

## Analisis Tegangan Output Alternator pada Variasi Beban Listrik *Engine* Diesel 4V21 Euro 4

Ade Permana<sup>1</sup>,  
Yusep Sukrawan<sup>2</sup>,  
Ridwan Adam Muhamad Noor<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi No.229, Kota Bandung

<sup>1</sup>Korespondensi penulis: [adepermana0407@upi.edu](mailto:adepermana0407@upi.edu)

**Article Info:** Received: April 21, 2026; Accepted: May 04, 2026; Available online: May 22, 2026

**DOI:** 10.30588/jeemm.v10i1.2683

**Abstract:** The stability of alternator output voltage is important for maintaining modern diesel vehicle electrical systems, because additional loads such as headlights, cabin cooling, and audio systems can increase current demand and affect charging voltage. This study aims to analyze alternator output voltage under variations of electrical load on a vehicle with a 4V21 Euro 4 diesel engine. A field experiment was conducted on a vehicle with a 24-volt electrical system and the engine operating at idle speed. Data were collected using a scanner under three load conditions: no load at 0 W, medium load at 150 W, and full load with a reference power of 1,110 W. Each condition was tested five times, with a data collection duration of 20 minutes per test, conducted once per day for five days. The main parameter observed was alternator output voltage, while engine RPM and coolant temperature were recorded as supporting data. The results showed that the average alternator output voltage was 28.3 V under no-load conditions, 27.8 V under medium-load conditions, and 27.7 V under full-load conditions. The total voltage drop from no load to full load was 0.6 V. Engine RPM remained at an average of 651 rpm, and coolant temperature remained at 83.1°C. These results indicate that increasing electrical load reduces alternator output voltage; however, the decrease was relatively small, and the lowest voltage still met the operating range of the 24-volt charging system, indicating that the charging system operated properly under the tested load variations.

**Keywords:** alternator output voltage, electrical load variation, diesel engine, charging system, automotive electrical system

**Abstrak:** Kestabilan tegangan output alternator penting untuk menjaga kinerja sistem kelistrikan kendaraan diesel modern, karena penambahan beban listrik seperti lampu utama, pendingin kabin, dan audio dapat meningkatkan kebutuhan arus serta memengaruhi tegangan pengisian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tegangan output alternator pada variasi beban listrik kendaraan dengan *engine* diesel 4V21 Euro 4. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen lapangan yang dilakukan secara langsung pada kendaraan dengan sistem kelistrikan 24 volt dan kondisi *engine* pada putaran *idle*. Pengambilan data dilakukan menggunakan *scanner* pada tiga kondisi beban, yaitu tanpa beban sebesar 0 W, beban sedang sebesar 150 W, dan beban penuh dengan daya acuan sebesar 1.110 W. Setiap kondisi diuji sebanyak lima kali pengulangan, dengan durasi pengambilan data 20 menit setiap pengujian dan dilakukan satu kali per hari selama lima hari. Parameter utama yang diamati adalah tegangan output alternator, sedangkan RPM *engine* dan suhu *coolant* dicatat sebagai data pendukung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata tegangan output alternator pada kondisi tanpa beban sebesar 28,3 V, beban sedang sebesar 27,8 V, dan beban penuh sebesar 27,7 V. Penurunan total tegangan dari kondisi tanpa beban ke beban penuh sebesar 0,6 V. RPM *engine* berada pada rata-rata 651 rpm dan suhu *coolant* berada pada rata-rata 83,1°C selama seluruh pengujian. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan beban listrik menurunkan tegangan output alternator, tetapi penurunannya relatif kecil dan tegangan terendah masih memenuhi batas kerja sistem pengisian 24 volt. Sistem pengisian pada kendaraan *engine* diesel 4V21 Euro 4 masih bekerja dengan baik pada variasi beban listrik yang diuji.

