

## Analisis Pengaruh Drop Tegangan Baterai terhadap Waktu *Starting* pada *Engine* 4N15 Mitsubishi Triton

Ade Angraini Nasution<sup>1</sup>,  
Yusef 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: adenasution@upi.edu

**Article Info:** Received: April 27, 2025; Accepted: May 14, 2026; Available online: May 27, 2026

**DOI:** 10.30588/jeemm.v10i1.2691

**Abstract:** Starting performance in diesel engines is influenced by the battery's ability to maintain voltage when the starter motor draws a high initial current. Excessive voltage drop can reduce cranking capability and affect the initial combustion process. This study aimed to analyze the effect of battery voltage drop on starting time in a Mitsubishi Triton equipped with a 4N15 diesel engine. The research used a field experimental method conducted directly on a vehicle with a 12-volt electrical system. Data were collected using a battery tester, scanner, and stopwatch through five tests consisting of three tests under normal operating conditions at 71–75 °C, one test under cold-engine conditions at 29 °C, and one test under hot-engine conditions at 89 °C. The main parameters observed were battery voltage drop and starting time. The results showed that normal operating conditions produced an average voltage drop of 3.25 V with an average starting time of 2.06 s. Cold-engine conditions at 29 °C produced the highest voltage drop of 4.23 V, while hot-engine conditions at 89 °C produced the lowest voltage drop of 3.08 V. The findings indicate that starting performance is influenced by voltage drop, battery condition, internal resistance, and CCA value. This study concludes that starting system analysis should consider voltage drop, minimum voltage during starting, and battery condition to obtain a more accurate analysis of starting performance.

**Keywords:** Battery voltage Drop, Starting Time, Diesel Engine, Starting System, Mitsubishi Triton

**Abstrak:** Kinerja *starting* pada *engine* diesel dipengaruhi oleh kemampuan baterai dalam mempertahankan tegangan ketika motor starter menarik arus awal yang besar. Penurunan tegangan yang berlebihan dapat menurunkan kemampuan *cranking* dan memengaruhi proses pembakaran awal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh drop tegangan baterai terhadap waktu *starting* pada Mitsubishi Triton dengan *engine* 4N15. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen lapangan yang dilakukan secara langsung pada kendaraan dengan sistem kelistrikan 12 volt. Pengambilan data dilakukan menggunakan *battery tester*, *scanner*, dan *stopwatch* melalui lima kali pengujian yang terdiri atas tiga pengujian pada kondisi operasional normal pada suhu 71–75 °C, satu pengujian pada kondisi *engine* dingin pada suhu 29 °C, dan satu pengujian pada kondisi *engine* panas pada suhu 89 °C. Parameter utama yang diamati adalah drop tegangan baterai dan waktu *starting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi operasional normal menghasilkan rata-rata drop tegangan sebesar 3,25 V dengan waktu *starting* rata-rata 2,06 detik. Kondisi *engine* dingin pada suhu 29 °C menghasilkan drop tegangan terbesar sebesar 4,23 V, sedangkan kondisi *engine* panas pada suhu 89 °C menghasilkan drop tegangan terkecil sebesar 3,08 V. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja *starting* dipengaruhi oleh drop tegangan, kondisi baterai, hambatan internal, dan nilai CCA. Penelitian ini menyimpulkan bahwa analisis sistem *starting* perlu mempertimbangkan nilai drop tegangan, tegangan minimum saat *starting*, dan kondisi baterai agar analisis kinerja *starting* dapat dilakukan secara lebih tepat.

**Kata Kunci:** Drop Tegangan Baterai, Waktu *Starting*, *Engine* Diesel, Sistem *Starting*, Mitsubishi Triton

### I. Pendahuluan

*Engine* diesel merupakan salah satu jenis *engine* pembakaran dalam yang berperan penting dalam mendukung sektor transportasi niaga, industri alat berat, dan pembangkit tenaga listrik. Penggunaan *engine* diesel secara luas didukung oleh efisiensi termal yang tinggi, konsumsi bahan bakar yang relatif

hemat, serta kemampuan beroperasi secara andal dalam jangka waktu yang panjang (Qi & Li, 2023). Karakteristik tersebut menjadikan *engine* diesel sebagai pilihan utama bagi kendaraan operasional yang membutuhkan torsi besar dan daya tahan tinggi, terutama pada kondisi operasional yang berat. Proses awal pengoperasian masih menjadi tantangan teknis utama pada *engine* diesel. Proses *starting* dipengaruhi oleh kondisi sistem starter, kondisi *engine*, tingkat pengisian baterai, kualitas pelumasan, lamanya *engine* tidak dioperasikan, serta suhu lingkungan sekitar (Caban dkk., 2024). Keberhasilan pada tahap awal ini sangat menentukan kesiapan kendaraan untuk beroperasi dengan lancar dan menjaga produktivitasnya di lapangan.

