

TUGAS AKHIR

Analisis Implementasi Inverter Tipe Sumber Arus (CSI) dan Sumber Tegangan (VSI) pada Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Alternator terhadap Variasi Kecepatan Putar

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

Disusun Oleh:

FERNANDO SAUT MARULI SILITONGA

2007220073



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Fernando Saut Maruli Silitonga

NPM : 2007220073

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Implementasi Inverter Tipe Sumber Arus (CSI) dan Sumber Tegangan (VSI) pada Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Alternator terhadap Variasi Kecepatan Putar

Bidang Ilmu : Sistem Tenaga

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, 17 Mei 2025

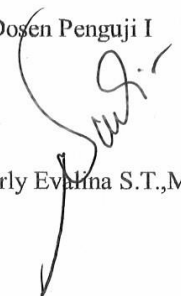
Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Partaonan Harahap S.T., M.T

Dosen Penguji I



Noorly Evahina S.T., M.T

Dosen Penguji II



Faisal Irsan Pasaribu 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 : FERNANDO SAUT MARULI SILITONGA

Tempat/ Tanggal Lahir : RANTAU ACEH TAMIANG/10 MEI 2002

NPM : 2007220073

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

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

“Analisis Implementasi Inverter Tipe Sumber Arus (CSI) dan Sumber Tegangan (VSI) pada Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Alternator terhadap Variasi Kecepatan Putar”,

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, 3 April 2024



Fernando Saut Maruli
Silitonga.

ABSTRACT

This study aims to implement a current-voltage source on an inverter to support the performance of an alternator power plant, especially in maintaining voltage stability and increasing system efficiency. The methods used include designing an inverter circuit with current and voltage sources, as well as experimental testing using a 45 Watt Hanoch lamp load and a 20 Watt fan. The parameters observed include output voltage, current, efficiency, output power, and power factor. The test results show that without an Automatic Voltage Regulator (AVR), the output voltage can exceed 220V when no load due to the absence of voltage drop by the load current. When the load is connected, the rotation speed (RPM) decreases slightly, but remains stable within normal limits because the AVR functions to maintain voltage stability. The current increases with increasing load, from an initial 0.205 A and increases slightly due to heating. In addition, an average efficiency of 0.0755, an average inverter output power of 236.65 Watts, and an average power factor of 1.016 were obtained. This implementation proves that the use of current-voltage source on the inverter is able to support more stable and efficient alternator performance.

Keywords: *Inverter, Current Source, Voltage Source, Alternator, Efficiency, Voltage Stability.*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan current-voltage source pada inverter guna mendukung kinerja pembangkit listrik tenaga alternator, khususnya dalam menjaga stabilitas tegangan dan meningkatkan efisiensi sistem. Metode yang digunakan meliputi perancangan rangkaian inverter dengan sumber arus dan tegangan, serta pengujian eksperimental menggunakan beban lampu Hanoch 45 Watt dan kipas angin 20 Watt. Parameter yang diamati meliputi tegangan keluaran, arus, efisiensi, daya keluaran, dan faktor daya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanpa Automatic Voltage Regulator (AVR), tegangan keluaran dapat melebihi 220V saat tanpa beban akibat tidak adanya penurunan tegangan oleh arus beban. Saat beban terhubung, kecepatan putaran (RPM) sedikit menurun, namun tetap stabil dalam batas normal karena AVR berfungsi menjaga kestabilan tegangan. Arus meningkat seiring penambahan beban, dari awalnya 0,205 A dan bertambah sedikit akibat pemanasan. Selain itu, diperoleh rata-rata efisiensi sebesar 0,0755, rata-rata daya keluaran inverter sebesar 236,65 Watt, dan faktor daya rata-rata sebesar 1,016. Implementasi ini membuktikan bahwa penggunaan current-voltage source pada inverter mampu mendukung performa alternator yang lebih stabil dan efisien.

Kata kunci: Inverter, Arus, Tegangan, Alternator, Efisiensi, Stabilitas Tegangan.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran 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 Implementasi Inverter Tipe Sumber Arus (CSI) dan Sumber Tegangan (VSI) pada Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Alternator terhadap Variasi Kecepatan Putar**” 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 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 Tugas 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. 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, 08 Maret 2025

Penulis

Fernando Saut Maruli Silitonga

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2 Pengertian dan Konsep Dasa	5
2.2.1Altenator	5
2.2.2 Prinsip Kerja Alternator	6
2.2.3 Konsep Dasar	6
2.2.4 Rotor	7
2.2.5 Stator	8
2.2.6 Slepring atau Cincin Geser	8
2.2.7 Dioda (Rectifier)	10
2.2.8 V-Belt dan Pully	11
2.2.9 Aplikasi Keuntungan Penggunaan Alternator	13
2.3 Inverter	13
2.3.1 Prinsip Kerja Inverter	14

2.3.2 Inverter Gelombang Penuh	15
2.2.3 Inverter Tiga Fasa	16
2.3.4 Klasifikasi Inverter	25
2.3.5 Single Pulse Width Modulation	26
2.4 Sumber Energi	26
2.4.1 Penerapan Sumber Arus Pada Sistem Inverter	26
2.5 Sumber Tegangan	27
2.5.1 Karakter Sumber Tegangan	27
2.5.2 Penerapan Sumber Tegangan Pada sistem Inverter	27
2.6 Arduino Uno	28
2.6.1 Spesifikasi Arduino Uno	29
2.7 Sensor PWM	30
2.8 Sensor Pzem 004t	30
2.9 Baterai	32
2.9.1 Jenis Jenis Baterai	33
2.10 Motor Induksi	34
2.11 Tachometer.....	36
2.11.1 Jenis Jenis Alat Tachometer	38
2.11.2 Prinsip Kerja Alat Tachometer	39
2.12 Multimeter	40
2.12.1 Bagian Bagian Multimeter	44
2.12.2 Manfaat Multimeter	44
2.12.3 Cara Penggunaan Multimeter	44
BAB 3 METODE PENELITIAN	46
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian	46
3.1.1 Tempat	46

3.1.2 Waktu	46
3.2 Perancangan Alat	47
3.3 Alat dan Bahan	47
3.3.1 Alat	47
3.3.2 Bahan	48
3.4 Prosedur Pengujian	48
3.5 Rumus Daya Pada Rangkaian AC.....	49
3.6 Pengujian Kinerja Inverter	49
3.7 Metode Penelitian	50
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Hasil Pengujian Terhadap Mesin	52
BAB 5 KESIMPULAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alternator Konvensional	6
Gambar 2.2 Simulasi Kerja	8
Gambar 2.3 Rotor	9
Gambar 2.4 Strator	9
Gambar 2.5 Dioda	10
Gambar 2.6 Pulley Alternator	11
Gambar 2.7 Konsep Kerja Inverter	14
Gambar 2.8 Gelombang Penuh Inverter	14
Gambar 2.9 Inverter 3 Fasa	16
Gambar 2.10 Rangkaian <i>Square Sine Wave Inverter</i>	17
Gambar 2.11 Inverter Modified Sine Wave	18
Gambar 2.12 Inverter Modified Sine Wave	18
Gambar 2.13 Pure Sine Wave	24
Gambar 2.14 rangkaian Pure Sine Wave	24
Gambar 2.15 Duty Cycle	26
Gambar 2.16 Arduino Uno.....	28
Gambar 2.17 Pwm Sensor	30
Gambar 2.18 PZEM – 00T	31
Gambar 2.19 Baterai	32
Gambar 2.20 Motor Induksi	35
Gambar 2.21 Skema Alat Ukur Tachometer	36
Gambar 2.22 Multimeter.....	40
Gambar 2.23 Skala	40
Gambar 2.24 Selektioe Batas Ukur	41
Gambar 2.25 Pengatur Posisi Nol Jarum	42

Gambar 2.26 Pengatur Nol ohm	42
Gambar 2.37 Probe	43
Gambar 2.28 Terminal Pengukuran	43
Gambar 2.29 Multimeter Analog	50
Gambar 2.30 Multimeter Digital	47
Gambar 3.1 Perancangan Alat	51
Gambar 3.2 Diagram Alir	54
Gambar 4.1 Pengujian Bantrai dan Kecepatan Putaran Alternator	56
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Tanpa Beban	56
Gambar 4.3 Grafik Pengujian Dengan Beban Daya Kipas Angin (20W)	56
Gambar 4.4 Grafik Pengujian Dengan Beban Daya Lampu Hanoch (45W)	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu pelaksanaan Penelitian	46
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pada Mesin Dan Alternator	49
Tabel 4.2 Pengukuran Kecepatan Putaran (RPM) Tanpa Beban	53
Tabel 4.3 Pengukuran Kecepatan Putaran (RPM) Diberi beban Kipas Angin (20W)	53
Tabel 4.4 Pengukuran Kecepatan Putaran (RPM) Diberi Beban Lampu Hanoch (45W)	55

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan energi yang mempunyai peranan penting dalam kehidupan manusia. PT. PLN sebagai penyedia energi listrik sekarang ini mengalami kesulitan untuk mencukupi kebutuhan energi listrik nasional, hal ini disebabkan karena kebutuhan listrik jauh lebih besar dibandingkan dengan kapasitas pembangkit energi yang ada saat ini. Penyaluran energi listrik dari sumber listrik banyak dibutuhkan oleh konsumen rumah tangga maupun industri sebagai sumber pengaktifan peralatan listrik untuk pekerjaan sehari-hari.

Alternator mobil atau dynamo ampere adalah salah satu komponen yang sangat penting dalam kelistrikan mobil yang mana fungsinya adalah sebagai generator pembangkit energy listrik ketika mesin dihidupkan. Alternator mobil ini akan menyuplai enrgi listrik yang dibutuhkan pada mobil seperti untuk mengisi daya pada baterai dan untuk penerangan pada mobil bahkan untuk menghidupkan AC dan radio. Alternator dapat menjadi salah satu solusi sebagai pembangkit listrik untuk daerah-daerah yang sulit untuk dijangkau oleh Perusahaan Listrik dimana alternator ini akan digerakkan oleh energy alam yang tersedia seperti angin dan air bahkan motor.

Proses pemasangan Alternator mobil pada pembangkit listrik tenaga surya ditempatkan pada titiktitik berbeda bertujuan untuk mendapatkan sinar matahari yang maksimal. Dalam proses penggabungan antar titik-titik tersebut diperlukan sebuah penghantar. Karena sumber yang dihasilkan sebuah panel surya berupa sumber arus searah, maka diperlukan sebuah penghantar berinti tunggal. Sedangkan, ketika arus yang dihasilkan semakin besar, maka semakin besar juga ukuran inti dari penghantar tersebut dan mengurangi kelenturannya. Untuk itu diperlukan perubahan sumber arus searah menjadi sumber arus bolak-balik .

Hal itu ditujukan agar dapat mengubah inti tunggal pada penghantar menjadi berinti serabut. Dalam proses penggabungan antara sumber arus bolak-balik, diperlukan penyamaan nilai tegangan, frekuensi, dan sudut fasa. Dari permasalahan tersebut,

dibutuhkan suatu inverter yang dapat menyamakan nilai-nilai tersebut. Inverter merupakan salah satu alat yang dapat menghasilkan energi listrik dari sumber arus searah menjadi sumber arus bolak-balik. Sinyal PWM (Pulse Width Modulation) yang didapat dari besaran sumber PLN digunakan sebagai pengendali saklar transistor daya. Agar mendapatkan gelombang sinusoida dari keluaran inverter, diperlukan filter pasif LC. Dari hasil analisis didapatkan penurunan atau pengurangan tegangan fasa dari keluaran inverter.

Pemanfaatan energi pada alternator sebagai pembangkit listrik merupakan pemanfaatan energi terbarukan yang paling berkembang saat ini. Pemanfaatan energi alternator dapat dilakukan, bahkan dapat diterapkan. Diharapkan dengan diberdayakannya Pembangkit Listrik ini, akan menjadi salah satu solusi sumber energi alternatif. Pada skripsi ini dilakukan dengan tujuan memaparkan suatu hasil Prototype Pembangkit Listrik Tenaga alternator sebagai solusi energy untuk mensuplay ke generator. Alasan penulis melakukan penelitian ini dikarenakan salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan pada alternator pada kerja laju kecepatan.

Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga alternator dapat menjadi dasar dalam pemanfaatan dan pengembangan lebih lanjut energi terbarukan khususnya energi alternator guna mencukupi kebutuhan energi listrik sebagai alternatif. Alternator memiliki fungsi utama mengubah energi kinetis menjadi energi listrik, dan disalurkan ke setiap bagian kendaraan bermotor. Dalam alternator terdapat sederet komponen yang menjalankan peran dan fungsinya masing-masing.

