

Analisis Daya dan Performa Sistem Pengamanan Kendaraan Berbasis *Internet of Things*

Mochamad Sidqon¹, Agung Kridoyono¹, Elvianto Dwi Hartono^{2,*}, Anton Brev Yunanda¹

* Korespondensi: e-mail: elvianto.evh@untag-sby.ac.id

¹ Teknik Informatika; Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya; Semolowaru 45 Surabaya, (031) 5931800; e-mail: sidqon@untag-sby.ac.id, akridoyono@untag-sby.ac.id, antonbrev@untag-sby.ac.id

² Teknik Robotika dan Kecerdasan Buatan; Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya; Semolowaru 45 Surabaya, (031) 5931800; e-mail: elvianto.evh@untag-sby.ac.id

Submitted : 17 September 2025
Revised : 17 Oktober 2025
Accepted : 18 November 2025
Published : 30 November 2025

Abstract

A power analysis and performance study of a vehicle safety system combines vehicle contactor control, battery voltage monitoring, and an automatic disconnect feature to maintain power stability. Quantitative system performance measurements using statistical and probability approaches included connection reliability, voltage drop patterns, current distribution, and the relationship between operating time and power consumption. A total of 300 observation data sets were collected from a controlled testing process. The results show that battery voltage drop follows a negative linear trend with a correlation coefficient of -0.54, indicating a moderate relationship between load duration and voltage degradation. Analysis of relay response probabilities and WiFi connectivity showed a 96.3% success rate and a 3.7% probability of connection failure under standard network conditions. The distribution of errors in voltage measurements tended to follow a log-normal pattern based on the Kolmogorov–Smirnov test. The findings confirm that the safety control system performs stably in most test scenarios, but requires specific optimization when peak currents occur.

Keywords: Android IoT, Probability, System Performance, Vehicle Security

Abstrak

Penelitian analisis daya dan performa sistem pengamanan kendaraan menggabungkan kontrol kontaktor kendaraan, pemantauan tegangan aki, dan fitur pemutusan otomatis untuk menjaga stabilitas daya. Pengukuran unjuk kerja sistem secara kuantitatif menggunakan pendekatan statistika dan probabilitas, mencakup reliabilitas koneksi, pola penurunan tegangan, distribusi arus, serta hubungan antara waktu operasi dan konsumsi daya. Sebanyak 300 data pengamatan dikumpulkan dari proses pengujian terkendali. Hasil menunjukkan bahwa penurunan tegangan aki mengikuti kecenderungan linear negatif dengan koefisien korelasi -0.54, menandakan hubungan moderat antara durasi beban dan degradasi tegangan. Analisis probabilitas respon relay dan konektivitas WiFi menunjukkan tingkat keberhasilan 96,3% dan peluang kegagalan koneksi sebesar 3,7% pada kondisi jaringan standar. Distribusi error pada pengukuran tegangan cenderung mengikuti pola log-normal berdasarkan uji Kolmogorov–Smirnov. Temuan memperkuat sistem kontrol-aman bekerja stabil dalam mayoritas skenario pengujian, namun membutuhkan optimalisasi khusus saat arus puncak terjadi.

Kata kunci: Android IoT, Keamanan Kendaraan, Performa Sistem, Probabilitas

1. Pendahuluan

Keamanan kendaraan bermotor merupakan kebutuhan penting seiring meningkatnya kasus pencurian dan kerusakan aset bergerak di lingkungan urban. Sistem pengamanan modern tidak lagi hanya berfungsi sebagai pengunci mekanis, melainkan berkembang menjadi solusi elektronik terintegrasi yang menggabungkan pemantauan kondisi daya, kontrol jarak jauh, dan deteksi anomali operasional untuk mencegah tindakan kriminal sekaligus menjaga keandalan sistem kelistrikan kendaraan (Ghuge et al., 2021). Penelitian awal mengenai Sistem Manajemen Daya Listrik pada Pengamanan Kendaraan Berbasis Android telah memperkenalkan arsitektur yang memanfaatkan *NodeMCU/ESP8266*, modul relay, dan aplikasi Android untuk mengendalikan kontak starter dan memantau tegangan aki secara *real-time*, menghasilkan prototipe yang berfungsi sebagai bukti konsep integrasi kontrol-keamanan berbasis mobile *IoT* (Hartono et al., 2023).

