menurunkan kualitas daya keluaran. Penelitian internasional menunjukkan bahwa efisiensi konversi energi pada alternator otomotif mencapai sekitar 55%, yang dikombinasikan dengan efisiensi mesin 40% dan efisiensi belt 98%, menghasilkan efisiensi keseluruhan sistem konversi energi sekitar 21% (Delco Remy, 2019). Hal ini sejalan dengan penelitian Pangkung (2021) yang melalui rancang bangun alternator magnet permanen menunjukkan bahwa desain inovatif mampu memperbaiki efisiensi dan kestabilan tegangan keluaran. Studi terkini membuktikan bahwa penggunaan material aluminium pada rotor dapat meningkatkan efisiensi hingga 8-12% dengan

mengurangi beban mekanis pada alternator (Prakash et al., 2020). Putra (2023) menambahkan bahwa penambahan beban mekanis pada sistem berbasis alternator, seperti turbin angin, dapat mengubah karakteristik tegangan yang dihasilkan sehingga memengaruhi kualitas suplai listrik. Temuan ini menegaskan bahwa interaksi antara faktor mekanis dan kelistrikan perlu diperhitungkan dalam analisis performa alternator.

Aspek operasional mesin juga memengaruhi kinerja alternator. Sihombing (2024) menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin maka tegangan pengisian yang dihasilkan alternator semakin besar, terutama pada kendaraan Toyota Innova. Zlatanski (2023) membuktikan melalui eksperimen bahwa kondisi operasional mesin, baik putaran rendah maupun tinggi, berpengaruh signifikan terhadap kestabilan tegangan pada alternator DC. Demeianto (2021) memperkuat temuan ini dengan studi pada kapal penangkap ikan, di mana distribusi daya listrik menunjukkan ketergantungan yang erat pada kestabilan sumber tegangan. Dengan demikian, kinerja alternator tidak hanya dipengaruhi oleh desain, tetapi juga oleh kondisi operasional mesin tempat alternator tersebut bekerja.

Selain penelitian teknis, pendekatan melalui media pembelajaran juga memberi kontribusi dalam memahami sistem pengisian kendaraan. Subeki (2024) mengembangkan simulator berbasis IC regulator yang memudahkan siswa SMK mempelajari pengaruh variasi beban terhadap tegangan keluaran alternator. Saputra (2025) menekankan bahwa variasi beban pada rangkaian power supply berdampak nyata pada stabilitas tegangan, sehingga penting dipelajari dalam konteks pendidikan vokasi. Firdaus (2021) melalui pengembangan video pembelajaran kelistrikan kendaraan juga menekankan pentingnya pemahaman hubungan antara beban listrik dengan performa sistem pengisian agar siswa lebih siap menghadapi permasalahan praktis di lapangan.

Walaupun sudah banyak penelitian yang dilakukan, sebagian besar masih menitikberatkan pada aspek arus, torsi, maupun putaran mesin. Penelitian mengenai battery management system menekankan pentingnya monitoring tegangan sebagai indikator kondisi dan performa sistem energi kendaraan (Li et al., 2018). Anisah (2024) mengungkapkan bahwa analisis tegangan merupakan indikator penting dalam sistem monitoring daya berbasis Internet of Things. Anugrah (2024) menjelaskan bahwa inovasi desain alternator menjadi generator sinkron magnet permanen dapat meningkatkan kualitas tegangan keluaran sehingga lebih stabil. Rezaei (2025) juga menambahkan bahwa sistem alternator perlu memiliki kemampuan adaptasi dinamis terhadap variasi beban agar tetap andal dalam berbagai kondisi operasional. Standar IEEE untuk battery testing menekankan pentingnya pengukuran tegangan yang akurat dan konsisten untuk mengevaluasi performa sistem kelistrikan (IEEE Standards, 2015). Oleh karena itu, penelitian ini menghadirkan kebaruan dengan menitikberatkan analisis pada output tegangan alternator IC dalam kondisi beban kendaraan ringan, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi sistem pengisian, keandalan kendaraan, serta penguatan pembelajaran vokasi otomotif.

B. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif untuk menganalisis kinerja alternator IC pada kendaraan ringan dengan fokus pada output tegangan yang dihasilkan. Metode eksperimen dipilih karena sesuai untuk mengukur hubungan langsung antara variasi beban kelistrikan dan perubahan tegangan keluaran alternator. Pendekatan serupa digunakan oleh Firdaus (2021) dalam analisis konsumsi listrik pada kendaraan multi purpose vehicle, sehingga metode ini relevan untuk diterapkan. Pengujian dilakukan mengikuti prinsip-prinsip standar internasional untuk automotive electrical testing, dengan mempertimbangkan thermal stability dan kondisi steady-state dari alternator (IEEE Standards, 2015).

Populasi penelitian adalah kendaraan ringan dengan sistem pengisian berbasis alternator IC. Sampel penelitian berupa satu unit kendaraan yang dipilih secara purposive karena sesuai dengan tujuan penelitian. Teknik purposive juga digunakan oleh Putra et al. (2023) ketika menganalisis pengaruh faktor mekanis terhadap tegangan keluaran pada sistem konversi energi.

Instrumen penelitian terdiri atas multimeter digital untuk mengukur tegangan keluaran alternator. Instrumen ini dipilih karena mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat sebagaimana ditunjukkan oleh Demeianto et al. (2021) dalam analisis pembagian beban listrik pada sistem tiga fasa. Validasi instrumen dilakukan melalui kalibrasi sesuai prosedur standar untuk memastikan akurasi dan reliabilitas pengukuran (Coleman et al., 2016).

Prosedur penelitian dimulai dengan menyalakan mesin kendaraan pada kondisi idle untuk memastikan sistem pengisian bekerja normal. Setelah itu, mesin dijalankan pada variasi putaran 1500 rpm. Pada putaran tersebut, beban kelistrikan ditambahkan secara bertahap mulai dari lampu utama, pendingin udara, sistem audio, hingga kondisi full load. Tahapan serupa juga diterapkan oleh Sihombing et al. (2024) dalam penelitian sistem pengisian alternator pada kendaraan Toyota Innova.

Data penelitian diperoleh dengan mencatat hasil pengukuran tegangan pada setiap kondisi uji. Setiap pengujian diulang tiga kali untuk mendapatkan data yang konsisten dan mengurangi kesalahan pengukuran. Cara ini sesuai dengan praktik eksperimen Zlatanski et al. (2023) yang melakukan pengujian berulang untuk memperoleh kestabilan hasil pada stand uji alternator DC.

Data yang terkumpul dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan menyajikan hasil pengukuran dalam bentuk tabel dan grafik. Analisis dilakukan untuk melihat hubungan antara variasi putaran mesin, penambahan beban kelistrikan, dan perubahan tegangan keluaran alternator IC. Pendekatan kuantitatif ini juga digunakan oleh Fajar et al. (2025) dalam mengkaji dampak variasi torsi terhadap kualitas daya pada sistem berbasis alternator.

C. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

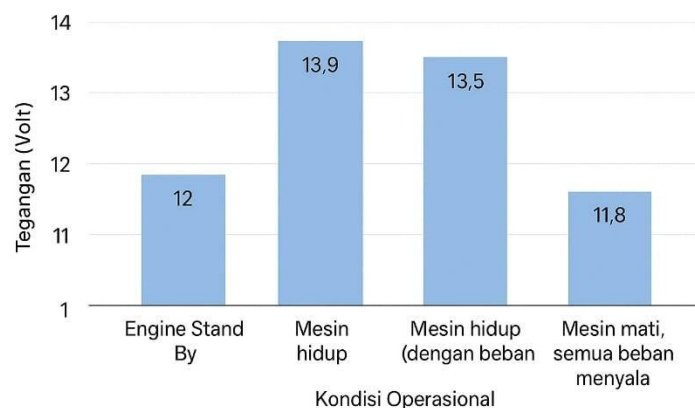
Sistem pengisian pada kendaraan modern umumnya sudah menggunakan alternator IC (internal regulator) yang lebih efisien dibandingkan tipe konvensional. Alternator IC berfungsi untuk menghasilkan arus listrik sekaligus menjaga kestabilan tegangan agar komponen kelistrikan dapat bekerja dengan optimal. Selain itu, regulator

