TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH TORSI ALTERNATOR MOBIL SEBAGAI SUPLAY DAYA LISTRIK PADA INVERTER

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh:

AIDIL FAJAR

2007220051

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA MEDAN
2025

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Aidil Fajar

NPM : 2007220051

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Torsi Alternator Mobil Sebagai Suplay Daya Listrik Pada Inverter

Bidang Ilmu : Instrumentasi dan Sistem Kontrol

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 16 April 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing

Partaonan Harahap, S.T., M.T.

Dosen Penguji I

Dr. Rohana, S.T., M.T.

Dosen Peguji II

Muhammad Adam, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,

Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	: Aidil Fajar
Tempat/ Tanggal Lahir	: Mela, 23 Februari 2002
NPM	: 2007220051
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

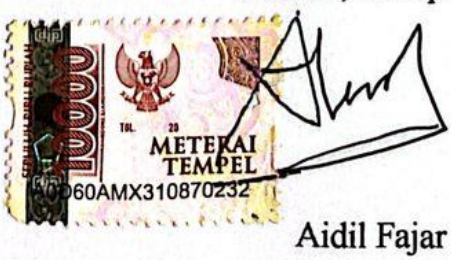
"Analisis Pengaruh Torsi Alternator Mobil Sebagai Suplay Daya Listrik Pada Inverter",

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 16 April 2025



Aidil Fajar

ANALISIS PENGARUH TORSI ALTERNATOR MOBIL SEBAGAI SUPLAY DAYA LISTRIK PADA INVERTER

ABSTRAK

Alternator mobil berperan penting dalam menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan torsi yang dihasilkan oleh mesin kendaraan. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap pengaruh torsi alternator terhadap suplai daya listrik pada inverter. Torsi yang dihasilkan oleh alternator sangat berpengaruh terhadap daya listrik yang dihasilkan, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara torsi, kecepatan putar, dan efisiensi daya listrik yang disuplai ke inverter.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengukuran torsi dan daya listrik pada berbagai kondisi beban serta variasi kecepatan putar alternator. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat ukur seperti multimeter, tachometer, dan osiloskop untuk memperoleh data yang akurat mengenai performa alternator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan torsi sebanding dengan peningkatan daya listrik yang dihasilkan, namun terdapat batas optimal di mana efisiensi alternator menurun jika torsi yang diberikan terlalu besar.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa torsi yang optimal dapat meningkatkan efisiensi suplai daya listrik ke inverter, sehingga alternator dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat dikembangkan sistem kelistrikan yang lebih efisien dan ramah lingkungan untuk mendukung kebutuhan energi di masa depan.

Kata Kunci: Alternator, Torsi, Inverter, Efisiensi, Suplai Daya Listrik.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CAR ALTERNATOR TORQUE AS A POWER SUPPLY ON AN INVERTER

ABSTRACT

Car alternators play an important role in generating electrical energy by utilizing the torque generated by the vehicle engine. In this study, an analysis was conducted on the effect of alternator torque on the supply of electrical power to the inverter. The torque generated by the alternator greatly affects the electrical power generated, so this study aims to determine the relationship between torque, rotational speed, and the efficiency of electrical power supplied to the inverter.

The methods used in this study include measuring torque and electrical power under various load conditions and variations in alternator rotational speed. Testing was carried out using measuring instruments such as a multimeter, tachometer, and oscilloscope to obtain accurate data on alternator performance. The results showed that the increase in torque was proportional to the increase in electrical power generated, but there was an optimal limit where the alternator efficiency decreased if the torque given was too large.

The conclusion of this study is that optimal torque can increase the efficiency of electrical power supply to the inverter, so that the alternator can be used as a sustainable alternative energy source. With this research, it is hoped that a more efficient and environmentally friendly electrical system can be developed to support future energy needs.

Keywords: Alternator, Torque, Inverter, Efficiency, Power Supply.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul "ANALISIS PENGARUH TORSI ALTERNATOR MOBIL SEBAGAI SUPLAY DAYA LISTRIK PADA INVERTER" sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU). Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang tua Bapak Jumari dan Ibu Lega Wati Sinaga terima kasih yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menuliskan tugas akhir ini.
2. Bapak Proft. Dr. Agussani, M.A.P., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.T selaku Sekertaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Partaonan Harahap, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulisan dalam menyelesaikan Tuhas Akhir ini.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

9. Penulis ucapkan terima kasih kepada Ahmad Fauzy S.Ap, Novriyansyah Winarto S.H selaku abang dan Putri Pariska selaku Adik yang mendukung dalam penulisan skripsi.
10. Penulis ucapkan terima kasih kepada Rara Dhelvyanita Siburian S.M yang telah membatu penulis dalam membuat tugas akhir.
11. Teman – teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2020.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-elektro.

Medan, 18 Maret 2025

Penulis

Aidil Fajar

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
KATA PENGANTAR ..... **iv**
DAFTAR ISI ..... **vi**
DAFTAR GAMBAR ..... **viii**
DAFTAR TABEL ..... **x**

BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
1.6 Sistematika Penulisan 4

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan 5
2.2 Alternator Mobil 6
2.2.1 Prinsip Kerja Alternator 7
2.2.2 Komponen Alternator 12
2.2.3 Pengaruh Torsi terhadap Kinerja Alternator 18
2.3 Sistem Kelistrikan Mobil 21
2.4 Daya Listrik dan Konversi Energi pada Alternator 21
2.4.1 Konsep Daya Listrik (Tegangan, Arus, dan Daya) 21
2.4.2 Efisiensi Alternator dalam Konversi Energi 22
2.4.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Alternator 23
2.5 Inverter sebagai Konversi Arus DC ke AC 24
2.5.1 Jenis-Jenis Inverter 25
2.5.2 Peran Inverter dalam Sistem Kelistrikan Mobil 26
2.5.3 Pengaruh Suplai Daya dari Alternator ke Inverter 27
2.6 Hubungan Torsi, Kecepatan, dan Daya pada Alternator 30
2.6.1 Konsep Torsi dan Kecepatan Putar 31
2.6.2 Hubungan antara RPM Alternator dan Output Daya Listrik 33
2.6.3 Dampak Variasi Torsi terhadap Suplai Daya ke Inverter 34

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN **36**
3.1 Desain Penelitian 36
3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan 36
3.2.1 Spesifikasi Alternator yang Digunakan 36
3.2.2 Spesifikasi Inverter yang Digunakan 38
3.2.3 Alat Ukur (Multimeter, Tachometer, Oscilloscope) 38
3.3 Proses Pengambilan Data 40
3.3.1 Pengukuran Torsi Alternator 40

3.3.2 Pengukuran Daya Listrik Tanpa Beban 41
3.3.3 Pengujian Daya Alternator dengan Beban Inverter 41
3.4 Metode Analisis Data 42
3.4.1 Perhitungan Efisiensi Alternator 42
3.4.2 Korelasi antara Torsi dan Daya Listrik 43
3.4.3 Analisis Stabilitas Daya Suplai pada Inverter 43
3.5 Diagram Alir Penelitian 45

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 46
4.1 Pengaruh Torsi Alternator terhadap Daya Listrik 46
4.1.1 Data Hasil Pengukuran Torsi dan Daya 46
4.1.2 Grafik Hubungan Torsi dan Daya Alternator 47
4.1.3 Analisis Hubungan Torsi dan Efisiensi Alternator 47
4.2 Pengukuran Daya dan Torsi Tanpa Beban 48
4.2.1 Data Hasil Pengukuran Daya Tanpa Beban 49
4.2.2 Analisis Performa Alternator dalam Kondisi Tanpa Beban 50
4.3 Analisis Kinerja Alternator dengan Inverter 52
4.3.1 Pengaruh Pemasangan Inverter terhadap Output Alternator 53
4.3.2 Pengaruh Inverter terhadap Efisiensi Alternator 53
4.3.3 Grafik Stabilitas Tegangan Alternator saat Terhubung ke Inverter 54
4.4 Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Torsi terhadap Daya 54
4.4.1 Hubungan RPM Alternator dan Output Tegangan 56
4.4.2 Grafik Perubahan Daya terhadap Variasi Kecepatan Putaran 57
4.4.3 Pengaruh Kecepatan Torsi terhadap Stabilitas Suplai Daya 57

BAB 5 PENUTUP 58
5.1 Kesimpulan 58
5.1.1 Hubungan antara Torsi Alternator dan Daya Listrik yang Dihasilkan 58
5.1.2 Efisiensi Alternator dalam Kondisi Tanpa Beban 58
5.1.3 Pengaruh Variasi Kecepatan Torsi terhadap Output Daya 58
5.1.4 Stabilitas Suplai Daya Alternator ke Inverter 58
5.2 Saran 58

DAFTAR PUSTAKA 60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alternator Konvensional.....6
Gambar 2.2 Altenator IC.....8
Gambar 2.3 Rangkaian Listrik dalam Alernator.....9
Gambar 2.4 Induksi Elektromagnet.....11
Gambar 2.5 Kaidah Tangan Kanan Flaming.....11
Gambar 2.6 Perpotongan Medan magnet.....12
Gambar 2.7 Output Arus yang Dihasilkan Konduktor.....12
Gambar 2.8 Pulley Alternator.....13
Gambar 2.9 Kipas Alternator.....13
Gambar 2.10 Rumah Alternator.....14
Gambar 2.11 Rotor Alternator.....15
Gambar 2.12 Strator Alternator.....15
Gambar 2.13 Carbon Brush Altenator.....16
Gambar 2.14 Ic Regular Altenator.....17
Gambar 2.15 Diodara Rectifier.....18
Gambar 2.16 Inverter.....25
Gambar 2.17 Bentuk gelombang pure sine wave (warna biru)
dan modified sine wave (warna oranye).....26
Gambar 2.18 Segitiga Daya.....29
Gambar 3.1 Perancangan Alat.....36
Gambar 3.2 Flowchart.....45
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Torsi dan Daya Alternator.....47
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Pada Alternator dengan Waktu.....49
Gambar 4.3 Grafik pengujian dengan beban daya kipas angin (20W).....51
Gambar 4.4 Grafik Pengujian Dengan Beban Daya Lampu Hanoch (45W).....52

Gambar 4.5 Grafik Stabilitas Tegangan Alternator saat Terhubung ke Inverter 54
Gambar 4.6 Grafik Perubahan Daya terhadap Variasi Kecepatan Putaran.....57

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pada Alternator dengan Waktu 48

Tabel 4.2 Pengukuran kecepatan putaran (Rpm) Tanpa Beban 49

Tabel 4.3 Pengukuran kecepatan putaran (Rpm)
diberi beban kipas angin 20 Watt 50

Tabel 4.3 Pengukuran kecepatan putaran (Rpm)
diberi beban lampu hanoch 45 Watt 50

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Pada Alternator Dengan Waktu 54

BAB 1

PENDAHULLUAN

1.1 Latar Belakang

Alternator merupakan salah satu part mobil yang punya peran penting. Peran alternator berkaitan dengan aliran listrik pada kendaraan yang berpengaruh pada performa mobil, lternator adalah komponen yang bertugas sebagai pembangkit listrik dalam setiap kendaraan termasuk mobil. Karena itu, alternator disebut juga sebagai dinamo ampere. Seperti dinamo pada umumnya, alternator menghasilkan dan menyalurkan arus listrik dalam kendaraan [1].

Alternator mobil berfungsi untuk menghasilkan listrik saat mesin mobil beroperasi. Dengan memanfaatkan torsi yang dihasilkan oleh mesin, alternator dapat memproduksi energi listrik yang diperlukan untuk berbagai aplikasi. Dalam konteks penelitian ini, torsi alternator menjadi faktor penting karena semakin tinggi torsi yang dihasilkan, semakin besar pula daya listrik yang dapat diproduksi.

Torsi merujuk pada gaya putar atau torsi yang harus diatasi atau diatasi oleh suatu mekanisme atau motor dalam suatu sistem. Hal ini digunakan untuk mengukur seberapa besar hambatan atau beban yang harus diatasi oleh komponen yang menghasilkan gerakan atau putaran. Besarnya torsi yang dapat di hasilkan oleh motor tergantung dengan besarnya beban yang ada pada motor. Torsi berhubungan dengan kemampuan motor untuk menerima beban, jadi torsi motor di pengaruhi oleh beban. Perubahan beban mengakibatkan perubahan kecepatan putar motor akibatnya terjadi perubahan torsi pada motor untuk menyesuaikan dengan torsi [2].

Torsi yang dihasilkan oleh alternator sangat berhubungan dengan kecepatan putaran dan beban yang diterima. Ketika beban meningkat, torsi juga akan meningkat, namun kecepatan putaran alternator cenderung menurun. Oleh karena itu, analisis pengaruh torsi terhadap output daya sangat penting untuk memahami seberapa efektif alternator dapat digunakan dalam sistem penyuplai listrik alternative [3].

Inverter berfungsi untuk mengubah energi listrik dari DC menjadi AC, yang lebih umum digunakan dalam banyak perangkat elektronik. Dengan memahami bagaimana torsi alternator mempengaruhi daya yang dihasilkan, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan alternator sebagai sumber daya bagi inverter. Hal ini sangat relevan dalam konteks kebutuhan energi alternatif yang terus meningkat dan keterbatasan sumber energi konvensional.

Dengan mengkaji hubungan antara torsi alternator dan kinerja inverter, kita dapat memperoleh wawasan lebih mendalam mengenai efisiensi sistem kelistrikan kendaraan, serta merancang sistem yang lebih optimal untuk mendukung berbagai aplikasi yang membutuhkan daya listrik dalam mobil, seperti sistem hiburan, pendingin udara, serta perangkat elektronik lainnya. Penelitian ini penting untuk menjawab tantangan di era kendaraan yang semakin mengandalkan teknologi listrik dan perangkat elektronik, serta untuk meningkatkan efisiensi dan daya tahan sistem kelistrikan kendaraan.

Alat ini dirancang untuk menghasilkan energy listrik secara berkelanjutan dengan memanfaatkan prinsip kerja alternator. Sistem ini menggunakan motor listrik awal pemicu pergerkan, kemudian energy mekanik yang dihasilkan diteruskan ke alternator untuk menghasilkan listrik. Listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk mensuplay daya keberbagai perngkat listrik, sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber listrik eksternal.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai potensi penggunaan alternator mobil dalam aplikasi penyuplai listrik alternatif dan bagaimana torsi berperan dalam efisiensi sistem tersebut. Melalui analisis ini, diharapkan dapat ditemukan solusi inovatif untuk memenuhi kebutuhan energi listrik secara lebih efisien dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Menghitung besar daya listrik dan torsi yang dihasilkan untuk suplay daya listrik pada inverter.

2. Berapa besar daya listrik dan torsi tanpa beban setelah disuplay daya listrik pada inverter.
3. Pengaruh kecepatan torsi terhadap daya yang dihasilkan untuk suplay daya listrik pada inverter .