Sistem starter elektrik telah menjadi standar utama dalam proses *starting* pada *engine* pembakaran dalam di berbagai jenis kendaraan bermotor (Caban et al., 2024). Temuan tersebut menunjukkan bahwa sistem starter tidak lagi berfungsi sebagai komponen pendukung semata, melainkan sebagai elemen awal yang menentukan apakah *engine* dapat memasuki siklus kerja secara normal. Sistem ini berfungsi mengubah energi listrik dari baterai menjadi energi mekanik untuk memutar roda gila (*flywheel*) hingga tercapai kompresi di ruang bakar (Pakaya dkk., 2023). Proses perubahan energi tersebut menjelaskan bahwa keberhasilan *starting* sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem dalam menghasilkan putaran awal yang cukup untuk mendukung pembakaran pertama. Keandalan mekanisme starter sangat bergantung pada kestabilan kapasitas baterai agar kinerja motor starter tetap terjaga (Mukhtar dkk., 2025). Hubungan tersebut menegaskan bahwa baterai bukan hanya berperan sebagai sumber daya listrik, tetapi juga sebagai penentu kontinuitas suplai energi saat beban awal meningkat. Performa sistem starter juga dapat menurun akibat lamanya *engine* tidak dioperasikan serta pengaruh suhu lingkungan yang menyebabkan daya baterai melemah (Caban et al., 2024). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa gangguan pada proses *starting* tidak selalu bersumber dari kerusakan mekanis, tetapi juga dapat dipicu oleh perubahan kondisi operasional yang memengaruhi kesiapan kelistrikan. Kondisi baterai dan motor starter yang baik menjadi faktor utama yang menentukan keberhasilan proses *starting* pada *engine* diesel.

Penurunan tegangan atau *voltage drop* umumnya terjadi ketika motor starter membutuhkan arus listrik yang besar untuk mulai memutar *engine* (Permana dkk., 2023). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses *starting* menempatkan sistem kelistrikan pada beban kerja yang tinggi sejak tahap awal pengoperasian. Tegangan baterai yang turun secara signifikan dapat menyebabkan putaran *engine* menjadi lebih lambat sehingga kecepatan minimum untuk menghasilkan pembakaran awal sulit tercapai (Basir dkk., 2025). Keadaan ini menunjukkan bahwa keberhasilan *starting* tidak hanya ditentukan oleh adanya suplai arus listrik, tetapi juga oleh kemampuan baterai mempertahankan tegangan selama motor starter bekerja. Beban *starting* juga dapat meningkat pada kendaraan yang dioperasikan di daerah dataran tinggi karena karakteristik udara di lingkungan tersebut memengaruhi proses pembakaran awal pada *engine* diesel (Qi & Li, 2023). Suplai tegangan dan arus yang tidak stabil dapat menyebabkan proses *starting* gagal dan pada saat yang sama berpotensi mengganggu kinerja komponen elektronik lainnya. Pemantauan tegangan baterai selama proses *starting* menjadi langkah penting untuk mendeteksi gangguan sejak awal serta menentukan tindakan perawatan yang tepat pada sistem kelistrikan *engine* diesel.

Penelitian mengenai sistem *starting* dan *voltage drop* hingga saat ini masih lebih banyak difokuskan pada unit berukuran besar, seperti mesin induk kapal (Pakaya et al., 2023) serta *engine* pembangkit tenaga listrik (Mukhtar et al., 2025). Fokus penelitian tersebut menunjukkan bahwa perhatian peneliti sebelumnya lebih banyak tertuju pada sistem starter pada unit berkapasitas tinggi yang beroperasi secara kontinu. Keadaan ini dapat dipahami karena gangguan *starting* pada unit berkapasitas tinggi dapat langsung memengaruhi kelangsungan kerja sistem dan menimbulkan kerugian teknis yang cukup besar. Penelitian-penelitian tersebut pada umumnya menekankan stabilitas pasokan daya listrik serta pengaruhnya terhadap kinerja sistem starter pada unit yang beroperasi dengan pola beban relatif tetap. Kondisi tersebut berbeda dengan kendaraan operasional darat, khususnya kendaraan niaga ringan, yang memiliki intensitas proses *starting* lebih tinggi dan menghadapi kondisi operasional yang lebih bervariasi. Perbedaan pola penggunaan ini menunjukkan bahwa pola penurunan tegangan pada kendaraan darat tidak dapat disamakan secara langsung dengan unit stasioner atau unit perkapalan. Keterbatasan penelitian pada kendaraan operasional darat, khususnya pada *engine* diesel kendaraan niaga ringan, menuntut penelitian yang lebih spesifik untuk menjelaskan pengaruh drop tegangan terhadap proses *starting* sesuai dengan kondisi kerja kendaraan yang sebenarnya.

