

## PENGARUH TORSI ALTERNATOR MOBIL TERHADAP INVERTER

Partaonan Harahap<sup>1\*)</sup>, Rimbawati<sup>1</sup>, Dultudes Mangopo<sup>2</sup>, Munawar Alfansury Siregar<sup>3</sup>,  
Rahmatullah<sup>3</sup> dan Arfis Amiruddin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

<sup>2</sup>Departemen Teknik Elektro Universitas Cenderawasih, Jayapura, Papua, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Jl. Kapt. Mukhtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

*\*)Penulis korespondensi, E-mail: partaonanharahap@umsu.ac.id*

### Abstrak

Salah satu bagian penting dari sistem kelistrikan mobil adalah alternator, yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Besar torsi yang diberikan pada poros alternator merupakan komponen penting yang memengaruhi kinerjanya. Studi ini menyelidiki bagaimana variasi torsi memengaruhi kinerja inverter yang menerima suplai daya dari alternator. Metode eksperimental digunakan untuk menguji sistem alternator-inverter dengan beban variatif. Data tegangan, arus, pada output inverter, tingkat torsi yang berbeda digunakan untuk memutar inverter. Studi menunjukkan bahwa torsi yang rendah menghasilkan tegangan DC yang tidak stabil, dalam pengujian, mesin penggerak alternator memiliki kecepatan putaran 1057 RPM, kecepatan sudut 110,5 rad/s, dan torsinya 9,049 Nm, sehingga inverter tidak dapat memberikan output AC yang ideal. Sebaliknya, dengan torsi yang lebih tinggi dan stabil, inverter dapat menghasilkan tegangan AC dengan frekuensi yang konstan yang hampir sama dengan nilai nominalnya. Ini menunjukkan bahwa torsi alternator berpengaruh langsung terhadap kestabilan dan efisiensi inverter. Kesimpulan utama penelitian ini adalah bahwa kualitas daya yang dihasilkan oleh inverter sangat dipengaruhi oleh kestabilan torsi alternator dengan Daya keluaran alternator = 1000 Watt dan Efisiensi alternator = 90% atau 0.9. Oleh karena itu, kontrol torsi adalah komponen penting dalam desain sistem suplai daya yang bergantung pada alternator.

*Kata kunci: Torsi alternator, inverter, pasokan daya, dan efisiensi energi*

### Abstract

*One of the important parts of a car's electrical system is the alternator, which functions to convert mechanical energy into electrical energy. The magnitude of the torque applied to the alternator shaft is an important component that affects its performance. This study investigates how torque variations affect the performance of the inverter receiving power supply from the alternator. Experimental methods were used to test the alternator-inverter system with variable loads. Voltage and current data at the inverter output, with different torque levels used to rotate the inverter. Studies show that low torque results in unstable DC voltage. In the tests, the alternator drive motor had a rotational speed of 1057 RPM, an angular speed of 110.5 rad/s, and a torque of 9.049 Nm, causing the inverter to be unable to provide ideal AC output. On the other hand, with higher and more stable torque, the inverter can produce AC voltage with a constant frequency that is almost equal to its nominal value. This shows that the alternator's torque directly affects the stability and efficiency of the inverter. The main conclusion of this study is that the power quality produced by the inverter is greatly influenced by the stability of the alternator's torque, with the alternator output power = 1000 Watts and alternator efficiency = 90% or 0.9. Therefore, torque control is an important component in the design of power supply systems that rely on alternators.*

*Keywords: alternator torque, inverter, power supply, and energy efficiency*

### 1. Pendahuluan

Dalam sistem kelistrikan kendaraan, alternator merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai pembangkit energi listrik, menggantikan peran baterai sebagai sumber daya utama saat mesin menyala. Alternator memanfaatkan proses induksi elektromagnetik untuk

mengubah energi mekanik dari putaran mesin menjadi energi listrik, yang kemudian disalurkan ke berbagai beban kendaraan seperti sistem pencahayaan, pengapian, dan injeksi bahan bakar. Alternator juga dikenal sebagai dinamo ampere, mengingat fungsinya yang menyerupai dinamo pada sistem pembangkit lainnya.

Salah satu aspek krusial dalam proses kerja alternator adalah torsi atau momen puntir yang dihasilkan oleh mesin kendaraan. Torsi ini menentukan seberapa besar daya listrik yang bisa dibangkitkan oleh alternator, terlebih ketika alternator terhubung dengan inverter untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Penggunaan inverter memungkinkan distribusi daya ke berbagai keperluan, baik di dalam maupun di luar kendaraan, seperti pengisian perangkat elektronik, lampu darurat, atau sistem listrik tambahan[1][2].

Namun demikian, stabilitas daya keluaran inverter sangat tergantung pada kestabilan torsi alternator. Torsi yang fluktuatif atau tidak mencukupi dapat menyebabkan penurunan tegangan dan frekuensi output inverter, yang berisiko menurunkan efisiensi sistem dan bahkan merusak peralatan elektronik yang terhubung. Oleh karena itu, penting untuk memahami hubungan langsung antara karakteristik torsi alternator dan kinerja inverter, terutama dalam upaya pengembangan sistem kelistrikan kendaraan yang efektif, efisien, dan andal[3][4][5][6].