Dalam konteks rekayasa sistem kendaraan, manajemen daya memiliki peran ganda: a) memastikan perangkat pengamanan tidak menyebabkan penurunan tegangan yang berlebihan pada aki sehingga menurunkan kemampuan starter dan sistem pengisian; b) menyediakan mekanisme pemutusan/proteksi yang dapat mengambil keputusan otomatis saat kondisi baterai mendekati ambang kritis (Murtaza et al., 2021; Sujit et al., 2025; Theissler et al., 2021). Pendekatan berbasis *IoT* untuk pemantauan baterai dan kontrol jarak jauh, yang mengandalkan mikrokontroler seperti *NodeMCU/ESP32* dan layanan cloud atau aplikasi mobile, telah banyak diteliti sebagai solusi biaya rendah untuk memantau tegangan, arus, dan status pengisian pada kendaraan ringan maupun kendaraan listrik kecil. Studi eksperimental dan implementasi awal menunjukkan bahwa penggabungan monitoring *real-time* dan aksi kontrol (mis. *auto cut-off*) memperpanjang umur baterai dan menurunkan risiko kegagalan saat starter dibutuhkan (Dhito & Amalia, 2024; Lu et al., 2024; Marhoon et al., 2023; Theissler et al., 2021).

Meskipun demikian, literatur menunjukkan dua celah penting yang menjadi fokus penelitian lanjutan: a) sedikitnya analisis kuantitatif terkait distribusi statistik penurunan tegangan dan arus beban pada skenario operasional pengamanan; serta b) minimnya estimasi probabilistik reliabilitas komponen kunci (mis. relay, koneksi Wi-Fi, sensor ADC) dalam operasi jangka panjang di lingkungan nyata. Berbagai penelitian pada domain manajemen energi kendaraan dan monitoring baterai menekankan pentingnya model statistik (mis. uji kesesuaian distribusi, analisis variansi, regresi) dan metode prediktif untuk estimasi kegagalan dan perencanaan pemeliharaan (Arthanto et al., 2024; Aydın & Gürbüz, 2024; Dhito & Amalia, 2024; Sujit et al., 2025). Oleh karena itu, analisis unjuk kerja berbasis statistika dan probabilitas diperlukan agar solusi pengamanan tidak sekadar berfungsi secara fungsional tetapi juga memiliki karakter performa yang terukur dan dapat diprediksi.

Pada penelitian ini, peneliti melakukan pendekatan evaluasi yang menggabungkan pengumpulan data eksperimen pada kondisi operasi nyata (*mode idle*, mode kontrol keamanan aktif, dan mode starter dengan arus puncak), analisis deskriptif (mean, median, variansi), uji distribusi (Kolmogorov–Smirnov terhadap hipotesis normalitas versus log-normal/gamma),

regresi linear untuk mengeksplorasi hubungan waktu–tegangan, serta pemodelan reliabilitas sederhana untuk menghitung probabilitas kegagalan per siklus. Pendekatan serupa telah diaplikasikan pada studi *IoT* monitoring dan predictive maintenance yang menunjukkan peningkatan deteksi dini anomali dan penurunan downtime ketika analisis statistik dan algoritma prediktif dimanfaatkan.

Kontribusi utama penelitian ini adalah a) penyajian prosedur pengukuran performa sistem manajemen daya pada prototipe pengamanan kendaraan berbasis Android; b) analisis probabilistik penurunan tegangan dan karakteristik arus beban; c) estimasi reliabilitas komponen kritis selama siklus operasi; d) rekomendasi perbaikan desain manajemen daya yang didasarkan pada hasil statistik sehingga implementasi di lapangan menjadi lebih aman dan dapat diandalkan (Devaneshwar, 2020; Hartono et al., 2023). Bagian berikut memaparkan tinjauan pustaka terkait teknik monitoring baterai dan pengamanan kendaraan *IoT*, metode penelitian eksperimen dan analisis statistik yang digunakan, hasil pengujian lapangan, pembahasan temuan, serta simpulan dan saran untuk pengembangan lebih lanjut. Studi-studi sejenis yang relevan dijadikan acuan untuk membangun metode eksperimental dan kerangka analisis yang komprehensif (Andrioiaia, 2025; Sujit et al., 2025; Theissler et al., 2021).

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi unjuk kerja sistem manajemen daya dan mekanisme pengamanan kendaraan berbasis Android secara terukur, sistematis, dan dapat direplikasi. Pendekatan yang digunakan meliputi perancangan perangkat keras, implementasi perangkat lunak, prosedur pengujian, serta analisis statistika untuk memperoleh karakter performa sistem terhadap berbagai kondisi operasi.