Urgensi penelitian ini berkaitan dengan tingginya tuntutan operasional kendaraan Mitsubishi Triton yang sering digunakan pada kondisi kerja yang berat dan lingkungan yang tidak selalu ideal. Penggunaan unit tersebut menunjukkan bahwa sistem *starting* pada kendaraan ini harus mampu bekerja secara optimal pada berbagai kondisi lapangan, bukan hanya pada kondisi operasi normal. Suhu rendah serta pengoperasian di daerah dataran tinggi dapat meningkatkan hambatan mekanis pada *engine*, sehingga sistem *starting* bekerja lebih berat dan proses pembakaran awal ikut terpengaruh (Kan et al., 2017). Temuan tersebut menegaskan bahwa keberhasilan *starting* tidak hanya ditentukan oleh kondisi komponen kelistrikan, tetapi juga oleh pengaruh lingkungan kerja yang dapat menyebabkan proses penyalaan awal *engine* diesel menjadi lebih sulit. Proses pengabutan bahan bakar dapat menjadi kurang optimal apabila beban awal tersebut tidak teratasi dengan baik, sehingga *engine* sulit menyala atau mengalami *cold start* yang kasar (Fang dkk., 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa gangguan *starting* dapat menurunkan performa awal *engine* dan berkembang menjadi masalah pembakaran yang memengaruhi kestabilan kerja *engine*. Kondisi yang terjadi secara berulang tidak hanya mengganggu kelancaran operasional kendaraan, tetapi juga meningkatkan biaya perawatan karena kerusakan komponen tidak terdeteksi sejak awal (Kurniadi, 2024). Keadaan tersebut memperkuat pentingnya analisis drop tegangan pada sistem starter sebagai langkah pencegahan untuk mengurangi gangguan operasional dan menekan risiko kerugian teknis di lapangan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh drop tegangan baterai terhadap waktu *starting* pada *engine* 4N15 Mitsubishi Triton. Fokus penelitian diarahkan pada hubungan antara penurunan tegangan baterai saat motor starter bekerja dan lamanya proses *starting* hingga *engine* mencapai pembakaran awal yang stabil. Hubungan tersebut penting karena keberhasilan siklus pembakaran pertama atau *first-firing cycle* berpengaruh langsung terhadap kelancaran putaran *engine* pada tahap awal dan stabilitas proses penyalaan (Liu et al., 2026). Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar teknis untuk menilai kondisi sistem kelistrikan starter secara lebih terukur, terutama dalam mengidentifikasi batas penurunan tegangan baterai yang masih memungkinkan proses *starting* berlangsung dengan baik. Hasil tersebut juga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penyusunan prosedur perawatan sistem kelistrikan agar kinerja kendaraan tetap terjaga dalam penggunaan jangka panjang (Laia, 2025). Penelitian ini tidak hanya menjelaskan hubungan antara tegangan baterai dan waktu *starting*, tetapi juga memberikan dasar praktis bagi perawatan kendaraan operasional secara lebih tepat.

## II. Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen lapangan untuk menganalisis pengaruh drop tegangan baterai terhadap waktu *starting* pada *engine* 4N15 Mitsubishi Triton. Pengujian dilakukan secara langsung pada satu unit kendaraan dengan sistem kelistrikan 12 Volt pada kondisi aktual di bengkel. Pengambilan data dilakukan menggunakan *battery tester* untuk mengukur tegangan baterai awal, tegangan minimum saat *starting*, kondisi baterai, hambatan internal, nilai *cold cranking ampere* (CCA), dan tegangan pengisian alternator. Data pendukung diambil menggunakan *scanner* untuk membaca *battery voltage* dan putaran *engine* pada kondisi *idle*. Waktu *starting* diukur menggunakan *stopwatch* sejak awal proses *cranking* hingga *engine* hidup stabil. Penelitian ini terdiri atas lima kali pengujian. Tiga kali pengujian dilakukan pada kondisi operasional normal untuk memperoleh nilai rata-rata yang lebih representatif. Satu kali pengujian dilakukan pada kondisi *engine* dingin dan satu kali pengujian dilakukan pada kondisi *engine* panas sebagai data pembandingan. Pengujian dilaksanakan pada tanggal 31 Maret sampai 18 April 2026 di Dealer Mitsubishi Soekarno Hatta Bandung yang dikelola oleh PT. Srikandi Diamond Motors, beralamat di Jl. Soekarno Hatta No. 342, Kebon Lega, Kecamatan Bojongloa Kidul, Kota Bandung, Jawa Barat 40235.

### 1. Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *battery tester* untuk mengukur tegangan baterai awal, tegangan minimum saat *starting*, kondisi baterai, hambatan internal, nilai *cold cranking ampere* (CCA), dan tegangan pengisian alternator. Alat pendukung yang digunakan adalah *scanner* untuk membaca *battery voltage* dan putaran *engine* pada kondisi *idle*, serta *stopwatch* untuk mengukur waktu *starting*. Objek penelitian ini adalah satu unit Mitsubishi Triton dengan *engine* 4N15 dan sistem kelistrikan 12 Volt. Pengujian dilakukan pada kendaraan dalam keadaan diam, kemudian *engine*

dihidupkan melalui proses *starting*. Kondisi pengujian dalam penelitian ini meliputi kondisi operasional normal pada rentang suhu kerja 71 °C–75 °C, kondisi *engine* dingin pada suhu lingkungan 29 °C, dan kondisi *engine* panas pada temperatur kerja optimal 89 °C.

## 2. Desain Eksperimen

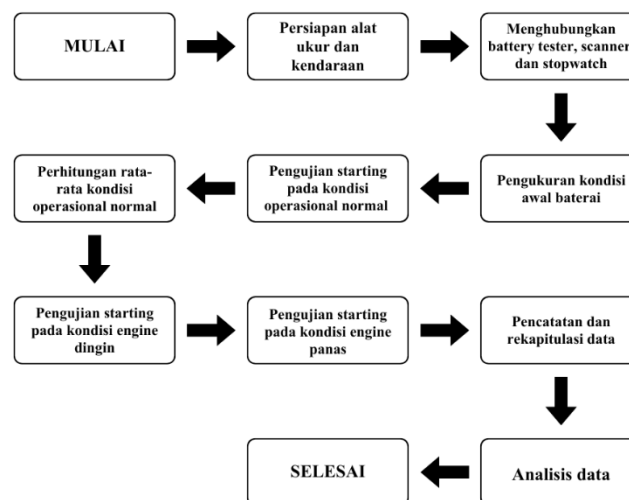
Penelitian ini menggunakan tiga kondisi pengujian, yaitu kondisi operasional normal, kondisi *engine* dingin, dan kondisi *engine* panas. Kondisi operasional normal diuji sebanyak tiga kali untuk memperoleh nilai rata-rata yang lebih representatif. Kondisi *engine* dingin dan *engine* panas diuji satu kali sebagai data pembanding. Pada setiap pengujian dicatat tegangan baterai awal, tegangan minimum saat *starting*, waktu *starting*, tegangan alternator, *battery voltage* hasil pembacaan *scanner*, putaran *engine*, hambatan internal, nilai CCA, dan kondisi baterai. Data hasil pengujian kondisi operasional normal kemudian dirata-ratakan, sedangkan data pada kondisi *engine* dingin dan *engine* panas digunakan sebagai hasil pengamatan tunggal.