Lebih lanjut, motor induksi sebagai beban utama dalam banyak sistem kendaraan juga menjadi perhatian penting dalam penelitian ini. Energi listrik yang masuk ke motor induksi akan dikonversi menjadi energi mekanik berupa torsi, namun juga akan menimbulkan kerugian energi pada belitan, bantalan, dan celah udara[7]. Karena energi listrik berasal dari sumber primer seperti fosil, gas, air, atau angin, maka peningkatan efisiensi konversi sangat diperlukan untuk mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan[8][9]. Oleh karena itu, efisiensi motor induksi harus dimaksimalkan agar torsi putar yang dihasilkan lebih besar dibandingkan energi listrik yang dikonsumsi.

Alternator mobil memiliki sejumlah keunggulan struktural, seperti rotor yang ringan dan tahan terhadap putaran tinggi, serta tidak adanya bunga api karena tidak menggunakan komutator. Hal ini menjadikannya sebagai perangkat yang ideal untuk sistem kelistrikan kendaraan modern. Namun, untuk lebih memaksimalkan fungsinya sebagai penyedia daya utama, perlu dikaji lebih dalam bagaimana karakteristik torsi mempengaruhi kestabilan inverter, dan bagaimana sistem ini dapat dikembangkan untuk mendukung sistem suplai daya alternatif berbasis kendaraan bermotor[10].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara kuantitatif pengaruh torsi alternator terhadap kinerja inverter, dengan harapan menghasilkan data teknis dan model sistem yang dapat diterapkan dalam pengembangan kendaraan berbasis listrik maupun hybrid, serta untuk mendukung penerapan teknologi hemat energi di sektor transportasi[11][12][13].

## **2. Metode**

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium untuk mengkaji secara langsung pengaruh variasi torsi mekanik pada alternator mobil terhadap kinerja inverter sebagai alat konversi daya dari arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Eksperimen dilakukan dengan tujuan memperoleh data empiris yang dapat merepresentasikan hubungan nyata antara input mekanis (dalam bentuk torsi dan putaran) dengan output kelistrikan yang dihasilkan oleh sistem alternator-inverter, khususnya dalam kondisi variasi beban.

Rangkaian eksperimen dibangun dengan menyusun sebuah sistem uji yang terdiri dari alternator mobil tipe konvensional 12V 50A, yang dihubungkan ke motor penggerak AC satu fasa berdaya 0,75 kW sebagai sumber energi mekanik. Motor ini digunakan untuk memutar poros alternator dengan kecepatan yang dapat dikendalikan, sehingga torsi yang dihasilkan pun dapat divariasikan sesuai kebutuhan pengujian. Alternator kemudian dihubungkan ke inverter sinusoidal murni (pure sine wave) 12V–220V, 300 Watt, yang berfungsi untuk mengubah arus DC dari alternator menjadi arus AC yang dapat digunakan oleh berbagai peralatan listrik.

### **2.1. Perancangan dan Pengujian alat**

Untuk memperoleh data yang akurat, digunakan beberapa alat ukur dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:

1. Tachometer digital (UNI-T UT372) digunakan untuk mengukur putaran poros (RPM) dengan akurasi  $\pm(0.04\% + 2 \text{ digit})$ .
2. Multimeter digital True RMS (Fluke 87V) digunakan untuk mengukur tegangan dan arus baik DC maupun AC dengan tingkat akurasi tinggi,  $\pm 0.05\%$  untuk tegangan DC.
3. Clamp meter digital (Hioki 3280-10F) digunakan untuk mengukur arus listrik tanpa memutuskan rangkaian, dengan akurasi  $\pm 1.5\%$ .
4. Osiloskop digital (Rigol DS1102E) dengan bandwidth 100 MHz dan kecepatan sampling 1 GSa/s digunakan untuk mengamati bentuk gelombang keluaran inverter dan menganalisis kestabilan tegangan dan frekuensi.
5. Sensor torsi digital (Nidec TMHS-10) digunakan untuk mengukur torsi mekanik pada poros alternator secara real-time, dengan rentang pengukuran 0–10 Nm dan akurasi  $\pm 0.2\%$ .
6. Beban variabel (load bank) 0–300 Watt digunakan untuk memvariasikan kondisi beban yang dikenakan pada sistem inverter.

Eksperimen dimulai dengan kalibrasi semua alat ukur. Selanjutnya, motor penggerak dioperasikan untuk menghasilkan variasi putaran dari 1000 rpm hingga 4000 rpm secara bertahap. Pada setiap tingkat putaran, diukur torsi aktual yang diterapkan ke poros alternator menggunakan sensor torsi digital. Setelah alternator menghasilkan arus searah, arus ini dialirkan ke inverter,

dan inverter kemudian menyalurkan arus bolak-balik ke beban variabel.