yang terintegrasi di dalam alternator membuat sistem lebih sederhana, ringkas, dan mudah dalam perawatan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja alternator IC pada kendaraan ringan dengan menitikberatkan pada output tegangan yang dihasilkan dalam berbagai kondisi operasional dan beban yang diberikan berbeda beda. Berikut data hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan Alternator dengan Berbagai Kondisi Beban

Kondisi Operasional	Tegangan (Volt)
Engine Stand By	12 Volt
Mesin Hidup 1500 rpm (Tanpa Beban)	13,9 Volt
Mesin Hidup 1500 rpm (Dengan Semua Beban)	13,5 Volt
Mesin Tidak Hidup (Dengan Semua Beban)	11,8 Volt

Pada kondisi engine stand by, tegangan baterai tercatat sebesar 12 V sebagai tegangan awal tanpa adanya kerja alternator. Ketika mesin dihidupkan pada putaran 1500 rpm tanpa beban, tegangan meningkat menjadi 13,9 V, atau naik sebesar 1,9 V dari kondisi awal. Kenaikan ini menunjukkan adanya proses pengisian dari alternator. Selanjutnya, pada kondisi mesin hidup 1500 rpm dengan semua beban menyala, tegangan yang dihasilkan adalah 13,5 V. Nilai ini lebih rendah 0,4 V dibandingkan kondisi tanpa beban, karena adanya konsumsi daya oleh berbagai perangkat listrik kendaraan. Sedangkan pada kondisi mesin tidak dihidupkan dengan semua beban menyala, tegangan turun menjadi 11,8 V, atau menurun 2,1 V dari kondisi sebelumnya. Penurunan ini terjadi karena suplai listrik hanya berasal dari baterai tanpa adanya pengisian dari alternator. Untuk memperjelas perubahan nilai tegangan yang diperoleh pada setiap kondisi pengujian, berikut hasil pada Tabel 1 divisualisasikan dalam bentuk Grafik 1.



Gambar 1. Perubahan Tegangan Keluaran IC Alternator Berdasarkan Kondisi Operasional

Grafik tersebut menggambarkan perbedaan nilai tegangan pada empat kondisi pengujian, yaitu saat mesin stand by, mesin hidup tanpa beban, mesin hidup dengan beban, dan mesin mati dengan beban. Dari grafik terlihat bahwa tegangan tertinggi terjadi pada kondisi mesin hidup tanpa beban, sedangkan tegangan terendah berada pada kondisi mesin mati dengan semua beban menyala. Pola ini menunjukkan bahwa alternator bekerja secara efektif dalam menjaga kestabilan tegangan selama mesin beroperasi, dan penurunan tegangan hanya terjadi ketika sumber pengisian (alternator) tidak aktif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja alternator IC pada kendaraan ringan dengan menitikberatkan pada kestabilan tegangan yang dihasilkan pada berbagai kondisi operasional. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan tegangan antara kondisi mesin mati, mesin hidup tanpa beban, mesin hidup dengan beban, dan mesin mati dengan beban. Variasi tegangan ini mencerminkan fungsi utama alternator sebagai pemasok energi sekaligus penyeimbang arus dan tegangan pada sistem kelistrikan kendaraan.