Pemanfaatan energi listrik sampai saat ini dalam sistem rentang transmisi untuk daerah-daerah terpencil belum dapat dijangkau disebabkan banyaknya kendala yang masih banyak dihadapi oleh PLN. Oleh sebab itu sebagai antisipasi dalam memenuhi kebutuhan energi listrik perdesaan tersebut, harus ada suatu proses rancang bangun sumber energi listrik pengganti seperti, inverter yang dapat mengubah arus listrik searah menjadi arus listrik bolak-balik, dari tegangan input 12Vdc menjadi tegangan output 220Vac, dengan kebutuhan daya tergantung dari kebutuhan beban yang terpasang pada inverter.

1.2 Rumusan masalah

Perancangan generator sebagai pembangkit listrik adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana melakukan pengujian untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan oleh Alternator ?
2. Bagaimana Kemampuan daya input dapat menampung beban?
3. Bagaimana mengaplikasikan Alternator sebagai energi yang menyuplay ke Inverter?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian adalah sebagai berikut.

1. Energi yang digunakan untuk menggerakkan Alternator.
2. Analisis mencakup hanya pada keluaran Alternator.
3. Inverter dengan perhitungan daya output berdasarkan acuan arus

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan alternator yang dapat menghasilkan energi yang menyuplai ke Inverter.
2. Mengetahui daya listrik yang dapat dibangkitkan daya input dapat menampung beban dan tidak berbeban
3. Memanfaatkan energi yang dihasilkan alternator untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan oleh inverter

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini

1. Pembangkit listrik sederhana ini biasanya sudah dilakukan oleh masyarakat pedesaan. Istilah listrik masuk desa pun bukan hal yang asing lagi dikarenakan di pedesaan telah teraliri dengan listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik sederhana
2. Menggunakan photovoltaic, photovoltaic bisa mengubah energi surya menjadi energi listrik yang bisa dimanfaatkan untuk membangkitkan tenaga listrik.

3. Mampu menambah wawasan dan lebih memacu semangat untuk memperdalam pengetahuan tentang alternator baik secara teori maupun secara praktek sehingga menjadi lebih baik.

1.6 Sistematis Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian.

BAB 4 ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

[1] Implementasi sumber tegangan-arus pada inverter untuk pembangkit listrik tenaga alternator memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem. Menurut Rashid (2013), inverter merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengonversi arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC), dengan dua jenis utama yaitu Voltage Source Inverter (VSI) dan Current Source Inverter (CSI). VSI menggunakan tegangan tetap sebagai sumber masukan dan biasanya digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan sumber tegangan yang stabil, sementara CSI menggunakan arus tetap dan lebih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kontrol arus yang presisi. Penelitian dari Bose (2002) menunjukkan bahwa teknik modulasi seperti Pulse Width Modulation (PWM) sangat penting dalam pengendalian switching pada inverter, karena memungkinkan kontrol yang lebih presisi terhadap tegangan dan arus output, sehingga dapat meningkatkan efisiensi konversi energi. Penggunaan komponen semikonduktor seperti Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) dan Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor (MOSFET) juga disoroti sebagai cara untuk meningkatkan efisiensi inverter, dengan IGBT unggul dalam menangani arus tinggi dengan kehilangan daya yang rendah, dan MOSFET lebih cocok untuk aplikasi dengan frekuensi switching yang tinggi. [2] menambahkan bahwa dalam sistem pembangkit listrik tenaga alternator, inverter berperan penting dalam mengubah tegangan DC yang dihasilkan oleh alternator menjadi tegangan AC yang sesuai dengan kebutuhan beban. Penggunaan VSI atau CSI pada inverter dapat meningkatkan stabilitas output listrik, dengan VSI menjaga tegangan tetap stabil dan CSI memastikan arus yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan beban. Penelitian lebih lanjut dan pengembangan teknik modulasi serta penggunaan komponen yang lebih efisien diperlukan untuk mengoptimalkan performa inverter dalam aplikasi PLTA, sehingga energi mekanik yang dihasilkan oleh alternator dapat diubah menjadi energi listrik dengan efisiensi yang tinggi.

2.2 Pengertian dan Konsep Dasar

2.2.1 Alternator

[3] Alternator adalah perangkat pembangkit tenaga listrik yang menyediakan energi listrik untuk berbagai kebutuhan kelistrikan di mobil, seperti lampu penerangan, lampu

indikator, sistem pengapian, injeksi bahan bakar, dan peralatan listrik lainnya. Alternator memiliki desain yang relatif sederhana dan menawarkan beberapa keuntungan dibandingkan mesin listrik lainnya. Keuntungan tersebut termasuk tidak adanya bunga api antara sikat dan slipring karena tidak menggunakan komutator yang bisa menyebabkan sikat cepat aus. Selain itu, rotor alternator lebih kuat dan tahan terhadap putaran tinggi, serta dilengkapi dengan dioda silikon.



Gambar 2. 1 Alternator

2.2.1 Prinsip Kerja Alternator

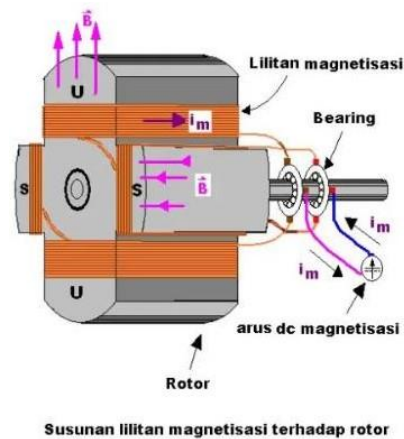
[4] Alternator bekerja dengan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui prinsip elektromagnetik. Ketika rotor alternator, yang dilengkapi dengan kumparan atau magnet permanen, berputar, ia menghasilkan medan magnet yang memotong kumparan-kumparan pada stator yang diam. Proses ini, menurut hukum Faraday, menghasilkan arus listrik bolak-balik (AC) dalam kumparan stator. Arus AC ini kemudian dikonversi menjadi arus searah (DC) oleh dioda rectifier dan dikendalikan oleh regulator tegangan untuk memastikan keluaran listrik stabil. Hasilnya adalah pasokan listrik yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan kelistrikan mobil, termasuk lampu, sistem pengapian, dan peralatan elektronik lainnya.

2.2.2 Konsep Dasar

Konsep dasar alternator terletak pada prinsip elektromagnetik, di mana energi mekanik diubah menjadi energi listrik. Alternator terdiri dari dua komponen utama: rotor dan stator. Rotor, yang berputar, menghasilkan medan magnet, sementara stator, yang diam, memiliki kumparan yang menghasilkan arus listrik saat terkena medan magnet dari rotor. [5] Proses ini mengikuti

hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik, di mana perubahan medan magnet dalam

kumparan stator menghasilkan arus bolak-balik (AC). Arus AC ini kemudian dikonversi menjadi arus searah (DC) oleh dioda rectifier dan diatur tegangannya oleh regulator tegangan untuk memastikan stabilitas pasokan listrik. Alternator memiliki keuntungan desain sederhana, efisiensi tinggi, dan ketahanan terhadap keausan karena tidak menggunakan sikat atau komutator, sehingga ideal untuk aplikasi seperti sistem kelistrikan kendaraan bermotor.



Gambar 2. 2 Simulasi Kerja

2.2.3 Rotor

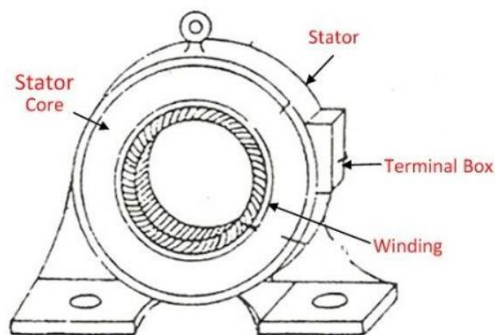
[6] Rotor memiliki fungsi utama dalam menghasilkan medan magnet. Ketika rotor berputar bersamaan dengan porosnya, sistem ini dikenal sebagai alternator dengan medan magnet yang berputar, karena pergerakan rotor menciptakan medan magnet yang berputar di sekelilingnya. Rotor ini terdiri dari sejumlah komponen penting, termasuk inti kutub (pole core) yang berfungsi sebagai bagian struktural yang mendukung kumparan medan. Kumparan medan yang terpasang pada inti kutub tersebut menghasilkan medan magnet ketika dialiri arus listrik. Selain itu, rotor juga dilengkapi dengan slip ring yang memungkinkan aliran arus listrik ke kumparan medan meskipun rotor berputar. Semua komponen ini dipasang pada poros, yang memastikan rotor dapat berputar secara stabil dan efisien dalam sistem alternator. [7] Inti kutub pada rotor sering kali berbentuk seperti cakar, memberikan dukungan struktural tambahan dan memastikan kumparan medan berada di posisi yang tepat untuk menghasilkan medan magnet yang diperlukan.



Gambar 2. 3 Rotor

2.2.4 Stator

Stator adalah bagian tetap dari sebuah mesin listrik atau generator yang berfungsi untuk menyediakan medan magnet statis yang berinteraksi dengan rotor yang berputar. [8] Dalam generator atau alternator, stator terdiri dari inti besi dan kumparan yang ditempatkan di sekitar rotor. Inti stator biasanya terbuat dari material feromagnetik seperti baja silikon untuk meningkatkan efisiensi medan magnet dan mengurangi kerugian energi. Kumparan pada stator biasanya terbuat dari kawat tembaga atau aluminium yang diisolasi dan dipasang pada slot di dalam inti stator. Ketika rotor berputar, medan magnet yang dihasilkan oleh rotor memotong kumparan stator, menghasilkan tegangan listrik sesuai dengan prinsip induksi elektromagnetik.



Gambar 2. 4 Stator

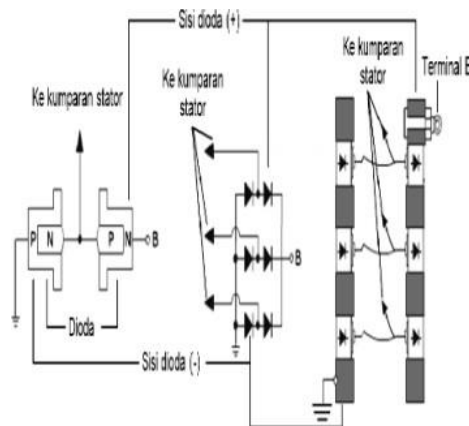
2.2.5 Slipring atau cincin geser

Slip ring atau cincin geser merupakan komponen listrik yang mentransfer arus listrik antara bagian statis dan bagian yang berputar dari mesin atau generator. Cincin geser ini terdiri dari satu atau lebih cincin logam yang terhubung dengan kawat untuk membentuk jalur konduktif

Bagi arus yang relatif sederhana dan menawarkan beberapa keuntungan dibandingkan mesin listrik lainnya. Keuntungan tersebut termasuk tidak adanya bunga api antara sikat dan slipring karena tidak menggunakan komutator yang bisa menyebabkan sikat cepat aus. Selain itu, rotor alternator lebih kuat dan tahan terhadap putaran tinggi, serta dilengkapi dengan dioda silikon.

2.2.6 Dioda (Rectifier)

Pada alternator, terdapat komponen penting berupa dioda atau rectifier yang berfungsi untuk mengubah arus bolak-balik (Alternating Current/AC) yang dihasilkan oleh kumparan stator menjadi arus searah (Direct Current/DC). [9] Dioda ini memainkan peran kunci dalam proses penyearahan dengan memanfaatkan karakteristiknya yang hanya memungkinkan arus mengalir dalam satu arah saja, sehingga dioda dapat diandalkan untuk mengubah arus AC menjadi DC. Dalam alternator tipe konvensional, terdapat enam dioda yang terpasang, di mana tiga dioda di antaranya berfungsi sebagai dioda positif dan tiga dioda lainnya berfungsi sebagai dioda negatif. Konfigurasi ini memungkinkan alternator untuk mengubah arus AC yang dihasilkan menjadi arus DC yang stabil dan dapat digunakan oleh sistem kelistrikan.



Gambar 2. 5 Dioda

Seperti yang terlihat pada gambar rangkaian dioda pada alternator, terdapat dua dioda yang dihubungkan secara seri, membentuk tiga pasang dioda yang masing-masing dihubungkan secara seri. Kaki anoda dari dioda negatif digabungkan dan dihubungkan dengan massa, sementara kaki katoda dari dioda positif juga saling dihubungkan dan dihubungkan dengan terminal B. [9] Ujung-ujung kumparan stator disambungkan ke bagian tengah antara pasangan dioda yang dihubungkan secara seri. Ini menggambarkan sifat dasar dioda yang digunakan untuk fungsi penyearahan. Dalam arah P ke N, jika tegangan kurang dari nilai tertentu, arus tidak dapat mengalir. Pada diodasilikon, tegangan ini biasanya berkisar antara 0,6 hingga 0,7 volt. Setelah arus mulai mengalir, arus akan terus meningkat meskipun perubahan tegangan hampir tidak terlihat. Hubungan antara tegangan dan arus bervariasi tergantung pada suhu lingkungan; jika suhu meningkat, arus menjadi lebih mudah mengalir.