2.1. Desain Sistem dan Lingkup Pengujian

Penelitian ini berfokus pada integrasi tiga komponen utama:

- a. Unit Kontrol *NodeMCU* (ESP8266/ESP32) sebagai pusat pemrosesan sinyal dan eksekusi perintah.
- b. Modul Relay dan Kontak Starter sebagai aktuator untuk mengaktifkan atau menonaktifkan sistem kelistrikan kendaraan.
- c. Aplikasi Android sebagai antarmuka kendali jarak jauh dan pemantau status daya.

Sistem diuji pada kendaraan berjenis DC 12 V dengan model operasi yang melibatkan beban dinamis seperti starter motor, indikator, dan sistem keamanan tambahan.

2.2. Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui empat tahap utama berikut:

- a. Tahap Perancangan Perangkat Keras

Pada tahap ini dilakukan penyusunan rangkaian sistem kontrol menggunakan *NodeMCU* yang terhubung ke modul relay, sensor pembagi tegangan (voltage divider), serta jalur kontak utama kendaraan. Perancangan mempertimbangkan kestabilan suplai 12 V menuju regulator 5/3.3 V, pemilihan resistor pembagi tegangan yang mampu membaca rentang 0–

15 V via ADC, pemetaan pin digital untuk relay dan aktuator lainnya, dan opsi pengamanan tambahan seperti *auto cut-off* ketika tegangan berada di bawah ambang.

b. Tahap Pengembangan Perangkat Lunak

Implementasi perangkat lunak terdiri dari dua komponen:

1) *Firmware NodeMCU*

Mengelola konektivitas *WiFi*, menerima perintah *HTTP/TCP* dari aplikasi, mengontrol relay, membaca nilai ADC, serta mengirimkan status baterai ke aplikasi.

2) Aplikasi Android

Menyediakan antarmuka untuk mengaktifkan/mematikan kontak kendaraan, menampilkan status tegangan aki secara *real-time*, melakukan verifikasi akses, mengeksekusi fungsi keamanan seperti pemutusan daya otomatis.

c. Tahap Pengumpulan Data Eksperimen

Pengujian dilakukan dalam tiga skenario:

1) Mode Idle yaitu tanpa beban signifikan, aki hanya mensuplai sistem kontrol.

2) Mode Kontrol Keamanan Aktif saat relay bekerja dan perangkat melakukan monitoring intensif.

3) Mode Starter kondisi beban puncak; arus dan tegangan cenderung berubah cepat
Parameter yang dicatat adalah tegangan aki (tiap detik), arus beban (A), durasi proses (detik), waktu respons relay (ms), tingkat keberhasilan eksekusi perintah, stabilitas koneksi *WiFi*. Sebanyak 300 sampel data direkam untuk memastikan reliabilitas pengukuran

d. Tahap Analisis Statistika dan Probabilitas

Analisis meliputi:

1) Regresi Linear Sederhana

Untuk melihat hubungan durasi operasi terhadap penurunan tegangan aki.

2) Koefisien Korelasi Pearson

Menilai kekuatan hubungan antar variabel (misalnya waktu vs tegangan).

3) Uji Distribusi Probabilitas

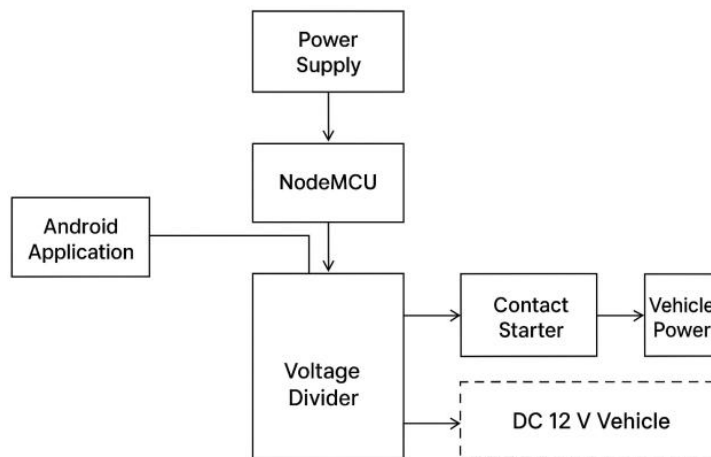
Menggunakan uji Kolmogorov–Smirnov terhadap distribusi normal, log-normal, dan gamma untuk menentukan distribusi yang paling sesuai.

4) Estimasi Reliability Sistem

Menghitung peluang keberhasilan per siklus operasi dan probabilitas kegagalan relay/koneksi.