Pengambilan data dilakukan secara sistematis dengan mencatat parameter-parameter berikut pada setiap kondisi putaran dan beban:

1. Tegangan dan arus DC yang keluar dari alternator
2. Tegangan dan arus AC yang keluar dari inverter
3. Frekuensi dan bentuk gelombang AC output
4. Torsi mekanik pada poros alternator
5. Suhu permukaan alternator (menggunakan termometer inframerah)

Untuk memastikan reliabilitas data, setiap pengujian diulang sebanyak tiga kali, dan hasilnya diambil rata-ratanya. Selain itu, simpangan baku dari setiap parameter juga dihitung guna menilai kestabilan sistem. Beban divariasikan mulai dari 50 Watt, 100 Watt, 200 Watt hingga 300 Watt. Data direkam baik secara manual maupun melalui perangkat lunak osiloskop yang terhubung ke komputer untuk analisis lebih lanjut.

Pengolahan data dilakukan dengan cara memetakan hubungan antara torsi input dan tegangan serta arus output dari inverter. Efisiensi sistem dihitung dari perbandingan antara daya output inverter terhadap daya input dari alternator. Analisis kestabilan tegangan dan frekuensi juga dilakukan untuk mengevaluasi apakah sistem layak digunakan untuk aplikasi kelistrikan rumah tangga atau sistem off-grid. Eksperimen ini dirancang agar dapat direplikasi oleh peneliti lain, dengan mengikuti konfigurasi sistem dan penggunaan alat ukur seperti dijelaskan di atas. Spesifikasi alat, prosedur uji, variasi parameter, dan metode pencatatan data disusun secara rinci agar hasil dapat dibandingkan dan diuji ulang dalam berbagai kondisi.

Namun, perlu dicatat bahwa eksperimen ini dilakukan dalam lingkungan laboratorium yang terkontrol, sehingga belum memperhitungkan variabel lingkungan luar seperti getaran kendaraan, fluktuasi suhu ekstrem, atau beban non-linear. Di samping itu, penelitian ini belum mencakup pengukuran kerugian energi secara menyeluruh, baik pada tahap konversi mekanik-ke-listrik maupun pada sistem inverter itu sendiri. Analisis dampak termal jangka panjang dan keausan mekanik pada alternator juga belum dijadikan fokus, yang menjadi peluang untuk pengembangan penelitian lanjutan di masa depan. Dengan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan memberikan gambaran yang jelas mengenai keterkaitan antara torsi mekanik alternator dan performa kelistrikan inverter, serta membuka kemungkinan penerapan sistem energi alternatif berbasis kendaraan bermotor atau sumber penggerak lokal lainnya seperti kincir angin atau turbin air.

## 2.2. Spesifikasi Alternator

Alternator adalah komponen yang paling umum digunakan dalam kendaraan bermotor dan aplikasi lainnya. Tabel ini mencakup sejumlah parameter penting yang menunjukkan kinerja dan karakteristik alternator.

Table 1. Spesifikasi Alternator

Parameter	Spesifikasi
Tipe	Alternator AC
Daya Output	12V / 24V (tergantung aplikasi)
Arus Maksimum	30A - 150A (tergantung ukuran)
Frekuensi	50Hz atau 60Hz
Dimensi	Beragam, umumnya sekitar 20 cm x 15 cm
Berat	5 kg - 10 kg
Sistem Pendingin	Udara (beberapa model dilengkapi radiator)
Regulator Tegangan	Elektronik atau mekanik
Konektor Output	Terminal untuk baterai dan beban
Umur Pakai	Rata-rata 10-15 tahun

Keterangan:

1. Tipe: Alternator AC adalah yang paling umum digunakan, terutama di kendaraan.
2. Daya Output: Bergantung pada desain dan aplikasi, kebanyakan alternator mobil menghasilkan 12V hingga 24V.
3. Arus Maksimum: Ini menunjukkan seberapa banyak arus listrik yang dapat dihasilkan oleh alternator, dan biasanya berkisar antara 30A hingga 150A.
4. Frekuensi: Tergantung pada standar regional, frekuensi keluaran alternator biasanya 50Hz atau 60Hz.
5. Ukuran: Alternator mungkin berukuran berbeda, tetapi biasanya sekitar 20 cm x 15 cm.
6. Berat: Alternator memiliki berat sekitar 5 kg hingga 10 kg, tergantung pada desain dan material yang digunakan.
7. Regulator Tegangan: Regulator menjaga tegangan output stabil sesuai dengan kebutuhan sistem kelistrikan kendaraan.
8. Konektor Output: Konektor ini menghubungkan alternator ke baterai dan beban listrik lainnya, seperti lampu dan aksesoris kendaraan[14][15].

### 2.2.1. Spesifikasi Inverter

Inverter ini dirancang untuk digunakan dalam berbagai jenis kendaraan, van, karavan, dan peralatan portabel lainnya[16]. Dengan berbagai fitur perlindungannya dan kemampuan untuk mengubah daya DC menjadi AC, inverter ini sangat cocok untuk pengguna yang membutuhkan sumber daya listrik saat bepergian atau di lokasi terpencil[17][18][19].