**Kata Kunci:** tegangan output alternator, variasi beban listrik, *engine* diesel, sistem pengisian, sistem kelistrikan kendaraan

## I. Pendahuluan

Sistem kelistrikan kendaraan memegang peran penting pada kendaraan niaga modern. Sistem ini menyuplai energi untuk lampu utama, pendingin kabin, audio, panel instrumen, dan unit kontrol elektronik selama kendaraan beroperasi. Alternator menghasilkan energi listrik saat *engine* hidup dan menjaga baterai tetap terisi selama kendaraan digunakan. Kendaraan dengan *engine* diesel 4V21 Euro 4 telah menerapkan sistem *common rail* dan sistem kelistrikan 24 volt. Soeiro dan Filho (2023) menjelaskan bahwa sistem daya kendaraan terdiri atas sumber energi, media penyimpanan, dan beban kelistrikan yang bekerja secara terintegrasi. Tan et al. (2022) menunjukkan bahwa kestabilan tegangan menjadi bagian penting dalam menjaga distribusi daya pada sistem kelistrikan kendaraan, sedangkan Lakatos (2025) menegaskan bahwa kondisi tegangan dan hasil diagnostik kendaraan berhubungan langsung dengan kestabilan operasi kendaraan modern. Beberapa pendapat tersebut menunjukkan bahwa sistem kelistrikan kendaraan bekerja sebagai satu kesatuan antara sumber daya, distribusi tegangan, dan kondisi operasional kendaraan, sehingga kestabilan tegangan output alternator perlu diperhatikan untuk menjaga kerja sistem pengisian tetap normal.

Perubahan beban listrik memberi pengaruh langsung terhadap kerja sistem pengisian kendaraan. Lampu utama, pendingin kabin, dan audio menambah kebutuhan daya listrik pada saat kendaraan digunakan. Kebutuhan daya meningkat menuntut alternator untuk menjaga tegangan sistem tetap berada pada kisaran kerja yang aman. Mahmood et al. (2022) menjelaskan bahwa pengaturan arus eksitasi medan pada alternator berkaitan langsung dengan tegangan output yang dihasilkan. Liao dan Juang (2025) menunjukkan bahwa variasi beban dan perubahan kecepatan putar memengaruhi tegangan regulasi alternator kendaraan, sedangkan Conrardt et al. (2023) dan Murari et al. (2025) menunjukkan bahwa perilaku tegangan pada baterai perlu diamati secara cermat karena perubahan pada sistem pengisian dapat memengaruhi kualitas suplai daya kendaraan. Beberapa pendapat tersebut menunjukkan bahwa perubahan beban listrik berkaitan dengan kebutuhan daya, kestabilan tegangan, kerja regulasi alternator, dan kualitas pengisian, sehingga analisis tegangan output alternator layak dilakukan.

Perkembangan penelitian dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa stabilitas tegangan masih menjadi isu utama pada sistem kelistrikan kendaraan. Mahmood et al. (2022) meninjau berbagai pendekatan optimasi alternator untuk menjawab kenaikan kebutuhan daya listrik kendaraan modern. Liao dan Juang (2025) mengembangkan pengaturan tegangan otomatis berbasis *fuzzy neural network* untuk menekan fluktuasi tegangan pada kondisi operasi yang berubah. Tan et al. (2022) menunjukkan bahwa manajemen energi pada sistem kelistrikan kendaraan perlu menjaga kestabilan tegangan pada titik penting sistem agar distribusi daya tetap baik. Ginting et al. (2024) menyoroti pentingnya sistem monitoring tegangan pada kendaraan, sedangkan K kden et al. (2024) menunjukkan bahwa kemampuan kerja komponen alternator juga menjadi perhatian dalam pengembangan sistem kelistrikan kendaraan. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kajian terbaru bergerak pada optimasi alternator, regulasi tegangan, monitoring tegangan, dan kemampuan kerja komponen alternator, sehingga pengamatan langsung terhadap tegangan output alternator memerlukan metode pengambilan data yang mampu merekam kondisi kendaraan secara konsisten.