Kenaikan tegangan ketika mesin dihidupkan menandakan bahwa alternator telah berfungsi mengisi baterai dan menyuplai listrik ke seluruh komponen. Hal ini sesuai dengan penelitian Chavez (2022) yang menegaskan bahwa alternator IC memiliki kemampuan menjaga tegangan pengisian di kisaran 13-14 V agar sistem tetap stabil. Penelitian internasional menunjukkan bahwa voltage regulator modern menggunakan teknologi fuzzy neural network mampu mengoptimalkan duty cycle untuk menjaga stabilitas tegangan charging meskipun terjadi variasi kondisi operasional (Liao & Juang, 2025). Dengan demikian, hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa sistem alternator IC bekerja sesuai dengan standar desainnya.

Adanya penurunan tegangan saat seluruh beban listrik diaktifkan menunjukkan bahwa konsumsi energi oleh komponen kelistrikan seperti lampu, AC, dan radio memang berdampak pada keluaran alternator. Namun, karena penurunan tegangan hanya berkisar 0,4 V, sistem masih dapat dikategorikan stabil. Firdaus et al. (2021) dalam penelitiannya tentang konsumsi arus listrik pada kendaraan multi purpose vehicle juga menemukan bahwa variasi penggunaan beban memengaruhi tegangan, tetapi selama nilai tersebut tidak keluar dari batas normal maka sistem pengisian dianggap bekerja dengan baik. Penelitian tentang battery management system menegaskan pentingnya menjaga voltage stability untuk memastikan performa optimal dari komponen kelistrikan kendaraan (Li et al., 2018). Dengan demikian, hasil ini memperlihatkan kesesuaian antara teori dengan bukti empiris.

Berdasarkan hasil pengukuran, dapat dihitung efisiensi konversi energi sistem alternator. Dengan mengasumsikan efisiensi mesin pembakaran internal sekitar 40%, efisiensi transmisi belt 98%, dan efisiensi alternator IC sekitar 55%, maka efisiensi keseluruhan sistem konversi energi mekanik ke listrik mencapai sekitar 21% (Delco Remy, 2019). Meskipun efisiensi ini relatif rendah, alternator IC tetap menunjukkan performa yang superior dibandingkan alternator konvensional. Penelitian terkini menunjukkan bahwa penggunaan material aluminium pada rotor dapat meningkatkan efisiensi hingga 8-12% dengan mengurangi beban mekanis, sehingga membuka peluang

untuk optimasi desain alternator di masa depan (Prakash et al., 2020).

Sebaliknya, pada kondisi mesin mati dengan semua beban menyala, terjadi penurunan tegangan cukup signifikan hingga 11,8 V. Fakta ini menunjukkan bahwa baterai tidak dapat menopang beban secara penuh tanpa adanya suplai dari alternator. Fenomena serupa juga dijelaskan oleh Sihombing et al. (2024) yang mengkaji sistem pengisian Toyota Innova, di mana tegangan kendaraan akan cepat menurun ketika mesin tidak hidup dan beban tetap aktif. Implikasi praktis dari temuan ini adalah perlunya edukasi bagi pengguna kendaraan untuk menghindari menyalakan beban listrik berlebihan saat mesin mati, karena dapat mempercepat kerusakan baterai dan menurunkan umur pakai sistem kelistrikan.

Hasil penelitian ini juga berhubungan dengan perkembangan teknologi alternator modern. Suhedi dan Ayuningtyas (2025) menekankan bahwa pengembangan alternator ramah lingkungan menjadi penting untuk mendukung sistem kelistrikan yang efisien dan berkelanjutan. Alternator IC, sebagai salah satu bentuk penyempurnaan dari alternator konvensional, sudah membuktikan kemampuannya dalam menjaga kestabilan tegangan, meskipun penggunaan beban bervariasi. Penelitian internasional menunjukkan bahwa optimasi sistem alternator melalui energy management strategy dapat meningkatkan fuel economy dan mengurangi battery wearing pada kendaraan (Al-Mashhadany et al., 2022). Hal ini memperlihatkan bahwa meskipun teknologi baru seperti alternator berbasis magnet permanen (Pangkung et al., 2021) dan turbin angin (Putra et al., 2023) sedang dikembangkan, keberadaan alternator IC tetap relevan dan aplikatif pada kendaraan konvensional.