2.2.7 V- Belt dan Pully

V-belt dan pulley adalah komponen mesin yang digunakan untuk mentransmisikan daya dari satu poros ke poros lain. V-belt berbentuk sabuk dengan penampang huruf V yang mencengkeram puli dengan kuat. Sementara pulley adalah komponen mekanis yang mentransfer daya atau gerakan dari satu tempat ke tempat lain.

Transmisi daya yang menggunakan peralatan belt dan pulley banyak dijumpai di dunia industri, antara lain: manufaktur, kertas, otomotif, dan tenaga listrik. Sistem transmisi belt digunakan karena penanganannya mudah dengan perawatan yang minimum, murah harganya, serta memiliki rentang daya dan kecepatan yang lebar.

Dalam dunia industri, transmisi daya motor penggerak dengan menggunakan pulisabuk V pada mesin rotari banyak digunakan. Hal ini disebabkan karena pulisabuk V berharga murah, dapat beroperasi pada rentang putaran dan daya yang lebar serta perawatan dan penanganannya yang tidak sukar. Pada saat mesin beroperasi, transmisi daya dengan puli-sabuk V sering mengalami permasalahan atau ketidaknormalan operasi seperti terjadinya kelonggaran sabuk V, ketidak seimbangan

massa puli, dan misalignment antar puli. Sabuk-V atau V-belt adalah salah satu transmisi penghubung yang terbuat dari karet dan mempunyai penampang trapesium. Dalam penggunaannya sabuk-V dibelitkan mengelilingi alur puli yang berbentuk V pula. Bagian sabuk yang membelit pada puli akan mengalami lengkungan sehingga lebar bagian dalamnya akan bertambah besar. Sabuk-V banyak digunakan karena sabuk-V sangat mudah dalam penanganannya dan murah harganya. Selain itu sabuk-V juga memiliki keunggulan lain di mana sabuk-V akan menghasilkan transmisi daya yang besar pada tegangan yang relatif rendah serta jika dibandingkan dengan transmisi roda gigi dan rantai, sabuk-V bekerja lebih halus dan tak bersuara. Sabuk-V selain juga memiliki keunggulan dibandingkan dengan transmisi-transmisi yang lain, sabuk-V juga memiliki kelemahan di mana sabuk-V dapat memungkinkan untuk terjadinya slip.



Gambar 2.6 Pully Alternator

2.2.9 Aplikasi dan Keuntungan Penggunaan Alternator

Alternator merupakan perangkat yang sangat penting dalam sistem kelistrikan, terutama dalam kendaraan dan generator. Dalam kendaraan, seperti mobil dan sepeda motor, alternator berfungsi untuk menghasilkan listrik yang mengisi baterai dan menyuplai daya untuk sistem kelistrikan lainnya, termasuk lampu dan perangkat elektronik. Selain itu, alternator juga digunakan dalam generator portabel dan stasioner untuk menghasilkan daya listrik dari mesin pembangkit, baik yang berbahan bakar fosil, hidro, atau energi terbarukan seperti angin dan air. Keuntungan utama penggunaan alternator meliputi efisiensi tinggi dalam konversi energi mekanik menjadi listrik. [10]. Desain alternator

memungkinkan produksi daya yang stabil dan konsisten, yang penting untuk menjaga kestabilan sistem kelistrikan. Alternator juga menawarkan fleksibilitas dalam menghasilkan berbagai tingkat daya sesuai kebutuhan dan memiliki daya tahan yang baik dengan perawatan minimal. Ini menjadikannya pilihan yang andal untuk berbagai aplikasi, dari kendaraan pribadi hingga pembangkit listrik besar. Alternator juga memiliki keuntungan dalam hal perawatan dan kemampuan beroperasi pada berbagai kecepatan. Dengan perawatan yang relatif mudah, alternator dapat diandalkan untuk beroperasi dalam kondisi yang keras dan terus-menerus memberikan pasokan daya yang stabil. Kemampuannya untuk berfungsi pada berbagai kecepatan rotor memberikan fleksibilitas tambahan dalam berbagai situasi operasi, menjadikannya komponen esensial dalam sistem kelistrikan modern.

Selain aplikasi utama dalam kendaraan dan generator, alternator juga memainkan peran penting dalam sistem energi terbarukan. Dalam turbin angin, alternator mengubah energi kinetik dari angin menjadi listrik, memungkinkan pemanfaatan energi angin secara efisien. Begitu pula dalam pembangkit listrik tenaga air, alternator digunakan untuk mengubah energi dari aliran air menjadi energi listrik yang dapat disuplai ke jaringan listrik atau digunakan secara lokal. Kemampuannya untuk menghasilkan listrik dalam kondisi yang bervariasi menjadikannya komponen yang sangat berharga dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan mempromosikan penggunaan energi terbarukan.

Di samping itu, alternator juga menyediakan solusi yang efektif untuk sistem cadangan daya, seperti dalam UPS (Uninterruptible Power Supply). Dalam kasus pemadaman listrik atau gangguan pada pasokan listrik utama, alternator dapat segera menyediakan daya cadangan, menjaga kontinuitas operasional untuk peralatan penting dan melindungi data atau perangkat elektronik dari kerusakan. Dengan kemampuannya untuk beroperasi secara andal dan menghasilkan daya yang stabil, alternator berperan penting dalam berbagai aplikasi industri dan domestik, memastikan ketersediaan energi yang stabil dan andal dalam situasi yang memerlukan ketergantungan tinggi pada pasokan listrik.

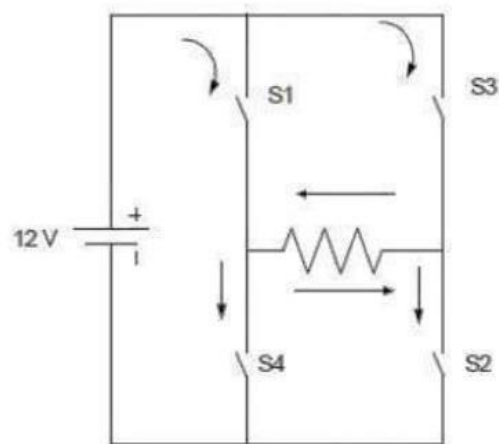
2.3 Inverter

Inverter adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengubah tegangan DC (Direct Current) menjadi tegangan AC (Alternating Current). Fungsi utama inverter adalah mengkonversi energi dari sumber daya DC, seperti baterai, aki, atau panel surya, menjadi energi AC yang dapat digunakan oleh peralatan listrik rumah tangga dan industri. Output dari inverter dapat berbentuk gelombang AC dengan berbagai bentuk, seperti gelombang sinus (sine wave), gelombang kotak (square wave), dan gelombang sinus modifikasi (modified sine wave). Inverter tidak menghasilkan listrik AC secara mandiri, melainkan hanya mengubah tegangan DC dari sumber daya menjadi tegangan AC. Oleh karena itu, inverter sangat penting dalam sistem energi terbarukan, terutama dalam mengintegrasikan energi dari panel surya ke dalam jaringan listrik atau penggunaan sehari-hari.

2.3.1 Prinsip Kerja Inverter

Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan menggunakan empat sakelar, seperti yang ditunjukkan di bawah ini. Ketika sakelar S1 dan S2 berada dalam kondisi aktif (on), arus DC akan mengalir melalui beban R dari arah kiri ke kanan. Sebaliknya, jika sakelar S3 dan S4 yang aktif, arus DC akan mengalir melalui beban R dari arah kanan ke kiri.

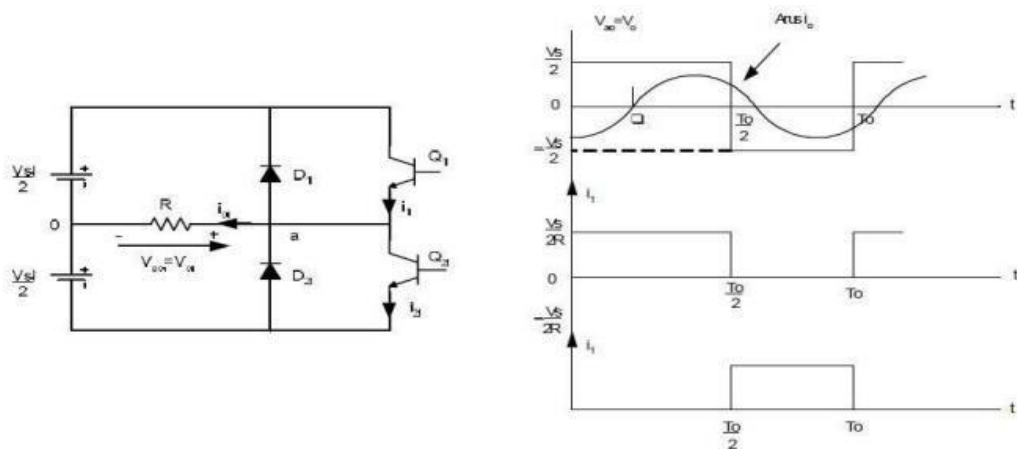
Gambar 2.6 menunjukkan skema rangkaian inverter yang biasanya menggunakan teknik modulasi lebar pulsa (Pulse Width Modulation - PWM) dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC.



Gambar 2. 7 Konsep Kerja Inverter

2.3.2 Inverter Gelombang Penuh

[11] Inverter ini memiliki output tegangan dengan bentuk gelombang sinus murni. Inverter jenis ini mampu memberikan suplai tegangan ke beban induktif, seperti motor listrik, dengan efisiensi daya yang baik. Gambar 2.7 menunjukkan bentuk gelombang penuh yang dihasilkan oleh inverter.



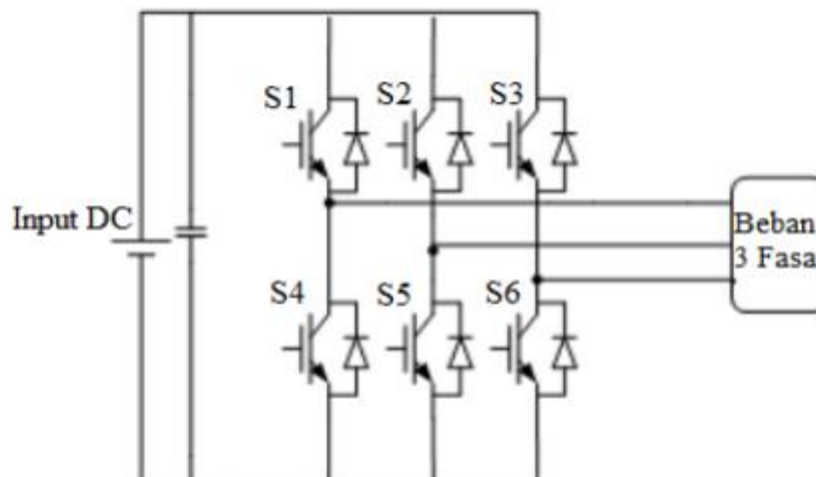
Gambar 2.8 Gelombang Penuh Inverter

Rangkaian dasar inverter gelombang penuh dan bentuk gelombang output dengan beban resistif ditunjukkan pada gambar di atas. Ketika transistor Q1 dan Q2 aktif (ON), tegangan V_s akan mengalir ke beban, sementara Q3 dan Q4 tidak aktif (OFF). Sebaliknya, ketika transistor Q3 dan Q4 aktif (ON) dan Q1 serta Q2 tidak aktif (OFF), tegangan $-V_s$ akan muncul pada beban. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam memilih inverter DC ke AC antara lain:

- **Kapasitas beban yang akan disuplai oleh inverter (dalam Watt):** Usahakan memilih inverter dengan kapasitas beban yang mendekati kebutuhan beban yang akan digunakan agar efisiensi kerja maksimal.
- **Sumber tegangan input inverter yang akan digunakan:** Pertimbangkan apakah input DC yang diperlukan adalah 12 Volt atau 24 Volt.
- **Bentuk gelombang output inverter:** Pilih antara sine wave atau square wave untuk tegangan output AC inverter, sesuai dengan kebutuhan dan efisiensi dari sistem DC ke AC yang akan digunakan."

2.3.3 Inverter Tiga Fasa

Inverter merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengubah tegangan DC ke AC. Salah satu tipe inverter yang paling umum adalah voltage source inverter (VSI). Inverter tiga fasa banyak digunakan untuk peralatan yang membutuhkan daya tinggi. Rangkaian dasar inverter tiga fasa terdiri dari 6 saklar seperti pada gambar 4. Karakteristik komponen elektronika yang sesuai sebagai saklar harus memiliki rating daya yang tinggi dan dapat digunakan untuk switching pada frekuensi tinggi. Sehingga Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) dipilih untuk desain inverter tiga fasa [12]



Gambar 2.9 Inverter 3 Fasa

Inverter tiga fasa digunakan untuk penerapan daya tinggi. Keluaran tiga fasa didapat dari sebuah konfigurasi dari enam transistor dan enam buah dioda, seperti yang terlihat pada Gambar 2.8 Apabila transistor Q1 di-ON-kan, terminal a dihubungkan ke terminal positif tegangan sumber DC. Apabila transistor Q4 di-ON-kan, terminal a dihubungkan ke terminal negatif sumber DC [13].