Tabel 1. Perlakuan Kondisi Pengujian

Kondisi Pengujian	Definisi Operasional	Jumlah Pengujian	Bentuk Data Akhir
Operasional normal	Kendaraan diuji pada rentang suhu kerja awal 71 °C–75 °C	3	Rata-rata
<i>Engine</i> dingin	Kendaraan diuji saat temperatur awal <i>engine</i> lebih rendah 29 °C	1	Pengamatan tunggal
<i>Engine</i> panas	Kendaraan diuji saat <i>engine</i> berada pada temperatur kerja lebih tinggi 89 °C	1	Pengamatan tunggal

## 3. Prosedur Pengujian

Pengujian diawali dengan menyiapkan kendaraan, *battery tester*, *scanner*, dan *stopwatch* pada lokasi penelitian serta memastikan kendaraan berada dalam kondisi layak uji. *Battery tester* dihubungkan ke terminal baterai untuk mengukur tegangan baterai awal, kondisi baterai, hambatan internal, dan nilai CCA. Proses *starting* kemudian dilakukan untuk memperoleh nilai tegangan minimum ( $V_{min}$ ) saat motor starter bekerja. Waktu *starting* diukur menggunakan *stopwatch* sejak awal proses *cranking* hingga *engine* hidup stabil. Pengujian dilanjutkan dengan pengukuran tegangan pengisian alternator setelah *engine* hidup. *Scanner* digunakan untuk membaca *battery voltage* dan putaran *engine* pada kondisi *idle*. Tiga pengujian pertama dilakukan pada kondisi operasional normal sedangkan satu pengujian berikutnya dilakukan pada kondisi *engine* dingin dan kondisi *engine* panas. Seluruh data dicatat pada lembar pengamatan, kemudian direkap untuk dianalisis. Gambar 1 menunjukkan alur pelaksanaan penelitian yang digunakan.



Gambar 1. Flowchart Metode

#### 4. Parameter Pengamatan

Parameter utama yang diamati dalam penelitian ini adalah drop tegangan baterai dan waktu *starting*. Nilai drop tegangan diperoleh dari selisih antara tegangan baterai awal sebelum proses *starting* dan tegangan minimum saat motor starter bekerja. Waktu *starting* diukur sejak awal proses *cranking* hingga *engine* hidup stabil. Parameter pendukung yang dicatat meliputi tegangan pengisian alternator, *battery voltage* hasil pembacaan *scanner*, putaran *engine*, hambatan internal, nilai CCA, dan kondisi baterai. Data utama digunakan untuk menganalisis pengaruh penurunan tegangan baterai terhadap waktu *starting*. Data pendukung digunakan untuk memperkuat interpretasi hasil pengujian.

Tabel 2. Parameter Pengamatan

Parameter	Satuan	Keterangan
Tegangan baterai awal	Volt (V)	Data utama
Tegangan minimum saat <i>starting</i>	Volt (V)	Data utama
Drop tegangan baterai	Volt (V)	Data utama
Waktu <i>starting</i>	Detik (s)	Data utama
Tegangan alternator	Volt (V)	Data pendukung
<i>Battery voltage</i>	Volt (V)	Data pendukung
Putaran <i>engine</i>	r/min	Data pendukung
Hambatan internal	mΩ	Data pendukung
CCA	CCA	Data pendukung
Kondisi baterai	-	Data pendukung

#### 5. Analisis Data

Data hasil pengukuran dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Nilai tegangan baterai awal, tegangan minimum saat *starting*, waktu *starting*, tegangan alternator, *battery voltage*, putaran *engine*, hambatan internal, nilai *cold cranking ampere* (CCA), dan kondisi baterai direkap berdasarkan lima kali pengujian. Nilai drop tegangan dihitung dari selisih antara tegangan baterai awal dan tegangan minimum saat motor starter bekerja. Perhitungan tersebut menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta V = V_{awal} - V_{min} \quad (1)$$

Keterangan :

- $\Delta V$  = Drop tegangan baterai (V)
- $V_{awal}$  = Tegangan baterai sebelum proses *starting* (V)
- $V_{min}$  = Tegangan minimum saat motor starter bekerja (V)

Hasil rata-rata pada kondisi operasional normal kemudian dibandingkan dengan hasil pengamatan pada kondisi *engine* dingin dan kondisi *engine* panas untuk melihat kecenderungan pengaruh drop tegangan baterai terhadap waktu *starting* pada *engine* 4N15 Mitsubishi Triton.