Perkembangan pengambilan data kendaraan juga menunjukkan kemajuan yang cukup pesat. Ramai et al. (2022) menjelaskan bahwa *OBD-II* dapat digunakan untuk memperoleh data kendaraan secara *real-time* melalui *port* diagnostik. Kortenbruck et al. (2023) membandingkan pembacaan tegangan baterai melalui *Electronic Control Unit (ECU)* dengan pengukuran langsung dan menemukan bahwa pembacaan melalui *on-board diagnostics* lebih mudah digunakan serta mendukung pengukuran paralel. Bedretchuk et al. (2023) menunjukkan bahwa data kendaraan dapat diperoleh dari *ECU* secara mendekati *real-time* dengan sistem pengumpulan data berbiaya lebih rendah untuk pengujian kendaraan. Yen et al. (2021) menunjukkan bahwa data berbasis *OBD-II* dapat dimanfaatkan untuk analisis kondisi kendaraan. Data kendaraan dari *OBD* juga dapat digunakan untuk klasifikasi dan analisis perilaku kendaraan (Kumar dan Jain, 2023). Michailidis et al. (2025) menjelaskan bahwa pemanfaatan data *OBD-II* terus berkembang dalam berbagai aplikasi analisis kendaraan. Beberapa temuan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *scanner* layak diterapkan sebagai sarana pengambilan data tegangan pada penelitian kendaraan, sehingga pengamatan terhadap tegangan output alternator dapat dilakukan secara praktis dan tetap relevan dengan perkembangan sistem diagnostik kendaraan modern.

Kajian eksperimental yang menganalisis perubahan tegangan output alternator pada kendaraan diesel nyata dengan variasi beban listrik sederhana masih relatif terbatas pada literatur terbuka. Sebagian besar penelitian terbaru lebih banyak menekankan penguatan strategi kontrol, sistem pemantauan, diagnosis kendaraan, dan analisis data berbasis *ECU* atau *OBD-II*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penelitian yang secara langsung mengamati perubahan tegangan output alternator pada kendaraan diesel dengan pembebanan yang merepresentasikan penggunaan harian masih memiliki ruang untuk dikembangkan. Penelitian ini bertujuan menganalisis tegangan output alternator pada variasi beban listrik *engine* diesel 4V21 Euro 4. Penelitian ini menggunakan tiga kondisi pembebanan, yaitu tanpa beban, beban sedang, dan beban penuh, dengan pengambilan data menggunakan *scanner* sebanyak lima kali pengulangan pada setiap kondisi agar data yang diperoleh lebih representatif.

## II. Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen lapangan untuk menganalisis tegangan output alternator pada variasi beban listrik *engine* diesel 4V21 Euro 4. Pengujian dilakukan secara langsung pada kendaraan dengan sistem kelistrikan 24 volt dan kondisi *engine* pada putaran *idle*. Pengambilan data dilakukan menggunakan *scanner* pada tiga kondisi beban, yaitu tanpa beban, beban sedang, dan beban penuh. Kondisi tanpa beban dilakukan saat seluruh beban listrik tambahan kendaraan dalam keadaan mati, sehingga tidak terdapat penambahan beban daya dari komponen kelistrikan tambahan atau setara dengan 0 W. Kondisi beban sedang dilakukan dengan menyalakan dua lampu utama pada posisi lampu jarak jauh. Berdasarkan spesifikasi lampu utama H4 24 V 75/70 W, lampu jarak jauh memiliki daya nominal 75 W pada setiap lampu, sehingga total daya beban sedang 150 W. Kondisi beban penuh dilakukan dengan menyalakan lampu utama jarak jauh, pendingin kabin, dan audio secara bersamaan. Ukuran beban pada kondisi beban penuh berdasarkan daya nominal lampu utama dan rating arus sekering pada rangkaian standar kendaraan. Lampu utama jarak jauh memiliki daya sebesar 150 W, audio menggunakan acuan sekering 10 A pada sistem 24 V atau setara dengan 240 W, sedangkan pendingin kabin mengacu pada sekering 30 A pada sistem 24 V atau setara dengan 720 W. Jadi total daya acuan pada kondisi beban penuh adalah 1.110 W. Nilai tersebut digunakan sebagai acuan beban berdasarkan daya nominal dan rating arus sekering kendaraan. Setiap kondisi diuji sebanyak lima kali pengulangan agar data yang diperoleh lebih representatif. Pengujian dilaksanakan pada tanggal 7-14 April 2026 di PT. Suryaputra Sarana yang berlokasi di Jl. Jend. Sudirman No. 776-778, Maleber, Kec. Andir, Kota Bandung, Jawa Barat 40184.