2.3.4 klasifikasi inverter

Berdasarkan jenis gelombang yang dihasilkan, inverter dapat dikategorikan menjadi tiga tipe: Square Sine Wave, Modified Sine Wave, dan Pure Sine Wave [14]. Pengelompokan ini didasarkan pada bentuk gelombang keluaran, yang juga memengaruhi tingkat efisiensi dan distorsi. Variasi tersebut dapat berdampak berbeda pada kinerja peralatan elektronik.

a. Square Sine Wave inverter

Square wave inverter adalah jenis inverter yang menghasilkan tegangan keluaran dengan bentuk gelombang kotak yang simetris terhadap ground. Umumnya, inverter jenis ini tidak cocok digunakan pada perangkat elektronik rumah tangga karena outputnya bukan gelombang sinus, melainkan berbentuk persegi seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

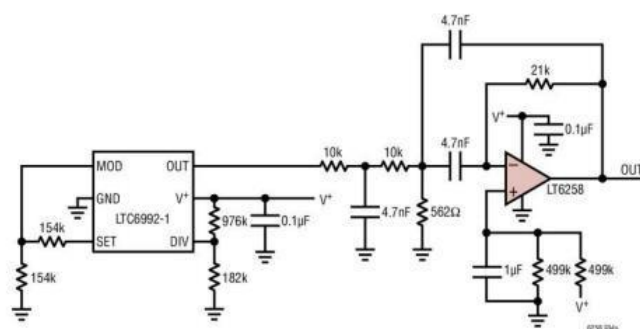


Figure 4a. Low Power Squarewave - Sinewave Oscillator

Gambar 2. 10 Rangkaian *Square Sine Wave inverter*

Kelebihan dan kekurangan inverter gelombang persegi:

Kelebihan:

1. Memiliki rangkaian yang sederhana.
2. Menggunakan komponen yang murah dan mudah ditemukan di pasaran.
3. Hanya memerlukan sedikit komponen.

Kekurangan:

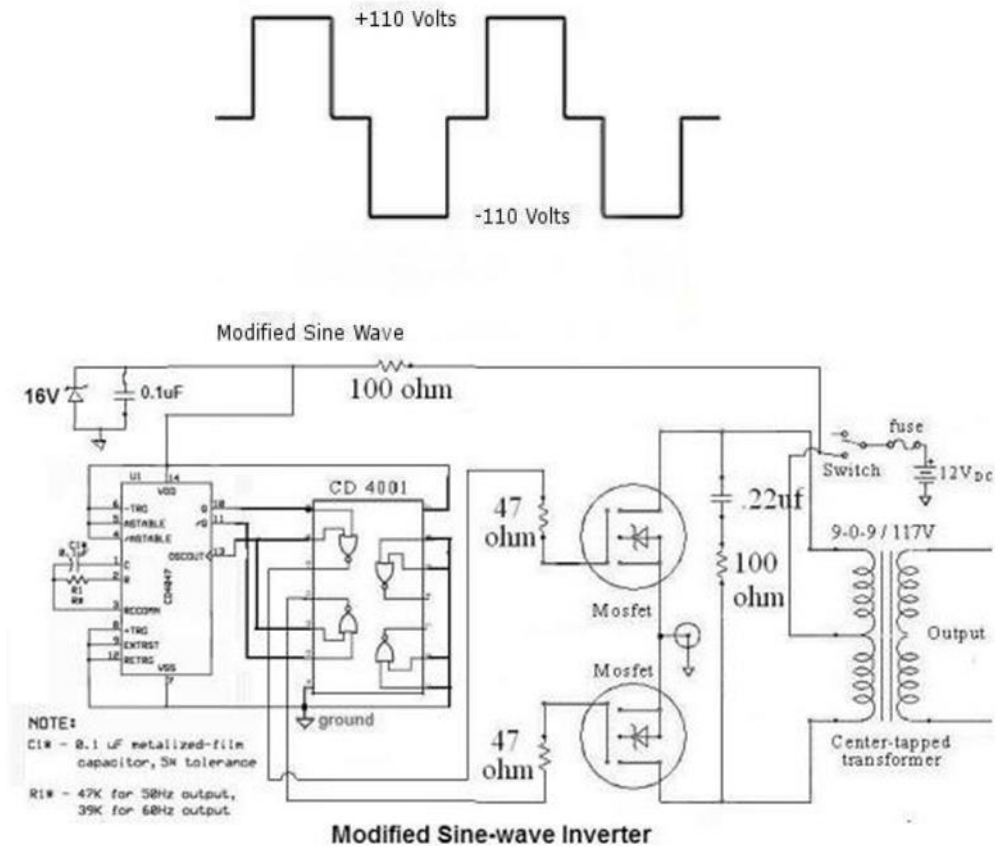
1. Gelombang keluaran berbentuk kotak, sehingga tidak cocok untuk beban induktif.
2. Kapasitas daya yang dihasilkan terbatas.
3. Semakin besar beban, semakin besar ukuran transformator yang diperlukan.

b. Inverter Modified Sine Wave

Modified sine wave inverter adalah inverter dengan tegangan output yang hampir mirip dengan Square sine wave, namun pada jenis inverter ini, outputnya menyentuh titik nol selama beberapa saat sebelum beralih ke positif atau negatif.

Modified sine wave memiliki distorsi harmonik yang lebih rendah dibandingkan dengan square wave, sehingga dapat digunakan untuk beberapa perangkat listrik seperti komputer, TV, dan lampu, meskipun tidak cocok untuk beban yang lebih sensitif. Dalam konverter dan motor elektronik, PWM sering digunakan untuk menghasilkan modified sine wave, yang memungkinkan

perangkat AC dijalankan dengan sumber daya DC atau untuk konversi lanjutan dari DC ke AC. Pada inverter modified sine wave, bentuk gelombang output memiliki tiga level tegangan: tinggi, rendah, dan nol, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.12 inverter Modified Sine Wave

Kontrol PWM analog melibatkan pembangkitan sinyal referensi dan pembawa yang kemudian diberikan ke komparator. Komparator ini menghasilkan sinyal keluaran berdasarkan perbedaan antara kedua sinyal tersebut. [15] Sinyal referensi berbentuk sinusoidal dan beroperasi pada frekuensi yang diinginkan untuk output, sedangkan sinyal pembawa biasanya berbentuk gigi gergaji atau gelombang segitiga dengan frekuensi yang jauh lebih tinggi daripada sinyal referensi.

Kelebihan dari inverter Modified Sine Wave:

1. Praktis dan ekonomis untuk diaplikasikan.
2. Dalam pengendalian kecepatan motor AC, PWM mampu menggerakkan motor induksi dengan putaran yang halus dan memiliki rentang kecepatan yang luas.
3. Menghasilkan distorsi harmonik yang lebih rendah pada tegangan keluaran dibandingkan jenis inverter lainnya.

Kekurangan dari inverter Modified Sine Wave:

1. Gelombang jenis ini tidak cocok untuk perangkat seperti printer laser, hard drive, oven microwave, dan sebagainya.
2. Tegangan output dapat mengalami penurunan.
3. Terjadi interferensi elektromagnetik (EMI) akibat harmonik dengan urutan tinggi.

c. Inverter Pure Sine Wave

Pure Sine Wave adalah inverter yang menghasilkan tegangan output dengan bentuk gelombang sinus murni. Dengan total harmonic distortion (THD) kurang dari 3%, inverter ini sangat cocok

4. Menggunakan komponen yang murah dan mudah ditemukan di pasaran.
5. Hanya memerlukan sedikit komponen.

Kekurangan:

4. Gelombang keluaran berbentuk kotak, sehingga tidak cocok untuk beban induktif.
5. Kapasitas daya yang dihasilkan terbatas.
6. Semakin besar beban, semakin besar ukuran transformator yang diperlukan.

d. Inverter Modified Sine Wave

Modified sine wave inverter adalah inverter dengan tegangan output yang hampir mirip dengan Square sine wave, namun pada jenis inverter ini, outputnya menyentuh titik nol selama beberapa saat sebelum beralih ke positif atau negatif.

Modified sine wave memiliki distorsi harmonik yang lebih rendah dibandingkan dengan square wave, sehingga dapat digunakan untuk beberapa perangkat listrik seperti komputer, TV, dan lampu, meskipun tidak cocok untuk beban yang lebih sensitif. Dalam konverter dan motor elektronik, PWM sering digunakan untuk menghasilkan modified sine wave, yang memungkinkan perangkat AC dijalankan dengan sumber daya DC atau untuk konversi lanjutan dari DC ke AC. Pada inverter modified sine wave, bentuk gelombang output memiliki tiga level tegangan: tinggi, rendah, dan nol, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

Kontrol PWM analog melibatkan pembangkitan sinyal referensi dan pembawa yang kemudian diberikan ke komparator. Komparator ini menghasilkan sinyal keluaran berdasarkan perbedaan antara kedua sinyal tersebut. [15] Sinyal referensi berbentuk sinusoidal dan beroperasi pada frekuensi yang diinginkan untuk output, sedangkan sinyal pembawa biasanya berbentuk gigi gergaji atau gelombang segitiga dengan frekuensi yang jauh lebih tinggi daripada sinyal referensi. **Kelebihan dari inverter Modified Sine Wave:**

1. Praktis dan ekonomis untuk diaplikasikan.
2. Dalam pengendalian kecepatan motor AC, PWM mampu menggerakkan motor induksi dengan putaran yang halus dan memiliki rentang kecepatan yang luas.
3. Menghasilkan distorsi harmonik yang lebih rendah pada tegangan keluaran dibandingkan jenis inverter lainnya.

Kekurangan dari inverter Modified Sine Wave:

1. 1Gelombang jenis ini tidak cocok untuk perangkat seperti printer laser, hard drive, oven microwave, dan sebagainya.
2. Tegangan output dapat mengalami penurunan.

Terjadi interferensi elektromagnetik (EMI) akibat harmonik dengan urutan tinggi

6. Menggunakan komponen yang murah dan mudah ditemukan di pasaran.
7. Hanya memerlukan sedikit komponen.

Kekurangan:

7. Gelombang keluaran berbentuk kotak, sehingga tidak cocok untuk beban induktif.
8. Kapasitas daya yang dihasilkan terbatas.
9. Semakin besar beban, semakin besar ukuran transformator yang diperlukan.

e. Inverter Modified Sine Wave

Modified sine wave inverter adalah inverter dengan tegangan output yang hampir mirip dengan Square sine wave, namun pada jenis inverter ini, outputnya menyentuh titik nol selama beberapa saat sebelum beralih ke positif atau negatif.

Modified sine wave memiliki distorsi harmonik yang lebih rendah dibandingkan dengan square wave, sehingga dapat digunakan untuk beberapa perangkat listrik seperti komputer, TV, dan lampu, meskipun tidak cocok untuk beban yang lebih sensitif. Dalam konverter dan motor elektronik, PWM sering digunakan untuk menghasilkan modified sine wave, yang memungkinkan perangkat AC dijalankan dengan sumber daya DC atau untuk konversi lanjutan dari DC ke AC. Pada inverter modified sine wave, bentuk gelombang output memiliki tiga level tegangan: tinggi, rendah, dan nol, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

Kontrol PWM analog melibatkan pembangkitan sinyal referensi dan pembawa yang kemudian diberikan ke komparator. Komparator ini menghasilkan sinyal keluaran berdasarkan perbedaan antara kedua sinyal tersebut. [15] Sinyal referensi berbentuk sinusoidal dan beroperasi pada frekuensi yang diinginkan untuk output, sedangkan sinyal pembawa biasanya berbentuk gigi gergaji atau gelombang segitiga dengan frekuensi yang jauh lebih tinggi daripada sinyal referensi. **Kelebihan dari inverter Modified Sine Wave:**

1. Praktis dan ekonomis untuk diaplikasikan.
2. Dalam pengendalian kecepatan motor AC, PWM mampu menggerakkan motor induksi dengan putaran yang halus dan memiliki rentang kecepatan yang luas.
3. Menghasilkan distorsi harmonik yang lebih rendah pada tegangan keluaran dibandingkan jenis inverter lainnya.

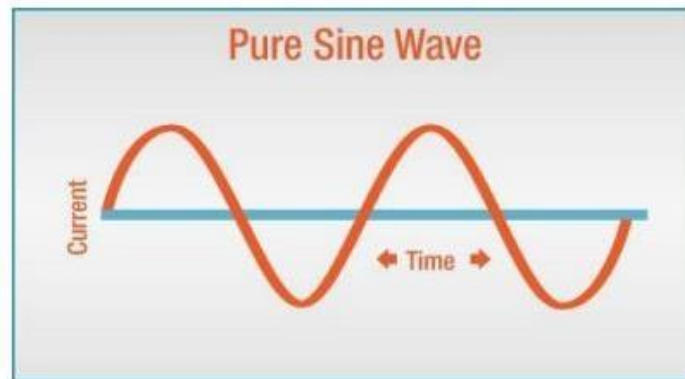
Kekurangan dari inverter Modified Sine Wave:

3. 1 Gelombang jenis ini tidak cocok untuk perangkat seperti printer laser, hard drive, oven microwave, dan sebagainya.
4. Tegangan output dapat mengalami penurunan.
5. Terjadi interferensi elektromagnetik (EMI) akibat harmonik dengan urutan tinggi.