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, dapat disimpulkan beberapa tujuan yaitu sebagai berikut:

1. Menganalisis hubungan antara besar daya listrik dan torsi yang dihasilkan oleh alternator mobil sebagai suplai daya listrik pada inverter.
2. Menghitung besar daya dan torsi tanpa beban setelah disupai daya listrik pada inverter, serta menganalisis hasilnya dalam konteks kinerja sistem keseluruhan.
3. Menganalisis pengaruh kecepatan torsi terhadap daya yang dihasilkan untuk suplai daya listrik pada inverter.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian tugas akhir ini lebih terarah dan tanpa mengurangi maksud dan tujuannya,maka ditetapkan ruang lingkup penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada torsi Alternator Mobil Sebagai Suplay Daya Listrik Pada Inverter
2. Daya yang dihitung adalah semua peralatan yang menggunakan energi listrik.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat membantu dalam mengoptimalkan penggunaan energi pada sistem pengisian mobil dengan menganalisis hubungan antara torsi alternator dan suplai daya listrik pada inverter. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang

hubungan ini, dapat dicapai efisiensi energi yang lebih baik.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebgai berikut:

1. BAB 1 Pendahuluan

   Bab ini berisi pembahasan mengenai latar belakang permasalahan yang menjadi topik pembahasan, rumusan masalah yang diangkat berdasarkan latar belakang yang didapatkan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir.
2. BAB 2 Tinjauan Pustakan

   Bab ini berisi teori – teori dasar yang menunjang pembahasan permsalahan dan teori pendukung lainnya yang relevan berdasarkan referensi yang berkaitan dengan pembahasan ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.
3. BAB 3 Metode Penelitian

   Bab ini menjelasakan tentang letak lokasi penelitian, fungus – fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan – tahapan yang dilakukan dalan pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah – langkah pengujian.
4. BAB 4 Analisis Dan Hasil Penelitian

   Bab ini, menjelaskan tentang analisishasil penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam pnelitian ini.
5. BAB 5 Penutup

   Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran – saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Listrik dikenal sebagai sumber energi pembawa, energi pembawa adalah suatu substansi atau sistem yang memindahkan energi dalam suatu bentuk dari satu tempat ke tempat yang lain. Listrik dibangkitkan oleh suatu pembangkit dari suatu energi primer dikonversikan dalam energi listrik. Sebagai contoh sumber energi primer adalah bahan bakar fosil (batubara, minyak bumi, dan gas alam) air, sinar matahari, angin, biomassa, dan lain-lain. Mulai tahun 1970-an, penggunaan energi fosil mulai dikurangi karena dampaknya yang tidak bersahabat dengan lingkungan dan jumlah ketersediaannya di alam yang semakin berkurang. Dan digantikan dengan sumber energi yang ramah lingkungan dan ketersediannya melimpah yang disebut energi terbarukan [4].

Energi listrik pada mobil induksi akan di konversi menjadi energi berguna berupa torsi putar dan menjadi energi terbuang, misalnya kerugian pada belitan, kerugian bantalan dan kerugian celah udara. Energi listrik diperoleh dari energi primer seperti energi fosil, gas, angin, air dan lain-lain. Energi listrik semakin hari akan semakin mahal karena pengaruh dari mahalnya energi primer. Upaya untuk mengurangi konsumsi energy listrik dimulai dengan beban utama yaitu motor induksi Untuk itu energi listrik yang, masuk ke dalam motor induksi harus dimanfaatkan secara maksimal untuk menjadi torsi putar. Efisiensi merupakan perbandingan antara energi berguna dengan energi masuk, sehingga harapannya motor induksi mempunyai efisiensi yang tinggi agar dapat mengubah energi listrik menjadi torsi putar yang besar [5].

Alternator mobil merupakan sebuah alat pembangkit tenaga listrik yang berfungsi sebagai pensupply energy listrik untuk kebutuhan kelistrikanmobil seperti lampu penerangan, lampu indicator,pengapian,injeksi bahan bakar dan peralatan

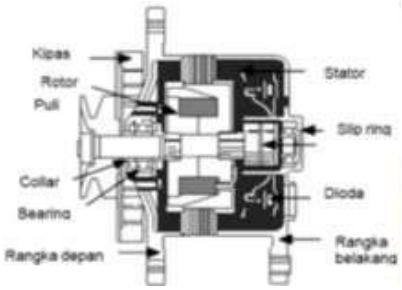
listriklainnya. Alternator mempunyai konstruksi yangsederhana, pada alternator mobil terdapat beberapakeuntungan bila dibandingkan dengan mesin listriklainnya. Keuntungannya adalah pada alternator ialah tidak terdapat bunga api antara sikat-sikat dan *slipring*, disebabkan tidak terdapat komutator yang dapat menyebabkan sikat menjadi aus. Rotornya lebihringan dan tahan terhadap putaran tinggi, dan *silicondiode* [6].

2.2 Alternator Mobil

Alternator atau sering juga disebut sebagai dinamo ampere adalah sebuah komponen pada mobil yang berfungsi untuk menghasilkan energi listrik bagi seluruh komponen kelistrikan yang ada di mobil tersebut. Selain itu, alternator juga berfungsi untuk mencas aki mobil [7].

Menurut (Boentarto, 1993), alternator adalah pembangkit listrik AC (arus bolak balik).Arus listrik yang dibangkitkan oleh alternator relatif lebih mampu mencukupi kebutuhan untuk menggerakkan peralatan tambahan yang sekarang ini banyak sekali dipasang pada mobil. Di samping itu juga dapat untuk memenuhi kebutuhan listrik pada putaran ideal. Alternator terdiri atas stator, rotor, bracket, rectifier (dioda) dan sikat-sikat. Seperti yang di gambarkan pada Gambar 2.1 alternator tidak memerlukan cut out relay yang berfungsi mencegah masuknya arus listrik dari baterai ke dinamo. Pada alternator cut out relay diganti dengan rectifier (dioda) yang berfungsi sebagai penyearah arus.

Dioda hanya dapat dialiri arus pada satu arah saja. Dioda dipasang pada bagian belakang alternator dekat dengan kipas. Kipas tersebut berfungsi untuk mendinginkan alternator dan dioda. Cara kerja sebuah alternator adalah mensuplay arus dari induksi magnet pada rotor coil dan stator yang menghasilkan arus bolak-balik dan menuju ke dioda untuk disearahkan. Setelah itu arus arus akan mengisi baterai sampai kondisi penuh, sehingga arus yang keluar akan di atur oleh regulator IC. Setelah sistem pengisian sudah penuh maka alternator akan menghentikan suplay arus listrik menuju baterai dengan menggunakan mekanisme cut out pada komponen alternator.



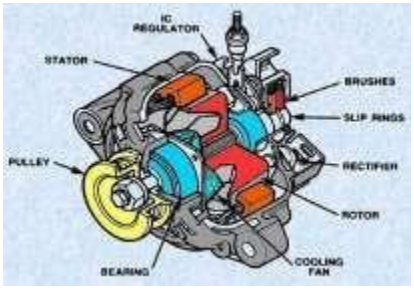
Gambar 2.1 Alternator Konvensional

Ada dua model alternator yaitu alternator dengan regulator diluar dan alternator dengan regulator menjadi satu unit atau sering disebut Integrated Circuit (IC) regulator. Untuk regulator dengan IC regulator, maka regulator menjadi satu unit dengan alternator dan dipasang di antara kumparan medan dan massa yang berfungsi untuk mengontrol arus yang mengalir di kumparan medan sehingga tegangan yang dihasilkan alternator menjadi tetap. Karena regulator menjadi satu maka alternator menjadi lebih kecil ukuran nya. Disamping itu karena regulator memakai komponen transistor dan dioda maka tenaga yang dihasilkan alternator menjadi lebih tinggi. Keuntungan lainya adalah tidak diperlukan penyetelan tegangan, tahan terhadap getaran yang lebih tinggi, tahan lama, dan mempunyai sifat kompensasi temperatur untuk kontrol tegangan yang dimiliki guna pengisian baterai dan suplai ke lampu.

Alternator membangkitkan listrik pada saat rotor berputar. Putaran rotor tersebut terjadi karena alternator dihubungkan dengan puli melalui sabuk. Sabuk alternator ada yang menjadi satu dengan kompresor dan ada pula yang dengan sabuk kipas radiator. Pada mobil jenis tertentu sabuk alternator ada yang terpisah dengan sabuk kipas radiator. Putusnya sabuk alternator pada jenis mobil tertentu dapat mengakibatkan motor menjadi mati. Oleh karena itu sabuk alternator harus sering diperiksa. Jika terlalu aus maka harus segera diganti. Ketegangan sabuk alternator berpengaruh terhadap arus yang dihasilkan. Sabuk alternator yang terlalu longgar akan mudah selip sehingga putaran alternator agak lambat dan arus yang dihasilkan menjadi berkurang. Sabuk alternator yang terlalu tegang mengakibatkan sabuk menjadi cepat rusak dan keausan bantalan pada alternator menjadi lebih cepat.

2.2.1 Prinsip Kerja Alternator

Alternator adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, prinsip dasar bekerja atas induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Walau generator dan motor punya banyak kesamaan, motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Alternator berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang didapatkan dari mesin menjadi tenaga listrik. Energi mekanik mesin dihubungkan oleh pulley yang memutarkan rotor sehingga membangkitkan arus bolak balik pada stator yang diubah menjadi arus searah oleh dioda. Bagian utama dari sebuah alternator seperti yang tergambar pada Gambar 2.1 terdiri dari sebuah rotor yang membangkitkan elektromagnetik, stator yang membangkitkan arus listrik dari dioda yang menyearahkan arus listrik. Sebagai tambahan terdapat pula brush yang mengalirkan arus ke rotor coil untuk membentuk garis gaya magnet, bearing untuk memperhalus putaran motor dan fan untuk mendinginkan rotor, stator, dan dioda. Dan juga regulator IC yang berfungsi untuk mengatur arus yang keluar dari alternator sehingga baterai terisi dengan tegangan dan arus yang sesuai atau sandart. Serta puli alternator yang berfungsi untuk meneruskan putaran dari putaran mesin menuju alternator yang menghasilkan induksi pada alternator sehingga dapat menghasilkan arus.



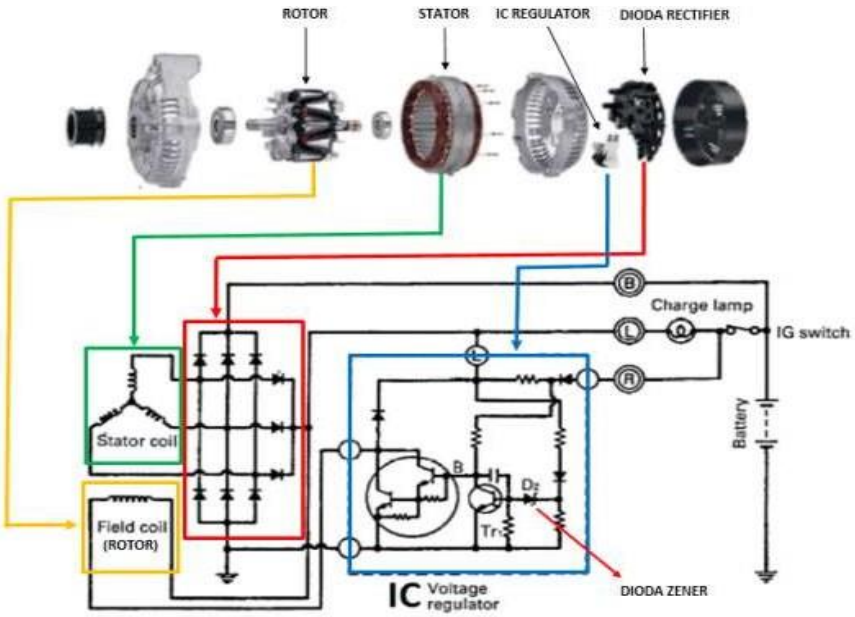
Gambar 2.2 Alternator IC

Secara garis besar , cara kerja altenator adalah menghasilkan arus listrik dari strator coil yang kemudian arus listrik tersebut diatur oleh IC regulator agar tengan listrik yang dihasilkan tidak berlebihan dan bisa digunakan dengan baik untuk

mengisu listril yang dihasilkan pada aki mobil dan sebagian digunakan komponen mobil yang lainnya [8].

Prinsip kerja alternator hampir sama dengan generator pembangkit DC. Hal ini merujuk pada hukum Faraday mengenai induksi elektromagnetik yakni; arus listrik diinduksi dalam konduktor dalam medan magnet ketika ada gerak relatif antara konduktor dan medan magnet. Pembangkit energi listrik, hampir kebanyakan dibangkitkan dengan menggunakan mesin sinkron. Generator sinkron (alternator), adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Generator sinkron dapat berupa generator sinkron tiga fasa atau generator sinkron AC satu fasa bergantung kebutuhan. Alternator tipe IC berfungsi untuk melakukan sistem pengisian pada baterai agar baterai kembali pada kondisi full charge. Alternator IC juga berbeda dengan alternator tipe konvensional yang menggunakan kontak point untuk mengatur arus output pada baterai. Pada alternator IC ini sudah menggunakan MIC yang berfungsi untuk mengatur arus yang mengisi baterai, supaya baterai tidak kekurangan ataupun kelebihan arus yang di hasilkan alternator.

Perhatikan pada rangkaian listrik didalam altenator pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.3 Rangkaian Listrik dalam Altenator

Berikut adalah cara kerja altenator mobil yang akan dijelaskan secara singkat:

1. Field coil / rotor coil mendapat arus listrik dari aki / batrai sehingga sehingga pada rotor coil timbul medan magnet.
2. Bila alternator diputar oleh mesin maka medan magnet pada rotor coil akan memotong konduktor pada coil, akibatnya akan muncul arus listrik pada stator coil.
3. Tegangan bolak-balik yang keluar dari stator coil kemudian diserahkan oleh diode sehingga menjadi arus searah.
4. Arus ini akan mengalir kedalam IC regulator agar tegangan yang dihasilkan bisa tetap stabil di kisaran 14,2 volt dan tetap bisa mengisi listrik di aki mobil.
5. Proses penstabilan tegangan listrik dilakukan oleh IC regulator adalah dengan memanfaatkan diode zener sebagai pemutus dan penghubung tegangan di IC regulator.
6. Ketika dioda zener dalam posisi mengalirkan listrik (ON) maka arus listrik yang mengalir ke field coil /rotor coil terputus, efeknya tidak ada medan magnet sehingga stator berhenti menghasilkan arus listrik.
7. Terhentinya arus listrik dari stator coil akan menyebabkan tegangan yang menuju dioda zener menjadi berkurang, akibatnya dioda zener kembali menjadi off (listrik tidak mengalir), hal ini akan membuat listrik menuju field coil / rotor coil kembali mengalir sehingga kembali terjadi medan agnet dan membuat stator coil menghasilkan arus listrik kembali.
8. Begitulah seterusnya proses pengaturan tegangan listrik yang dihasilkan oleh alternator akan terus berulang.

Hampir semua sistem kelistrikan pada kendaraan menggunakan arus listrik DC. Sebagai sumbernya digunakan baterai yang jika digunakan secara terus menerus, maka arus yang tersimpan dalam baterai akan habis. Untuk mengganti arus baterai yang digunakan oleh sistem kelistrikan diperlukan sistem pengisian *(charging system)*.

Sistem pengisian atau *charging system* akan memproduksi listrik untuk mengisi kembali baterai dan menyuplai kelistrikan ke komponen yang memerlukannya pada waktu mesin dihidupkan.