### 1. Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *scanner* untuk membaca data tegangan pada kendaraan. Parameter pendukung yang turut dicatat adalah putaran *engine* dan suhu *coolant*. Objek penelitian ini adalah kendaraan dengan *engine* diesel 4V21 Euro 4 dan sistem kelistrikan 24 volt. Pengujian dilakukan pada kondisi *engine* hidup pada putaran *idle*. Bahan atau kondisi perlakuan dalam penelitian ini berupa variasi beban listrik kendaraan yang terdiri atas tanpa beban, beban sedang, beban penuh.

### 2. Desain Eksperimen

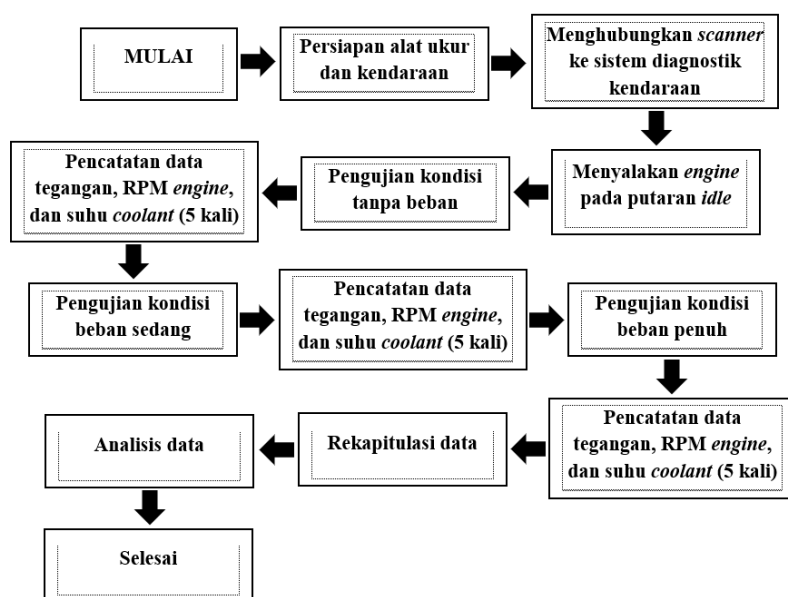
Penelitian ini menggunakan tiga variasi beban listrik sebagai perlakuan. Kondisi tanpa beban dilakukan saat seluruh beban tambahan kendaraan berada pada posisi mati (*off*). Kondisi beban sedang dilakukan saat lampu utama dihidupkan. Kondisi beban penuh dilakukan saat lampu utama, pendingin kabin, dan audio dihidupkan. Setiap kondisi beban diuji lima kali pengulangan untuk memperoleh data yang lebih konsisten.

Tabel 1. Perlakuan Variasi Beban

Variasi Beban	Definisi Operasional	Jumlah Pengulangan
Tanpa Beban	Semua beban tambahan dalam kondisi mati ( <i>off</i> )	5
Beban Sedang	Lampu utama dihidupkan	5
Beban Penuh	Lampu utama, pendingin kabin, dan audio dihidupkan	5

### 3. Prosedur Pengujian

Pengujian diawali dengan menyiapkan *scanner* dan kendaraan pada lokasi penelitian serta memastikan kondisi kendaraan layak diuji. *Scanner* dihubungkan ke sistem diagnostik kendaraan untuk membaca data tegangan, RPM *engine*, dan suhu *coolant*. Setelah itu, *engine* dihidupkan dan dipertahankan pada putaran *idle*. Pada kondisi tanpa beban, seluruh beban tambahan dimatikan, kemudian dicatat sebanyak lima kali pengulangan. Pada kondisi beban sedang, lampu utama dihidupkan dan data kembali dicatat sebanyak lima kali pengulangan. Pada kondisi beban penuh, lampu utama, pendingin kabin, dan audio dihidupkan, serta data tegangan, RPM *engine*, dan suhu *coolant* dicatat sebanyak lima kali pengulangan. Seluruh data dicatat pada lembar pengukuran dan direkap untuk dianalisis. Tahapan pengujian pada penelitian ini dilakukan secara berurutan mulai dari persiapan *scanner* dan kendaraan, pengambilan data pada kondisi tanpa beban, beban sedang, hingga beban penuh. Gambar 1 menunjukkan alur pelaksanaan penelitian yang digunakan.