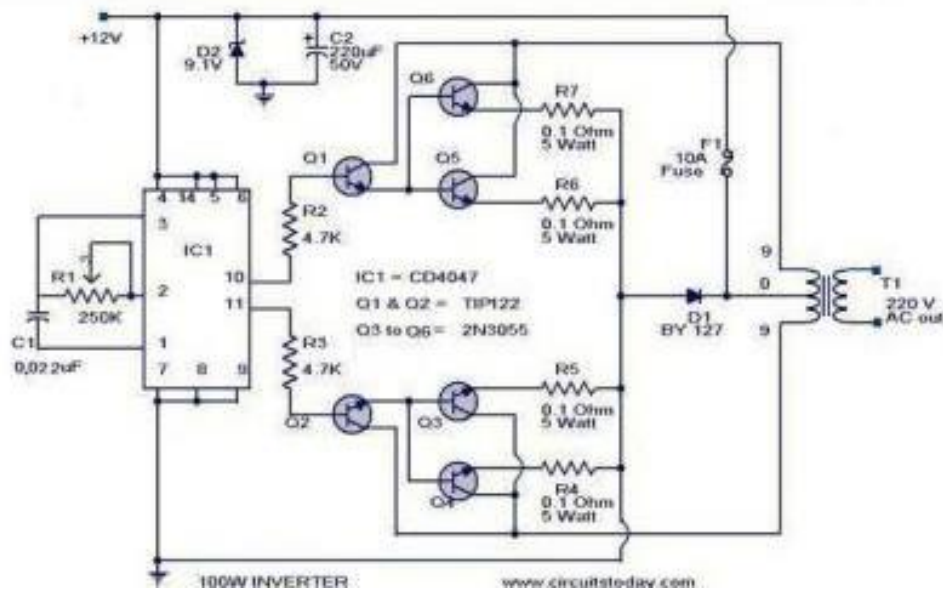
c. Inverter Pure Sine Wave

Pure Sine Wave adalah inverter yang menghasilkan tegangan output dengan bentuk gelombang sinus murni. Dengan total harmonic distortion (THD) kurang dari 3%, inverter ini sangat cocok untuk digunakan pada semua jenis perangkat elektronik. Karena alasan ini, inverter ini juga dikenal sebagai "clean power supply."

Teknologi yang digunakan dalam inverter ini umumnya dikenal sebagai Pulse Width Modulation (PWM), yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC dengan bentuk gelombang yang hampir menyerupai sinusoidal. Sumber daya terbaik untuk sebagian besar aplikasi adalah gelombang sinus murni 50 Hz, yang identik dengan tegangan 120 Vrms yang disediakan oleh perusahaan listrik.



Gambar 2.13 Pure Sine Wave



Gambar 2. 14 Rangkaian Pure Sine Wave

Bentuk gelombang adalah grafik yang menunjukkan sinyal sebagai fungsi waktu, juga dikenal sebagai getaran selaras sederhana yang menggambarkan gerak harmonis dengan amplitudo tetap. Gelombang sinus adalah gelombang yang berosilasi secara terus-menerus antara dua nilai puncak, yaitu puncak positif dan negatif. Untuk sebagian besar aplikasi, gelombang sinus murni

60 Hz merupakan sumber daya yang ideal, identik dengan tegangan 120 Vrms yang disediakan oleh perusahaan listrik di AS.

Kelebihan dari Pure Sine Wave Inverter:

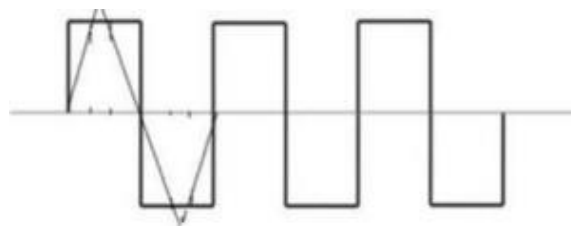
1. Tegangan output dari inverter ini berbentuk gelombang sinus murni, sehingga lebih aman digunakan untuk menyalakan perangkat elektronik di rumah.
2. Beban induktif seperti oven microwave dan motor beroperasi lebih cepat, ringan, dan efisien.
3. Tidak merusak perangkat elektronik induktif seperti motor kipas, lampu neon, audio amplifier, TV, dan lainnya.

Kekurangan dari Pure Sine Wave Inverter:

1. Rugi-rugi switching meningkat karena frekuensi PWM yang tinggi.
2. Inverter jenis ini membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai rotasi yang presisi.
3. Tegangan outputnya dapat mengalami penurunan.

2.3.5 Single Pulse Width Modulation

Pada modulasi ini, hanya terdapat satu pulsa output per setengah siklus. Outputnya diatur dengan mengubah lebar pulsa gelombang. Sinyal gating dihasilkan dengan membandingkan sinyal referensi berbentuk persegi dengan sinyal referensi berbentuk segitiga. Frekuensi kedua sinyal ini hampir sama, seperti yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



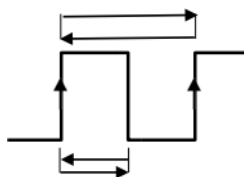
Gambar 2. 13 Single Pulse Width Modulation

TON adalah waktu ketika tegangan keluaran berada pada posisi tinggi, sedangkan TOFF adalah waktu ketika tegangan keluaran berada pada posisi rendah. Jumlah dari kedua waktu ini

menentukan nilai duty cycle. T_{total} adalah waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus penuh, atau penjumlahan antara TON dan TOFF, yang setara dengan satu gelombang atau periode.

2.3.6 Multiple Pulse Width Modulation

Teknik Multiple Pulse Width Modulation (MPWM) adalah metode yang menggandakan keluaran PWM setiap setengah siklus dengan lebar sinyal yang berbeda. Untuk membentuk sinyal gelombang pulsa (gating signal), gelombang sinus yang diinginkan (sinyal referensi) dibandingkan dengan gelombang segitiga (triangular wave). Lebar setiap sinyal PWM yang dihasilkan bervariasi sesuai dengan amplitudo gelombang sinus yang diinginkan pada pusat PWM yang sama.



duty cycle

Gambar 2. 15 Duty Cycle

2.4 Sumber Arus

[16] Sumber arus (current source) adalah sebuah elemen dalam rangkaian listrik yang menyediakan arus listrik yang konstan ke sebuah beban, terlepas dari tegangan yang ada pada beban tersebut. Tidak seperti sumber tegangan yang mempertahankan tegangan konstan, sumber arus akan menjaga arus tetap konstan walaupun terjadi perubahan dalam resistansi beban. Idealnya, sumber arus akan memiliki impedansi internal yang sangat tinggi.

2.4.1 Penerapan Sumber Arus pada Sistem Inverter

Pada sistem inverter, sumber arus sering digunakan dalam desain topologi inverter yang dikenal sebagai **Current Source Inverter (CSI)**. Pada CSI, sumber arus digunakan untuk menyediakan arus yang konstan kepada inverter. Inverter ini mengubah arus DC yang konstan dari sumber arus menjadi arus AC yang dapat digunakan untuk menggerakkan beban seperti motor atau peralatan listrik lainnya.

2.5 Sumber Tegangan

Sumber tegangan adalah komponen atau perangkat yang menyediakan tegangan listrik yang diperlukan untuk mengalirkan arus dalam suatu rangkaian listrik. Sumber tegangan dapat berupa baterai, generator, atau sumber daya listrik lainnya yang mampu menyediakan tegangan yang stabil dan cukup untuk memenuhi kebutuhan beban dalam sistem.

2.5.1 Karakteristik Sumber Tegangan

Karakteristik utama dari sumber tegangan meliputi:

1. **Tegangan Output:** Nilai tegangan yang disediakan oleh sumber, yang dapat berupa tegangan tetap (DC) atau tegangan bolak-balik (AC).
2. **Kestabilan Tegangan:** Kemampuan sumber untuk mempertahankan nilai tegangan yang konsisten meskipun terjadi perubahan beban.
3. **Kapasitas Arus:** Jumlah arus maksimum yang dapat disuplai oleh sumber tanpa menyebabkan penurunan tegangan yang signifikan.
4. **Impedansi Internal:** Resistansi internal sumber tegangan yang mempengaruhi kestabilan tegangan dan efisiensi dalam memberikan arus kepada beban.
5. **Regulasi Tegangan:** Kemampuan sumber untuk mempertahankan tegangan output yang stabil dalam berbagai kondisi beban.

2.5.2 Penerapan Sumber Tegangan pada Sistem Inverter

Sumber tegangan memainkan peran penting dalam sistem inverter, yang berfungsi mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Penerapan sumber tegangan pada sistem inverter melibatkan:

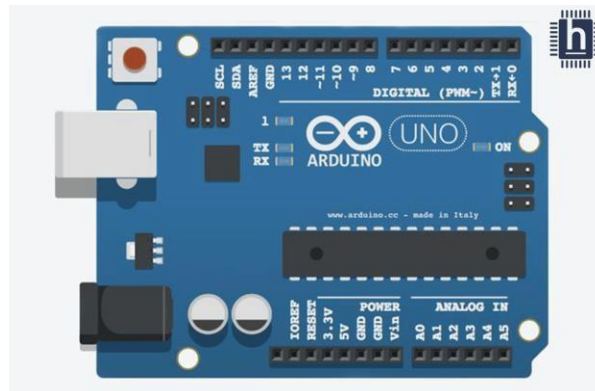
1. **Sumber Tegangan DC:** Inverter memerlukan sumber tegangan DC sebagai input, yang dapat berupa baterai, panel surya, atau catu daya DC lainnya. Sumber ini menyediakan tegangan yang diperlukan untuk proses konversi.
2. **Stabilitas Tegangan:** Agar inverter berfungsi dengan baik, sumber tegangan DC harus memiliki kestabilan yang baik. Fluktuasi tegangan dapat mempengaruhi performa inverter, menghasilkan gelombang AC yang tidak stabil atau menurunkan efisiensi konversi.
3. **Kapasitas Arus:** Sumber tegangan DC harus mampu menyediakan arus yang cukup sesuai dengan daya yang dibutuhkan oleh inverter untuk menghasilkan output AC yang diinginkan. Kapasitas arus yang tidak mencukupi dapat menyebabkan penurunan tegangan

atau kerusakan pada inverter.

4. **Impedansi Internal:** Impedansi internal sumber tegangan harus rendah untuk memastikan bahwa tegangan yang disuplai tetap stabil meskipun ada perubahan beban. Impedansi tinggi dapat menyebabkan penurunan tegangan yang mempengaruhi kinerja inverter.
5. **Regulasi Tegangan:** Sumber tegangan DC dengan regulasi yang baik memastikan bahwa inverter menerima tegangan yang konsisten, yang penting untuk menghasilkan gelombang AC yang bersih dan stabil.

2.6 Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328P yang dirancang untuk mempermudah pengembangan dan prototyping proyek elektronik. Papan ini merupakan salah satu model yang paling populer dan sering digunakan dalam ekosistem Arduino karena kemudahan penggunaannya dan dukungannya yang luas. Arduino Uno menawarkan antarmuka yang sederhana untuk pemrograman dan pengendalian perangkat elektronik.



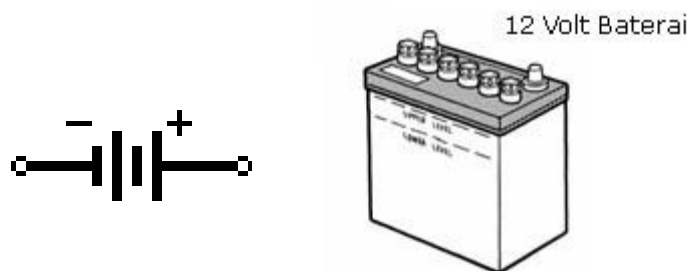
Gambar 2. 16 Arduino Uno

2.6.1 Spesifikasi Arduino Uno

- **Mikrokontroler:** ATmega328P
- **Tegangan Operasi:** 5V
- **Tegangan Masuk (Rekomendasi):** 7-12V
- **Tegangan Masuk (Batas):** 6-20V
- **Pin Digital I/O:** 14 (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM)
- **Pin Analog Input:** 6
- **Arus I/O Pin:** 20 mA per pin
- **Memori Flash:** 32 KB (dengan 0,5 KB digunakan oleh bootloader)
- **Memori SRAM:** 2 KB
- **Memori EEPROM:** 1 KB
- **Kecepatan Clock:** 16 MHz
- **Port USB:** Untuk pemrograman dan komunikasi serial
- **Konektor DC:** Untuk sumber daya eksterna

2.7 Baterai

Baterai adalah alat elektrokimia yang dibuat untuk menyuplai arus listrik ke sistem starter, sistem pengapian, asesoris kendaraan, sistem kelistrikan bodi dan peralatan lainnya. Alat ini menyimpan arus listrik dalam bentuk energi kimia yang dikeluarkan bila diperlukan dan menyuplainya ke masing-masing sistem kelistrikan atau alat yang memerlukannya [18].