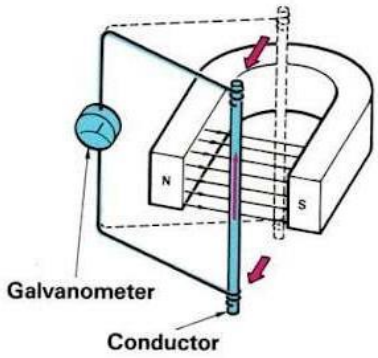
1) Prinsip Pembangkit Kelistrikan

a) Induksi Elektromagnet

Bila sebuah konduktor digerakkan melintasi bidang magnet, maka di dalam konduktor tersebut terdapat electromotive force (emf) atau gaya gerak listrik. Bila konduktor membentuk bagian sirkuit yang sangat dekat maka gaya gerak listrik yang dihasilkan akan. mengalirkan arus mengelilingi sirkuit. Disini gaya gerak listrik di biaskan "induced" ke dalam konduktor sebagai hasil dari gerakan melintasi bidang magnet. Efek dari reaksi tersebut dikenal sebagai induksi elektromagnet.

Tiga hal yang diperlukan untuk induksi electromagnet, yaitu:

1. Jumlah garis magnet memotong *coil*
2. Gerakan relatif antara medan magnet dan konduktor
3. Kecepatan konduktor melalui medan magnet

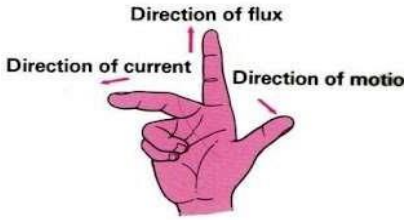


Gambar 2.4 Induksi Elektromagnet

b. Arah gaya gerak listik

Arah gaya gerak listrik yang dibangkitkan di dalam penghantar diantara medan magnet bervariasi mengikuti arah perubahan garis gaya magnet dan gerakan

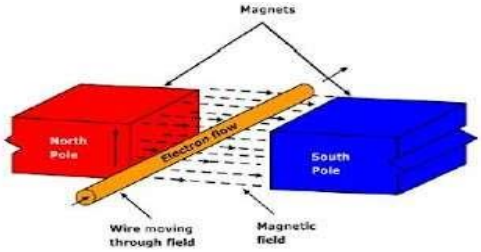
penghantar. Arah garis gaya magnet dapat dipahami dengan menggunakan hukum tangan kanan Fleming *(Fleming's Right-hand Rule)*



Gambar 2.5 Kaidah Tangan Kanan Flaming

Dengan ibu jari, telunjuk dan jari tengah kanan dibuka dengan sudut yang tepat satu sama lain, maka telunjuk akan menunjukkan garis gaya magnet, ibu jari menunjukkan arah gerakan penghantar dan jari tengah menunjukkan arah gaya gerak listrik.

c. Besar Gaya Listrik



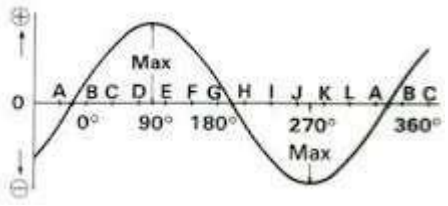
Gambar 2.6 Perpotongan Medan Magnet

Besarnya gerak listrik yang dibangkitkan pada saat penghantar memotong (melewati) garis gaya magnet diantara medan magnet sebanding dengan banyaknya garis gaya magnet yang dipotong pada suatu satuan waktu.

Bila penghantar digerakkan dengan jalan melingkar dalam medan magnet, maka akan berubah secara konstan. Pada gambar dibawah ini, penghantar digerakkan dalam lingkaran dengan kecepatan tetap dari titik A ke L antara kutub magnet utara dan selatan. Dalam hal ini jumlah garis gaya magnet terbesar dipotong antara titik D dengan E dan antara titik J dengan K, tetapi tidak ada garis gaya yang dipotong antara

A dengan B atau G dengan H.

Jadi gaya gerak listrik yang dibangkitkan pada saat penghantar digerakkan dalam lingkaran dinyatakan dalam sebuah grafik, dapat dilihat bahwa keberadaan gaya ini secara tetap mengalami perubahan. Arah arus yang dibangkitkan oleh gaya gerak listrik ini akan berubah setiap setengah putaran penghantar.



Gambar 2.7 Output Arus yang Dihasilkan Konduktor

2.2.2 Komponen Alternator

Dalam altenator mempunyai beberapa komponen yang sangat penting sebagai berikut:

1. Pulley

Pulley berfungsi untuk meneruskan tenaga putar mesin yang dihubungkan dengan belt dan disalurkan ke poros rotor.

Gambar 2.8 Pulley Altenator

2. Kipas *(fan)*

Seperti halnya kipas pada umumnya, kipas ini juga berfungsi sebagai pendingin, yakni untuk mendinginkan komponen – komponen yang berbeda didalam altenator.

Gambar 2.9 Kipas Altenator

3. Rumah Altenator

Rumah altenator berfungsi sebagai kerangka luar yang memegang bagian – bagian dalam altenator, selain itu juga memiliki saluran udara untuk meningkatkan efisiensi pendinginan.

Gambar 2.10 Rumah Altenator

4. Speacer

Speacer berfungsi untuk memberi jarak, anatara kipas dan bantalan sehingga kipas tidak menggesek rangka depan.

5. Bantalan (bearing)

Bantalan ini berfungsi untuk dudukan ujung ujung rotor sebagai tumpuan erputar dan juga untuk mengurangi gesekan antara poros rotor dengan rumah depan dan rumah belakang.

6. Slepring atau Cincin geser

Dibuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahasn isolasi. Slepring ini berputar secara bersama – sama dengan poros as dan rotor. Banyaknya splering ada 2 dan tiap – tiap slepring dapat menggeser borstal positif dan borstal negative, guna penguatan *(Excitation Current)* ke lilita magnit pada rotor.

7. Rotor

Rotor dalam altenator merupakan komponen yang berputar, rotor berfungsi untuk membangitkan medan magbnet. Rotor berputar bersama poros, karena gerakannya maka disebut altenator dengan medan magnet berputar. Rotor terdiri dari : inti kutup *(pole core),* kumparan medan, slip ring, poros dan lain – lain. Inti lutup berbentuk seperti cakar dan didalamnya terdapat kuparan medan.

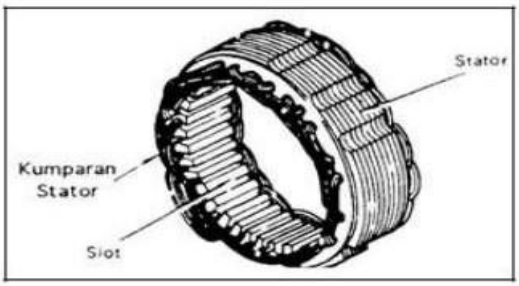
Gambar 2.11 Rotor Altenator

8. Strator

Strator terdiei dari strator *(core)* inti dan kumparan strator dan diletakkan pada *(Frame)* depan dan belakang. Strator *(core)* dibuat dari beberapa lapisan plat besi tipis dan mempunyai alur pada bagian dalamnya untuk menempatkan kumparan strator.

Stator *(core)* ini akan mengalirkan flux magnet yang disuplai oleh inti rotor sedemikian rupa sehingga flux magnet akan menghasilkan efek yang maksimum pada saat melalui kumparan stator.

Jumlah alur ini berbeda – beda menurut jumlah kutub magnet dan kumparan. Ada 3 kumparan stator yang terpisah pada stator (core). Hubungan pada kumparan stator bisa Y atau . Tapi hubungan Y adalah yang paling populer saat ini.



Gambar 2.12 Strator Altemator

9. Sikat Arang (Carbon Brush)

Sikat arang berfungsi mengalirkan arus dari ic regulator menuju gulungan rotor slip rings, sikat didalam alternator selalu menempel pada slip ring. Ketika rotor coil berputar maka slip ring juga akan ikut berputar sehingga terjadi gesekan antara slip ring dengan sikat, akibatnya sikat lamakelamaan akan mengalami keausan.

Kontak antara sikat dengan slip ring harus baikagar listrik dapat mengalir dengan baik. Oleh sebab itu menjaga kontak antara sikat dengan slip ring agar tetap baik maka pada sikat dilengkapi dengan pegas. Pegas ini berfungsi untuk menekan sikat agar selalu berhubungan dengan slip ring.

Gambar 2.13 Carbon Brush Altenator

10. IC Regulator

Fungsi IC regulatordinamo ampere ini adalah mengatur besarnya arus listrik yang dibangkitkan dan disalurkan pada sistem kelistrikan mobil. Regulator akan mengatur tingkat / level sistem pengisian tegangan. Ketika sistem pengisian tegangan dibawah dari yang ditentukan, regulator akan meningkatkan arus listrik tegangan, yang akan berakibat terciptanya arus magnet yang kuat, hasilnya akan meningkatnya output alternator.

Ketika sistem pengisisan tegangan fungsi IC regulator dinamo (ampere) ini adalah mengatur besarnya arus listrik yang dibangkitkan dan disalurkan pada sistem kelistrikan mobil. Regulator akan mengatur tingkat / level sistem pengisian tegangan. Ketika sistem pengisian tegangan dibawah dari yang ditentukan, regulator akan meningkatkan arus listrik tegangan, yang akan berakibat terciptanya arus magnet

yang kuat, hasilnya akan meningkatnya output alternator.

Ketika sistem pengisisan tegangan diatas yang ditentukan, regulatorakan menurunkan arus listrik tegangan, dan membuat arus magnet menjadi lemah, hasilnya output alternator yang semakin kecil. Regulator mengatur tegangan aki, dan juga mengatur arus yang mengalir ke rangkaian rotor. Rangkaian rotor menghasilkan arus magnet tegangan yang dihasilkan diinduksi di stator. Mengapa perlu IC regulator? Suplai listrik yang dihasilkan oleh sebuah dinamo amper bervariasi tergantung kebutuhan, misalnya kebutuhan listrik untuk menyalakan lampu, ac mobil, audio mobil, instrument mobil bahkan komputer mobil.

Kebutuhan listrik mobil bervariasi oleh sebab itu IC regulator bertugas mengatur berapa besar arus listrik yang akan di suplai. Biasanya sebuah dinamo amper toyota starlet memiliki kemampuan membangkitkan atau menyuplai arus listrik antara 35 hingga 40 amper. Pada mobil era tahun 80-an dimana dinamo ampere belum menggunakan IC regulator, biasanya yang mengatur arus listrik adalah (cut out), dinamakan (cut out) karena memang alat ini akan memutus pembangkit listrik saat listrik pada aki sudah penuh.

Kekurangan dari (cut out) ini adalah kurang akurat mengatur suplai arus listrik dan sering rusak karena mengandalkan kontak mekanis yang sering cepat aus seperti platina. Regulator adalah otak dari sistem pengisian. Regulator mengatur keduanya baik itu voltase aki dan voltase stator, dan tergantung dari kecepatan putaran mesin,regulator akan mengatur Kemampuan kumparan rotor untuk menghasilkan (output) alternator. Regulator dapat diganti baik itu internal regulator atau eksternal dewasa ini rata rata semuanya sudah memakai internal regulator.

Gambar 2.14 Ic Regular Altenator

11. Dioda Rectifier

Rangkaian Dioda bertanggung jawab atas konversinya tegangan AC ke tegangan DC 6 atau 8 dioda digunakan untuk mengubah tegangan stator AC ke tegangan DC. Setengah dari dioda tersebut digunakan dalam kutub positif dan setengahnya lagi dalam kutub negatif. Dioda (rectifier) berfungsi untuk menyearahkan arus listrik. Didalam alternator terdapat 2 buah (rectifier), yaitu (rectifier negative) dan (rectifier positife). Rectifier positif ditandai dengan adanya terminal B pada alternator.

Gambar 2.15 Diodara Rectifier

2.2.3 Pengaruh Torsi terhadap Kinerja Alternator

Alternator adalah perangkat elektromekanis yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dalam bentuk arus bolak-balik (AC). Salah satu parameter penting yang memengaruhi kinerja alternator adalah torsi yang diberikan pada porosnya. Torsi ini biasanya dihasilkan oleh mesin penggerak, seperti mesin pembakaran dalam atau motor listrik.

1. Hubungan Torsi dan Kecepatan Putar

Torsi yang diterapkan pada poros alternator berperan langsung dalam menentukan kecepatan putaran rotor. Berdasarkan hubungan dasar dalam mekanika rotasi:

$$Torsi = J \times \alpha \quad \text{...}(1)$$

Di mana:

- J = momen inersia rotor
- α/alpha = percepatan sudut

Peningkatan torsi akan meningkatkan percepatan sudut, yang pada akhirnya meningkatkan kecepatan putaran rotor. Dalam alternator, kecepatan putaran rotor berbanding lurus dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang dihasilkan.

2. Pengaruh Torsi terhadap Tegangan dan Frekuensi

Tegangan yang dihasilkan alternator bergantung pada kecepatan putaran rotor dan medan magnet yang dihasilkan oleh arus eksitasi. Dengan meningkatnya torsi, kecepatan rotor meningkat, sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi. Hubungan ini dapat dirumuskan sebagai:

$$E=k\times\Phi\times N \quad \text{.....(2)}$$

Di mana:

- E= tegangan induksi
- + = konstanta mesin
- Φ = fluks magnetic
- N= kecepatan putar rotor

Selain itu, frekuensi keluaran listrik yang dihasilkan alternator juga bergantung pada kecepatan putaran rotor:

$$F=P\times N/120 \quad \text{.....(3)}$$

Di mana:

- f = frekuensi keluaran (Hz)
- P = jumlah kutub magnetik rotor
- N = kecepatan putar rotor (RPM)

3. Pengaruh Torsi terhadap Daya Keluaran

Daya keluaran alternator juga dipengaruhi oleh torsi yang diberikan pada porosnya. Hubungan antara torsi, daya, dan kecepatan putar dirumuskan sebagai:

$$P=T\times\omega \quad \text{.....(4)}$$

Di mana:

- P = daya mekanik yang masuk ke alternator (Watt)
- T = torsi (Nm)
- ω= kecepatan sudut rotor (rad/s)

Dengan meningkatnya torsi, daya mekanik yang diterima alternator akan meningkat, memungkinkan alternator untuk menghasilkan daya listrik yang lebih besar.

4. Pengaruh Torsi terhadap Efisiensi

Torsi yang optimal akan mendukung operasi alternator pada titik efisiensi tertinggi. Namun, torsi yang berlebihan dapat menyebabkan rugi-rugi mekanis, peningkatan suhu, dan potensi kerusakan mekanis pada komponen rotor dan bantalan. Sebaliknya, torsi yang terlalu rendah akan mengakibatkan penurunan daya keluaran dan efisiensi karena rotor tidak berputar pada kecepatan optimalnya. Torsi memegang peran krusial dalam menentukan kecepatan putar rotor, tegangan keluaran, frekuensi, daya, serta efisiensi keseluruhan dari alternator. Pengaturan torsi yang optimal sangat penting untuk mencapai kinerja yang maksimal dari alternator tanpa mengorbankan keandalan dan umur pakai perangkat.

Apakah Anda ingin menambahkan beberapa studi kasus atau contoh perhitungan? Saya bisa membuatkannya juga.