### III. Hasil dan Pembahasan

Pengujian sistem *starting* pada *engine* 4N15 Mitsubishi Triton menghasilkan data utama dan data pendukung yang berbeda pada setiap kondisi pengujian. Kondisi operasional normal menghasilkan tiga data pengujian, kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh satu nilai yang lebih representatif. Kondisi *engine* dingin dan kondisi *engine* panas masing-masing menghasilkan satu data pengujian yang digunakan sebagai pembanding. Susunan hasil seperti ini memberikan gambaran yang lebih seimbang untuk membaca kecenderungan perubahan drop tegangan baterai terhadap waktu *starting*.

### 1. Hasil Pengukuran Drop Tegangan Baterai dan Waktu *Starting*

Hasil pengukuran utama ditunjukkan pada Tabel 3. Tabel ini memuat nilai tegangan baterai awal, tegangan minimum saat *starting*, nilai drop tegangan, dan waktu *starting* pada setiap kondisi pengujian. Nilai pada kondisi operasional normal merupakan hasil rata-rata dari tiga kali pengujian, sedangkan nilai pada kondisi *engine* dingin dan *engine* panas merupakan hasil pengamatan tunggal.

Tabel 3. Data Utama Hasil Pengujian Drop Tegangan Baterai dan Waktu *Starting*

Kondisi Pengujian	Jumlah Uji	Tegangan Awal (V)	Vmin (V)	Drop Tegangan (V)	Waktu <i>Starting</i> (s)
Operasional normal 71 °C–75 °C	3	12,78	9,53	3,25	2,06
<i>Engine</i> dingin 29 °C	1	12,76	8,53	4,23	1,53
<i>Engine</i> panas 89 °C	1	13,09	10,01	3,08	1,61

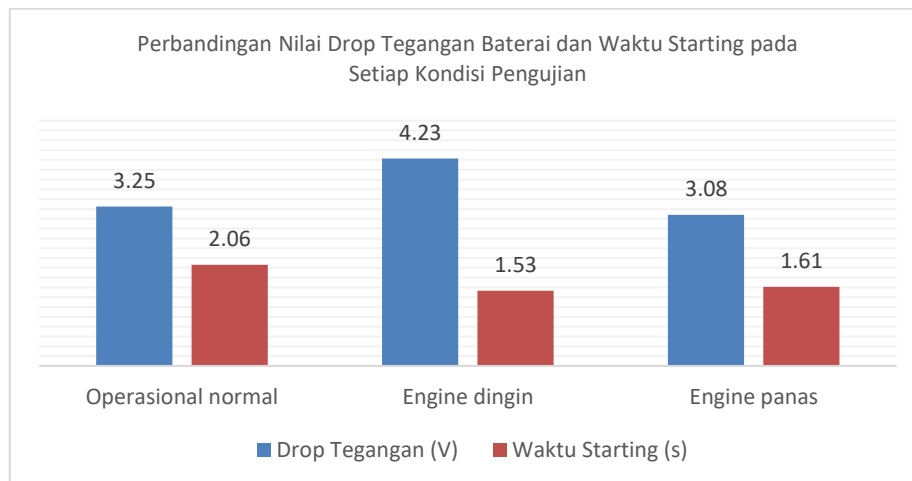
Berdasarkan Tabel 3, kondisi *engine* dingin menunjukkan nilai drop tegangan terbesar, yaitu 4,23 V. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan kondisi operasional normal yang memiliki rata-rata drop tegangan sebesar 3,25 V dan kondisi *engine* panas yang memiliki drop tegangan sebesar 3,08 V. Tegangan minimum saat *starting* pada kondisi *engine* dingin juga menjadi yang terendah, yaitu 8,53 V. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kemampuan baterai dalam mempertahankan tegangan menurun ketika beban awal *starting* meningkat pada kondisi temperatur awal yang lebih rendah. Waktu *starting* pada kondisi operasional normal memiliki nilai rata-rata 2,06 detik. Waktu *starting* pada kondisi *engine* dingin tercatat 1,53 detik, sedangkan kondisi *engine* panas tercatat 1,61 detik. Perbedaan ini menunjukkan bahwa perubahan drop tegangan tidak selalu diikuti oleh perubahan waktu *starting* secara linier. Pola tersebut mengindikasikan bahwa waktu *starting* pada pengujian lapangan dipengaruhi oleh lebih dari satu faktor.

Data pendukung hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4. Tabel ini memuat tegangan alternator, *battery voltage*, putaran *engine*, hambatan internal, nilai CCA, dan kondisi baterai pada setiap kondisi pengujian.

Tabel 4. Data pendukung hasil pengujian

Kondisi Pengujian	Jumlah Uji	Tegangan Alternator (V)	<i>Battery voltage</i> (V)	Putaran <i>Engine</i> (r/min)	Hambatan Internal (mΩ)	CCA
Operasional normal 71 °C–75 °C	3	14,02	13,63	658	9,50	286
<i>Engine</i> dingin 29 °C	1	14,21	13,50	650	10,50	258
<i>Engine</i> panas 89 °C	1	13,73	13,40	650	2,35	1153