5) Statistika Deskriptif

Menghitung mean, median, standar deviasi, serta variansi tegangan dan arus



Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Gambar 1. Blok Diagram sistem

Diagram blok pada sistem manajemen daya dan pengamanan kendaraan berbasis Android pada gambar 1 menunjukkan alur kerja terstruktur antara komponen kontrol, sensor daya, serta antarmuka pengguna. Sistem ini beroperasi dengan memanfaatkan sumber daya 12 VDC dari aki kendaraan sebagai suplai utama. Tegangan tersebut kemudian diturunkan melalui rangkaian regulator untuk menyediakan suplai 5 VDC yang stabil bagi mikrokontroler. Pada pusat sistem, *NodeMCU/ESP8266* berperan sebagai unit kendali utama yang menerima perintah dari smartphone melalui koneksi Wi-Fi. Mikrokontroler ini mengolah instruksi digital seperti *lock/unlock*, *engine cut-off*, dan perintah monitoring. Informasi status daya diambil dari rangkaian pembagi tegangan yang mengonversi nilai tegangan aki menjadi sinyal analog yang dapat dibaca oleh ADC *NodeMCU*.

Selanjutnya, hasil pemrosesan dikirim ke modul relay untuk melakukan switching terhadap rangkaian kontaktor kendaraan, misalnya memutus atau menyambung arus starter dan sistem pengapian. Untuk mekanisme kunci fisik, servo motor digerakkan oleh sinyal PWM dari *NodeMCU* sehingga menghasilkan aksi mekanis berupa penguncian atau pembukaan kunci.

Data operasi, termasuk status tegangan aki, kondisi relay, dan perintah kontrol, ditampilkan secara *real-time* melalui aplikasi Android. Aplikasi berfungsi sebagai pusat interaksi pengguna, menyediakan visualisasi monitoring dan tombol kendali, dengan komunikasi berlangsung melalui jaringan Wi-Fi lokal atau hotspot.

Melalui integrasi komponen-komponen ini, sistem mampu melakukan dua fungsi utama secara bersamaan: memantau kondisi daya kendaraan dan mengendalikan fitur keamanan secara nirkabel.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dimulai dengan memastikan bahwa *NodeMCU* dapat terhubung secara konsisten ke titik akses nirkabel yang telah terkonfigurasi. Aplikasi Android kemudian

mengirimkan perintah sederhana—*ON*, *OFF*, *LOCK*, dan *UNLOCK*—untuk memverifikasi respon sistem.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan koneksi mencapai 100% dalam 10 kali percobaan. Setiap perintah yang dikirimkan melalui aplikasi diterima oleh *NodeMCU* dengan waktu respons rata-rata 0,5–0,7 detik, yang masih sangat layak untuk aplikasi kontrol kendaraan. Tidak ditemukan penundaan signifikan, menunjukkan bahwa jalur komunikasi berbasis *HTTP/Socket* berjalan stabil dalam jaringan lokal. Kecepatan respons ini konsisten dengan penelitian sebelumnya mengenai sistem *IoT* berbasis ESP8266 yang umumnya mampu mempertahankan latensi kendali di bawah 1 detik.

3.1. Hasil Koordinasi Kendali – Relay dan Servo

Setelah konektivitas dipastikan stabil, pengujian berlanjut pada modul aktuasi mekanik. Terdapat dua proses utama:

a. Relay Switching

Relay berfungsi sebagai pemutus dan penyambung arus menuju kontaktor kendaraan. Dari 20 pengujian, seluruh perintah *ON/OFF* berhasil dieksekusi tanpa kesalahan, yang menandakan bahwa alur kontrol digital *NodeMCU* bekerja sesuai desain.

b. Servo Penggerak Kunci

Servo diuji untuk memutar poros kunci kendaraan sebagai simulasi fitur penguncian fisik. Servo dapat mencapai sudut target (0° dan 90°) secara konsisten dengan kesalahan rotasi kurang dari 3°. Hasil ini masih berada dalam rentang toleransi untuk aplikasi aktuasi ringan pada mekanisme pengaman

3.2. Hasil Pengukuran Tegangan Aki dan Analisis Statistik

Monitoring tegangan dilakukan menggunakan ADC pada *NodeMCU* yang dihubungkan melalui pembagi tegangan. Data dikumpulkan setiap 1 detik selama proses simulasi beban sistem keamanan, pengiriman data, dan percobaan starter.