2.3 Sistem Kelistrikan Mobil

Alternator adalah perangkat yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Sistem kelistrikan alternator memegang peranan penting dalam mendukung kinerja perangkat ini, memastikan proses pembangkitan listrik berjalan optimal dan stabil.

Proses dimulai saat energi mekanik diberikan pada poros alternator, yang menggerakkan rotor. Rotor ini membawa medan magnet yang berputar di dalam stator. Stator sendiri berisi lilitan kawat tembaga yang diam, dan ketika medan magnet berputar melintasi lilitan tersebut, arus listrik bolak-balik (AC) pun dihasilkan sesuai dengan hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik.

Agar arus listrik yang dihasilkan bisa digunakan untuk mengisi baterai atau menyuplai beban, arus bolak-balik ini perlu diubah menjadi arus searah (DC). Proses ini dilakukan oleh rangkaian penyearah yang terdiri dari beberapa dioda. Setelah itu, tegangan listrik yang dihasilkan diatur oleh regulator tegangan untuk memastikan output tetap stabil, meskipun terjadi perubahan pada beban atau kecepatan putaran rotor.

Torsi yang diberikan pada poros alternator berpengaruh langsung terhadap kinerja sistem. Ketika torsi meningkat, kecepatan putaran rotor bertambah, menghasilkan tegangan dan arus listrik yang lebih besar. Sebaliknya, jika torsi menurun, daya yang dihasilkan akan berkurang, menyebabkan pasokan listrik menjadi tidak mencukupi untuk kebutuhan beban.

2.4 Daya Listrik dan Konversi Energi pada Alternator

Daya listrik yang dihasilkan oleh alternator kemudian dialirkan ke berbagai komponen sistem kelistrikan. Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi dan penyedia daya saat alternator tidak aktif. Sementara itu, regulator tegangan terus memantau keluaran listrik dan menyesuaikan arus eksitasi rotor agar tegangan yang diberikan pada beban tetap stabil.

2.4.1 Konsep Daya Listrik (Tegangan, Arus, dan Daya)

Daya listrik didefenisikan laju hantaran energi listrik dalam sirkuit listrik. Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Peranti mengkonversi kerja ini ke dalam berbagai bentuk yang berguna, seperti panas, cahaya, energi kinetik, dan suara [13].

Listrik Arus bolak-balik listrik AC adalah arus listrik dimana besarnya dan arahnya arus berubah-ubah secara bolak-balik. Berbeda dengan listrik arus searah dimana arah arus yang mengalir tidak berubahubah dengan waktu. Bentuk gelombang dari listrik arus bolak-balik biasanya berbentuk gelombang sinusoida, karena ini yang memungkinkan pengaliran energi yang paling efisien. Namun dalam aplikasi-aplikasi spesifik yang lain, bentuk gelombang lain pun dapat digunakan, misalnya bentuk gelombang segitiga *(triangular wave)* atau bentuk gelombang segi empat *(square wave*) [14].

Secara umum, listrik bolak-balik berarti penyaluran listrik dari sumbernya misalnya PLN ke kantor-kantor atau rumah-rumah penduduk. Namun ada pula contoh lain seperti sinyal-sinyal radio atau audio yang disalurkan melalui kabel, yang juga merupakan listrik arus bolak-balik. Di dalam aplikasiaplikasi ini, tujuan utama yang paling penting adalah pengambilan informasi yang termodulasi atau terkode di dalam sinyal arus bolak-balik tersebut. Dan dirumuskan sebagai berikut:

$$P = V \cdot I \quad \text{.....(5)}$$

Dimana:

P = adalah daya (watt atau W)

I = adalah arus (ampere atau A)

V = adalah perbedaan potensial (volt atau V)

2.4.2 Efisiensi Alternator dalam Konversi Energi

Alternator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar di dalam stator. Pergerakan ini memotong lilitan kawat pada stator, menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) yang kemudian membangkitkan arus listrik. Energi mekanik yang diberikan pada poros alternator sebagian besar dikonversi menjadi energi listrik, namun sebagian lainnya hilang dalam bentuk panas, gesekan, dan rugi-rugi magnetik.

Efisiensi alternator (η\eta) didefinisikan sebagai perbandingan antara daya listrik keluaran (PoutP_{out}) dengan daya mekanik yang masuk (PinP_{in}). Secara matematis dapat dirumuskan sebagai:

$$\eta = Pout / Pin \times 100\% \quad (6)$$

Dengan:

Pin= Torsi (TT) × Kecepatan Sudut (ω\omega)

Pout = Tegangan (VV) × Arus (II) × Faktor Daya (cos⁡θ\cos \theta)

2.4.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Alternator

Faktor yang mempengaruhi efisiensi alternator adalah sebagai berikut:

a**.** Rugi-rugi Tembaga (Copper Loss):

Terjadi akibat resistansi pada lilitan kawat stator dan rotor yang menghasilkan panas saat arus mengalir. Besarnya rugi-rugi ini sebanding dengan kuadrat arus listrik:

$$Pcu = I2 \times R \quad (7)$$

b**.** Rugi-rugi Inti (Iron Loss):

Disebabkan oleh histeresis magnetik dan arus eddy (arus pusar) dalam inti besi stator. Rugi-rugi ini meningkat seiring bertambahnya frekuensi dan fluks magnet.

c. Rugi-rugi Mekanis:

Meliputi gesekan pada bantalan (bearing) dan hambatan udara akibat perputaran rotor.

d. Beban dan Torsi:

Pada beban optimal, efisiensi cenderung tinggi. Namun, jika torsi yang diterapkan terlalu rendah atau terlalu tinggi, efisiensi menurun akibat ketidakseimbangan antara energi yang masuk dan keluaran yang dihasilkan.

1. Upaya Meningkatkan Efisiensi
    a) Optimasi Desain Rotor dan Stator: Meminimalkan rugi-rugi magnetik dan memperbaiki aliran fluks.
    b) Penggunaan Material Berkualitas: Seperti kawat tembaga dengan resistansi rendah dan inti besi silikon yang mengurangi rugi-rugi histeresis.
    c) Sistem Pendinginan yang Baik: Untuk mengurangi panas berlebih yang dapat menurunkan efisiensi.
    d) Kontrol Kecepatan Putar: Menjaga kecepatan rotor agar tetap pada kisaran optimal untuk menghasilkan tegangan dan frekuensi yang stabil.

Efisiensi alternator dalam konversi energi sangat dipengaruhi oleh faktor mekanis, elektrik, dan desain perangkat itu sendiri. Dengan meminimalkan berbagai rugi-rugi yang terjadi selama proses konversi, kinerja alternator dapat ditingkatkan secara signifikan. Alternator yang efisien tidak hanya menghasilkan lebih banyak daya listrik, tetapi juga mengurangi konsumsi energi dan memperpanjang usia perangkat.

2.5 Inverter sebagai Konversi Arus DC ke AC

Inverter adalah suatu peralatan elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah

tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah dan kemudian dijadikan tegangan bolak balik lagi dengan frekuensi yang telah dirubah sehingga motor dapat dikontrol sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Inverter seringkali disebut sebagai Variabel Speed Drive (VSD) atau Variable Frequency Drive (VFD). Fungsi dari VFD adalah untuk mengontrol energi dari supply utama ke proses melalui shaft motor listrik, dengan cara mengontrol dua besaran, yaitu torque dan kecepatan dengan menggunakan frekuensinya [16].

Perkembangan teknologi elektronika yang semakin pesat menjadikan inverter menjadi sebuah kebutuhan di era modern seperti sekarang. Kebutuhan manusia yang besar terhadap energi listrik, menjadikan peralatan konversi energi listrik merupakan kebutuhan yang tidak bisa ditinggalkan. Inverter digunakan untuk menggerakkan peralatan listrik yang membutuhkan catu daya AC, sedangkan sumber yang tersedia adalah listrik DC.

Gambar 2.16 Inverter

2.5.1 Jenis-Jenis Inverter

Inverter adalah perangkat elektronik yang berfungsi mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) pada frekuensi dan tegangan tertentu. Berdasarkan karakteristik gelombang keluarannya, konfigurasi rangkaian, serta aplikasi penggunaannya, inverter diklasifikasikan menjadi beberapa jenis utama: 1. Inverter Pure Sine-wave

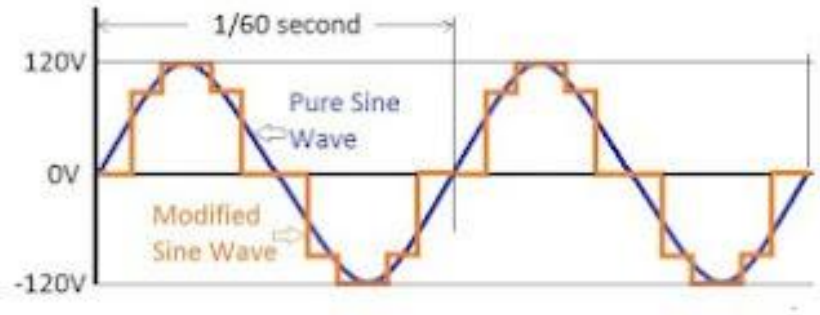
Pure Sine Wave atau true sine wave merupakan gelombang inverter yang hampir menyerupai bahkan lebih baik dibandingkan dengan gelombang sinusoida

sempurna pada jaringan listrik dalam hal ini PLN. Dengan total harmonic distortion (THD) < 3% sehingga cocok untuk semua alat elektronik, oleh sebab itu inverter pure sine wave juga disebut (clean power supply). Teknologi yang digunakan inverter jenis ini umumnya disebut pulse width modulation (PWM) yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC dengan bentuk gelombang yang hamper sama dengan gelombang sinusoida.

2. Inverter Modified Sine-wave

Modified sine wave disebut juga “Modified Square Wave” atau (Quasy Sine Wave) karena gelombang modified sine wave hampir sama dengan square wave, namun pada modified sine wave outputnya menyentuh titik 0 untuk beberapa saat sebelum pindah ke positif atau negatif. Selain itu karena modified sine wave mempunyai harmonic distortion yang lebih sedikit disbanding square wave maka dapat dipakai untuk beberapa alat listrik seperti computer, tv, lampu namun tidak bias untuk beban-beban yang lebih sensitive.

Dalam gelombang sinus dimodifikasi, tegangan naik dan turun tiba-tiba, sudut fase juga berubah tiba-tiba dan berhenti di 0 Volts untuk beberapa waktu sebelum mengubah polaritas.[1]



Gambar 2.17 Bentuk gelombang pure sine wave (warna biru)
dan modified sine wave (warna oranye)

2.5.2 Peran Inverter dalam Sistem Kelistrikan Mobil

Dalam sistem kelistrikan mobil modern, khususnya pada kendaraan listrik (EV) dan hibrida (HEV), inverter memegang peranan penting dalam proses konversi energi dan pengendalian daya. Inverter menjadi jembatan utama yang memungkinkan energi listrik dari baterai digunakan untuk menggerakkan motor listrik dan mendukung berbagai sistem kelistrikan lainnya. Baterai pada mobil listrik atau hibrida menyimpan energi dalam bentuk arus searah (DC). Namun, motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan umumnya memerlukan arus bolak-balik (AC). Inilah fungsi utama inverter: mengubah arus DC dari baterai menjadi arus AC yang sesuai untuk motor listrik. Selain itu, inverter juga mengatur frekuensi dan amplitudo arus AC untuk mengontrol kecepatan dan torsi motor.

a. Fungsi Utama Inverter dalam Mobil

1. Konversi Daya DC ke AC:

   Inverter mengubah tegangan DC dari baterai menjadi AC yang digunakan untuk menggerakkan motor listrik. Proses ini sangat penting karena motor induksi dan motor sinkron memerlukan suplai arus AC untuk beroperasi.

2. Kontrol Kecepatan dan Torsi Motor:

   Dengan mengatur frekuensi dan amplitudo arus AC, inverter mengendalikan kecepatan putar dan torsi motor. Semakin tinggi frekuensi arus yang dikirimkan, semakin cepat motor berputar. Sebaliknya, torsi motor diatur dengan mengontrol besarnya arus yang dialirkan.

2. Regenerasi Energi (Regenerative Braking):

   Inverter juga berperan dalam sistem pengereman regeneratif. Saat mobil melambat atau melakukan pengereman, motor listrik berfungsi sebagai generator yang mengubah energi kinetik kembali menjadi energi listrik. Inverter kemudian mengubah arus AC yang dihasilkan oleh motor menjadi arus DC untuk mengisi ulang baterai.

3. Distribusi Daya untuk Sistem Kelistrikan Lain:

   Selain untuk motor penggerak, inverter juga mendukung distribusi daya ke berbagai komponen listrik lain di mobil, seperti sistem pendinginan, lampu, dan perangkat elektronik lainnya. Dalam beberapa desain, inverter juga digunakan untuk menyuplai daya ke inverter aksesori yang mengubah tegangan tinggi menjadi tegangan rendah untuk perangkat elektronik berdaya kecil.

2.5.3 Pengaruh Suplai Daya dari Alternator ke Inverter

Daya dengan satuan Joule/detik atau watt disebut sebagai daya aktif. Simbolnya adalah P. Daya aktif adalah daya sebenarnya yang dihamburkan atau dipakai oleh beban. Daya aktif dihitung sebagai berikut:

$$P = V \cdot I \cos \varphi \quad \text{.....(8)}$$

Keterangan :

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (I)

cos φ = Faktor Daya

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja. Daya reaktif Satuannya adalah VAR (Voltampere – reactive). Daya reaktif (Q) ini merupakan jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet, daya reaktif juga dipahami sebagai daya yang tidak dihamburkan oleh beban atau dengan kata lain merupakan daya yang diserap namun dikembalikan ke sumbernya. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain – lain.Daya reaktif dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad \text{.....(8)}$$

Keterangan :

Q = Daya Reaktif (VAR)

sin φ = Faktor Reaktif

Daya Tampak (Apparent Power) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan root mean square (rms) dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya nyata adalah VA. Daya tampak dapt dihitung sebagai berikut:

$$S = V \cdot I \quad \text{.....(9)}$$

Keterangan :

S = Daya Semu (VA)

V = Tengangan (Volt)

I = Arus Listruk (Ampere)

Faktor daya atau yang biasanya disebut cos θ adalah perbandingan antara daya aktif (Watt) dengan daya semu (VA). Sudut fasa θ muncul akibat adanya selisih fasa antara fasa tegangan dan fasa arus, jika rangkaian bersifat induktif maka fasa arus akan tertinggal dari fasa tegangan, jika rangkaian bersifat kapasitif maka fasa arus akan mendahului fasa tegangan, sedangkan jika rangkaian bersifat resistif maka arus akan sefasa dengan tegangan sehingga sudut fasa θ = 0. Kemudian setelah nilai tegangan, arus dan daya diketahui maka faktor daya *power factor* (Cos θ) dapat dihitung sebagai berikut:

$Pf = \cos \varphi = P/S$

$P = VI = S$

$Pf = \cos \varphi = P/S = 1$

Dengan adanya sudut fasa θ maka akan muncul sebuah besaran yang disebut Faktor daya atau power factor (pf) yang merupakan nilai cosinus dari besar sudut fasa θ. Faktor daya (p.f) sering digunakan sebagai indikator baik atau buruknya pasokan daya pada sebuah sistem. Nilai power factor tidak akan lebih besar dari satu (1), jika nilai power factor semakin mendekati 1 maka akan semakin baik bagi sistem. Hubungan antara ketiga jenis daya diatas dapat dijelaskan dengan sketsa segitiga daya

seperti ditunjukan pada gambar berikut:

Gambar 2.18 Segitiga Daya

Pada rangkaian induktif, arus tertinggal dari tegangan, oleh sebab itu rangkaian ini memiliki faktor daya tertingggal atau lagging. Sedangkan pada rangkaian kapasitif, arus mendahului tegangan, oleh sebab itu rangkaian ini memiliki faktor daya mendahului atau leading. [15]

Dari sini selain daya semu UI (va) yang diserap oleh beban pada kenyataan terdapat juga faktor, faktor ini disebut faktor daya *(power factor).* Hubungan vektoris antara daya nyata (watt) dan daya voltampere diperlihatkan dalam segitiga daya pada Gambar 2.13.