**Table 2. Spesifikasi Inverter**

Parameter	Spesifikasi
Tipe Inverter	Modified Sine Wave
Daya Kontinu	500 Watt
Daya Puncak	1000 Watt
Input Voltage	12V DC
Output Voltage	220-240V AC
Output Frekuensi	50-60 Hz
USB Output Voltage	5V, 2.1A
Dimensi (P x L x T)	23 cm x 12.5 cm x 5 cm
Berat	Sekitar 1.41 lbs (639.6 g)
Proteksi Keamanan	- Perlindungan Terbalik - Perlindungan Over & Under Voltage - Perlindungan Shutdown Baterai
Pendingin	Rendah
Kabel Daya yang Disertakan	Kipas pendingin berkecepatan tinggi Kabel 10 AWG

### 2.3. Perhitungan Efisiensi Alternator

Efisiensi alternator dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut[20][21][22]:

$$\text{Efisiensi}(\eta) = \frac{\text{Daya Keluaran}(P_{out})}{\text{Daya Masukan}(P_{in})} \times 100\% \quad (1)$$

Di mana:

- Pout adalah daya keluaran yang dihasilkan oleh alternator, biasanya dalam satuan watt (W).
- Pin adalah daya masukan yang diterima oleh alternator, juga dalam satuan watt (W) [23] [24].

### 2.4. Korelasi antara Torsi dan Daya Listrik

Korelasi antara torsi (T) dan daya listrik (P) dapat dijelaskan melalui rumus berikut:

$$P = T \times \omega \quad (2)$$

Di mana:

- P adalah daya dalam watt (W)
- T adalah torsi dalam newton-meter (Nm)
- $\omega$  adalah kecepatan sudut dalam (rad/s)

Kecepatan sudut ( $\omega$ ) dapat dihitung dari kecepatan putaran (N) dalam revolusi per menit (RPM) menggunakan rumus:

$$\omega = 2\pi \cdot N \cdot 60 \text{ atau } \omega = 2\pi \times RPM / 60 \quad (3)$$

### 2.5. Analisis Stabilitas Daya Suplai pada Inverter

Inverter dapat beroperasi dengan baik dalam kondisi beban yang bervariasi. Dalam analisis ini, kita akan menggunakan beberapa rumus dasar yang berkaitan dengan daya, tegangan, arus, dan faktor daya[25][26][27].

1. Daya Aktif (P):  $P = V \times I \times \cos(\phi)$

di mana:

- P = daya aktif (Watt)
- V = tegangan (Volt)
- I = arus (Ampere)
- $\cos(\phi)$  = faktor daya

2. Daya Reaktif (Q):  $Q = V \times I \times \sin(\phi)$   
di mana:

Q = daya reaktif (VAR)

3. Daya Sempurna (S):  $S = V \times I$   
di mana:

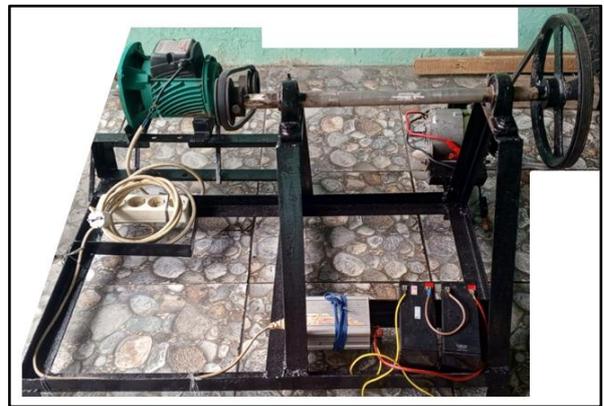
S = daya sempurna (VA)

4. Faktor Daya: Faktor daya (PF) didefinisikan sebagai rasio antara daya aktif dan daya sempurna:  $PF = P/S$

5. Stabilitas Daya Suplai: Untuk menganalisis stabilitas, kita perlu mempertimbangkan perubahan beban dan bagaimana inverter merespons terhadap perubahan tersebut. Salah satu cara untuk menilai stabilitas adalah dengan melihat margin stabilitas yang dapat dihitung berdasarkan karakteristik sistem[28][29][30][9].

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Hasil Perancangan Alat



**Gambar 1. Hasil Rancangan Alat**

Alat yang dirancang dalam penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan energi listrik secara mandiri dengan prinsip free energy. Sistem ini mengandalkan kombinasi komponen mekanis dan elektrik untuk menciptakan siklus kerja yang berkelanjutan. Proses kerja alat ini dimulai dari penggunaan akumulator sebagai sumber energi awal untuk menggerakkan dinamo motor listrik. Energi mekanik yang dihasilkan kemudian diteruskan ke alternator melalui sistem transmisi berupa belting dan pulley. Alternator akan mengubah energi mekanik ini menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuh.

### 3.2. Data Hasil Pengukuran Torsi dan Daya

Untuk menganalisis torsi yang dihasilkan oleh alternator mobil pada inverter 1000 watt, kita perlu memahami beberapa konsep dasar dari fisika dan teknik elektro.

Torsi ( $\tau$ ) dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

1. Daya (P): Daya yang dihasilkan oleh alternator dapat dinyatakan dalam watt (W). Dalam hal ini, daya inverter adalah 1000 watt.