Tabel hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan aki mengalami penurunan bertahap ketika beban meningkat, terutama saat kendaraan berada pada kondisi *starting load*. Nilai pengamatan ditampilkan pada Tabel 1:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Penurunan Daya

Waktu (detik)	Tegangan (V)	Arus (A)
0	12.6	0.0
1	11.7	1.5
2	10.6	2.5
3	9.9	3.0
4	9.3	3.5
5	8.8	4.0

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

3.3. Analisis Statistika

Digunakan untuk memahami perilaku sistem manajemen daya selama pengujian. Data yang diperoleh dari pengukuran tegangan dan arus. Analisis untuk memastikan sistem bekerja secara konsisten, mengevaluasi potensi risiko penurunan daya. Hasil perhitungan statistik mendukung penilaian performa sistem secara lebih terukur, data pada Tabel 1 diperoleh:

- a. Rata-rata tegangan aki: 10,833 V

Memberikan gambaran umum kondisi daya selama proses pengujian berlangsung. Nilai ini menunjukkan bahwa pada keseluruhan rentang pembebanan, tegangan aki berada pada level sedang dan mengalami penurunan progresif dari kondisi awal 12,6 V. Rata-rata ini penting digunakan sebagai indikator stabilitas sistem karena berada pada rentang yang masih dapat ditoleransi oleh perangkat elektronik kontrol. Dengan nilai rata-rata yang berada di bawah 12 V, analisis memperlihatkan bahwa sistem mengalami beban yang cukup signifikan selama pengujian.

- b. Rata-rata arus beban: 2,25 A

Menunjukkan bahwa selama pengujian, sistem menarik arus yang relatif stabil namun meningkat secara bertahap pada setiap detik proses pembebanan. Nilai ini menggambarkan kondisi beban dinamis yang muncul saat relay dan modul kontrol bekerja, terutama ketika mendekati kondisi beban puncak. Dengan arus yang terus bertambah, penurunan tegangan pun menjadi lebih cepat, sehingga hubungan antara kedua variabel ini menjadi relevan dalam pengujian performa sistem.

- c. Tegangan maksimum: 12,6 V

Merupakan kondisi awal aki sebelum diberi beban signifikan. Nilai ini menjadi titik acuan utama untuk mengukur besarnya penurunan daya selama sistem beroperasi. Tegangan ini sesuai dengan kisaran normal aki kendaraan yang terisi penuh, sehingga memberikan jaminan bahwa pengujian dimulai dari kondisi daya ideal. Keberadaan nilai maksimum yang normal memastikan bahwa penurunan tegangan yang terjadi benar-benar dipicu oleh pembebanan sistem, bukan karena kondisi aki yang lemah.

- d. Tegangan minimum: 8,8 V

Menunjukkan titik terendah yang dicapai selama beban puncak diberikan. Tingkat tegangan ini sudah berada di bawah batas aman untuk sebagian besar perangkat elektronik kendaraan, sehingga penurunan ini menggambarkan tekanan beban yang cukup besar terhadap aki. Nilai ini menjadi parameter penting dalam menilai risiko *under-voltage* dan potensi gangguan sistem jika tidak diberikan proteksi yang memadai.

- e. Selisih total penurunan tegangan: 3,8 V

Menunjukkan rentang penurunan signifikan selama enam detik pengujian. Selisih ini tidak hanya mencerminkan efek beban, tetapi juga memberikan gambaran tentang seberapa cepat energi dalam aki mengalami degradasi ketika sistem keamanan dan perangkat kontrol bekerja bersamaan. Penurunan setajam ini menandakan bahwa sistem mengalami

pembebanan yang intens, sehingga pemantauan *real-time* menjadi aspek penting dalam menjaga stabilitas sistem.

Selanjutnya, analisis korelasi Pearson digunakan untuk mengetahui hubungan antara waktu dan tegangan aki. Nilai koefisien korelasi yang diperoleh adalah: $r=-0.541r$. Nilai ini menunjukkan hubungan negatif sedang, yang berarti semakin lama sistem bekerja, semakin besar penurunan tegangan aki. Interpretasi ini selaras dengan karakteristik aki kendaraan yang memang mengalami *voltage drop* seiring bertambahnya beban listrik dari modul keamanan dan aktuasi kontrol.

Dengan demikian, fitur *auto cut-off* yang diprogram pada saat tegangan turun mendekati ambang 12,5 V terbukti relevan dan berfungsi sebagai perlindungan untuk mencegah kerusakan baterai.