Segitiga daya dalam Gambar 2.13 diperoleh dari segitiga impedansi yaitu dengan mengalikan masing-masing sisinya dengan arus kuadrat. Proyeksi horizontal dari daya voltampere (VA) adalah daya nyata (watt), sedangkan proyeksi vertikalnya adalah daya voltampere reaktif (VAR) Peralatan-peralatan suplai listrik seperti alternator dan transformator, rating dayanya tidak dinyatakan dalam satuan kilowatt karena beban-beban yang dilayaninya memiliki faktor daya bermacam-macam.
Persamaan faktor daya dapat dilihat pada persamaan berikut :

$P = \sqrt{3} .V.I.\text{Cos } \varphi,$

$P = S . \text{Cos } \varphi$

$S = \sqrt{3}.V.I$

Dimana :

Cos φ = Faktor Daya,

P = Daya aktif (KW) dan S = Daya semu (KVA)

2.6 Hubungan Torsi, Kecepatan, dan Daya pada Alternator

Torsi adalah kesetaraan rotasi gaya linier. Kecepatan mengukur jarak yang ditempuh dalam satuan waktu. Hubungan antara torsi dan kecepatan berbanding terbalik satu sama lain. Torsi benda yang berputar dapat ditulis secara matematis sebagai rasio daya dan kecepatan sudut. Untuk setiap gerakan rotasi, untuk memperoleh hubungan antara torsi dan daya, bandingkan persamaan liniernya. Perpindahan linier adalah jarak yang ditempuh pada keliling putaran dan diberikan oleh hasil perkalian sudut yang ditempuh dan jari-jari. Jarak linier diberikan oleh hasil perkalian kecepatan linier dan waktu.

Jarak linier = radius × kecepatan sudut × waktu

Torsi membuat benda mengalami gerak rotasi. Hal ini dinyatakan sebagai-

Torsi = Gaya × Jari-jari

Konsep kekuasaan adalah pekerjaan yang dilakukan per satuan waktu. Dalam kekuatan tertentu, semakin tinggi kecepatan, semakin rendah torsi, wakil ayat. Misalnya, untuk motor 1,5kw, torsi output 6 tahap lebih tinggi dari 4 tahap. Selain itu, Anda dapat menghitung secara kasar dengan rumus M=9950P/n. Untuk motor AC: torsi tetapan = 9550 * daya tetapan/ kecepatan tetapan; Untuk motor DC, karena banyak jenis produk, merepotkan. Mungkin, kecepatannya proporsional dengan tegangan armature, berbanding terbalik dengan tegangan eksitasi. Torsi ini sebanding dengan fluks eksitasi dan arus armature.

Cukup untuk mengatakan, ketika daya pasti, kecepatan berbanding terbalik dengan torsi. Artinya, semakin tinggi kecepatannya, semakin kecil torsinya; semakin rendah kecepatannya, semakin kuat torsinya.

1. Derivasi Rumus Dasar

Itu semua didasarkan pada hukum kedua Newton, kekuasaan = kekuatan xkecepatan

$$P = F \times V \quad \text{.....(10)}$$

Torsi(T) = Torsi (F)x Radius Aksi(R) Jadi,

$$F = T/R \quad \text{.....(11)}$$

Kecepatan linear (v) =2πR x per kecepatan detik (ndetik) = 2πR x per menit

Kecepatan (n detik)/60 =πRxn menit/30 .....(12)

P = Fx V = (T / R) x (πR x n detik/30) = (T x π x n detik) / 30 (unit w)….(13)

P = unit daya W,

T = unit torsi Nm, n detik = kecepatan per menit unit rpm/menit

Mengingat bahwa unit p adalah KW, Rumusnya adalah:

P x 1000 = (T x π x n detik) / 30 (Unit w) 30000x P / π = T * n = 30000 x P / 3.1415926 = T x n = 9549.297 x P = T x n.....(14)

2.6.1 Konsep Torsi dan Kecepatan Putar

Dalam dunia teknik dan mekanika, torsi dan kecepatan putar adalah dua konsep fundamental yang berperan penting dalam memahami kinerja sistem berputar, seperti motor listrik, mesin kendaraan, dan alternator. Kedua konsep ini saling berkaitan dan menjadi penentu utama dalam menentukan daya yang dihasilkan oleh suatu sistem rotasi. Torsi adalah besaran yang menggambarkan kekuatan puntir yang dihasilkan oleh gaya yang bekerja pada suatu benda terhadap sumbu putarnya. Secara sederhana, torsi dapat diibaratkan sebagai kekuatan yang menyebabkan benda berputar. Secara matematis, torsi (τ\tau) dirumuskan sebagai:

$$\tau = F \times r \times sin \quad \text{.....(15)}$$

Di mana:

τ = Torsi (Newton-meter atau Nm)

F = Gaya yang diberikan (Newton)

r = Jarak antara sumbu putar dan titik di mana gaya diberikan (meter)

θ = Sudut antara gaya dan lengan torsi (derajat)

Semakin besar gaya atau semakin panjang lengan torsi, semakin besar torsi yang dihasilkan. Dalam konteks kendaraan atau mesin listrik, torsi menentukan kemampuan sistem untuk mengatasi beban atau mempercepat putaran dari keadaan diam. Kecepatan putar adalah ukuran seberapa cepat suatu benda berputar di sekitar sumbunya. Besaran ini biasanya dinyatakan dalam satuan rotasi per menit (RPM — Revolutions Per Minute) atau dalam kecepatan sudut (ω\omega) yang diukur dalam radian per detik (rad/s)**.** Hubungan antara RPM dan kecepatan sudut (ω\omega) adalah:

$$\omega = 2\pi \times RPM / 60 \quad (16)$$

Kecepatan putar sangat memengaruhi daya yang dihasilkan oleh suatu sistem. Dalam kendaraan, kecepatan putar yang tinggi berarti roda atau poros berputar dengan sangat cepat, yang penting untuk mencapai kecepatan tinggi. Torsi dan kecepatan putar memiliki hubungan yang erat dalam menentukan daya keluaran dari sistem berputar. Hubungan ini dinyatakan dalam persamaan daya:

$$P = \tau \times \omega \quad (17)$$

Di mana:

P = Daya (Watt)

τ = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

Dari persamaan ini, dapat disimpulkan bahwa daya total yang dihasilkan adalah hasil perkalian antara torsi dan kecepatan putar. Jika torsi tinggi tetapi kecepatan putar rendah, daya yang dihasilkan mungkin tetap besar. Sebaliknya, jika kecepatan putar tinggi tetapi torsinya kecil, daya juga bisa besar. Dalam sistem kendaraan, saat mobil mulai bergerak dari posisi diam, torsi tinggi dibutuhkan untuk mengatasi inersia. Setelah kendaraan melaju, torsi berkurang, dan kecepatan putar meningkat untuk mempertahankan kecepatan yang lebih tinggi. Torsi dan kecepatan putar adalah dua aspek penting yang menentukan kinerja sistem berputar. Torsi mencerminkan kekuatan yang menyebabkan rotasi, sedangkan kecepatan putar menunjukkan seberapa cepat rotasi itu terjadi. Pemahaman tentang hubungan keduanya sangat penting dalam merancang sistem yang efisien, baik itu untuk kendaraan listrik, mesin industri, maupun perangkat elektronik lainnya. Dengan mengoptimalkan torsi dan kecepatan putar, kinerja sistem secara keseluruhan dapat ditingkatkan secara signifikan.

2.6.2 Hubungan antara RPM Alternator dan Output Daya Listrik

Tegangan keluaran alternator berbanding lurus dengan kecepatan putaran rotor. Ketika RPM meningkat, jumlah siklus medan magnet yang melintasi kumparan stator per detik juga meningkat, menghasilkan tegangan yang lebih tinggi. Pada kecepatan rendah, alternator menghasilkan tegangan yang rendah, yang mungkin tidak cukup untuk mengisi baterai atau mendukung beban listrik kendaraan. Oleh karena itu, sistem regulator tegangan digunakan untuk menjaga tegangan keluaran tetap stabil meskipun terjadi fluktuasi RPM. Selain memengaruhi tegangan, RPM

juga berpengaruh pada arus listrik yang dihasilkan. Ketika RPM meningkat, tegangan yang lebih tinggi memungkinkan arus yang lebih besar mengalir ke beban, selama hambatan beban tetap konstan. Namun, kapasitas arus maksimum yang dihasilkan tetap bergantung pada desain alternator, seperti ukuran kawat stator dan kekuatan medan magnet.

$$P=V\times I \quad \text{.....(18)}$$

Di mana:

P = Daya listrik yang dihasilkan (Watt)

V = Tegangan keluaran (Volt)

I = Arus listrik yang dihasilkan (Ampere)

Karena tegangan meningkat seiring RPM, maka daya total yang dihasilkan juga meningkat secara proporsional, hingga mencapai batas maksimal yang ditentukan oleh karakteristik fisik alternator. Hubungan antara RPM alternator dan output daya listrik bersifat linier hingga batas tertentu. Saat RPM meningkat, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan juga meningkat. Namun, untuk menjaga stabilitas sistem, perlu adanya kontrol pada tegangan keluaran dan pengaturan suhu untuk mencegah overheating. Dengan memahami hubungan ini, perancang sistem kelistrikan dapat mengoptimalkan efisiensi alternator, baik untuk aplikasi kendaraan maupun pembangkit listrik lainnya.

2.6.3 Dampak Variasi Torsi terhadap Suplai Daya ke Inverter

Dalam sistem kelistrikan yang melibatkan motor listrik dan inverter, seperti pada kendaraan listrik dan sistem konversi energi modern, **torsi** memainkan peran penting dalam menentukan kebutuhan daya yang harus disuplai oleh inverter. Variasi torsi secara langsung memengaruhi arus yang dikonsumsi motor, yang pada akhirnya berdampak pada suplai daya dari inverter. Memahami hubungan ini sangat penting untuk mengoptimalkan efisiensi sistem dan mencegah potensi gangguan operasi.

Pada motor listrik, torsi dihasilkan oleh interaksi antara medan magnet stator dan rotor. Semakin besar torsi yang dibutuhkan, semakin besar pula arus yang harus disuplai ke motor. Hubungan ini dinyatakan dalam persamaan:

$$\tau = kt \times I \quad (19)$$

Di mana:

τ = Torsi (Nm)

kt= Konstanta torsi motor (Nm/A)

I = Arus listrik (A)

Ketika torsi meningkat, inverter harus menyuplai arus yang lebih besar untuk menjaga kinerja motor, yang berimplikasi langsung pada daya yang dikonsumsi. Inverter berfungsi mengatur suplai daya ke motor dengan mengonversi arus searah (DC) dari baterai menjadi arus bolak-balik (AC) yang dibutuhkan motor. Daya yang disuplai oleh inverter dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = V \times I \times \cos\theta \quad (20)$$

Di mana:

P = Daya yang disuplai (Watt)

V = Tegangan keluaran inverter (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

$\cos\theta$ = Faktor daya motor

Saat torsi meningkat, arus yang dibutuhkan juga bertambah. Akibatnya, daya total yang harus disuplai oleh inverter naik secara proporsional. Jika inverter tidak mampu menyediakan arus yang cukup, motor akan kehilangan torsi, menyebabkan penurunan performa atau bahkan gangguan operasi. Variasi torsi tidak hanya memengaruhi konsumsi daya tetapi juga efisiensi inverter. Saat arus meningkat akibat

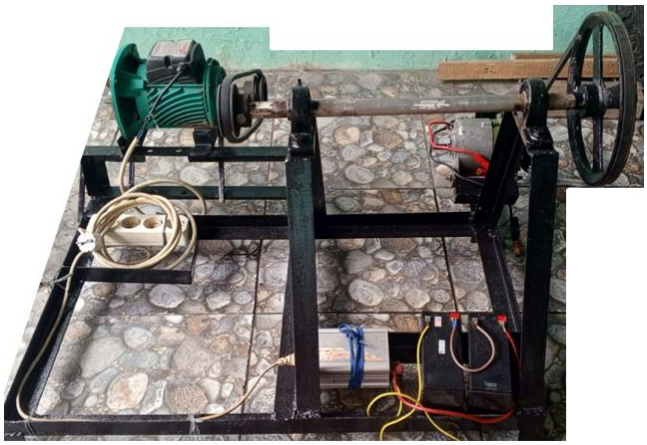
torsi yang tinggi, inverter mengalami peningkatan rugi-rugi daya dalam bentuk panas akibat resistansi internal dan switching loss. Untuk menjaga efisiensi, diperlukan sistem pendingin yang baik dan algoritma kontrol yang adaptif agar inverter tetap bekerja dalam rentang efisiensi optimal.

Variasi torsi memiliki dampak langsung pada suplai daya ke inverter, terutama dalam hal kebutuhan arus dan efisiensi daya. Semakin tinggi torsi yang dihasilkan motor, semakin besar arus yang dibutuhkan dari inverter, yang berdampak pada konsumsi daya dan potensi peningkatan suhu. Untuk menjaga kinerja yang optimal, diperlukan sistem kontrol yang mampu menyesuaikan suplai daya secara dinamis sesuai dengan perubahan torsi, serta penerapan sistem pendingin yang efektif untuk mencegah overheating.

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Perancangan alat kerja alternator bertujuan untuk menciptakan sebuah sistem yang dapat menguji dan menganalisis kinerja alternator, baik dalam konteks otomotif maupun aplikasi lainnya seperti generator set (genset). Dalam perancangan ini, kita akan membahas komponen utama, prinsip kerja, serta langkah-langkah dalam merancang alat uji alternator.



Gambar 3. 1 Perancangan Alat

3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan

3.2.1 Spesifikasi Alternator yang Digunakan

Alternator yang sering digunakan dalam kendaraan bermotor dan aplikasi lainnya. Tabel ini mencakup beberapa parameter penting yang menggambarkan kinerja dan karakteristik alternator.