Gambar 2.19 Baterai

Baterai (Battery) merupakan sebuah alat yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi Listrik yang kemudian akan digunakan oleh suatu perangkat Elektronik. Hampir semua perangkat elektronik yang portabel seperti diantaranya Handphone, Laptop, Senter, juga Remote Control menggunakan Baterai sebagai sumber listriknya. Dengan adanya Baterai, kita tak perlu lagi menyambungkan kabel listrik serta mengaktifkan perangkat elektronik kita sehingga kemudian dapat dengan mudah dibawa kemana-mana. Dalam kehidupan sehari-hari, kita dapat menemui dua jenis Baterai diantaranya adalah Baterai yang hanya dapat dipakai sekali saja (*Single Use*) serta Baterai yang dapat di isi ulang (*Rechargeable*).

Dalam baterai terdapat plat positif dan plat negatif sebagai terminal baterai. Plat-plat tersebut biasanya terbuat dari timbal dan timah, maka baterai ini disebut baterai timah. Ruang dalamnya dibagi menjadi beberapa sel dan dalam masing masing sel terdapat beberapa elemen yang terendam didalam larutan elektrolit. Baterai menyediakan arus listrik tegangan rendah 12 volt. Kutub negatif baterai dihubungkan dengan masa, sedangkan kutub positif baterai dengan kunci kontak dan alternator.

Baterai merupakan alat listrik-kimiawi yang menyimpan energi serta mengeluarkan tenaganya dalam bentuk listrik. Baterai yang biasa dijual (disposable/sekali pakai) ini mempunyai tegangan listrik 1,5 volt. Baterai yang berbentuk tabung ataupun kotak. Ada juga yang kemudian dinamakan

rechargeable battery, yaitu baterai yang kemudian dapat diisi ulang, seperti yang biasa terdapat pada telepon genggam. Baterai sekali pakai juga disebut dengan baterai primer, sementara baterai isi ulang disebut juga sebagai baterai sekunder. Mungkin kamu sering berpikir bagaimana benda sekecil ini mampu memberikan energi pada benda-benda lain yang lebih besar, serta bertanya bagaimana sih cara kerja baterai hingga kemudian mampu menghasilkan energi untuk benda-benda lain?

2.7.1 Prinsip Kerja Baterai

Baterai ialah perangkat yang mampu menghasilkan tegangan DC, yaitu dengan cara mengubah energi kimia yang terkandung di dalamnya menjadi energi listrik melalui suatu reaksi elektrokimia, Redoks (Reduksi – Oksidasi). Terdapat 2 jenis proses yang terjadi pada baterai :

1. Proses Pengisian: Proses pengubahan energi listrik menjadi energi kimia

Jika baterai dihubungkan dengan beban maka, elektronnya akan mengalir ke elektroda positif (PbO_2) dengan melalui beban dari elektroda negatif (Pb), kemudian ion-ion negatifnya akan mengalir ke elektroda positif serta ion-ion positifnya akan mengalir ke elektroda negatif. Arus listrik juga dapat mengalir disebabkan adanya elektron yang kemudian bergerak ke serta atau dari elektroda sel dengan melalui reaksi ion antara molekul elektroda dengan molekul elektrolit sehingga memberikan jalan bagi elektron untuk mengalir.

2. Proses Pengosongan : Proses pengubahan energi kimia menjadi energi listrik

Proses ini merupakan proses kebalikan dari proses pengosongan dimana arus listrik dialirkan yang arahnya berlawanan dengan arus yang terjadi pada saat pengosongan. Pada proses ini, kemudian setiap molekul air akan terurai. Ion oksigen yang bebas bersatu dengan tiap atom Pb pada plat positif ini kemudian akan membentuk timah peroksida (PbO_2). Sementara setiap pasang ion hidrogen (2H^+) yang dekat plat negatif bersatu dengan ion negatif Sulfat (SO_4^-) pada plat negatif untuk kemudian membentuk asam sulfat.

2.7.2 Fungsi Baterai

Jika bicara fungsi dari baterai ini bisa dibilang sebagai penghantar listrik ke suatu benda, sehingga benda yang dialiri dengan arus listrik, maka bisa bekerja dengan optimal. Dari proses inilah, maka bisa dibilang kalau fungsi baterai sangatlah penting dalam benda yang perlu dialiri

listrik. Meskipun seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, bisa membuat suatu benda dapat bekerja dengan baik tanpa adanya baterai, tetapi penggunaan baterai ini masih tetap terus digunakan. Misalnya, pada *handphone*, laptop, dan sebagainya. Sederhananya, dengan adanya baterai tentu saja memungkinkan pengguna menghidupkan atau mengoperasikan perangkat tertentu tanpa harus mencolok langsung pada sumber arus listrik. Selain itu, dapat dikatakan juga kalau fungsi dari baterai adalah untuk menyediakan atau menyuplai energi listrik bagi alat elektronik tanpa harus tersambung ke listrik.

2.7.3 Jenis Jenis Baterai

Setiap baterai terdiri dari Terminal Positif (Katoda) serta Terminal Negatif (Anoda) serta Elektrolit yang kemudian berfungsi sebagai penghantar. Output Arus Listrik dari baterai adalah Arus Searah atau disebut juga sebagai Arus DC (Direct Current). Pada umumnya, baterai kemudian terdiri dari 2 Jenis utama yakni Baterai Primer yang hanya bisa digunakan satu kali (*single use battery*) dan Baterai Sekunder yang dapat diisi ulang (*rechargeable battery*). Berikut ini penjelasan lengkap tentang kedua jenis baterai.

1. Baterai Primer (Baterai Sekali Pakai/Single Use)

Baterai Primer atau baterai sekali pakai adalah baterai yang paling sering ditemukan di pasaran, hampir semua toko serta supermarket menjualnya. Hal ini dikarenakan penggunaannya yang luas dengan harga yang sangat terjangkau. Baterai jenis ini juga pada umumnya memberikan tegangan 1,5 Volt serta terdiri dari berbagai jenis ukuran seperti AAA (sangat kecil), AA (kecil) serta C (medium) dan D (besar). Disamping itu, terdapat Baterai Primer (sekali pakai) yang kemudian berbentuk kotak dengan tegangan 6 Volt ataupun 9 Volt. Jenis-jenis Baterai yang tergolong ke dalam Kategori Baterai Primer (sekali Pakai atau Single use) antara lain.

a. Baterai Zinc-Carbon (Seng-Karbon)

Baterai Zinc-Carbon juga sering disebut sebagai baterai “Heavy Duty” yang sering kita jumpai di toko-toko ataupun supermarket. Baterai jenis ini kemudian terdiri dari bahan Zinc yang berfungsi sebagai Terminal Negatif serta sebagai pembungkus baterainya. Sementara itu, Terminal Positifnya berasal dari Karbon yang berbentuk Batang (rod). Baterai jenis Zinc-Carbon juga merupakan jenis baterai yang relatif murah jika dibandingkan dengan jenis lainnya.

b. Baterai Alkaline (Alkali)

Baterai Alkaline ini kemudian memiliki daya tahan yang lebih lama dengan harga yang lebih mahal jika dibandingkan dengan Baterai Zinc-Carbon. Elektrolit yang digunakannya ialah

Potassium Hydroxide yang kemudian merupakan Zat Alkali (Alkaline), sehingga namanya juga disebut dengan baterai Alkaline.

c. Baterai Lithium

Baterai Lithium bisa jenis baterai yang memiliki kinerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan jenis-jenis Baterai Primer (sekali pakai) lainnya. Baterai Lithium juga dapat disimpan lebih dari 10 tahun serta dapat bekerja pada suhu yang sangat rendah. Karena keunggulannya ini, baterai jenis Lithium kemudian sering digunakan untuk aplikasi memory backup pada Mikrokomputer juga Jam Tangan. Baterai Lithium kemudian bisa dibuat seperti bentuk Uang Logam ataupun disebut juga dengan Baterai Koin (Coin Battery). Selain itu, ada juga yang kemudian memanggilnya Button Cell ataupun Baterai Kancing.

d. Baterai Silver Oxide

Baterai Silver Oxide adalah jenis baterai yang tergolong mahal dalam hal harganya. Hal ini sendiri dikarenakan tingginya harga Perak (Silver). Baterai Silver Oxide kemudian dapat dibuat untuk menghasilkan Energi yang tinggi namun dengan bentuk yang relatif kecil dan ringan.

Baterai jenis Silver Oxide ini juga sering dibuat dalam bentuk Baterai Koin (Coin Battery) atau Baterai Kancing (Button Cell). Baterai jenis Silver Oxide ini juga sering dipergunakan pada jam tangan, kalkulator, dan aplikasi militer.

2. Baterai Sekunder (Baterai Isi Ulang/Rechargeable)

Baterai Sekunder merupakan jenis baterai yang dapat di isi ulang ataupun Rechargeable Battery. Pada prinsipnya, cara baterai sekunder dalam menghasilkan arus listrik adalah sama dengan Baterai Primer. Hanya saja, Reaksi Kimia pada Baterai Sekunder ini juga dapat berbalik (Reversible).

Pada saat baterai ini digunakan dengan menghubungkan beban pada terminal baterai (discharge), elektron ini kemudian akan mengalir dari negatif ke positif. Sementara pada saat sumber energi luar (charger) ini kemudian dihubungkan ke baterai sekunder, elektron ini akan mengalir dari positif ke negatif, sehingga terjadi pengisian muatan pada baterai.

Jenis-jenis baterai yang dapat di isi ulang (rechargeable battery) ini sering kita temukan antara lain seperti pada baterai Ni-cd (Nickel-Cadmium), Ni-MH (Nickel-Metal Hydride) serta Li-Ion (Lithium-Ion). Adapun jenis-jenis baterai yang tergolong ke dalam kategori baterai sekunder (baterai isi ulang), antara lain:

a. Baterai Ni-Cd (Nickel-Cadmium)

Baterai Ni-Cd (Nickel-Cadmium) merupakan jenis baterai sekunder (isi ulang) yang menggunakan Nickel Oxide Hydroxide serta Metallic Kadmium adalah bahan elektrolitnya. Baterai

Ni-Cd ini memiliki kemampuan beroperasi dalam jangkauan suhu yang luas serta siklus daya tahan yang lama. Di satu sisi, baterai Ni-Cd kemudian akan melakukan discharge sendiri (self discharge) sekitar 30% per bulan saat tak lagi digunakan. Baterai Ni-Cd juga mengandung 15% Toksik/racun yaitu bahan Carcinogenic Kadmium yang kemudian dapat membahayakan kesehatan manusia serta lingkungan hidup. Saat ini, penggunaan serta penjualan baterai Ni-Cd (Nickel-Cadmium) dalam perangkat portabel konsumen ini telah dilarang oleh EU (European Union) berdasarkan pada peraturan “Directive 2006/66/EC” atau dikenal dengan “Battery Directive”.

b. Baterai Ni-MH (Nickel-Metal Hydride)

Baterai Ni-MH (Nickel-Metal Hydride) ini memiliki keunggulan yang hampir sama dengan Ni-Cd, tetapi baterai Ni-MH memiliki kapasitas 30% lebih tinggi jika dibandingkan dengan baterai Ni-Cd serta tak memiliki zat berbahaya Cadmium yang akan merusak lingkungan serta kesehatan manusia. Baterai Ni-MH juga dapat diisi ulang hingga ratusan kali sehingga dapat menghemat biaya dalam pembelian baterai. Baterai Ni-MH juga memiliki Self-discharge sekitar 40% setiap bulannya jika tidak digunakan. Saat ini, baterai Ni-MH juga banyak digunakan dalam Kamera dan radio komunikasi. Meski tidak memiliki zat berbahaya Cadmium, tetapi baterai Ni-MH juga tetap mengandung sedikit zat berbahaya yang dapat merusak kesehatan manusia serta lingkungan hidup, sehingga perlu dilakukan daur ulang (recycle) dan tak boleh dibuang di sembarang tempat.

Terdapat 2 jenis baterai berdasarkan pada proses yang terjadi, yaitu:

1. Primary battery

Baterai yang hanya dapat digunakan sekali saja dan dibuang. Material elektrodanya tidak dapat berkebalikan arah ketika dilepaskan [19].

2. Secondary battery

Baterai yang dapat digunakan dan diisi ulang beberapa kali, proses kimia yang terjadi di dalam baterai ada reversibel, dan baha aktif dapat kembali ke kondisi semula dengan pengisian sel.