Gambar 1. Flowchart Metode

### 4. Parameter Pengamatan

Parameter utama yang diamati dalam penelitian ini adalah tegangan output alternator yang terbaca pada *scanner*. Parameter pendukung yang dicatat adalah RPM *engine* dan suhu *coolant*. Data tegangan digunakan sebagai dasar analisis untuk melihat perubahan output alternator pada setiap kondisi beban listrik. Data RPM *engine* dan suhu *coolant* digunakan untuk mendukung konsistensi kondisi pengujian.

Tabel 2. Parameter Pengamatan

Parameter	Satuan	Keterangan
Tegangan Output Alternator	Volt (V)	Data Utama
RPM <i>Engine</i>	rpm	Data Pendukung
Suhu <i>Coolant</i>	°C	Data Pendukung

### 5. Analisis Data

Data hasil pengukuran dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Nilai tegangan pada setiap kondisi beban dihitung berdasarkan lima kali pengulangan, kemudian dicari nilai rata-ratanya. Langkah yang sama dilakukan pada data RPM *engine* dan suhu *coolant* sebagai data pendukung. Hasil rata-rata dari kondisi tanpa beban, beban sedang, dan beban penuh kemudian dibandingkan untuk melihat kecenderungan perubahan tegangan output alternator pada setiap tingkat pembebanan.

### III. Hasil dan Pembahasan

Sistem pengisian pada kendaraan dengan *engine* diesel 4V21 Euro 4 diuji pada tiga kondisi beban listrik, yaitu tanpa beban, beban sedang, dan beban penuh. Pengujian dilakukan untuk menganalisis perubahan tegangan output alternator pada kondisi operasional yang merepresentasikan penggunaan harian kendaraan. Data diperoleh melalui pembacaan *scanner* dengan lima kali pengulangan pada setiap kondisi. Hasil pengukuran kemudian direkap dan dirata-ratakan untuk melihat kecenderungan perubahan tegangan output alternator pada setiap tingkat pembebanan.

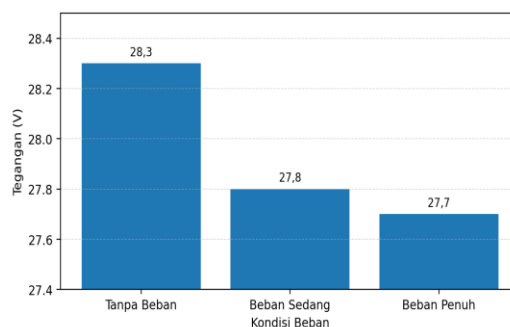
#### 1. Hasil Pengukuran Tegangan Output Alternator

Hasil pengukuran tegangan output alternator pada setiap kondisi beban ditunjukkan pada Tabel 3. Setiap pengambilan data pada masing-masing kondisi beban dilakukan selama 20 menit. Pengambilan data dilakukan selama lima hari, dengan satu kali pengambilan data setiap hari sehingga lima pengulangan mewakili lima hari pengujian. Data menunjukkan bahwa nilai tegangan tertinggi diperoleh pada kondisi tanpa beban, sedangkan nilai tegangan terendah diperoleh pada kondisi beban penuh.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Tegangan Output Alternator dan Data Pendukung

Kondisi Beban	Durasi dan Waktu Pengambilan Data	Pengujian					Rata-rata (V)	Rata-rata RPM	Rata-rata Suhu Coolant °C
		ke-1 (V)	ke-2 (V)	ke-3 (V)	ke-4 (V)	ke-5 (V)			
Tanpa Beban	20 menit (1 kali/hari; 5 hari)	28,4	28,3	28,4	28,3	28,3	28,3	651	83,1
Beban Sedang	20 menit (1 kali/hari; 5 hari)	27,9	27,7	27,9	27,9	27,8	27,8	651	83,1
Beban Penuh	20 menit (1 kali/hari; 5 hari)	27,8	27,5	27,8	27,8	27,7	27,7	651	83,1