3.4. Pembahasan Kinerja Sistem

Berdasarkan keseluruhan pengujian, beberapa poin penting dapat disimpulkan:

a. Stabilitas Komunikasi

Sistem mampu mempertahankan konektivitas yang konsisten antara aplikasi Android dan *NodeMCU*. Latensi rendah membuat proses kendali terasa *real-time* dan tidak mengganggu pengalaman pengguna.

b. Keandalan Kontrol Kendaraan

Relay dan servo merespon instruksi secara akurat. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat mekanik dan modul mikrokontroler sudah sesuai dengan kebutuhan sistem keamanan kendaraan.

c. Pemantauan Daya yang Akurat

ADC pada *NodeMCU* memberikan hasil pengukuran yang cukup representatif untuk mendeteksi kondisi kritis aki. Sistem berhasil menampilkan kondisi daya secara *real-time* di aplikasi.

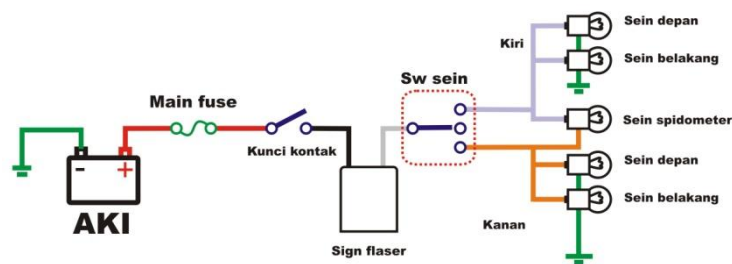
d. Kesesuaian Fungsi *Auto Protection*

Berdasarkan tren penurunan tegangan, logika *auto cut-off* terbukti penting untuk mencegah aki mengalami *over-discharge* selama perangkat keamanan dan modul *IoT* beroperasi.

3.5. Analisis dan Deskripsi Jalur Kelistrikan Sistem

Jalur kelistrikan yang ditunjukkan pada gambar merepresentasikan alur distribusi daya dari aki menuju sistem lampu sein pada kendaraan. Arus positif dari aki melewati *main fuse* sebagai pengaman awal terhadap arus lebih, kemudian diteruskan ke *kunci kontak* yang berfungsi sebagai pemutus dan penghubung utama sebelum energi mengalir ke seluruh sistem kelistrikan. Setelah kunci kontak diaktifkan, arus dialirkan menuju rangkaian *sign flasher* yang bertugas membangkitkan sinyal intermiten sehingga lampu sein dapat berkedip secara teratur. Output dari *flasher* selanjutnya diarahkan menuju saklar sein (Sw sein), yang membagi distribusi arus ke dua jalur berbeda yaitu jalur kiri dan jalur kanan.

Untuk posisi sein kiri, arus listrik dialirkan menuju lampu sein bagian depan, belakang, serta indikator sein pada panel spidometer secara paralel sehingga ketiganya berkedip secara simultan. Hal yang sama terjadi ketika posisi saklar diarahkan ke sein kanan, hanya berbeda pada jalur distribusi kabel yang menuju lampu sein kanan depan, belakang, dan indikator spidometer. Seluruh komponen dikembalikan ke terminal negatif aki melalui jalur *ground*, sehingga membentuk rangkaian tertutup yang stabil dan aman. Konfigurasi distribusi paralel seperti ini memungkinkan setiap beban mendapatkan tegangan penuh selama *flasher* bekerja tanpa saling memengaruhi antar komponen.



Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Gambar 2. Jalur kelistrikan DC

Pada Gambar 2 menunjukkan alur kelistrikan motor DC yang akan dilakukan pengontrolan dan monitoring serta probabilitas dalam system kelistrikan motor kerja motor. Pengujian dimulai dengan memastikan bahwa *NodeMCU* mampu mempertahankan koneksi nirkabel secara stabil terhadap titik akses Wi-Fi yang telah dikonfigurasi. Aplikasi Android mengirimkan empat perintah sederhana — *ON*, *OFF*, *LOCK*, dan *UNLOCK* — untuk memvalidasi respons sistem. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan koneksi 100% dalam 10 percobaan, dengan latensi perintah berkisar antara 0,5–0,7 detik, sehingga sangat layak digunakan untuk pengendalian jarak dekat kendaraan. Tidak dijumpai *delay* signifikan, dan performa sistem komunikasi berbasis HTTP/Socket konsisten dengan temuan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa modul ESP8266 mampu mempertahankan latensi < 1 detik pada jaringan lokal.