2. Kecepatan Sudut ( $\omega$ ): Kecepatan sudut dalam radian per detik dapat dihitung dari putaran per menit (RPM) dengan rumus:

$$\omega = 2\pi \times \text{RPM} / 60$$

3. Torsi ( $\tau$ ): Torsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus hubungan antara daya dan torsi:

Analisis Perhitungan Torsi Alternator

a. Daya: daya yang digunakan pada mesin adalah 1000 watt.

b. RPM Alternator: RPM alternator adalah 1056

c. Hitung Kecepatan Sudut ( $\omega$ ):

$$\omega = 2\pi \times \text{RPM} / 60$$

$$\omega = 2.314.1056 / 60$$

$$\omega = 110,5 \text{ rad/s}$$

Hitung Torsi ( $\tau$ ): Dengan memasukkan nilai daya dan kecepatan sudut ke dalam rumus torsi

$$\tau = \frac{P}{\omega}$$

$$\tau = \frac{1000}{\omega 110,5}$$

$$\tau = 9,049 \text{ Nm}$$

Dalam pengujian, mesin penggerak alternator memiliki kecepatan putaran 1057 RPM, kecepatan sudut 110,5 rad/s, dan torsi 9,049 Nm. Dalam desain sistem kelistrikan, sangat penting untuk memahami hubungan antara torsi dan daya pada alternator. Memahami bagaimana kedua parameter ini saling terkait memungkinkan insinyur untuk merancang sistem yang lebih efisien dan mengoptimalkan kinerja pilihan untuk aplikasi tertentu.

### 3.3. Analisis Hubungan Torsi dan Efisiensi Alternator

Data yang ditampilkan dalam Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian performa alternator pada waktu 10, 30, dan 60 menit. Dari tabel tersebut, dapat diamati adanya perubahan nilai torsi, arus, tegangan, serta **daya output** seiring dengan waktu operasi, meskipun putaran (RPM) cenderung meningkat. Pada menit ke-10, torsi yang dihasilkan cukup tinggi sebesar 4,920 Nm dengan kecepatan sudut rendah yaitu 38,203 rad/s, menghasilkan daya sekitar 187,96 Watt. Namun, pada menit ke-30 dan 60, meskipun RPM meningkat menjadi 1045 dan 1052, dan tegangan serta arus juga naik, justru nilai torsi menurun drastis menjadi sekitar 1,9 Nm. Rumus dasar daya masukan, yaitu:

$$P_{in} = \tau \times \omega$$

digunakan untuk menunjukkan bahwa daya mekanik yang disuplai ke alternator berasal dari kombinasi torsi dan kecepatan sudut. Pada menit ke-60 misalnya, dengan torsi 1,97 Nm dan kecepatan sudut 110,10 rad/s, diperoleh daya masukan sebesar  $\pm 217$  Watt. Dari analisis ini, dapat disimpulkan bahwa kenaikan kecepatan rotasi (RPM)

menghasilkan peningkatan tegangan dan arus, tetapi tidak serta merta meningkatkan torsi. Justru, torsi menurun karena beban mekanis pada alternator menurun saat sistem mencapai kestabilan operasional. Hal ini mengindikasikan bahwa efisiensi alternator meningkat setelah pemanasan awal, karena semakin sedikit torsi yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik yang relatif stabil.

**Tabel 3. Hasil Pengujian Pada Alternator dengan Waktu**

Waktu (menit)	RPM	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)	Kecepatan Sudut ( $\omega$ ) (rad/s)	Torsi ( $\tau$ ) (Nm)
10	956	12,7	14,8	187,96	38,203	4,920
30	1045	13,6	15,4	209,44	109,37	1,914
60	1052	14	15,5	217	110,10	1,970

### 3.4. Data Hasil Pengukuran Daya Tanpa Beban

Pengukuran kecepatan putaran (Rpm) tanpa beban tambahan dan diberi beban tambahan yaitu pada tabel 4..

**Tabel 4. Pengukuran kecepatan putaran (Rpm) Tanpa Beban**

Waktu Putaran Alternator Penggerak (RPM)	Kecepatan Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)
0 (Tanpa Beban)	1056	220	0	0
5 Menit	1056	220	0	0
10 Menit	1056	220	0	0
20 Menit	1056	220	0	0
30 Menit	1056	220	0	0

Tabel ini menunjukkan bahwa selama 30 menit pertama operasi tanpa beban, sistem mempertahankan kecepatan putaran konstan sebesar 1056 RPM, dengan tegangan 220V, namun tidak ada arus yang mengalir (0A), sehingga daya output adalah nol Watt. Hal ini sesuai dengan teori bahwa tanpa beban yang terhubung, inverter tidak mengalirkan arus listrik, dan alternator tidak bekerja maksimal.

**Tabel 5. Pengukuran kecepatan putaran (Rpm) diberi beban kipas angin 20 Watt**

Waktu Putaran Alternator Penggerak (RPM)	Kecepatan Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)
0 (Tanpa Beban)	1056	220	0	0
5 Menit	1048	219	0,90	197
10 Menit	1045	217	0,11	24
20 Menit	1041	216	0,13	28
30 Menit	1038	214	0,14	30

Saat beban kipas angin sebesar 20 Watt dihubungkan, terlihat bahwa sistem mulai mengalirkan arus dengan fluktuasi kecil. Pada menit ke-5, arus yang tercatat adalah

0,90 A dengan daya mencapai 197 Watt, yang kemungkinan merupakan daya sesaat atau karena adanya beban awal dari kipas. Namun pada menit berikutnya, arus dan daya output menurun menjadi 0,11 A (24 Watt) hingga 0,14 A (30 Watt) di menit ke-30.