Durasi 20 menit menunjukkan waktu satu kali pengambilan data pada setiap kondisi beban. Pengambilan data dilakukan satu kali per hari selama lima hari, sehingga lima data atau lima pengulangan pada setiap kondisi diperoleh dari lima hari pengujian. Nilai tegangan merupakan data utama penelitian, sedangkan RPM *engine* dan suhu *coolant* dicatat sebagai data pendukung untuk memastikan kondisi pengujian tetap stabil. Berdasarkan Tabel 3, rata-rata tegangan output alternator pada kondisi tanpa beban sebesar 28,3 V. Pada kondisi beban sedang, rata-rata tegangan menurun menjadi 27,8 V. Pada kondisi beban penuh, rata-rata tegangan kembali menurun menjadi 27,7 V. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan beban listrik diikuti oleh penurunan tegangan output alternator, walaupun penurunannya tidak terlalu besar. Data pendukung menunjukkan bahwa RPM *engine* pada seluruh kondisi pengujian tetap berada pada nilai rata-rata 651 rpm, sedangkan suhu *coolant* berada pada nilai rata-rata 83,1°C. Jika dilihat dari selisih rata-ratanya, penurunan tegangan dari kondisi tanpa beban ke beban sedang sebesar 0,5 V, sedangkan penurunan dari beban sedang ke beban penuh sebesar 0,1 V. Penurunan total dari kondisi tanpa beban ke beban penuh sebesar 0,6 V. Data pendukung yang relatif stabil menunjukkan bahwa perubahan tegangan output alternator pada penelitian ini lebih dipengaruhi oleh variasi beban listrik daripada oleh perubahan kondisi kerja *engine*. Untuk memperjelas perbedaan rata-rata tegangan pada setiap kondisi beban, hasil pengukuran pada Tabel 3 divisualisasikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Perubahan Rata-rata Tegangan Output Alternator Berdasarkan Variasi Beban

## 2. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan output alternator berada pada nilai tertinggi saat kendaraan berada pada kondisi tanpa beban. Kondisi ini menunjukkan bahwa kebutuhan daya listrik kendaraan masih rendah, sehingga alternator dapat mempertahankan tegangan output pada nilai yang lebih tinggi. Pada saat beban listrik mulai ditambahkan, tegangan output alternator mengalami penurunan. Penurunan ini terlihat pada kondisi beban sedang dan kembali terjadi pada kondisi beban penuh. Pola tersebut menunjukkan bahwa perubahan beban listrik berpengaruh terhadap output tegangan alternator. Secara teknis, penurunan tegangan pada saat alternator berbeban terjadi karena kondisi beban listrik yang semakin besar menuntut arus output alternator menjadi tinggi. Ketika arus output meningkat, terjadi penurunan tegangan internal pada beberapa bagian alternator, seperti kumparan stator, dioda penyearah, sambungan terminal, serta kabel pengisian. Selain itu, pada putaran *idle*, kemampuan alternator untuk menghasilkan daya masih terbatas karena putaran rotor relatif rendah. Kondisi tersebut menyebabkan tegangan output cenderung turun ketika beban listrik kendaraan bertambah. Regulator tegangan pada alternator akan berusaha menstabilkan tegangan dengan mengatur arus eksitasi pada rotor, tetapi proses kompensasi tersebut tetap dipengaruhi oleh besarnya beban, tahanan internal komponen, dan kondisi putaran alternator. Oleh karena itu, penurunan tegangan dari kondisi tanpa beban ke kondisi berbeban merupakan respons kerja normal alternator ketika kebutuhan arus listrik meningkat. Temuan ini sesuai dengan Mahmood et al. (2022) yang menjelaskan bahwa tegangan output alternator dipengaruhi oleh pengaturan arus eksitasi medan dan strategi pengendalian pada sistem alternator kendaraan. Liao dan Juang (2025) juga menunjukkan bahwa variasi beban dan perubahan kecepatan putar memengaruhi tegangan regulasi alternator kendaraan. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa penambahan beban listrik menyebabkan penurunan tegangan, tetapi alternator masih mampu menjaga tegangan output tetap stabil pada setiap kondisi pengujian. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem pengisian pada kendaraan dengan *engine* diesel 4V21 Euro 4 masih bekerja dengan baik dalam menyuplai kebutuhan daya kendaraan.