Baterai sekunder sendiri terdapat banyak jenisnya di pasaran, antara lain:

a. Baterai ion litium (Li-ion atau LIB)

Di dalam baterai ini, ion litium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan, dan kembali saat diisi ulang. Baterai Li-ion memakai senyawa litium interkalasi sebagai bahan elektrodanya, berbeda dengan litium metalik yang dipakai di baterai litium non-isi ulang. Baterai ion litium

umumnya dijumpai pada barang-barang elektronik konsumen. Baterai ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan elektronik portabel, karena memiliki salah satu kepadatan energi terbaik, tanpa efek memori, dan mengalami kehilangan isi yang lambat saat tidak digunakan.

b. Baterai Lithium Polymer (Li-Po)

Hampir sama dengan baterai Li-Ion akan tetapi baterai Li-Po tidak menggunakan cairan sebagai elektrolit melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan film ini disusun berlapis-lapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Dengan metode ini baterai LiPo dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Diluar dari kelebihan arsitektur baterai LiPo, terdapat juga kekurangan yaitu lemahnya aliran pertukaran ion yang terjadi melalui elektrolit polimer kering.

c. Baterai Lead Acid (Accu)

Baterai Lead Acid atau biasa disebut aki merupakan salah satu jenis baterai yang menggunakan asam timbal (lead acid) sebagai bahan kimianya. Secara umum terdapat dua jenis baterai leadacid, yaitu : (a). Starting Battery, dan (b). Deep Cycle Battery.

d. Baterai Nickel-Metal Hydride (Ni-MH)

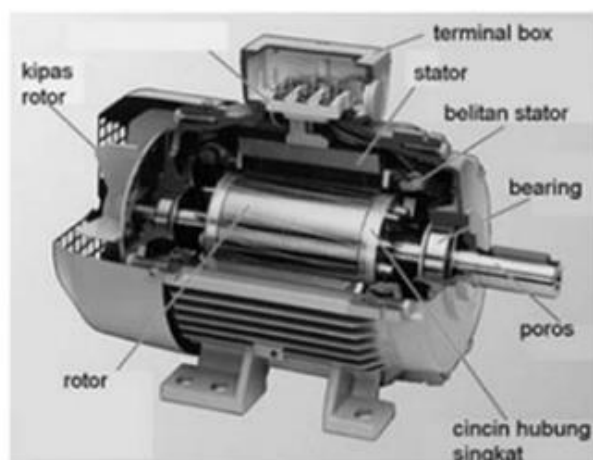
Baterai jenis ini dibuat dengan komponen yang lebih terjangkau dan ramah lingkungan. Baterai Ni-MH menggunakan ion hidrogen untuk menyimpan energi, tidak seperti baterai lithium ion yang menggunakan ion lithium. Baterai Ni-MH terdiri dari campuran nikel dan logam lain seperti titanium. Baterai ini biasanya mengandung pula komponen logam lain seperti mangan, aluminium, kobalt, zirkonium, dan vanadium. Logam-logam tersebut pada umumnya berfungsi sebagai penangkap ion hidrogen yang dilepaskan untuk memastikan tidak mencapai fase gas.

2.8 Motor Induksi

Motor Induksi dapat dikatakan dalam artian sebuah motor arus bolak balik (ac). Arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator. Belitan Stator dihubungkan dengan

sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kec $2p$). Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan hukum lenz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar rotor. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun.

Motor induksi atau motor arus bolak-balik adalah suatu mesin listrik yang merubah energi listrik menjadi energi gerak. Motor induksi disebut juga sebagai motor asinkron karena rotor berputar tidak serempak dengan putaran magnetik fluks yang berputar yang dihasilkan dalam kumparan stator [20].



Gambar 2.20 konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Prinsip kerja dari motor induksi ialah sebagai berikut:

Apabila sumber tegangan 3ϕ dipasang pada kumparan medan (stator), timbullah medan putar dengan kecepatan angular (ω_s). Medan putar stator akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada kumparan jangkar (rotor) timbul tegangan induksi (ggl) yang mengakibatkan rotor berputar dengan kecepatan putar sinkron terhadap kecepatan putar stator.

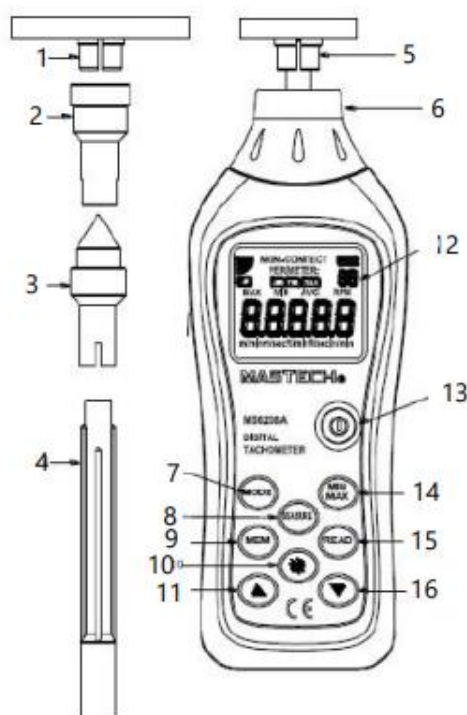
Bagian – bagian motor induksi 3 fasa terdiri dari beberapa bagian yaitu:

- a. stator (bagian yang diam)
- b. rotor (bagian yang bergerak)
- c. tutup/tempat bantalan

- d. kipas
- e. lubang ventilasi
- f. kotak ujung

2.9 Tachometer

Alat Tachometer adalah sebuah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek, seperti alat pengukur dalam sebuah mobil yang mengukur putaran per menit (RPM) dari poros engkol mesin. Kata tachometer berasal dari kata Yunani tachos yang berarti kecepatan dan metron yang berarti untuk mengukur (Ferdous et al., 2010). Perangkat ini pada masa sebelumnya dibuat dengan dial, jarum yang menunjukkan pembacaan saat ini dan tanda-tanda yang menunjukkan tingkat yang aman dan berbahaya. Pada masa kini telah diproduksi alat tachometer digital yang memberikan pembacaan numerik tepat dan akurat dibandingkan menggunakan dial dan jarum [21].



Gambar 2.21 Skema Alat Ukur Tachometer

Keterangan :

Fungsi dan Cara penggunaan

1. Roda Idler (penyalur putaran) 6 inch
2. Tip sentuh cekung
3. Tip sentuh cembung

4. Lengthening (pemanjangan)Bar

5. Roda Idler 0,1 m

6. Bantalan Pengukuran

7. Tombol Pindah Modus

Fungsi : Modus pengukuran Beralih

Cara Pengoprasian : untuk mengoprasikannya tombol ini, pilih modus pengukuran dari 0 hingga 5, yang sesuai kondisi.

8. Tombol Peengukuran :

Fungsi : Pengaktifan pengukuran

Cara pengoprasian : Ketika menyalakan meter, tekan tombol pengukuran untuk mengukur sesuai dengan petunjuk operasi.

9. Tombol Penyimpanan Data

Fungsi : Menampilkan nilai kecepatan putaran.

Cara pengoperasian : bila anda ingin menyimpan nilai kecepatan putaran saat ini, tekan tombol penyimpanan bersama dengan tombol lain, dan anda dapat menyimpan nilai saat ini untuk menyimpan nomor yang ditentukan.

10. Tombol Backlight dan HOLD komposit.

Fungsi : Mengaktifkan dan menonaktifkan backlight.

Cara Pengoperasian ; Cepat tekan backlight dan kunci HOLD untuk mengaktifkan/ menonaktifkan fungsi HOLD, Tekan lebih dari 2 detik untuk mengaktifkan/menonaktifkan fungsi backlight.

11. Tombol Plus

Fungsi : Tambahkan nomor penyimpanan ketika membaca atau menyimpan .

Cara pengoperasian : Ketika memasuki wilayah penyimpanan gunakan tombol plus untuk menambahkan jumlah penyimpanan saat itu.

12. LCD

Fungsi : Menampilkan aktivitas yang terjadi pada alat ukur yaitu baterai . Nilai kecepatan .

Kondisi arus (Maximum/ minimum atau rata-rata)mode pengukuran yang dipilih, cahaya latar dan penyimpanan data.

13. Tombol Saklar Power

Fungsi : mengaktifkan alat ukur atau menonaktifkan.

14. Masimum dan minimum

Fungsi : beralih maksimum , minimum dan rata-rata nilai tampilan.

Cara pengoperasian : ketika layar LCD menampilkan MAX, pengukuran arus maksimal.

Ketika layar LCD menampilkan MIN menampilkan AVG, pengukuran arus adalah nilai rata-rata .

15. Penyimpan data dan baca data

Fungsi : Baca nilai kecepatan putaran sesuai nomor yang tersimpan .

Cara pengoperasian : Bila anda ingin menyimpan nilai kecepatan putaran sesuai jumlah penyimpanan , tekan tombol membaca bersama sama dengan tombol lain, dan anda dapat membaca nilai kecepatan putaran sesuai nomor yang tersimpan .

16. Tombol Minus

17. Fungsi : Mengurangi jumlah penyimpanan

ketika membaca atau menyimpan .

Cara pengoperasian : Ketika memasuki wilayah penyimpanan gunakan tombol minus untuk mengurangi jumlah penyimpanan saat itu.

2.9.1 Jenis Jenis Alat Tachometer

Berikut adalah beberapa jenis tachometer yang umum digunakan sebagai berikut:

1. Alat tachometer Rotor bergigi

Terdiri dari sebuah sensor tetap dan sebuah pemutar gerigi, roda, dan bahan besi. Ada 2 jenis sensor yang digunakan Variable Reluctance Sensor dan Hall Effect Sensor. Terdapat magnet yang menggantung sebagai sensornya. Cara kerjanya adalah rotor berputar, kemudian bagian rotor bergigi yang akan diukur, sensor yang berupa magnet akan mendeteksi setiap gerigi tersebut yang melewatinya setiap gerigi melewatinya maka medan magnet akan bertambah dan menginduksi tegangan pada belitan kawat sehingga akan dihasilkan pulsa. Pulsa tersebut akan dikonversi menjadi sebuah gelombang kotak yang bersih dengan rangkaian ambang detector. Keunggulan alat tachometer gerigi ini ialah memberikan sebuah pulsa setiap waktu apabila gigi besi melewatinya dan menghasilkan pulsa yang berupa sinyal kotak yang jernih.

2. Alat Tachometer DC

Alat Tachometer DC adalah sebuah generator DC yang memproduksi tegangan

keluaran DC yang proporsional dengan kecepatan batang, Terdiri dari magnet permanen dan bagian yang berputar yang terbuat dari koil, dan juga terjadi konversi langsung. Prinsip kerjanya adalah terjadinya proses konversi langsung antara kecepatan dan tegangan alat tachometer inilah yang digunakan dalam praktikum instrumentasi kelautan dalam kesempatan kali ini. Keunggulan alat tachometer DC ini ialah untuk menjaga inersia turun dapat diatasi dengan penggunaan sikat sedangkan kelemahan sendiri yaitu penggunaan sikat untuk menjaga inersia dapat aus.

3. Alat Tachometer

tempel Tachometer jenis ini prinsip kerjanya adalah dengan menyentuh pada benda yang diukur, sehingga akan menunjukkan hasil pengukuran pada layar yang terpasang pada alat. Penggunaan tachometer jenis ini hampir jarang digunakan pada bidang tertentu. Hal ini dikarenakan alasan teknis atau keselamatan saat pengoperasian alat ini.

4. Alat tachometer laser/ Photo

alat tachometer Pada jenis ini memungkinkan untuk pengukuran dari jarak jauh di mana alat Tachometer Laser ini bekerja dengan sensor cahaya yang sangat sensitif dengan elemen berputar. Unsur berputar akan memiliki satu tempat reflektif dan rpm meter ini mengukur tingkat dimana berkas cahaya dipantulkan kembali (Cheng et al., 2007). Maka dari itu dari beberapa jenis alat ukur Tachometer yang ada, kami akan membahas mengenai Alat ukur Tachometer Laser/ Photo Tachometer.

2.9.2 Prinsip Kerja Alat Tachometer

Alat Tachometer menunjukkan RPM mesin dengan mengukur rasi poros mesin perangkat menyerupai generator listrik yang bervariasi sesuai dengan kecepatan putaran mesin . Arus listrik yang dihasilkan ini kemudian di konversikan dalam RPM.

2.10 Multimeter

Multimeter disebut juga multitester atau AVOMeter. “A” untuk amperemeter. “V” untuk voltmeter. “O” untuk ohmeter. Jadi, Multimeter merupakan suatu alat ukur yang dapat kita gunakan untuk mengukur kuat arus, tegangan, dan juga hambatan listrik. Sedangkan kata multimeter berasal dari kata “multi” yang berarti banyak dan juga “tester” yang berarti mengukur.