Berdasarkan Tabel 4, kondisi baterai pada pengujian operasional normal dan *engine* dingin masih berada pada kategori *Replace*, sedangkan kondisi *engine* panas berada pada kategori *Good*. Hambatan internal tertinggi tercatat pada kondisi *engine* dingin sebesar 10,50 mΩ. Hambatan internal terendah tercatat pada kondisi *engine* panas sebesar 2,35 mΩ. Nilai CCA pada kondisi *engine* panas juga jauh lebih tinggi dibandingkan dua kondisi lainnya. Data ini menunjukkan bahwa kondisi baterai pada pengujian *engine* panas lebih baik dibandingkan kondisi operasional normal dan *engine* dingin. Tegangan alternator pada seluruh kondisi pengujian berada pada rentang 13,73–14,21 V. Nilai *battery voltage* hasil pembacaan *scanner* berada pada kisaran 13,40–13,63 V. Putaran *engine* setelah hidup berada pada kisaran 650–658 r/min. Data tersebut menunjukkan bahwa sistem pengisian kendaraan masih bekerja dengan baik, sehingga pembahasan dapat lebih difokuskan pada perilaku baterai saat proses *starting*. Untuk memperjelas perbedaan nilai drop tegangan baterai dan waktu *starting* pada setiap kondisi pengujian, hasil pengukuran pada Tabel 3 divisualisasikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan Nilai Drop Tegangan Baterai dan Waktu Starting pada Setiap Kondisi Pengujian

## 2. Pembahasan Pengaruh Drop Tegangan Baterai Terhadap Waktu Starting

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi pengujian memengaruhi nilai drop tegangan baterai pada *engine* 4N15 Mitsubishi Triton. Kondisi operasional normal pada rentang suhu kerja 71 °C–75 °C menghasilkan rata-rata drop tegangan sebesar 3,25 V dengan waktu *starting* rata-rata 2,06 detik. Kondisi *engine* dingin pada suhu lingkungan 29 °C menghasilkan drop tegangan sebesar 4,23 V dengan waktu *starting* 1,53 detik. Kondisi *engine* panas pada temperatur kerja optimal 89 °C menghasilkan drop tegangan sebesar 3,08 V dengan waktu *starting* 1,61 detik. Pola tersebut menunjukkan bahwa baterai yang mampu mempertahankan tegangan lebih baik cenderung mendukung proses *starting* yang lebih singkat. Analisis proses *starting* dapat dilakukan melalui sinyal tegangan baterai, arus listrik ke motor starter, dan putaran poros engkol selama proses penyalaan awal (Ramirez et al., 2022). Temuan tersebut menguatkan bahwa parameter tegangan awal,  $V_{min}$ , dan waktu *starting* yang digunakan dalam penelitian ini sudah tepat untuk membaca kondisi sistem *starting* secara langsung di lapangan. Kesesuaian parameter tersebut juga memperlihatkan bahwa data hasil pengujian tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga memiliki dasar teknis yang relevan untuk menilai perilaku sistem *starting* pada kendaraan diesel.

Kondisi baterai juga menunjukkan pengaruh yang jelas terhadap hasil pengujian. Kondisi operasional normal dan *engine* dingin sama-sama menunjukkan status baterai *Replace*, sedangkan kondisi *engine* panas menunjukkan status *Good*. Hambatan internal pada kondisi *engine* dingin mencapai 10,50 mΩ, sedangkan hambatan internal pada kondisi *engine* panas hanya 2,35 mΩ. Nilai CCA pada kondisi *engine* panas juga jauh lebih tinggi dibandingkan dua kondisi lainnya. Hambatan internal sistem penyimpanan energi merupakan faktor penting dalam kemampuan cold *cranking*, selain tahanan kabel, kontak, dan tahanan total motor starter (Moholkar, Bankar, & Karandikar, 2023). Pernyataan tersebut memperjelas bahwa kenaikan hambatan internal baterai pada penelitian ini memang berkaitan langsung dengan memburuknya kemampuan baterai saat menyuplai daya awal ke motor starter. Hubungan ini tampak jelas pada data pengujian, karena kondisi baterai yang lebih baik menghasilkan hambatan internal yang lebih rendah, nilai CCA yang lebih tinggi, dan kemampuan mempertahankan tegangan yang lebih stabil saat proses *starting* berlangsung.

Kondisi *engine* dingin menghasilkan *drop* tegangan terbesar, yaitu 4,23 V, dan tegangan minimum terendah, yaitu 8,53 V. Hasil ini menunjukkan bahwa temperatur awal yang lebih rendah meningkatkan beban awal pada sistem *starting*. Penurunan temperatur menyebabkan konduktivitas ion elektrolit menurun, sehingga hambatan internal baterai meningkat (Bauknecht et al., 2023). Penjelasan tersebut menunjukkan bahwa penurunan temperatur tidak hanya memengaruhi lingkungan kerja *engine*, tetapi juga langsung memengaruhi kemampuan baterai dalam mempertahankan suplai daya awal. Tahanan elektrolit meningkat seiring dengan penurunan temperatur lingkungan, dan penurunan temperatur lingkungan ikut menurunkan kapasitas baterai (Malozyomov et al., 2023). Dua temuan tersebut menunjukkan bahwa kondisi *engine* dingin pada penelitian ini menghasilkan *drop* tegangan paling

besar, karena temperatur yang rendah mengurangi kemampuan baterai dalam mempertahankan suplai daya awal. Hasil tersebut membuat kondisi *engine* dingin menjadi pembanding penting dalam menjelaskan bahwa penurunan tegangan baterai tidak hanya dipicu oleh beban starter, tetapi juga oleh perubahan sifat internal baterai pada temperatur rendah.