Parameter	Spesifikasi
Tipe	Alternator AC
Daya Output	12V / 24V (tergantung aplikasi)
Arus Maksimum	30A - 150A (tergantung ukuran)
Frekuensi	50Hz atau 60Hz

Parameter	Spesifikasi
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 jenis alternator yang paling umum digunakan, terutama dalam kendaraan.
2. Daya Output: Daya output dapat bervariasi tergantung pada desain dan aplikasi, dengan kebanyakan alternator mobil menghasilkan antara 12V hingga 24V.
3. Arus Maksimum: Arus maksimum menunjukkan seberapa banyak arus listrik yang dapat dihasilkan oleh alternator, yang biasanya berkisar antara 30A hingga 150A.
4. Frekuensi: Frekuensi keluaran listrik dari alternator biasanya adalah 50Hz atau 60Hz, tergantung pada standar regional.
5. Dimensi: Ukuran fisik dari alternator dapat bervariasi, tetapi umumnya memiliki dimensi sekitar 20 cm x 15 cm.
6. Berat: Berat alternator juga bervariasi tergantung pada desain dan material yang digunakan, berkisar antara 5 kg hingga 10 kg.
7. Sistem Pendingin: Sebagian besar alternator menggunakan pendinginan udara untuk menjaga suhu operasionalnya tetap rendah; beberapa model mungkin dilengkapi dengan sistem pendingin tambahan.
8. Regulator Tegangan: Regulator berfungsi untuk memastikan bahwa tegangan output tetap stabil sesuai kebutuhan sistem kelistrikan kendaraan.

9. Konektor Output: Konektor output dirancang untuk menghubungkan alternator ke baterai serta beban listrik lainnya seperti lampu dan aksesori kendaraan.
10. Umur Pakai: Umur pakai rata-rata dari sebuah alternator bisa mencapai antara 10 hingga 15 tahun, tergantung pada penggunaan dan perawatan.

3.2.2 Spesifikasi Inverter yang Digunakan

Inverter ini dirancang untuk digunakan dalam berbagai aplikasi seperti mobil, van, karavan, dan peralatan portabel lainnya. Dengan fitur perlindungan yang komprehensif 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.

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 Rendah - Perlindungan Hubung Singkat

Parameter	Spesifikasi
	- Perlindungan Overload dan Suhu Tinggi
Pendingin	Kipas pendingin berkecepatan tinggi
Kabel Daya yang Disertakan	Kabel 10 AWG

3.2.3 Alat Ukur (Multimeter, Tachometer, Oscilloscope)

Multimeter adalah alat ukur listrik yang multifungsi, digunakan untuk mengukur berbagai besaran listrik seperti arus, tegangan, dan resistansi. Berikut adalah fungsi utama dari multimeter:

1. Mengukur Arus Listrik**:** Multimeter dapat mengukur dua jenis arus listrik, yaitu arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC). Pengukuran ini penting untuk mengetahui seberapa banyak arus yang mengalir dalam suatu rangkaian.
2. Mengukur Tegangan Listrik**:** Alat ini juga berfungsi untuk mengukur tegangan atau voltase pada komponen listrik. Pengukuran tegangan dilakukan dengan cara menyambungkan multimeter secara paralel dengan komponen yang diukur.
3. Mengukur Hambatan Listrik**:** Multimeter mampu mengukur resistansi atau hambatan dari resistor. Ini dilakukan dengan cara menyambungkan probe multimeter ke resistor dan membaca nilai resistansinya.
4. Fungsi Hfe: Beberapa model multimeter dilengkapi dengan fungsi Hfe yang digunakan untuk mengukur faktor penguatan transistor tipe NPN dan PNP.
5. Mengukur Nilai Kapasitansi**:** Multimeter juga dapat digunakan untuk mengukur kapasitansi kapasitor, meskipun tidak semua model memiliki fungsi ini.
6. Mengukur Frekuensi Sinyal**:** Beberapa multimeter digital dapat digunakan untuk mengukur frekuensi sinyal dalam rangkaian elektronik, memberikan informasi tentang karakteristik sinyal tersebut.

Tachometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan putaran pada objek, biasanya dalam satuan revolusi per menit (RPM). Berikut adalah beberapa fungsi utama dari tachometer:

1. Pengukuran Kecepatan Mesin**:** Tachometer sering digunakan pada kendaraan bermotor untuk memantau kecepatan putaran mesin. Ini membantu pengemudi menjaga mesin dalam rentang RPM yang aman agar tidak merusak mesin.
2. Penggunaan dalam Pesawat Terbang**:** Pada pesawat terbang, tachometer dipasang pada setiap mesin untuk memantau kecepatan putaran baling-baling atau mesin itu sendiri, sehingga pilot dapat mendeteksi masalah lebih awal.
3. Aplikasi Medis**:** Dalam bidang medis, tachometer dapat digunakan untuk mengukur laju aliran darah dengan menempatkan turbin kecil di dalam pembuluh darah dan menghitung kecepatan putarannya.
4. Tachometer Laser/Photo Tachometer: Jenis ini memungkinkan pengukuran jarak jauh tanpa kontak fisik dengan objek yang diukur, menggunakan sensor cahaya untuk mendeteksi refleksi dari objek berputar.
5. Touch Tachometer**:** Jenis ini membutuhkan kontak langsung dengan objek yang diukur dan sering digunakan dalam aplikasi industri tertentu.

3.3 Proses Pengambilan Data

Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan Menganalisis current voltage source pada inverterr pada bulan Agustus 2024 sampai Maret 2025 bertempatan di laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara , Provinsi Sumatera Utara, Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dan diketahui penelitian dalam pelaksanaan tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan penelitian
2. Mengambil data current voltage source pada inverterr
3. Melakukan input data Softher Microsoft Excel
4. Melakukan perhitungan dan analisis data

5. Melakukan analisis dan efaluasi hasil data current voltage source pada inverterr
6. Mengambil kesimpulan dari hasil analisis yang telah di laksanakan
7. Selesai, Berikut Diagram Alir Serta Proses Penelitian dapat dilihat pada

3.3.1 Pengukuran Torsi Alternator

Prosedur pengujian dilakukan dari awal hingga akhir saat melakukan pengukuran pada alat.

Proses Pemeriksaan dan Pengukuran

1. Langkah awal pada penelitian ini adalah dengan melakukan proses pengerjaan pada alternator, analisa kerja komponen dan perbandingan arus dan tegangan yang keluar dari alternator IC dan cara kerja sistem pengisian, berikut adalah langkah-langkahnya:
2. Tahap dan langkah pemeriksaan yang dilakukan adalah mengukur arus dan tegangan keluaran pada alternator, adalah sebagai berikut:
3. Mempersiapkan alat dan bahan.
4. Mengecek tegangan aki, agar mesin uji dapat distarter tegangan aki minimal 12 V. Baterai berfungsi untuk memberikan sumber tenaga listrik dan sebagai penampung tenaga listrik.
5. Memeriksa kondisi Mesin, Bahwa mesin dalam Keadaan normal

3.3.2 Pengukuran Daya Listrik Tanpa Beban

1. Pengukuran tanpa beban dengan variasi pada sudut tuas kecepatan 0^0 setara dengan ± 700 rpm dan mulai mengukur arus yang keluar atau mengisi baterai menggunakan multimeter.
2. Pengukuran tanpa beban dengan variasi pada sudut tuas kecepatan 5^0 setara

dengan ± 900 rpm dan mulai mengukur arus yang keluar atau mengisi baterai menggunakan multitester.

3. Pengukuran tanpa beban dengan variasi pada sudut tuas kecepatan 10^0 setara dengan ± 1100 rpm dan mulai mengukur arus yang keluar atau mengisi baterai menggunakan multimeter.

3.3.3 Pengujian Daya Alternator dengan Beban Inverter

a) Proses pengukuran tanpa beban arus keluaran alternator

1. Aki sudah terpasang pada starter dan bodi massa, dan apabila mesin sulit dihidupkan nyalakan busi pemanas .
2. Hidupkan mesin kemudian atur putaran mesin hingga keadaan stabil dengan cara mengatur pada baut tuas kecepatan (control lever) menggunakan kunci pas 6 dan 10.
3. Pada pengujian putaran stabil berkisar pada ± 700 rpm dengan ini penulis menyatakan ± 700 rpm berada pada tuas kecepatan 0o tegak lurus dan ditandai menggunakan spidol.
4. Nyalakan clampmeter dan setel clampmeter pada kondisi 0 A DC lalu jepitkan pada kabel keluaran alternator yang menuju kebaterai.
5. Hidupkan mesin bersamaan dimulainya pengukuran waktu pada stopwatch. Pengujian dilaksanakan dengan durasi 1 menit dengan mencatat dan memperhatikan perubahan arus keluaran alternator yang menuju baterai setiap menitnya. Setelah mendapatkan data, melakukan variasi berikutnya dengan langkah yang sama.

b) Proses pengukuran dengan beban arus keluaran alternator

1. Memasang beban pada aternator setelah interval 5 menit, sehingga beban alternator menuju stabil. b. Mengukur menggunakan beban lampu kepala dan memvariasikan putaran pada sudut tuas kecepatan 0^0 setara dengan ±

700 rpm dan mulai mengukur tegangan yang keluar atau mengisi baterai menggunakan multitester.

2. Mengukur dengan beban dan variasi putaran pada sudut tuas kecepatan 50 setara dengan ± 900 rpm dan mulai mengukur arus yang keluar atau mengisi baterai menggunakan multitester.
3. Mengukur dengan beban dan variasi pada sudut tuas kecepatan 10^0 setara dengan ± 1100 rpm dan mulai mengukur arus yang keluar atau mengisi baterai menggunakan multitester.

3.4 Metode Analisis Data

3.4.1 Perhitungan Efisiensi Alternator

Efisiensi alternator dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Efisiensi}(\eta) = \frac{\text{Daya Keluaran(Pout)}}{\text{Daya Masukan(Pin)}} \times 100\%$$

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).

3.4.2 Korelasi antara Torsi dan Daya Listrik

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

$$P = T \times \omega$$

Di mana:

P adalah daya dalam watt (W)

T adalah torsi dalam newton-meter (Nm)

ω adalah kecepatan sudut dalam radian per detik (rad/s)

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

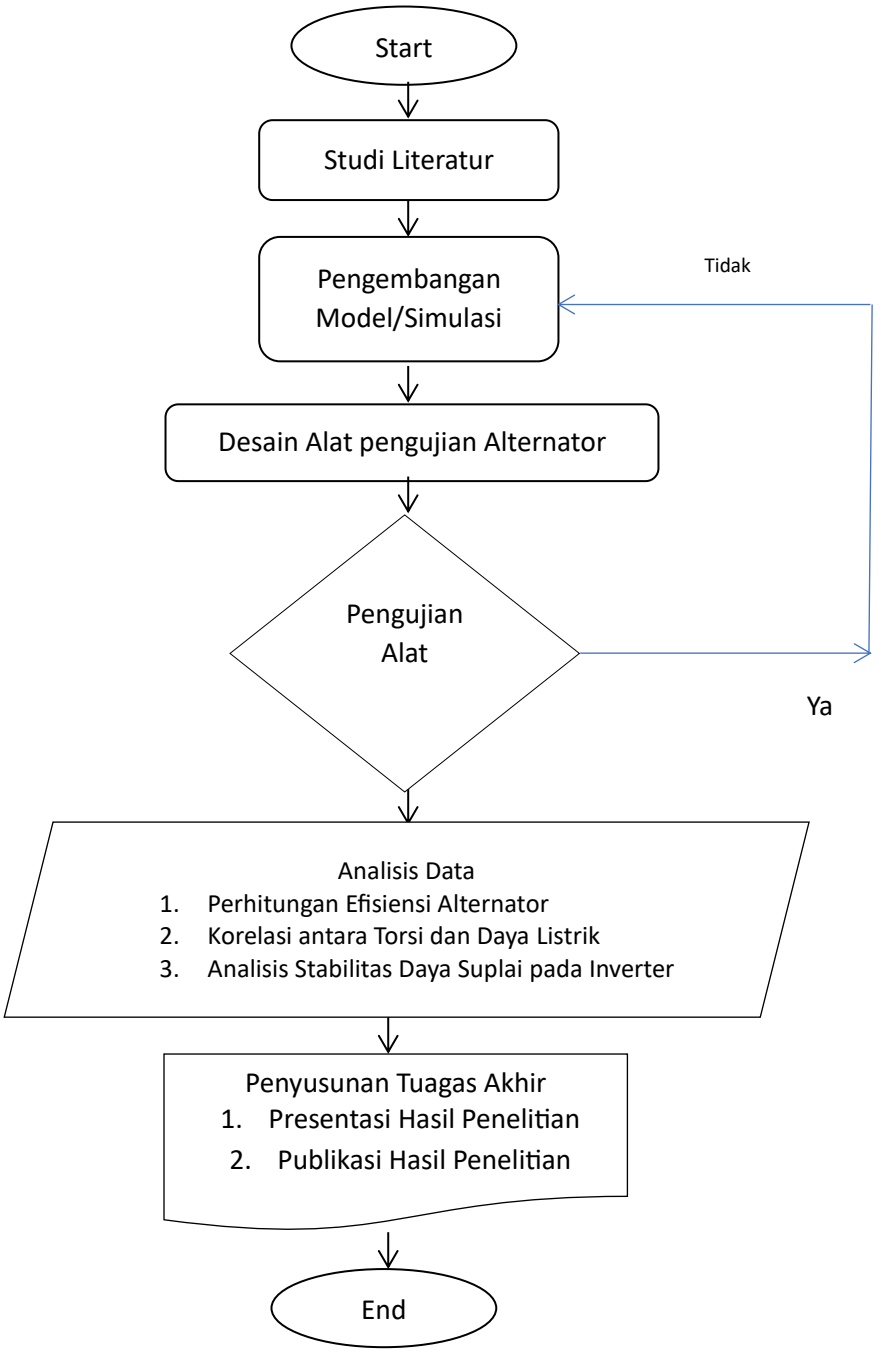
$$\omega=2.\pi.N.60 \text{ atau } \omega=2\pi\times RPM / 60$$

3.4.3 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.

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=PS
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 system

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram Alir

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Torsi Alternator terhadap Daya Listrik

4.1.1 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 (τ) 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 (ω): Kecepatan sudut dalam radian per detik dapat dihitung dari putaran per menit (RPM) dengan rumus:
   $\omega = 2\pi \times RPM / 60$

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

$P = \tau \times \omega$ Dari rumus ini, kita bisa mendapatkan torsi sebagai berikut:

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

Analisis Perhitungan Torsi Alternator

- Daya: daya yang digunakan pada mesin adalah 1000 watt.
- RPM Alternator: RPM alternator adalah 1056
- Hitung Kecepatan Sudut (ω):

$\omega = 2\pi \times RPM / 60$

ω = 2. 3,14 .1056 /60

ω =110,5 rad/s

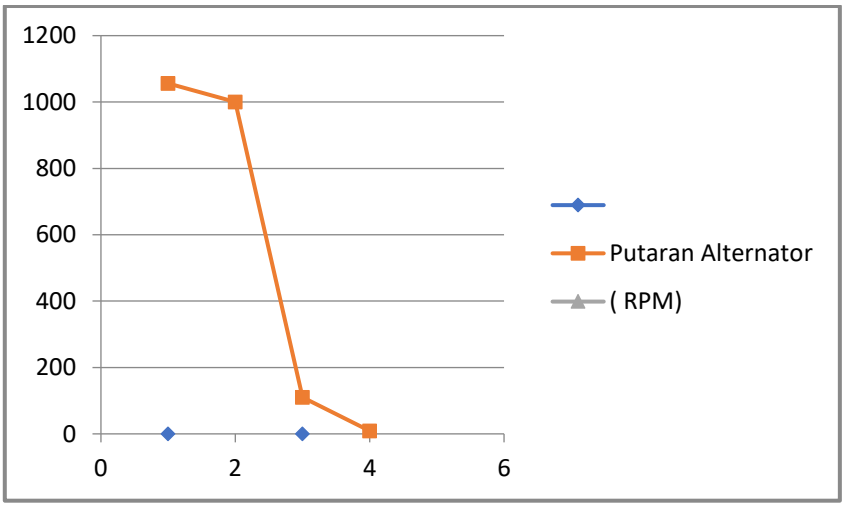
Hitung Torsi (τ): Dengan memasukkan nilai daya dan kecepatan sudut ke dalam rumus torsi

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

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

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

4.1.2 Grafik Hubungan Torsi dan Daya Alternator



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Torsi dan Daya Alternator

Pada pengujian dilakukan kecepatan putaran pada mesin penggerak alternator yaitu 1057 RPM maka kecepatan sudut pada penggerak alternator sebesar 110,5 rad/s dan Torsinya sebesar 9, 049 Nm. Hubungan antara torsi dan daya pada alternator sangat penting untuk dipahami dalam konteks desain sistem kelistrikan. Memahami bagaimana kedua parameter ini saling terkait memungkinkan insinyur untuk merancang sistem yang lebih efisien serta mengoptimalkan kinerja alternatif sesuai kebutuhan aplikasi tertentu.