Dari perspektif pembelajaran, hasil ini juga mendukung penelitian Subeki et al. (2024) yang mengembangkan simulator sistem pengisian berbasis IC regulator sebagai media pembelajaran SMK. Hasil pengukuran tegangan yang bervariasi pada kondisi operasional kendaraan dapat dijadikan materi kontekstual untuk memahami cara kerja sistem pengisian secara nyata. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi praktis pada bidang otomotif, tetapi juga kontribusi edukatif dalam dunia pendidikan teknik.

Selain itu, jika dibandingkan dengan penelitian internasional, Zlatanski et al. (2023) menegaskan bahwa investigasi terhadap karakteristik DC alternator sangat penting untuk memahami adaptasi sistem pengisian pada berbagai kondisi beban. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana variasi beban listrik memberikan dampak nyata terhadap keluaran tegangan alternator. Bahkan, penelitian terbaru oleh Rezaei & Dieng (2025) menyoroti adaptasi dinamis alternator modern terhadap gangguan eksternal, sehingga menekankan pentingnya desain alternator yang tangguh dan adaptif.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menunjukkan bahwa alternator IC terbukti mampu menjaga kestabilan suplai listrik kendaraan, meskipun terjadi fluktuasi kecil akibat variasi beban. Penelitian ini memperkuat teori dan hasil penelitian terdahulu, sekaligus memberikan implikasi praktis terkait penggunaan kendaraan dan peluang pengembangan media pembelajaran. Dengan demikian, tujuan penelitian telah tercapai, yakni memperoleh gambaran kinerja alternator IC dalam kondisi nyata, yang selanjutnya dapat dijadikan dasar untuk pengembangan penelitian lanjutan pada

sistem kelistrikan kendaraan

D. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menegaskan bahwa alternator IC pada kendaraan ringan mampu menjaga kestabilan tegangan keluaran meskipun mengalami variasi kondisi operasional dan beban kelistrikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan meningkat saat mesin dihidupkan, menurun sedikit ketika seluruh beban aktif, dan turun signifikan saat mesin mati dengan beban menyala. Temuan ini membuktikan fungsi utama alternator sebagai penyuplai dan penyeimbang energi listrik kendaraan sekaligus mengonfirmasi teori bahwa sistem pengisian bekerja optimal pada kisaran 13-14 V. Secara teknis, alternator IC terbukti lebih efisien dibandingkan tipe konvensional karena integrasi regulator internal yang mampu merespons cepat perubahan beban serta melindungi komponen elektronik dari lonjakan tegangan. Analisis efisiensi menunjukkan bahwa sistem konversi energi mencapai sekitar 21%, dengan potensi peningkatan melalui optimasi material dan desain. Implikasi praktis dari penelitian ini adalah pentingnya edukasi bagi pengguna kendaraan agar tidak menyalakan beban listrik berlebihan saat mesin mati guna menjaga umur pakai baterai. Selain memberikan kontribusi praktis dalam bidang otomotif, penelitian ini juga memiliki nilai edukatif, yakni dapat dijadikan bahan ajar kontekstual dalam pembelajaran kelistrikan kendaraan di SMK. Dengan demikian, penelitian ini berhasil mencapai tujuannya untuk menganalisis kinerja alternator IC berbasis output tegangan, sekaligus membuka peluang bagi penelitian lanjutan terkait desain alternator modern yang lebih efisien, tangguh, dan adaptif terhadap berbagai kondisi beban.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran dapat diberikan sebagai tindak lanjut. Bagi pengguna kendaraan, disarankan untuk menghindari penggunaan beban listrik secara berlebihan ketika mesin dalam kondisi mati agar daya tahan baterai tetap terjaga. Bagi siswa SMK, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan ajar dalam praktik kelistrikan kendaraan, khususnya pada materi sistem pengisian. Selanjutnya, bagi peneliti berikutnya, disarankan untuk memperluas kajian dengan melakukan perbandingan kinerja alternator IC pada berbagai jenis kendaraan serta menambahkan pengukuran terhadap parameter lain seperti arus, efisiensi energi, dan voltage ripple. Penelitian lanjutan juga dapat mengeksplorasi optimasi desain alternator melalui penggunaan material ringan dan teknologi advanced voltage regulation. Sementara itu, bagi pihak industri otomotif, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengembangan sistem pengisian yang lebih efisien dan ramah energi untuk mendukung sustainability kendaraan masa depan. Dengan adanya program kerja, sekolah dapat merencanakan tindakan nyata seperti pelatihan 5R bagi guru dan siswa, pembentukan tim pelaksana 5R, penjadwalan evaluasi berkala, serta penggabungan nilai-nilai 5R dalam kurikulum. Dengan adanya program kerja yang terukur, implemetasi budaya kerja industri 5R tidak sekadar menjadi sebuah jargon, melainkan menjadi bagian dari kebiasaan dan nilai-nilai di lingkungan sekolah hal ini akan membangun suasana belajar yang lebih nyaman, rapi, dan bersih, serta menghasilkan lulusan yang siap terjun ke dunia kerja