Hubungan antara drop tegangan dan waktu *starting* pada penelitian ini tidak sepenuhnya linier. Kondisi *engine* dingin menghasilkan drop tegangan terbesar, tetapi waktu *starting* yang dihasilkan tidak menjadi yang terlama. Pola ini menunjukkan bahwa waktu *starting* tidak hanya dipengaruhi oleh besar kecilnya penurunan tegangan baterai. Kualitas diesel *start-up* pada temperatur rendah memburuk karena viskositas oli meningkat, kondisi pembakaran bahan bakar menurun, dan sifat energi baterai *starting* ikut melemah (Levchenko et al., 2025). Kondisi tersebut tetap dapat mendukung tercapainya proses *starting* karena *Electronic Control Unit* (ECU) mengatur pemanasan ruang bakar melalui *glow plug* dan menyesuaikan tekanan injeksi bahan bakar *common rail* untuk membantu tercapainya siklus pembakaran awal (*first-firing cycle*). Penjelasan tersebut memperkuat bahwa proses *starting* pada *engine* diesel dipengaruhi oleh beberapa faktor yang bekerja secara bersamaan. Hasil penelitian ini lebih tepat dibaca sebagai kecenderungan bahwa drop tegangan baterai meningkat pada kondisi *engine* dingin, sedangkan waktu *starting* tetap dipengaruhi pula oleh kondisi mekanis dan termal *engine* saat pengujian berlangsung. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa drop tegangan merupakan salah satu faktor yang memengaruhi waktu dan keberhasilan *starting*.

Data pendukung menunjukkan bahwa tegangan alternator setelah *engine* hidup masih berada pada rentang kerja yang stabil. Nilai *battery voltage* hasil pembacaan *scanner* dan putaran *engine* juga relatif konsisten. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pengisian kendaraan masih bekerja dengan baik. Fase awal pemutaran poros engkol merupakan saat terjadinya beban arus puncak pada sistem *starting* (Malozymov et al., 2023). Pernyataan ini membantu menempatkan hasil penelitian pada konteks yang lebih jelas, yaitu bahwa penurunan tegangan yang muncul pada saat *starting* lebih berkaitan dengan kemampuan baterai menghadapi beban awal daripada dengan gangguan pada sistem pengisian setelah *engine* hidup. Data pendukung tersebut juga memperkuat bahwa fokus analisis penelitian memang tepat diarahkan pada baterai, motor starter, dan tegangan minimum saat *starting*, karena sistem pengisian setelah *engine* menyala masih menunjukkan kinerja yang stabil.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa drop tegangan baterai berpengaruh terhadap waktu *starting* pada *engine* 4N15 Mitsubishi Triton. Motor starter membutuhkan suplai daya listrik yang besar untuk menghasilkan torsi awal saat memutar poros engkol (*crankshaft*) dan mengatasi tekanan kompresi *engine* diesel. Penurunan tegangan yang terlalu besar menyebabkan daya yang diterima motor starter menjadi berkurang sehingga putaran *crankshaft* berlangsung lebih lambat. Kondisi tersebut mengakibatkan proses pembentukan suhu dan tekanan di ruang bakar memerlukan waktu lebih lama hingga mencapai kondisi *auto-ignition*. Nilai rata-rata pada kondisi operasional normal memberikan dasar pembanding yang lebih representatif karena diperoleh dari tiga kali pengujian. Hasil pada kondisi *engine* dingin dan *engine* panas memberikan gambaran awal mengenai perubahan perilaku *starting* pada kondisi operasional yang berbeda. Kondisi baterai yang lebih baik cenderung menghasilkan kemampuan *cold cranking* yang lebih tinggi dan penurunan performa yang lebih kecil pada temperatur rendah (Moholkar et al., 2023; Bauknecht et al., 2023). Data tetap menunjukkan pola yang konsisten, yaitu bahwa kondisi baterai yang lebih baik cenderung menghasilkan tegangan minimum yang lebih tinggi, hambatan internal yang lebih rendah, dan drop tegangan yang lebih kecil selama proses *starting*. Pola tersebut menegaskan bahwa *analisis* sistem *starting* tidak cukup hanya dilihat dari lamanya waktu *starting*, tetapi juga harus mempertimbangkan kualitas baterai dan kestabilan tegangan saat beban awal diberikan.

#### IV. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh drop tegangan baterai terhadap waktu *starting* pada *engine* 4N15 Mitsubishi Triton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi operasional normal pada rentang suhu kerja 71 °C–75 °C menghasilkan rata-rata drop tegangan sebesar 3,25 V dengan waktu *starting* rata-rata 2,06 detik, kondisi *engine* dingin pada suhu lingkungan 29 °C menghasilkan drop tegangan terbesar sebesar 4,23 V dengan waktu *starting* 1,53 detik, sedangkan kondisi *engine* panas pada temperatur kerja 89 °C menghasilkan drop tegangan sebesar 3,08 V dengan waktu *starting* 1,61 detik. Nilai drop tegangan terbesar pada kondisi *engine* dingin menunjukkan bahwa temperatur awal

yang lebih rendah meningkatkan beban awal pada sistem *starting*, sedangkan nilai drop tegangan terkecil pada kondisi *engine* panas menunjukkan bahwa kondisi baterai yang lebih baik mendukung kestabilan tegangan saat proses *starting*. Hubungan antara drop tegangan dan waktu *starting* pada penelitian ini tidak sepenuhnya linier, tetapi data tetap menunjukkan kecenderungan bahwa kondisi baterai yang lebih baik menghasilkan tegangan minimum yang lebih tinggi, hambatan internal yang lebih rendah, dan drop tegangan yang lebih kecil. Data pendukung menunjukkan bahwa tegangan alternator, *battery voltage*, dan putaran *engine* selama pengujian berada pada kondisi yang relatif stabil sehingga perubahan yang terjadi lebih dipengaruhi oleh kondisi baterai dan karakteristik sistem *starting*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa analisis sistem *starting* pada *engine* 4N15 Mitsubishi Triton perlu mempertimbangkan nilai drop tegangan, tegangan minimum saat *starting*, dan kondisi baterai agar kondisi sistem kelistrikan dapat dianalisis secara lebih tepat.