Penurunan ini dapat terjadi karena:

1. Beban sebenarnya lebih kecil dari spesifikasi tertulis (20W).
2. Terjadi penyesuaian internal inverter dan alternator sehingga output daya menjadi lebih stabil namun lebih rendah.

Secara umum, terlihat bahwa beban kipas memberikan beban ringan, sehingga alternator tetap beroperasi dengan putaran mendekati konstan (1038–1048 RPM).

Tabel 6. Pengukuran kecepatan putaran (Rpm) diberi beban lampu hanoch 45 Watt

Waktu Putaran Alternator Penggerak (RPM)	Kecepatan Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)
0 (Tanpa Beban)	1056	220	0	0
5 Menit	1048	219	0,21	45
10 Menit	1045	217	0,22	48
20 Menit	1041	216	0,23	50
30 Menit	1038	214	0,24	51

Pada pengujian dengan beban lampu Hanock 45 Watt, arus dan daya output lebih konsisten. Misalnya, pada menit ke-5 arus adalah 0,21 A dengan daya 45 Watt, lalu naik menjadi 0,24 A (51 Watt) pada menit ke-30. Ini menunjukkan bahwa beban lampu memberikan beban konstan dan linier, sehingga inverter dan alternator dapat menghasilkan daya yang lebih stabil dibandingkan dengan beban kipas. Kecepatan putaran tetap relatif stabil (1038–1048 RPM) dengan sedikit penurunan akibat beban resistif yang menarik arus lebih konstan dari sistem. Stabilitas tegangan (214–219 V) juga menunjukkan bahwa sistem inverter mampu mempertahankan output AC secara efektif.

### 3.4.1. Analisis Kinerja Alternator dengan Inverter

Bagian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman teknis dan kuantitatif mengenai hubungan antara kinerja alternator, efisiensi sistem, dan dampak inverter sebagai alat konversi daya dalam sistem pembangkit listrik berbasis energi mekanik[31].

### 3.4.2. Pengaruh Pemasangan Inverter terhadap Output Alternator

Dalam sistem kelistrikan, alternator berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (DC), yang selanjutnya diolah oleh inverter menjadi arus bolak-balik (AC). Pada analisis ini, daya keluaran alternator yang terukur adalah sebesar 1000

Watt, dengan tingkat efisiensi konversi alternator **90%**. Artinya, alternator membutuhkan daya masukan sebesar 1111,11 Watt untuk menghasilkan keluaran 1000 Watt tersebut.

$$P_{in} = \frac{P_{alternator}}{\eta_{alternator}} = \frac{1000}{0.9} = 1111.11 \text{ Watt}$$

Perhitungan ini menunjukkan bahwa 10% energi mekanik hilang sebagai panas atau gesekan di dalam alternator, dan ini merupakan bagian dari efisiensi sistem. Selanjutnya, daya dari alternator masuk ke inverter. Jika efisiensi inverter sebesar **95%**, maka daya output AC yang dihasilkan inverter adalah:

$$P_{out-inverter} = 1111.11 \times 0.95 = 1055.55 \text{ Watt}$$

Ini berarti sistem secara keseluruhan memiliki efisiensi gabungan yang relatif tinggi, yaitu sekitar 95% dari daya DC masuk dikonversi menjadi AC output, yang cukup ideal untuk aplikasi kendaraan maupun pembangkit cadangan berskala kecil.

### 3.4.3. Analisis Pengaruh Variasi Torsi terhadap Daya

Hubungan antara **torsi ( $\tau$ )** dan **kecepatan sudut ( $\omega$ )** menjadi dasar dalam menentukan daya mekanik yang masuk ke alternator, sesuai rumus:

$$P = \tau \times \omega$$

Data pada Tabel 7 menunjukkan bahwa saat waktu berjalan, RPM meningkat namun torsi menurun:

Tabel 7 Hasil Pengujian Pada Alternator dengan Waktu

Waktu	RPM	Torsi (Nm)
10 Menit	956	4,9
30 Menit	1045	1,9
60 Menit	1052	1,9

Interpretasinya, pada 10 menit awal, sistem membutuhkan torsi tinggi untuk mengatasi inersia awal dan mencapai kecepatan putaran. Seiring waktu, sistem mencapai kondisi kerja yang stabil, sehingga torsi yang dibutuhkan menurun, meskipun kecepatan putaran meningkat. Hal ini mencerminkan peningkatan efisiensi mekanik sistem setelah masa transien awal, karena beban kerja menjadi lebih ringan secara relatif terhadap torsi input.

### 3.4.4. Hubungan RPM Alternator dan Output Tegangan

Tegangan output alternator bergantung pada kecepatan rotasi (RPM), fluks magnet, dan desain konstruksi alternator. Dengan menggunakan rumus:

$$V = k \cdot N \cdot \Phi$$

Dengan:

$$k = 0.1$$

$$\Phi = 0.02 \text{ Weber}$$

Dihitung tegangan output sebagai berikut:

1. Pada RPM = 956 :  
 $V = 0,1 \times 956 \times 0,02 = 1,912$  Volt
2. Pada RPM = 1045  
 $V = 0,1 \times 1045 \times 0,02 = 2,09$  Volt
3. Pada RPM = 1052  
 $V = 0,1 \times 1052 \times 0,02 = 2,104$  Volt

Dari perhitungan ini terlihat bahwa tegangan output meningkat seiring kenaikan RPM, meskipun secara praktis tegangan output aktual bisa dikalibrasi lebih besar melalui pengaturan eksitasi atau sistem pengatur tegangan. Namun tren yang ditunjukkan konsisten secara teori bahwa putaran lebih tinggi menghasilkan tegangan lebih besar, selama fluks magnet tetap konstan.