Hasil pengukuran pada kondisi tanpa beban berada pada rentang 28,3-28,4 V. Pada kondisi beban sedang, data berada rentang 27,7-27,9 V. Pada kondisi beban penuh, data berada pada rentang 27,5-27,8 V. Jika dibandingkan dengan acuan teknis sistem pengisian 24 volt, nilai tersebut masih berada pada rentang kerja normal. Remy (1998) menjelaskan bahwa alternator untuk sistem 24 volt memiliki tegangan regulasi nominal 27,5 V, sedangkan pembacaan tegangan yang stabil pada sistem 24 volt berada sekitar 27-28 V dan tidak boleh melebihi 31 V. Berdasarkan acuan tersebut, tegangan terendah hasil penelitian 27,5 V pada kondisi beban penuh masih memenuhi batas tegangan kerja sistem pengisian 24 volt. Penurunan tegangan dari kondisi tanpa beban ke beban penuh sebesar 0,6 V juga masih tergolong kecil, sehingga sistem pengisian pada kendaraan dengan *engine* diesel 4V21 Euro 4 masih dapat dinyatakan mempertahankan kestabilan tegangan pada variasi beban yang diuji. Rentang data yang relatif sempit ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran cukup konsisten pada setiap pengulangan, sehingga data yang diperoleh layak digunakan untuk melihat kecenderungan perubahan tegangan output alternator akibat variasi beban listrik. Metode pengambilan data menggunakan *scanner* juga masih relevan untuk penelitian kendaraan modern. Kortenbruck et al. (2023) menunjukkan bahwa pembacaan tegangan melalui *Electronic Control Unit (ECU)* dan *on-board diagnostics* dapat digunakan untuk pengamatan tegangan kendaraan secara praktis. Bedretchuk et al. (2023) juga menjelaskan bahwa data kendaraan dapat diperoleh dari ECU secara mendekati *real-time* dengan biaya yang lebih rendah. Penelitian tersebut mendukung penggunaan *scanner* pada penelitian ini, karena data tegangan dapat dibaca langsung dari sistem kendaraan tanpa mengganggu kondisi kerja normal kendaraan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi beban listrik memengaruhi tegangan output alternator pada kendaraan *engine* diesel 4V21 Euro 4. Tegangan output alternator tertinggi terjadi pada kondisi tanpa beban, lalu menurun pada kondisi beban sedang dan beban penuh. Penurunan tegangan yang terjadi masih relatif kecil, sehingga alternator masih dapat dikatakan mampu menjaga kestabilan sistem pengisian pada berbagai kondisi pembebanan. Hasil ini memperkuat bahwa sistem pengisian kendaraan masih bekerja normal selama terjadi perubahan beban listrik secara bertahap.

#### IV. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi beban listrik memengaruhi tegangan output alternator pada *engine* diesel 4V21 Euro 4. Variasi beban yang digunakan terdiri atas kondisi tanpa beban sebesar 0 W, beban sedang sebesar 150 W dengan menyalakan dua lampu utama jarak jauh, dan beban penuh dengan daya acuan sebesar 1.110 W yang berasal dari lampu jarak jauh, pendingin kabin dan audio. Setiap kondisi pengujian dilakukan sebanyak lima kali pengulangan, dengan durasi pengambilan data 20 menit pada setiap pengujian dan dilakukan satu kali per hari selama lima hari. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata tegangan output alternator pada kondisi tanpa beban sebesar 28,3 V, kemudian menurun menjadi 27,8 V pada kondisi beban sedang, dan kembali menurun menjadi 27,7 V pada kondisi beban penuh. Penurunan total tegangan dari kondisi tanpa beban ke kondisi beban penuh sebesar 0,6 V menunjukkan bahwa penambahan beban listrik diikuti oleh penurunan tegangan output alternator. Meskipun demikian, tegangan terendah yang diperoleh pada kondisi beban penuh berada pada 27,5 V, sehingga masih memenuhi batas kerja sistem pengisian 24 volt. Data pendukung menunjukkan bahwa RPM *engine* berada pada rata-rata 651 rpm dan suhu *coolant* berada pada rata-rata 83,1°C selama pengujian, sehingga perubahan tegangan yang terjadi lebih dipengaruhi oleh variasi beban listrik daripada perubahan kondisi kerja *engine*. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pengisian pada kendaraan dengan *engine* diesel 4V21 Euro 4 masih bekerja dengan baik dan mampu menjaga kestabilan tegangan pada variasi beban listrik yang diuji.