#### Daftar Pustaka

- Basir, A., Santiko, T., Tona, T., & Wali, I. T. (2025). Analisis Faktor Penyebab Sulitnya Start Awal Pada Mesin Induk Kapal di AHTS SK CANOPUS. *Jurnal Venus*, 13(1), 01–15. <https://doi.org/10.48192/vns.v13i1.738>
- Bauknecht, S., Wätzold, F., Schlösser, A., & Kowal, J. (2023). Comparing the Cold-Cranking Performance of Lead-Acid and Lithium Iron Phosphate Batteries at Temperatures below 0 °C. *Batteries*, 9(3), 2–13. <https://doi.org/10.3390/batteries9030176>
- Caban, J., Seňko, J., & Ignaciuk, P. (2024). Laboratory Tests of Electrical Parameters of the Start-Up Process of Single-Cylinder Diesel Engines. *Energies*, 17(9), 2155. <https://doi.org/10.3390/en17092155>
- Fang, L., Lou, D., Hu, Z., Tan, P., & Zhang, Y. (2021). Study on the First-Firing-Cycle Combustion Characteristics of High-Altitude and Low-Temperature Environments During Diesel Engine Cold Start. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3992291>
- Kan, Z. C., Lou, D. M., Cao, Z. Z., Hu, Z. Y., Liu, S., & Yang, Z. H. (2017). Effects of altitude on combustion characteristic during cold start of heavy-duty diesel engine. *International Journal of Automotive Technology*, 18(2), 209–217. <https://doi.org/10.1007/s12239-017-0020-x>
- Kurniadi, D. (2024). Analisis Kegagalan Start Pada Starting Air System Main Engine di Kapal MT. Petromax. *Ranah Research : Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 6(4), 893–901.
- Laia, E. K. (2025). Identifikasi Starting Air System Yang Tidak Maksimal Pada Main Engine. *Jurnal Samudra*, 3(1). Retrieved from <https://samudrajurnal.id/index.php/samudra/article/view/44>
- Levchenko, D., Grytsyuk, O., Tsiuman, M., & Yakovlieva, A. (2025). Experimental and Computational Optimization of Cold-Start Performance in 4DTNA Series Diesel Engines Under Variable Environmental Conditions. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 5(3), 559–578. <https://doi.org/10.17509/ajse.v5i3.89104>
- Liu, Y., Li, D., Yang, M., Zhang, H., Guo, L., Qu, D., ... Lin, X. (2026). Numerical Study on the Combustion Process of the First Cycle of Diesel Engine Start-Up Based on Target Torque Control. *Energies*, 19(3), 595. <https://doi.org/10.3390/en19030595>

- Malozyomov, B. V., Martyushev, N. V., Kukartsev, V. A., Kukartsev, V. V., Tynchenko, S. V., Klyuev, R. V., ... Tynchenko, Y. A. (2023). Study of Supercapacitors Built in the Start-Up System of the Main Diesel Locomotive. *Energies*, 16(9), 2–24. <https://doi.org/10.3390/en16093909>
- Moholkar, A. P., Bankar, D. S., & Karandikar, P. B. (2023). Supercapacitor based cost effective hybrid energy storage system with reduction in battery size for diesel generator cold cranking. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 31(1), 22–32. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v31.i1.pp22-32>
- Mukhtar, A. M., Lateko, A. H., & Zainuddin, Z. (2025). Analisis Kapasitas Baterai Untuk Starting Sistem Mesin General Elektrik Di Unit Pltg Pt. Pln Indonesia Power Unit Bisnis Pembangunan Tello. *Arus Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(1), 15–20. <https://doi.org/10.57250/ajst.v3i1.1097>
- Pakaya, F., Nantan, Y., Tappy, M. S., Junardi, J., & Alfira, W. S. (2023). Unjuk Kerja Motor Starter Pada Pengoperasian Mesin Induk KM. Bandar Nelayan 519. *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, 272–278. <https://doi.org/10.62012/zl.v4i3.30862>
- Permana, T., Daryanto, E., & Hutajulu, O. Y. (2023). Analisis Kelistrikan Sistem Starter Tipe Konvensional Untuk Penggerak Mula Motor Bensin. *Jurnal Insinyur Profesional*, 2(3). <https://doi.org/10.24114/jip.v2i3.42493>
- Qi, F., & Li, C. (2023). The Influence of Plateau Environment on Diesel Engine Starting Process. *E3S Web of Conferences*, 441, 02001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344102001>
- Ramirez, J., Romero, C., Mejía, J., & Quintero, H. (2022). A methodology for non-invasive diagnosis of diesel engines through characteristics of starter system performance. *Diagnostyka*, 23(2), 1–11. <https://doi.org/10.29354/diag/147789>