dengan sikap yang profesional dan kompeten.

Dalam usaha membuat suasana sekolah yang bersih, teratur, dan efisien, diperlukan berbagai solusi yang menyeluruh dalam menerapkan budaya kerja industri 5R di sekolah, pelaksanaan ini harus tidak hanya dipahami secara konseptual, tetapi juga diterapkan secara nyata baik dari aspek teori dan praktek yang terencana dan terukur dalam pelaksanaannya, agar prinsip Ringkas, Rapi, dan Resik dapat diterapkan dengan konsisten dalam kegiatan sehari-hari, dengan penerapan yang berkelanjutan, lingkungan kerja akan terawat dengan baik dan mampu mendorong terciptanya rajin (yakni Sikap kerja keras, tekun, giat) dan keteraturan dalam aktivitas belajar dapat terwujud.

Melalui implementasi budaya 5R di Sekolah dapat menciptakan suasana kerja yang nyaman dan mendukung, yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan citra serta reputasi sekolah di kalangan masyarakat dan industri. Di samping itu, penerapan budaya kerja ini juga berfungsi sebagai alat yang efektif untuk meningkatkan keterampilan interpersonal siswa, seperti disiplin, tanggung jawab, kolaborasi, dan kepedulian terhadap lingkungan.

Budaya kerja industri 5R harus menjadi landasan yang kokoh dalam menghasilkan lulusan yang tidak hanya cemerlang dalam bidang akademis, tetapi juga siap bersaing di dunia profesional dengan karakter yang baik, oleh sebab itu konsistensi dan dedikasi semua pihak sekolah yang di mulai dari kepala sekolah, pengajar, staf, hingga murid. Dengan menciptakan, melaksanakan dan memelihara budaya kerja industri 5R di lingkungan sekolah berharap akan meningkatkan citra dan reputasi sekolah, lingkungan kerja menjadi nyaman, penguatan *Soft skill* dengan baik, dan menghasilkan lulusan yang berkualitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Mashhadany, Y., Khadom, A. A., & Salman, G. A. (2022). "Optimization approaches and techniques for automotive alternators: Review study." *Machines* 10(6): 478.
- Anisah, S., Tharo, Z., & Prayogi, F. (2024). "Sistem monitoring daya dan arus listrik pada pembangkit listrik tenaga bayu berbasis Thingspeak." *Jurnal JESCE* 7(1): 89–96.
- Anugrah, A. (2024). "Prosedur pengubahan alternator automotive menjadi generator AC sinkron magnet permanen 220 VAC." *Jurnal Telekomunikasi Elektro* 5(2): 77–84.
- Chavez, R. M. (2022). "Instructional automotive charging system with automatic voltage regulator and integrated circuits." *Jurnal Tera* 6(2): 56–63.
- Coleman, M., Hurley, W. G., & Lee, C. K. (2016). "An improved battery characterization method using a two-pulse load test." *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 65(11): 8904–8912.
- Delco Remy. (2019). *Improving Alternator Efficiency Measurably Reduces Fuel Costs*. Technical White Paper, Remy International.
- Demeianto, B., Arkan, M. A., Priharanto, Y. E., & Siahaan, J. P. (2021). "Analisa pembagian beban pada instalasi listrik tiga phasa kapal penangkap ikan studi kasus pada KM. Sumber Rezeki." *Jurnal Angkasa* 2(2): 45–55.
- Fajar, A., Harahap, P., Oktrialdi, B., & Amirrudin, A. (2025). "Dampak variasi torsi alternator terhadap kinerja inverter dan kualitas daya." *RMME: Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi* 8(2): 255–264.