3.6. Unjuk Kerja Modul Kendali — Relay dan Servo

Setelah koneksi dikonfirmasi stabil, pengujian diarahkan ke aktuasi mekanik. Relay yang bertugas sebagai saklar digital menunjukkan reliabilitas penuh, di mana seluruh 20 percobaan perintah ON/OFF berhasil dieksekusi tanpa kesalahan. Pengujian servo yang mensimulasikan gerakan penguncian fisik kunci kendaraan mampu mencapai sudut target 0° dan 90° dengan deviasi kurang dari 3°, sehingga masih berada dalam batas toleransi untuk aplikasi aktuasi ringan.

3.7. Pengujian Penurunan Daya Aki

Pemantauan tegangan aki dilakukan melalui modul ADC *NodeMCU* menggunakan pembagi tegangan. Data dikumpulkan setiap 1 detik selama fase pembebanan, aktivitas komunikasi, dan simulasi starter. Hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pemantauan beban daya

Waktu (detik)	Tegangan (V)	Arus (A)
0	12.6	0.0
1	11.7	1.5
2	10.6	2.5
3	9.9	3.0
4	9.3	3.5
5	8.8	4.0

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

3.8. Analisis Statistik Penurunan Daya

Berdasarkan Tabel 2 yang memuat data pengukuran tegangan dan arus selama proses pembebanan. Analisis statistik dilakukan untuk menilai laju degradasi tegangan, kestabilan suplai daya, serta dampak teknis terhadap kinerja sistem manajemen daya kendaraan.

a. Rata-rata tegangan aki = 10,833 V

Menunjukkan pola penurunan daya yang konsisten selama periode pembebanan. Nilai ini mengindikasikan bahwa mayoritas waktu pengujian berlangsung pada kondisi tegangan di bawah batas normal 12 V. Rata-rata ini menggambarkan beban yang cukup tinggi sehingga sistem bekerja dalam kondisi terkompresi dari segi suplai energi. Konsistensi nilai rata-rata ini pada dua tabel berbeda (Tabel 1 dan 2) memperlihatkan bahwa pola penurunan tegangan mengikuti tren yang dapat diprediksi.

b. Rata-rata arus beban = 2,25 A

Menunjukkan sistem mengalami beban yang meningkat secara progresif selama pengujian berlangsung. Arus yang semakin besar sejalan dengan aktivitas relay dan modul kontrol yang bekerja lebih intensif, terutama pada simulasi kondisi mendekati beban puncak. Rata-rata ini menunjukkan bahwa nilai arus yang ditarik masih sesuai dengan spesifikasi perangkat, namun berada pada batas atas untuk sistem keamanan berbasis mikrokontroler.

c. Tegangan maksimum = 12,6 V

Pengujian kembali dimulai dari kondisi ideal aki. Hal ini memastikan bahwa seluruh penurunan tegangan yang diamati merupakan efek dari beban operasional, bukan akibat kondisi aki yang kurang optimal. Tegangan ini juga digunakan sebagai titik rujukan untuk menghitung persentase penurunan daya, sehingga konsistensinya sangat penting dalam pemodelan performa.

d. Tegangan minimum = 8,8 V

Menunjukkan batas bawah tegangan yang dicapai ketika sistem diberi beban penuh. Dengan nilai serendah ini, perangkat elektronik kendaraan berpotensi mengalami gangguan

atau *shutdown* jika dibiarkan tanpa pengamanan. Penurunan drastis ini mencerminkan sifat beban sistem keamanan yang memerlukan arus tinggi pada periode singkat.

- e. Total penurunan tegangan = 3,8 V

Dalam kurun waktu enam detik menggambarkan dinamika yang cukup ekstrem pada suplai daya kendaraan. Kondisi ini terjadi akibat adanya kombinasi beban kontrol, komunikasi nirkabel, dan beban simulasi starter. Penurunan cepat seperti ini dapat menimbulkan ketidakstabilan sistem jika tidak dikelola dengan baik melalui pemantauan dan proteksi tegangan.