#### 3.4.5. Pengaruh Kecepatan Torsi terhadap Stabilitas Suplai Daya

Kecepatan torsi yang konsisten dan memadai sangat penting untuk menjaga stabilitas suplai daya dari alternator ke inverter. Saat sistem penggerak (mesin atau motor) mampu mempertahankan torsi dalam rentang optimal, maka tegangan dan frekuensi output inverter pun akan stabil. Sebaliknya, jika terjadi fluktuasi torsi karena beban mendadak atau ketidakstabilan mekanik, maka tegangan output inverter dapat menurun atau bahkan menyimpang, yang berpotensi merusak beban listrik yang sensitif. Oleh karena itu, keberhasilan sistem pembangkitan ini sangat ditentukan oleh **manajemen torsi dan kestabilan rotasi**, yang dapat dijaga melalui desain mesin penggerak yang handal, atau dengan menambahkan sistem kontrol kecepatan dan sensor torsi.

## 4. Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pembangkitan listrik berbasis alternator dan inverter memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi, yakni di atas 85%. Alternator mampu mengubah daya mekanik menjadi listrik dengan efisiensi 90%, dan inverter melanjutkan konversi ke arus bolak-balik dengan efisiensi 95%. Torsi awal yang tinggi diperlukan untuk menginisiasi sistem, namun menurun seiring stabilnya operasi, menunjukkan efisiensi mekanik meningkat. Peningkatan RPM terbukti meningkatkan tegangan output, yang menegaskan pentingnya kestabilan kecepatan putar dan torsi terhadap kinerja sistem. Selain itu, kestabilan daya sangat bergantung pada torsi dan RPM yang konstan. Beban resistif menghasilkan performa yang lebih stabil dibandingkan beban induktif, sehingga pemilihan jenis beban menjadi faktor penting dalam menjaga keandalan sistem.

## Referensi

- [1]. S. Lubis, "Rancang Bangun Alternator Mobil Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 77–81, 2019, doi: 10.30596/rele.v1i2.3003.
- [2]. F. Febriansyah, "Karakteristik Arus Start Motor Induksi Tiga Fasa (Motor Slip Ring) Dengan Beban dan Tanpa Beban di Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [3]. O. T. Mahmood, W. Z. W. Hasan, L. I. Ismail, S. Shafie, N. Azis, and N. M. H. Norsahperi, "Optimization Approaches and Techniques for Automotive Alternators: Review Study," *Machines*, vol. 10, no. 6, pp. 1–26, 2022, doi: 10.3390/machines10060478.
- [4]. J. Emitter *et al.*, "Pengaruh Kecepatan Putar Dan Beban Terhadap," vol. 16, no. 01, 2013.
- [5]. T. Wijatmoko, "Rancang Bangun Alat Pengatur Kecepatan Motor Universal Pada Sewing Machine Motor," *Univ. Negeri Semarang*, 2007, [Online]. Available: <http://lib.unnes.ac.id/1039/1/1965.pdf>
- [6]. N. Evalina and A. A. Zulfikar, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller," *J. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2018.
- [7]. M. M. Nurdin, W. Purwanto, T. Sugiarto, and M. Y. Setiawan, "Pengaruh Jenis Baling-Baling pada Alternator Turbin Angin Terhadap Besar Arus listrik Yang Dihasilkan pada Kendaraan Type of Propellers in the Wind Turbine Alternator on the Electric Current Generated in the Vehicle," pp. 501–508, 2023.
- [8]. E. Untuk and K. Masa, "Teknologi Mobil Listrik : Inovasi Switching dan Optimasi Energi untuk Kendaraan Masa Depan TEKNOLOGI MOBIL LISTRIK : INOVASI SWITCHING DAN OPTIMASI," pp. 1–10, 2025.
- [9]. E. Purwanto Aribowo, F. Pandansari, A. Listiyantoro, D. Imanuel Sutrisno, and K. Christian Ferdianto, "Sistem Pengendalian Torsi Pada Mobil Listrik Arugo," *IMDeC | Ind. Mech. Des. Conf. Politek. ATMI Surakarta*, vol. 3, p. 2021, 2021.
- [10]. S. Yumiki *et al.*, "Autonomous vehicle-to-grid design for provision of frequency control ancillary service and distribution voltage regulation," *Sustain. Energy, Grids Networks*, vol. 30, pp. 1–28, 2022, doi: 10.1016/j.segan.2022.100664.
- [11]. Y. Yunus, Sihana, and Subekti Lukman, "Modifikasi Alternator Mobil Menjadi Generator 3 Fasa 220 V 600 RPM," pp. 1–4, 2012.
- [12]. Mirza Mirza, Rakhmad Syafutra Lubis, and Mansur Gapy, "Pemanfaatan Alternator Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)," *J. Komputer, Inf. Teknol. dan Elektro*, vol. Vol. 4, No. no. 4, pp. 2252–7036, 2019.
- [13]. P. Harahap, B. Oktrialdi, and C. Cholish, "Perancangan Conveyor Mini untuk Pemilahan Buah Berdasarkan Ukuran yang Dikendalikan oleh Mikrokontroler Atmega16," *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 3, no. 2502, p. 37, 2018, doi: 10.22236/teknoka.v3i0.2818.