4.1.3 Analisis Hubungan Torsi dan Efisiensi Alternator

Ketika torsi meningkat, daya masukan juga meningkat, asalkan kecepatan putaran tetap konstan. Daya masukan dapat dihitung dengan rumus:

Pin = $\tau \times \omega$

Pin = 9,049 Nm x 110,5 rad/s

Pin = 999,9 Watt

4.2 Pengukuran Daya dan Torsi Tanpa Beban

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pada Alternator dengan Waktu

Waktu Putaran Alternator Penggerak (RPM)	Kecepatan Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)	Kecepatan Sudut *(ω)* (rad/s)	Torsi (τ) (Nm)
10 Menit	956	12,7	14,8	187,96	38,203	4,920
30 Menit	1045	13,6	15,4	209,44	109,37	1,914
60 Menit	1052	14	15,5	217	110,10	1,970

1. Perhitungan Daya

   P = Tegangan (V) . Arus (I) 12,7 x 14,8

   = 187,96 rad/s

2. Perhitungan Kecepatan Sudut

$$w = \frac{rpm\ x\ 2\ x\ \pi}{60}$$

$$= \frac{956\ x\ 2\ x\ 3{,}14}{60}$$

$$= \frac{2.292,2}{60}$$

= 38,203 rad/s

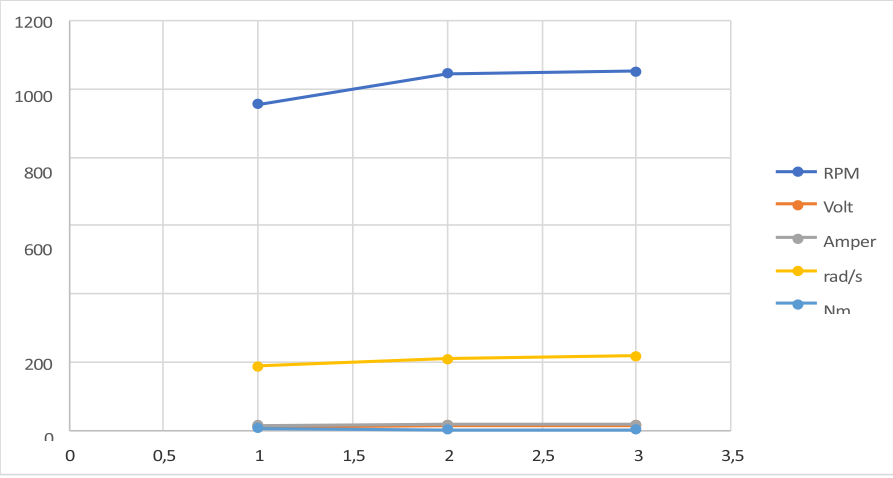
3. Perhitungan Torsi

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

$$= \frac{187,96}{38,203}$$

= 4,920 Nm

Pada pengujian dilakukan kecepatan putaran pada mesin penggerak lebih tinggi yaitu 956 RPM sedangkan tegangan pada mesin penggerak alternator yaitu 12,7 Volt dan arusnya 14,8 A maka kecepatan sudut pada mesin penggerak sebesar 38,203 rad/s dan Torsinya sebesar 4,920 Nm.



Gambar 4.2 Grafik Pengujian Pada Alternator dengan Waktu

4.2.1 Data Hasil Pengukuran Daya Tanpa Beban

Pengukuran kecepatan putaran (Rpm) tanpa beban tambahan dan diberi baban tambahan yaitu pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Pengukuran kecepatan putaran (Rpm) Tanpa Beban

Waktu Putaran Alternator Penggerak (RPM)	Kecepatan Putaran (RPM)	Teganagn (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 4.3 Pengukuran kecepatan putaran (Rpm)

diberi beban kipas angin 20 Watt

Waktu Putaran Alternator Penggerak (RPM)	Kecepatan Putaran (RPM)	Teganagn (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

Tabel 4.4 Pengukuran kecepatan putaran (Rpm)

diberi beban lampu hanoch 45 Watt

Waktu Putaran Alternator Penggerak (RPM)	Kecepatan Putaran (RPM)	Teganagn (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

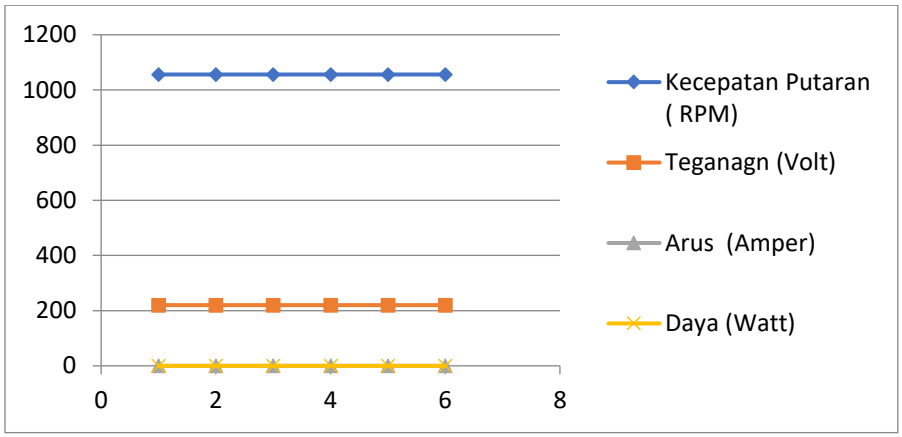
4.2.2 Analisis Performa Alternator dalam Kondisi Tanpa Beban

Analisis performa alternator dalam kondisi tanpa beban adalah sebagai berikut:

1. Analisis Perubahan Pengukuran kecepatan putaran (Rpm) Tanpa Beban
    1. *Kecepatan Putaran (RPM)*
        - Karena tidak ada beban, RPM tetap stabil di 1056 RPM karena tidak ada torsi tambahan yang menghambat rotor.
        - Jika mesin penggerak utama memiliki governor, maka kecepatan tetap konstan.
        - Sedikit perubahan bisa terjadi karena faktor seperti gesekan, suhu, atau efisiensi mesin penggerak.
    2. Tegangan (V)
        - 220V tetap stabil karena AVR akan menyesuaikan arus eksitasi agar tegangan tidak berubah.

- Bisa sedikit naik/turun (±2V) jika ada perubahan kecil dalam kecepatan rotor atau arus eksitasi.

3. Arus (A)
   - Hampir 0A karena tidak ada beban yang menarik arus dari alternator.
   - Hanya ada arus eksitasi kecil (beberapa miliampere hingga ampere kecil) yang dipasok ke rotor untuk menghasilkan medan magnet.



Gambar 4.3 Grafik pengujian tanpa beban

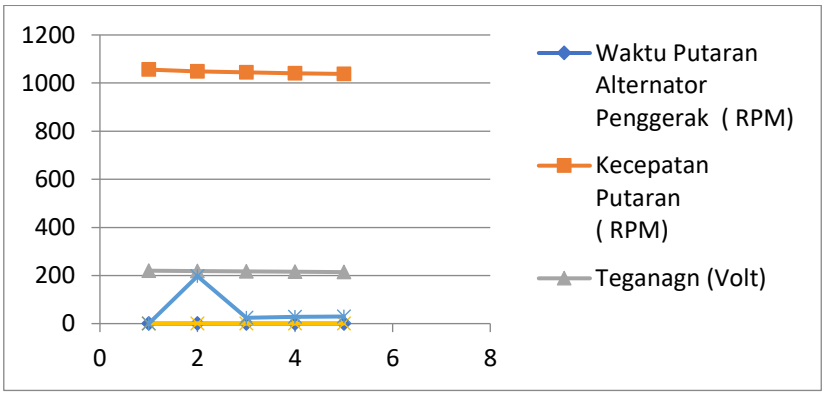
Pada grafik diatas Kecepatan putaran (RPM) stabil karena tidak ada beban yang mempengaruhi torsi mesin penggerak. Tegangan tetap konstan karena AVR menjaga kestabilan tegangan. Arus hampir nol, kecuali arus eksitasi yang sangat kecil untuk mempertahankan medan magnet rotor.

2. Analisis Perubahan Pengukuran kecepatan putaran (Rpm) diberi beban kipas angin 20 Watt

1. RPM (Kecepatan Putaran)
   - Pada awalnya, RPM stabil di sekitar 1056 RPM**.**
   - Setelah beberapa waktu, penurunan sedikit karena pengaruh panas, gesekan, atau kemungkinan fluktuasi beban.
2. Tegangan (V)
   - Pada awalnya stabil di 220V**.**

- Jika beban bertambah (misalnya kipas mengatur kecepatan lebih tinggi), tegangan bisa turun sedikit akibat peningkatan arus.
- AVR membantu menjaga tegangan tetap dalam kisaran yang aman.

3. Arus (A)
   - Pada awalnya sekitar 0.09A sesuai daya kipas angin (20W).
   - Seiring waktu, kipas bisa menarik lebih banyak arus jika suhunya meningkat atau beban kipas bertambah karena gesekan di motor kipas.



Gambar 4.3 Grafik pengujian dengan beban daya kipas angin (20W).

Kecepatan putaran (RPM) sedikit turun karena ada beban, tetapi tetap dalam kisaran stabil. Tegangan bisa turun sedikit tetapi tetap dalam batas normal karena AVR bekerja. Arus naik sesuai beban**,** awalnya 0.205A dan bisa sedikit meningkat karena faktor pemanasan.

3. Analisis Perubahan Pengukuran kecepatan putaran (Rpm) diberi beban lampu hanoch 45 Watt

1. Kecepatan Putaran (RPM)
   - Awalnya 1056 RPM (tanpa beban)**,** sesuai frekuensi sistem (50Hz).
   - Saat beban lampu dihubungkan**,** terjadi peningkatan torsi elektromagnetik menyebabkan RPM sedikit turun**.**

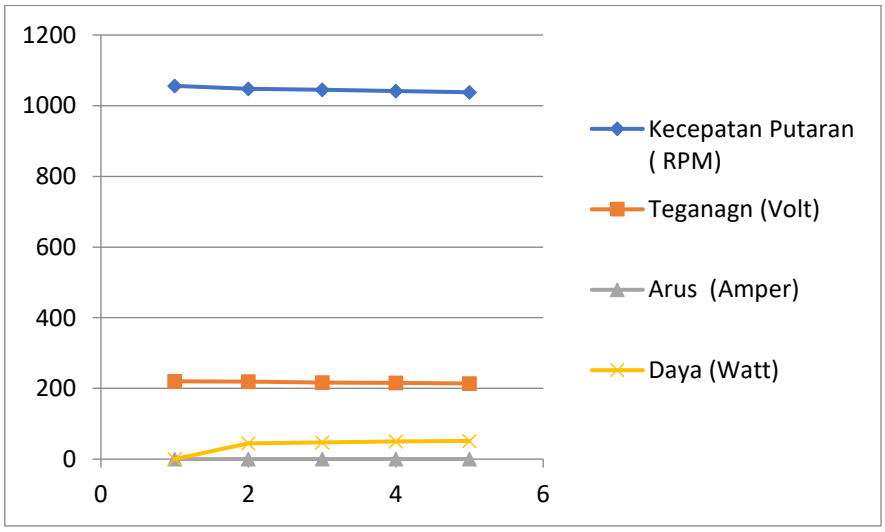
- Jika mesin penggerak memiliki governor**,** maka RPM tetap dalam batas stabil (1048-1056 RPM).
- Setelah 30 menit, RPM bisa turun sedikit akibat pemanasan pada mesin penggerak dan alternator.

2. Tegangan (V)

- Awalnya 220V tanpa beban.
- Saat beban lampu dihubungkan, tegangan bisa turun sedikit (1-5V) tergantung kapasitas alternator dan kualitas AVR.
- Jika AVR bekerja dengan baik, tegangan tetap dalam kisaran 214-220V**.**

3. Arus (A)

- Awalnya 0A (tanpa beban)**.**
- Setelah lampu 45W tersambung, arus meningkat sekitar 0.205A sesuai daya beban.
- Seiring waktu, arus bisa naik sedikit (~0.21A - 0.24A) akibat pemanasan kabel atau perubahan resistansi beban.



Gambar 4.4 Grafik Pengujian Dengan Beban Daya Lampu Hanoch (45W).

Kecepatan putaran (RPM) sedikit turun tetapi tetap dalam batas stabil karena ada governor. Tegangan sedikit turun tetapi tetap dalam kisaran normal karena AVR bekerja. Arus naik sesuai beban, awalnya 0.205A dan bisa sedikit meningkat karena efek pemanasan.

4.3 Analisis Kinerja Alternator dengan Inverter

Analisis kinerja alternator yang terhubung dengan inverter adalah proses penting untuk memahami efisiensi dan efektivitas sistem pembangkit listrik. Alternator berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, sementara inverter berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh sumber energi.

4.3.1 Pengaruh Pemasangan Inverter terhadap Output Alternator

Untuk melakukan analisis kinerja, pertama-tama kita perlu mengumpulkan data berikut:

1. Daya keluaran alternator (P alternator)**:** Daya yang dihasilkan oleh alternator dalam watt (W).
2. Daya masukan inverter (P inverter**)**: Daya yang diterima oleh inverter dari sumber DC dalam watt (W).

   Daya keluaran alternator = 1000 W

   Efisiensi alternator = 90% atau 0.9

Dari data ini, kita dapat menghitung daya masukan yang diperlukan untuk menghasilkan daya keluaran tersebut:

$$\text{Pin} = \frac{\text{P alternator}}{\eta \text{ alternator}}$$

$$\text{Pin} = \frac{1000}{0{,}9}$$

Pin = 1111,11 Watt

4.3.2 Pengaruh Inverter terhadap Efisiensi Alternator

1. Efisiensi alternator (η alternator)**:** Persentase efisiensi dari konversi energi mekanik ke listrik.
2. Efisiensi inverter (η inverter)**:** Persentase efisiensi dari konversi DC ke AC.