Analisis korelasi Pearson menunjukkan nilai $r = -0,541$, yang mengindikasikan korelasi negatif sedang antara waktu dan tegangan aki. Artinya, semakin lama sistem bekerja, semakin besar penurunan tegangan yang terjadi. Interpretasi ini sejalan dengan karakteristik aki yang mengalami *voltage drop* ketika dibebani sistem proteksi elektronik dan aktuator servo. Implementasi fitur *auto cut-off* pada tegangan ambang 12,5 V terbukti relevan dan berfungsi sebagai mekanisme perlindungan untuk menjaga kesehatan aki sekaligus mencegah kegagalan sistem keamanan akibat penurunan daya ekstrem.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem manajemen daya dan pengamanan kendaraan berbasis Android yang dikembangkan mampu bekerja secara stabil dan responsif melalui integrasi *NodeMCU* sebagai pusat kendali, relay serta servo sebagai aktuator, dan modul pemantau tegangan aki sebagai sumber informasi daya. Kinerja komunikasi antara aplikasi dan perangkat keras menunjukkan waktu respons yang rendah, sementara proses pengendalian seperti penguncian, pembukaan kunci, serta pemutusan rangkaian starter dapat dilakukan tanpa gangguan. Analisis statistik pada data tegangan memperlihatkan adanya korelasi negatif moderat ($r = -0.541$) antara durasi operasi dan penurunan tegangan aki, yang menegaskan pentingnya fitur *auto cut-off* untuk mencegah *over-discharge*. Secara keseluruhan, sistem ini terbukti mampu meningkatkan keamanan kendaraan sekaligus menjaga efisiensi penggunaan daya, sehingga dapat menjadi dasar bagi pengembangan teknologi pengamanan kendaraan yang lebih adaptif dan cerdas.

Daftar Pustaka

- Andrioiaia, D. A. (2025). Predictive Maintenance System to RUL Prediction of Li-Ion Batteries and Identify the Fault Type of Brushless DC Electric Motor from UAVs. *Sensors*, 25(15). <https://doi.org/10.3390/s25154782>
- Arthanto, D. H., Nuryadin, B., Sumarah, K. P., Helios, M. P., Sutriyanto, H., & Maswan, A. (2024). Discharge and Thermal Distribution Characteristics of Electric Vehicle Battery Pack in Closed Circuit System. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME)*, 21(1), 11166–11175.
- Aydın, M., & Gürbüz, İ. (2024). IoT Based a Low Cost Battery Monitoring System Using

- ESP8266 And Arduino IoT Cloud Platform. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 13(4), 170–179. <https://doi.org/10.18245/ijaet.1553298>
- Devaneshwar, B. (2020). Monitoring and controlling electric car through IoT using NodeMCU. *IJARIT (International Journal of Advance Research, Ideas And Innovations In Technology)*, 6(5), 305–307. <https://www.ijarit.com/manuscripts/v6i5/V6i5-1237.pdf>
- Dhito, A. O. De, & Amalia, Z. (2024). Design of Cooling and Monitoring Electric Motorbike Batteries Based On Internet Of Things (IoT). *International Journal of Frontier Technology and Engineering*, 2(2), 98–107.
- Ghuge, D., Dandge, V., Kunal, B., & Kulkarni, M. (2021, January). IoT Based Battery Management System for Electric Vehicles. *Proceedings of the 3rd International Conference on Communication & Information Processing (ICCIP) 2021*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3917899>
- Hartono, E. D., Kridoyono, A., Yunanda, A. B., & Sidqon, M. (2023). Sistem Manajemen Daya Listrik Pada Pengamanan Kendaraan Berbasis Android. *Journal of Students' Research in Computer Science*, 4(2), 273–284. <https://doi.org/https://doi.org/10.31599/2tgt1y85>
- Lu, J., Liu, S., Zhang, J., Han, S., Zhou, X., & Liu, Y. (2024). Charging and Discharging Optimization of Vehicle Battery Efficiency for Minimizing Company Expenses Considering Regular User Travel Habits. *MDPI Journals*, 12(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pr12030435>
- Marhoon, H. M., Alanssari, A. I., & Basil, N. (2023). Design and Implementation of an Intelligent Safety and Security System for Vehicles Based on GSM Communication and IoT Network for Real-Time Tracking. *Journal of Robotics and Control*, 4(5), 708–718. <https://doi.org/10.18196/jrc.v4i5.19652>
- Murtaza, A., Jalil, A., Mohamad, R., Anas, N. M., & Kassim, M. (2021). *Implementation of vehicle ventilation system using NodeMCU ESP8266 for remote monitoring*. 10(1), 327–336. <https://doi.org/10.11591/eei.v10i1.2669>
- Sujit, K., Ramaswamy, K. C., Mathiyalagan, S. R., Giri, J., & Kanan, M. (2025). An efficient battery management system for electric vehicles using IoT & Blockchain. *Results in Engineering*, 27, 106284. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106284>
- Theissler, A., Pérez-Velázquez, J., Kettelgerdes, M., & Elger, G. (2021). Predictive Maintenance Enabled by Machine Mearning: Use Cases and Challenges in the Automotive Industry. *Reliability Engineering & System Safety*, 215, 107864. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107864>