#### Daftar Pustaka

- Bedretchuk, J. P., Arribas García, S., Nogiri Igarashi, T., Canal, R., Wedderhoff Spengler, A., & Gracioli, G. (2023). Low-cost data acquisition system for automotive electronic control units. *Sensors*, 23(4), 2319. <https://doi.org/10.3390/s23042319>
- Conradt, R., Schröer, P., Dazer, M., Wirth, J., Jöris, F., Schulte, D., & Birke, K. P. (2023). Comprehensive study of failure mechanisms of field-aged automotive lead batteries. *Batteries*, 9(11), 553. <https://doi.org/10.3390/batteries9110553>
- Delco Remy International Inc. (1998). *21-SI Heavy Duty Brush Alternator Service Manual*. Anderson, IN: Delco Remy International Inc.
- Ginting, M., Arrayan, M., Ramadhan, A., Denis, D., & Setiawan, I. (2024). Perancangan dan analisis pengujian efektivitas sistem monitoring tegangan pada battery management system dengan baterai lithium iron phosphate pada purwarupa mobil listrik. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 13(2), 65–74. <https://doi.org/10.14710/transient.v13i2.65-74>
- Kökden, D., Egi, A., Bulut, E., Albak, E. İ., Korkmaz, İ., & Öztürk, F. (2024). Prevention of the fracture problem occurring in automotive alternator heatsink blocks using artificial intelligence. *Applied Sciences*, 14(24), 11758. <https://doi.org/10.3390/app142411758>
- Kortenbruck, G., Jakubczyk, L., & Nowak, D. F. (2023). Voltage signals measured directly at the battery and via on-board diagnostics: A comparison. *Vehicles*, 5(2), 637-655. <https://doi.org/10.3390/vehicles5020035>
- Kumar, R., & Jain, A. (2023). Driving behavior analysis and classification by vehicle OBD data using machine learning. *The Journal of Supercomputing*, 79, 18800–18819. <https://doi.org/10.1007/s11227-023-05364-3>
- Lakatos, I. (2025). Economic and ecological aspects of vehicle diagnostics. *Sustainability*, 17(4), 1662. <https://doi.org/10.3390/su17041662>
- Liao, C.-J., & Juang, C.-F. (2025). Automatic voltage regulation of vehicle alternators using a fuzzy neural network regulator. *International Journal of Fuzzy Systems*, 27(7), 2377–2391. <https://doi.org/10.1007/s40815-025-02019-8>
- Mahmood, O. T., Wan Hasan, W. Z., Ismail, L. I., Shafie, S., Azis, N., & Norsahperi, N. M. H. (2022). Optimization approaches and techniques for automotive alternators: Review study. *Machines*, 10(6), 478. <https://doi.org/10.3390/machines10060478>

- Michailidis, E. T., Panagiotopoulou, A., & Papadakis, A. (2025). A review of OBD-II-based machine learning applications for sustainable, efficient, secure, and safe vehicle driving. *Sensors*, *25*(13), 4057. <https://doi.org/10.3390/s25134057>
- Murari, T. B., Costa, R. C. da, Pereira, H. B. de B., Monteiro, R. L. S., & Moret, M. A. (2025). Early detection of failing lead-acid automotive batteries using the detrended cross-correlation analysis coefficient. *Applied System Innovation*, *8*(2), 29. <https://doi.org/10.3390/asi8020029>
- Ramai, C., Ramnarine, V., Ramharack, S., Bahadoorsingh, S., & Sharma, C. (2022). Framework for building low-cost OBD-II data-logging systems for battery electric vehicles. *Vehicles*, *4*(4), 1209–1222. <https://doi.org/10.3390/vehicles4040064>
- Soeiro, L. G. G., & Filho, B. J. C. (2023). Vehicle power system modeling and integration in hardware-in-the-loop (HIL) simulations. *Machines*, *11*(6), 605. <https://doi.org/10.3390/machines11060605>
- Tan, Ö., Jerouschek, D., Kennel, R., & Taskiran, A. (2022). Energy management strategy in 12-volt electrical system based on deep reinforcement learning. *Vehicles*, *4*(2), 621–638. <https://doi.org/10.3390/vehicles4020036>
- Yen, M.-H., Tian, S.-L., Lin, Y.-T., Yang, C.-W., & Chen, C.-C. (2021). Combining a universal OBD-II module with deep learning to develop an eco-driving analysis system. *Applied Sciences*, *11*(10), 4481. <https://doi.org/10.3390/app11104481>