Selanjutnya, kita perlu menghitung daya keluaran inverter berdasarkan daya masukan dan efisiensinya.

Efisiensi inverter = 95% atau 0.95

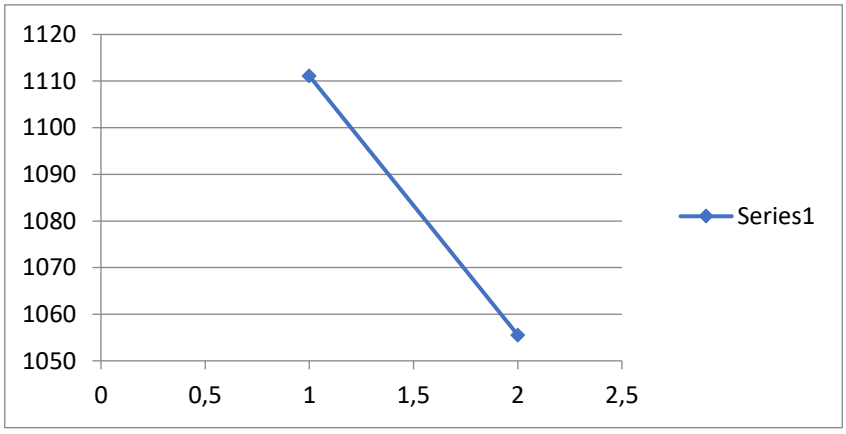
Maka daya keluaran inverter dapat dihitung sebagai berikut:

Pout = Pin × η inverter

=1111,11 W × 0.95

= 1055,55 W

4.3.3 Grafik Stabilitas Tegangan Alternator saat Terhubung ke Inverter



Gambar 4.5 Grafik Stabilitas Tegangan Alternator saat Terhubung ke Inverter

Grafik stabilitas tegangan alternator saat terhubung ke inverter sangat penting untuk memastikan kinerja optimal dari sistem kelistrikan.

4.4 Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Torsi terhadap Daya

Daya (P) yang dihasilkan oleh sebuah alternator dapat dihitung menggunakan rumus dasar:

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

di mana:

P adalah daya dalam watt (W),

τ adalah torsi dalam newton-meter (N·m),

ω adalah kecepatan sudut dalam radian per detik (rad/s).

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Pada Alternator dengan Waktu

Waktu Putaran Alternator Penggerak (RPM)	Kecepatan Putaran (RPM)	Torsi (τ) (Nm)
10 Menit	956	4,9
30 Menit	1045	1,9
60 Menit	1052	1,9

1. Analisis daya untuk setiap variasi RPM = 956

Hitung ω

$$\omega = \frac{2.\pi.RPM}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \text{ x } 3{,}14 \text{ x } 956}{60}$$

$$\omega = 100{,}06\, rad/s$$

Hitung Daya

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

P = 4,9 ×100,06

P = 490,3 Watt

1. Analisis daya untuk setiap variasi RPM = 1045

Hitung ω

$$\omega = \frac{2.\pi.RPM}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \text{ x } 3{,}14 \text{ x } 1045}{60}$$

$$\omega = 109{,}37\ rad/s$$

Hitung Daya

P = τ × ω

P = 1,9 ×109,37

P = 207,80 Watt

2. Analisis daya untuk setiap variasi RPM = 1052

Hitung ω

$$\omega = \frac{2.\pi.RPM}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \text{ x } 3{,}14 \text{ x } 1052}{60}$$

$$\omega = 110{,}1\ rad/s$$

Hitung Daya

P = τ × ω

P = 1,9 ×110,1

P = 209,19 Watt

4.4.1 Hubungan RPM Alternator dan Output Tegangan

Tegangan output dari alternator sangat bergantung pada kecepatan putaran rotor, yaitu RPM. Secara umum, semakin tinggi RPM, semakin besar tegangan output yang dihasilkan. Ini dapat dijelaskan dengan rumus dasar:

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

Di mana:

V = Tegangan output

k = Konstanta yang tergantung pada desain alternator

N = Jumlah putaran per menit (RPM)

Φ = Fluks magnet per putaran

Alternator dengan spesifikasi Konstanta k=0.1, Fluks magnet Φ=0.02 Weber

1. Analisis tegangan untuk setiap variasi RPM = 956

   V= k . N . Φ
   V = 0,1 x 956 x 0,02
   V = 1,912 Volt
2. Analisis tegangan untuk setiap variasi RPM = 1045

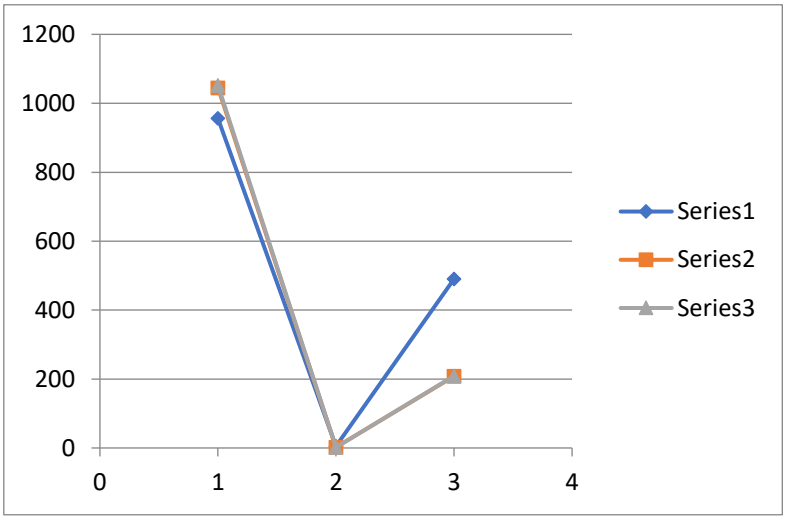
   V= k . N . Φ
   V = 0,1 x 1045 x 0,02
   V = 2,09 Volt
3. Analisis tegangan untuk setiap variasi RPM = 1052

   V= k . N . Φ

V = 0,1 x 1052 x 0,02

V = 2,104 Volt

4.4.2 Grafik Perubahan Daya terhadap Variasi Kecepatan Putaran



Gambar 4.6 Grafik Perubahan Daya terhadap Variasi Kecepatan Putaran

Grafik perubahan daya terhadap variasi kecepatan putaran adalah representasi visual yang menunjukkan hubungan antara daya yang dihasilkan oleh suatu sistem dan kecepatan putarannya.

4.4.3 Pengaruh Kecepatan Torsi terhadap Stabilitas Suplai Daya

Sistem penggerak (engine) mampu memberikan torsi yang cukup untuk menjaga kecepatan rotor dalam batas optimal akan membantu menjamin kinerja alternatif secara efisien dan stabil

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

5.1.1 Hubungan antara Torsi Alternator dan Daya Listrik yang Dihasilkan

Hubungan antara torsi alternator dan daya listrik yang dihasilkan adalah langsung. Semakin besar torsi yang diterapkan pada alternator, semakin besar daya listrik yang dapat dihasilkan. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan torsi cenderung meningkatkan daya listrik yang dihasilkan hingga titik optimal tertentu, perhitungan daya dan torsi tanpa beban setelah penyaluran daya ke inverter menunjukkan adanya perbedaan performa yang signifikan dibandingkan kondisi berbeban.

5.1.2 Efisiensi Alternator dalam Kondisi Tanpa Beban

Dalam kondisi tanpa beban lebih rendah dibandingkan dengan saat beroperasi pada beban penuh. dan kondisi tanpa beban, alternator masih memerlukan energi untuk mengatasi kerugian mekanis dan elektromagnetik, efisiensi dapat bervariasi tergantung pada desain alternator dan kualitas material yang digunakan.

5.1.3 Pengaruh Variasi Kecepatan Torsi terhadap Output Daya

Pengaruh kecepatan torsi terhadap daya listrik juga menunjukkan bahwa meskipun peningkatan kecepatan putar dapat meningkatkan daya, ada batas efisiensi yang harus dijaga.

5.1.4 Stabilitas Suplai Daya Alternator ke Inverter

Pemanfaatan torsi alternator secara optimal dapat meningkatkan efisiensi dan performa suplai daya listrik, sehingga alternator dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternative yang efisien dan ramah lingkungan bagi sistem kelistrikan di masa depan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil simpulan yang diperoleh, maka penulis ingin memberikan saran bagi pihak yang berkepentingan yakni sebagi berikut:

1. Disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan variasi beban yang berbeda guna melihat lebih jauh pola hubungan daya dan torsi secara lebih komprehensif.
2. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan menambahkan kontrol kecepatan motor untuk melihat bagaimana variasi kecepatan dapat dioptimalkan untuk hasil daya listrik yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Kebutuhan And C. Bank, “Di Politeknik Kota Malang,” Pp. 105– 118.

[2] D. Dan And P. Listrik, “No Title”.

[3] F. A. Perdana, “Baterai Lithium,” *INKUIRI J. Pendidik. IPA*, Vol. 9, No. 2, P. 113, 2021, Doi: 10.20961/Inkuiri.V9i2.50082.

[4] F. Mazidah And S. Anisah, “Analisis Pemanfaatan Daya Listrik Bagi Pelanggan Tegangan Menengah,” *Power Elektron. J. Orang Elektro*, Vol. 13, No. 2, Pp. 208–211, 2024, Doi: 10.30591/Polektro.V13i2.6699.

[5] F. Rahman, A. Saleh, And D. K. Setiawan, “Pengendalian Tegangan Inverter 3 Fasa Menggunakan Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM) Pada Beban Fluktuatif,” *Berk. Sainstek*, Pp. 12–16, 2014, [Online]. Available: Http://Jurnal.Unej.Ac.Id/Index.Php/BST/Article/View/1465

[6] J. D. Sibarani, G. M. C. Mangindaan, And A. H. J. Ontowirjo, “Study Pengaruh Torsi Terhadap Kinerja Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Matlab,” *Study Pengaruh Torsi Terhadap Kinerja Mot. Induksi 3 Fasa Menggunakan Matlab*, Pp. 1–11, 2020.

[7] J. Siburian, [1]) Jumari, A. Simangunsong, U. Darma, And A. Medan, “Studi Sistem Star Motor Induksi 3 Phasa Dengan Metode Star Delta Pada Pt.Toba Pulp Lestari Tbk,” *J. Teknol. Energi Uda J. Tek. Elektro*, Vol. 9, No. 2, Pp. 81–87, 2021, [Online]. Available: Https://Ejurnal.Darmaagung.Ac.Id/Index.Php/Teknologienergi/Article/View/96

[8] L. Siahaan, M. Purba, J. Napitupulu, And R. Purba, “Siahaan 1) Michael Purba 2) Janter Napitupulu 3) Randi Purba 4)”.

[9] M. A. Syururi, B. S. Kaloko, And W. Cahyadi, “Rancang Bangun Inverter 600 Watt Dengan Metode Sinusoidal Pulse Width Modulation,” *J. Tek. Elektro Dan Komput.*, Vol. 11, No. 3, Pp. 147–154, 2022. [11] M. M. Chusni, M. P. Si,

[10] P. Studi, And P. Fisika, “HANDOUT PERKULIAHAN PENGENALAN ALAT UKUR”.

[11] M. M. Chusni, M. P. Si, P. Studi, And P. Fisika, “Handout Perkuliahan Pengenalan Alat Ukur”

[12] Muhammad Thowil Afif And Ilham Ayu Putri Pratiwi, “Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid Dan Nickel-Metal Hydride

Pada Penggunaan Mobil Listrik-Review," *J. Rekayasa Mesin*, Vol. 6, No. 2, Pp. 95–99, 2015.

[13] R. Ellony Pratama, Atmam, And Usaha Situmeang, "Studi Pengaruh Penguatan Medan Terhadap Tegangan Keluaran Generator Sinkron Satu Phasa," *Sainetin*, Vol. 3, No. 2, Pp. 69–76, 2019, Doi: 10.31849/Sainetin.V3i2.3289.

[14]V Rimbawati, N. Ardiansyah, And N. Evalina, "Perancangan Sistem Pengontrolan Tegangan Pada PLTB Menggunakan Potensio DC," *Semnastek Uisu*, P. Universitas Muhamadiyah Sumatera Utara, 2019.

[15] R. Inverter And D. A. N. Aplikasinya, "Bab 8 Rangkaian Inverter Dan Aplikasinya 8.1," Pp. 123–136.

[16] R. Mundus, K. H. Khwee, And A. Hiendro, "Rancang Bangun Inverter Dengan Menggunakan Sumber Baterai DC 12V," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, Vol. 2, No. 1, Pp. 227–233, 2019.

[17] S. B. Perkasa And T. Sukmadi, "Analisa Perbandingan Daya Dan Torsi Pada Perancangan Purwarupa Mobil Listrik," Vol. 9,No. 4, Pp. 636–643, 2020.R. Mundus, K. H. Khwee, And A. Hiendro, "Rancang Bangun Inverter Dengan Menggunakan Sumber Baterai Dc 12v," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, Vol. 2, No. 1, Pp. 227–233, 2019.

[18] 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.

[19] Sinardaya Energy, "Inverter Pure Sine Wave Dan Modified Sine Wave," *Sinardaya Energy*, Pp. 13–17, 2020, [Online]. Available: Https://Sinardayaenergy.Com/Blog/Inverter

[20] S. Sujarot, A. Haris, And A. Trisanto, "Rancang Bangun Starting Motor Induksi 3 Fasa Hubung Bintang Segitiga Dilengkapi Pengaman 3 Fasa Berbasis Mikrokontroler Atmega8535," *J. Inform. Dan Tek. Elektro Terap.*, Vol. 8, No. 1, 2022, Doi: 10.23960/Jitet.V8i1.2251.

[21] S. Vokasi And U. Diponegoro, "Tachometer Laser , Pemakaian Dan Perawatannya," Vol. 13, No. 1, Pp. 7–12, 2017.

[22] T. Mesin, F. Teknik, U. Muhammadiyah, And S. Utara, "Analisa Tegangan Keluaran Alternator Mobil Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif," Vol. 1, No. 1, Pp. 44–47, 2018.

[23] W. Dsl And D. N. K. Hardani, “Analisis Torsi Dan Efisiensi Pada Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar,” *Techno (Jurnal Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Purwokerto)*, Vol. 19, No. 2, P. 79, 2018, Doi: 10.30595/Techno.V19i2.3070.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama	: Aidil Fajar
Tempat/Tanggal Lahir	: Mela, 23 Februari 2002
Jenis kelamin	: Laki - Laki
Umur	: 23 Tahun
Agama	: Islam
Status	: Belum Menikah
Tinggi Badan / Berat Badan	: 175 cm / 70 kg
Kewarganegaraan	: Indonesia
Alamat	: Dusun I Gunung Kelambu
No Hp	: 0852-6211-1975
Email	: aidilfajarjw@gmail.com

Latar Belakang Pendidikan

SD 157622 Gunung Kelambu	: Tahun 2008 - 2014
SMP N 1 Badiri	: Tahun 2014 - 2017
SMK N 3 Sibolga	: Tahun 2017 – 2020
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Teknik Elektro	: Tahun 2020 – 2025