- [14]. R. Muharni, A. Dwiharzandis, and D. S. Kesuma, "Analisis Efisiensi pada Generator Inverter Hemat Energi Listrik untuk Daerah Terpencil," *Rekayasa Energi Manufaktur* J. ], vol. 9, no. 2, pp. 2528–3723, 2024, [Online]. Available: <http://doi.org/10.21070/rem.v9i2.1712>
- [15]. I. \*Email: arasy.fahrudin@umsida.ac. . Iwan Hadi Suratno1), A`rasy Fahrudin, 2) 1)Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia 2) Dosen Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, "Analysis Of The Effect Of Alternator Modification On Himoina Genset 20 Kva To Load Testing And Cost," 2024.
- [16]. I. Anshory, Jamaaluddin, and A. Wisaksono, *Bab IvPrinsip-Prinsip Konversi Energi*. 2022.
- [17]. M. Fahmy and T. Tohir, "Modifikasi dan Pengujian Alternator Mobil 400watt menjadi Motor BLDC," *Pros. Ind. Res. Work. ...*, vol. 13, no. 1, pp. 13–14, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/4274%0Ahttps://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/4274/2910>
- [18]. Implementation of 3000-watt inverter, "Jurnal Polimesin," *Polimesin*, vol. 20, no. 2, pp. 121–127, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.pnl.ac.id/polimesin/article/view/3626/3230>
- [19]. P. Harahap, B. Oktrialdi, Rimbawati, M. Yani, and R. W. Lubis, "Performance of Car Radiators as Alternative Electric Energy Generators," *Lect. Notes Mech. Eng.*, pp. 113–121, 2024, doi: 10.1007/978-981-99-7495-5\_12.
- [20]. D. R. Kurniawan, D. Teguh, and I. Dirja, "Perancangan dan Analisis Transmisi Pada ATV Bak Listrik Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 19, no. 1, pp. 11–22, 2024, doi: 10.32497/jrm.v19i1.4702.
- [21]. Sidiq Budi Perkasa, Tejo Sukmadi, and Denis Ginting, "Analisa Perbandingan Daya Dan Torsi Pada Perancangan Purwarupa Mobil Listrik," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 4, pp. 2685–0206, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [22]. D. Sistem, P. Untuk, P. Air, M. Iqra, U. Makassar, and O. G. E. Masdar, "Jurusan teknik elektro fakultas teknik universitas muhammadiyah makassar," 2018.
- [23]. A. Boynawan *et al.*, "Analisis Parameter Yang Memengaruhi Kalibrasi Tachometer Non-Kontak Analysis of Parameters That Influence Non-Contact Tachometer Calibration," pp. 161–170, 2023.
- [24]. E. Enny, "Tachometer Laser , Pemakaian Dan Perawatannya," *Metana*, vol. 13, no. 1, p. 7, 2018, doi: 10.14710/metana.v13i1.12578.
- [25]. R. Rimbawati, P. Harahap, and K. U. Putra, "Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-Umsu)," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 37–44, 2019, doi: 10.30596/rele.v2i1.3647.
- [26]. Rimbawati, N. Ardiansyah, and Noorly Evalina, "Voltage Control System Design," *Semnastek Uisu*, vol. 1, pp. 14–20, 2019.
- [27]. Jurnal Pribadi, "Motor Induksi," *Mot. Induksi Satu Fasa*, pp. 1-23 ,Teknik Elektro UNILAK Pekanbaru, 2017, [Online]. Available: <https://drive.google.com/file/d/1LhWupCcI2es1DbNUu6-jgf7G2UNzXK6p/view?usp=sharing>
- [28]. A. Setiawan, E. Sutoyo, and S. P. Sutisna, "Rancang Bangun Mekanisme Transmisi Pada Mobil Listrik Otonomm," *Almikanika*, vol. 1, no. 2, pp. 10–20, 2021, doi: 10.32832/almikanika.v1i2.4286.
- [29]. L. Ode Muhammad Syarif *et al.*, "Perancangan Transmisi Pulley Dan V-Belt Pada Mesin Chipper Kayu Pulley and V-Belt Transmission Designer on Wood Chipper Machine," vol. 2, no. 1, pp. 60–70, 2024.
- [30]. P. Harahap, I. Nofri, and S. Lubis, "PLTS 200 Wp to Meet Energy Needs at the Taqwa Muhammadiyah Mosque, Sei Litu Village, Sawit Sebrang Langkat District," *J. Innov. Community Engagem.*, vol. 1, no. 1, pp. 60–71, 2021, doi: 10.28932/jice.v1i1.3380.
- [31]. Naim M, *Buku Ajar Sistem Kontrol dan Kelistrikan Mesin*. Penerbit NEM, 2021.