- Firdaus, H., Atikah, C., & Ruhiat, Y. (2021). "Pengembangan video pembelajaran kelistrikan kendaraan ringan berbasis Animaker terintegrasi YouTube." *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin* 9(2): 215–225.
- Firdaus, H., Rustendi, E., & Herdiana, A. (2021). "Analisis konsumsi arus listrik pada mobil multi purpose vehicle." *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer* 8(1): 22–30.
- IEEE Standards Association. (2015). *IEEE Std 450-2015: IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications*. IEEE.
- Li, J., Han, X., & Lu, L. (2018). "A brief review on key technologies in the battery management system of electric vehicles." *Frontiers of Mechanical Engineering* 13(4): 482–498.
- Liao, C. J., & Juang, C. F. (2025). "Automatic voltage regulation of vehicle alternators using a fuzzy neural network regulator." *International Journal of Fuzzy Systems*.
- Pangkung, A., Yunus, A. M. S., Mulyadi, M. N., & Illa, P. A. (2021). "Rancang bangun alternator mobil menggunakan magnet permanen." *Jurnal Sinergi* 19(2): 101–110.
- Prakash, A., & Kumar, R. (2020). "Analysis of the efficiency of an automotive alternator by replacing mild steel into aluminum as a material for rotor." *Materials Today: Proceedings* 33: 4345–4349.
- Putra, Y. S., Purwanto, W., Setiawan, M. Y., & Arif, A. (2023). "Pengaruh bodi tambahan pada sisi alternator turbin angin terhadap tegangan dan arus listrik yang dihasilkan." *Jurnal MTED* 4(1): 15–25.
- Rezaei, M. R., & Dieng, A. B. (2025). "The Alpha-Alternator: Dynamic adaptation to varying noise levels in sequences using the Vendi score for improved robustness." *arXiv preprint*.
- Saputra, R., Hakim, B. W., & Arifin, A. R. (2025). "Analisis dan perancangan rangkaian power supply dengan modifikasi penyearah dioda IN4001 untuk mengatur output tegangan dan arus berdasarkan variasi beban." *Jurnal Elektronika dan Fisika* 2(1): 33–41.
- Sihombing, R., Lolongan, S., Lia, R., Kholili, M., & Delly, J. (2024). "The effect of engine running towards Toyota Innova type G 2.4 A/T 2017 car alternator charging system." *International Journal of Design and Engineering Studies* 1(1): 12–20.
- Subeki, K., Sugiarto, T., Maksum, H., Dani, H., & Wagino, S. (2024). "Pengembangan simulator sistem pengisian IC regulator sebagai media pembelajaran siswa SMK." *Jurnal MTED* 5(1): 132–140.
- Suhedi, E., & Ayuningtyas, B. (2025). "Pengembangan pembangkit listrik ramah lingkungan untuk rumah tinggal menggunakan alternator mobil tenaga brushless DC motor." *Jurnal Tera* 7(1): 45–52.
- Zlatanski, D., Vakrilov, N., & Kafadarova, N. (2023). "Experimental stand for investigation of DC alternator." *IEEE Conference Proceedings* 1(1): 1–6.