Multimeter adalah salah satu alat ukur yang sangat diperlukan untuk mengukur besaran-besaran seperti kuat arus listrik, tegangan listrik, hambatan listrik, maupun kapasitansi. Selain itu juga multimeter dapat digunakan untuk mendeteksi rusak atau tidaknya suatu komponen [22].



Gambar 2.22 Multimeter

2.10.1 Bagian – Bagian Multimeter

Bagian-bagian AVO meter antara lain sebagai berikut:

1. Skala



Gambar 2.23 Skala

Bagian ini berbentuk seperti busur dan memiliki rentang angka. Ada beberapa skala dengan angka dan warna berbeda.. Skala Ω untuk mengukur nilai hambatan listrik. Ada juga skala yang digunakan untuk mengukur nilai tegangan dan kuat arus.

2. Jarum Penunjuk

Bagian ini berfungsi untuk menunjukkan angka pada skala hasil pembacaan pengukuran yang akan kita lakukan. Untuk mengamati hasil pembacaan maka kita harus melihatnya dengan posisi mata tegak lurus dengan multimeter.

3. Selektor Batas Ukur

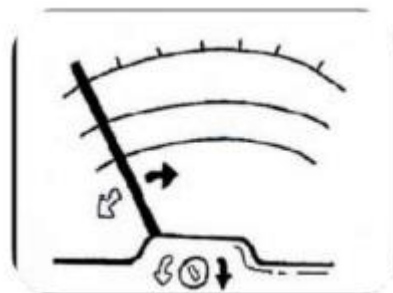


Gambar 2.24 Selektor Batas Ukur

Bagian ini dapat kita putar yang berfungsi untuk menentukan batas ukur apa yang akan kita gunakan dalam pengukuran multimeter. di bagian ini terdapat tanda sebagai berikut:

- a. AC V berfungsi untuk mengukur tegangan listrik bolak-balik,
- b. DC V berfungsi untuk mengukur tegangan listrik searah,
- c. DC mA berfungsi untuk mengukur kuat arus listrik, dan
- d. Tanda Ω berfungsi untuk mengukur nilai hambatan suatu komponen.

4. Pengatur Posisi Nol Jarum



Gambar 2.25 Pengatur Posisi nol Jarum

Bagian ini berfungsi untuk mengatur posisi nol pada jarum penunjuk skala yang letaknya paling kiri.

5. Pengatur nol ohm



Gambar 2.26 Pengatur nol ohm

Berfungsi untuk mengenolkan jarum penunjuk ketika akan melakukan pengukuran hambatan listrik.

6. Probe



Gambar 2.17 Probe

Bagian ini terdapat dua probe yaitu probe merah untuk positif (+) dan probe hitam untuk negatif (-).

7. Terminal pengukuran



Gambar 2.28 Terminal Pengukuran

Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan probe dengan Multimeter. terdapat dua terminal yaitu terminal positif (+) dan terminal negatif (-).

2.10.2 Jenis – Jenis Multimeter

Terdapat 2 buah multimeter Yitu sebagai berikut:

1. Multimeter Analog



Gambar 2.29 Multimeter Analog

Jenis multimeter ini menggunakan layar ukur berupa jarum penunjuk sehingga, untuk pembacaan hasil pengukuran harus dilakukan dengan melihat posisi jarum penunjuk dan melihat posisi selektor pada posisi batas ukur lalu melakukan perhitungan secara manual untuk mendapatkan pengukurannya.

Adapun bagian-bagian multimeter analog ini adalah sebagai berikut :

- a. Skala
- b. Jarum penunjuk
- c. Selektor batas ukur
- d. Pengatur posisi nol jarum
- e. Pengatur posisi nol ohm
- f. Probe
- g. Terminal pengukuran

Manfaat Multimeter Digital Adalah mengukur kuat arus, tegangan, hambatan listrik, mengukur nilai kapasitansi kapasitor (farad) Mengukur nilai kapasitansi kapasitor dan memeriksa keadaan suatu komponen. (Farad).

2. Multimeter Digital



Gambar 2.30 Multimeter Digital

Jenis multimeter yang menggunakan layar digital sebagai hasil pembacaan pengukurannya. Hasil ukur yang ditampilkan pada display multimeter digital merupakan hasil yang telah sesuai sehingga tidak perlu menghitung lagi seperti pada multimeter analog.

Adapun bagian-bagian multimeter digital adalah sebagai berikut :

a. Layar Monitor

Untuk melihat hasil pembacaan pada alat ukur multimeter

b. Buttons (tombol)

Tombol yang ada pada Multimeter Digital

c. Dial (tombol penyetel)

d. Input Jacks

Manfaat Multimeter Digital Adalah mengukur kuat arus, tegangan, dan hambatan listrik Prinsip kerja Multimeter Digital adalah gerak d'arsonval yaitu gerakan dasar kumparan putar magnet permanen.

2.10.3 Manfaat Multimeter

Multimeter adalah Alat ukur dalam bidang elektronika yang penggunaannya sebagai berikut.:

- a. Untuk mengukur tegangan searah (DC)
- b. Untuk mengukur tegangan bolak-balik (AC)
- c. Untuk mengukur kuat arus listrik searah (DC)
- d. Untuk mengukur tahanan atau hambatan listrik (ohm)
- e. Mengukur nilai kapasitansi kapasitor (Farad)
- f. Untuk memeriksa keadaan suatu komponen.

2.10.4 Cara Penggunaan Multimeter

1. Mengukur tegangan searah (DC)

Aturlah posisi selektor batas ukur ke DC V, kemudian kita pilih skala yang paling sesuai. Jika tidak mampu memperkirakan, kita harus memilih skala paling besar yang berguna untuk menghindari rusaknya alat ukur multimeter. Kemudian kita hubungkan Probe merah dan Probe hitam ke dalam terminal tegangan pada multimeter. Dengan ketentuan merah dihubungkan ke terminal tegangan yang (+) dan hitam dihubungkan ke (-). Hasilnya akan terlihat di layar hasil atau penunjukan hasil ukur.

2. Mengukur Tegangan Bolak-Balik (AC)

Aturlah posisi selektor batas ukur ke AC V, kemudian kita pilih skala yang paling

sesuai. Jika tidak mampu memperkirakan, kita harus memilih skala paling besar. Kemudian kita hubungkan Probe merah dan Probe hitam kedalam terminal tegangan pada multimeter. Untuk tegangan AC tidak memiliki polaritas positif ataupun negatif. Hasilnya akan terlihat di layar hasil atau penunjukan hasil ukur.

3. Mengukur Kuat Arus Listrik

Aturlah posisi selektor batas ukur pada pengukuran arus, kemudian kita pilih skala yang paling sesuai dengan arus yang akan diukur. Apabila tidak mampu memperkirakan nilai arus ukur. Kita harus memilih skala paling besar untuk menghindari kerusakan. Untuk teknik pengukurannya, kita putus rangkaian yang terhubung ke beban, lalu hubungkan probe merah dan hitam pada kedua terminal yang terputus tersebut secara serial. Hasilnya akan terlihat di layar hasil atau penunjukan hasil ukur.

BAB 3

METEODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu penelitian

Waktu pelaksanaan tugas akhir ini berlangsung dimulai dari Agustus 2024 sampai April 2025.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

NO	Uraian	Bulan							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kajian Literatur								
2	Penyusunan Proposal Penelitian								
3	Penulisan Bab 1 Samapai Bab 3								
4	Pengumpulan Data Implementasi Current-Voltage Source Pada Inverter Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Alternator								
5	Analisa Data								
6	Seminar hasil								
7	Sidang Akhir								

3.2 Perancangan Alat



Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian

3.3 Alat dan Bahan

Untuk mendukung penelitian ini, diperlukan beberapa alat dan bahan yaitu sebagai berikut:

3.3.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Toolkit elektronika

Fungsi toolkit untuk memperbaiki, merakit atau membongkar perangkat elektronik seperti solder listrik, multitester, avometer dll.

2. Laptop

Laptop sebagai bahan untuk mengolah data, menyimpan dan mengakses internet.

3. Bor PCB

Fungsi bor PCB digunakan untuk membuat papan sirkuit cetak (PCB).

4. Gergaji Ukir

Fungsi gergaji ukir digunakan untuk membuat potongan lurus atau lengkung pada triplek, logam dan kayu.

5. Solder

Fungsi solder untuk menyambungkan komponen elektronik pada papan cetak (PCB).

6. USB

Fungsi USB untuk menghubungkan perangkat ke komputer.

7. Tachometer

Fungsi alat untuk mengukur kecepatan untuk mengukur perputaran mesin dalam satuan RPM.

3.3.2 Bahan

Berikut adalah daftar bahan-bahan yang dibutuhkan:

1. Alternator
Fungsi alternator untuk menghasilkan listrik yang digunakan untuk mengisi baterai dan menyuplai daya ke seluruh komponen kelistrikan.
2. Inverter
Fungsi inverter penggunaan digunakan berasal dari sumber listrik searah dari baterai aki atau baterai panel surya dengan inverter yang dapat mengubah menjadi catu daya peralatan elektronik dengan memasukkan listrik bolak balik inverter.
3. Motor Listrik 3 Fasa
Fungsi motor induksi 3 fasa untuk mengubah energy listrik menjadi energy mekanik [9]
4. Akumulator
Fungsi akumulator untuk mengubah sumber listrik searah yang dapat mengubah energy kimia menjadi energy listrik.
5. Belting
Fungsi menggerakkan dan menghubungkan kompone – komponen mesin seperti alternator, Kompresor AC
6. Pully
Fungsi mikrokontroler Arduino uno untuk merancang dan mengembangkan berbagai proyek elektronik, tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah suatu kombinasi dari

3.4 Prosedur Penelitian

Setelah mendapat keseluruhan data dan penyusunan, maka yang perlu di lakukan adalah :

1. Melakukan pengujian energi yang di gunakan untuk menggerakkan Alternator
2. Melakukan perhitungan daya input yang dapat menampung beban dan tidak terbeban
3. Mengaplikasikan alternator sebagai energi yang menyuplai ke inverter
4. Melakukan pengujian stabilitas dengan memvariasikan beban pada output inverter
5. Melakukan Analisis data yang diperoleh dari pengukuran untuk menentukan efisiensi konversi dan stabilitas sistem

6. Meghubungkan output alternator ke input inverter. Atur inverter untuk beroperasi dalam mode tegangan atau arus, sesuai dengan spesifikasi sumber daya yang diinginkan.

3.5 Rumus Daya Pada Rangkain AC

Dalam penelitian ini peneliti akan mengukur daya di Rangkaian DC sangat sederhana karena hanya perlu mengalikan tegangan dan arus. Namun hal yang sama tidak mungkin dilakukan pada Rangkaian AC karena nilai tegangan dan arus terus berubah baik besarnya maupun arah (tandanya).

Rumus Daya DC dan AC

Tabel 3.1 berikut mencantumkan semua rumus daya untuk rangkaian AC dan DC.

Sirkuit	Kekuatan
DC	$P = V \times I$
	$P = V^2 / R$
	$P = I^2 \times R$
Daya Nyata AC Satu Fasa	$\frac{1}{2} V_P \times I_P \times \cos(\theta) = V_{RMS} \times I_{RMS} \times \cos(\theta)$
Daya Reaktif AC Satu Fasa	$\frac{1}{2} V_P \times I_P \times \sin(\theta) = V_{RMS} \times I_{RMS} \times \sin(\theta)$
Daya Nyata AC Tiga Fasa	$3 \times V_{L-N} \times I_{L-N} \times \cos(\theta) = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_{L-L} \times \cos(\theta)$
Daya Reaktif AC Tiga Fasa	$3 \times V_{L-N} \times I_{L-N} \times \sin(\theta) = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_{L-L} \times \sin(\theta)$

3.6 Pengujian Kinerja Inverter

Pengujian kinerja inverter melibatkan beberapa parameter yang perlu diukur dan dianalisis. Berikut adalah beberapa rumus yang digunakan dalam pengujian kinerja inverter:

1. Efisiensi Inverter: Efisiensi inverter dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\eta = (P_{out} / P_{in}) \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

η adalah efisiensi inverter,

P_{out} adalah daya output inverter, dan

P_{in} adalah daya input inverter.

2. Daya Output Inverter: Daya output inverter dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

P_{out} adalah daya output inverter,

V_{out} adalah tegangan output inverter, dan

I_{out} adalah arus output inverter.

3. Daya Input Inverter: Daya input inverter dapat dihitung menggunakan rumus:

$$(P_{in} = V_{in} \times I_{in}), \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

P_{in} adalah daya input inverter,

V_{in} adalah tegangan input inverter, dan

I_{in} adalah arus input inverter.

4. Faktor Daya Inverter: Faktor daya inverter dapat dihitung menggunakan rumus:

$$(PF = (P_{out} / (V_{out} \times I_{out})) \times 100\%) \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

PF adalah faktor daya inverter,

P_{out} adalah daya output inverter,

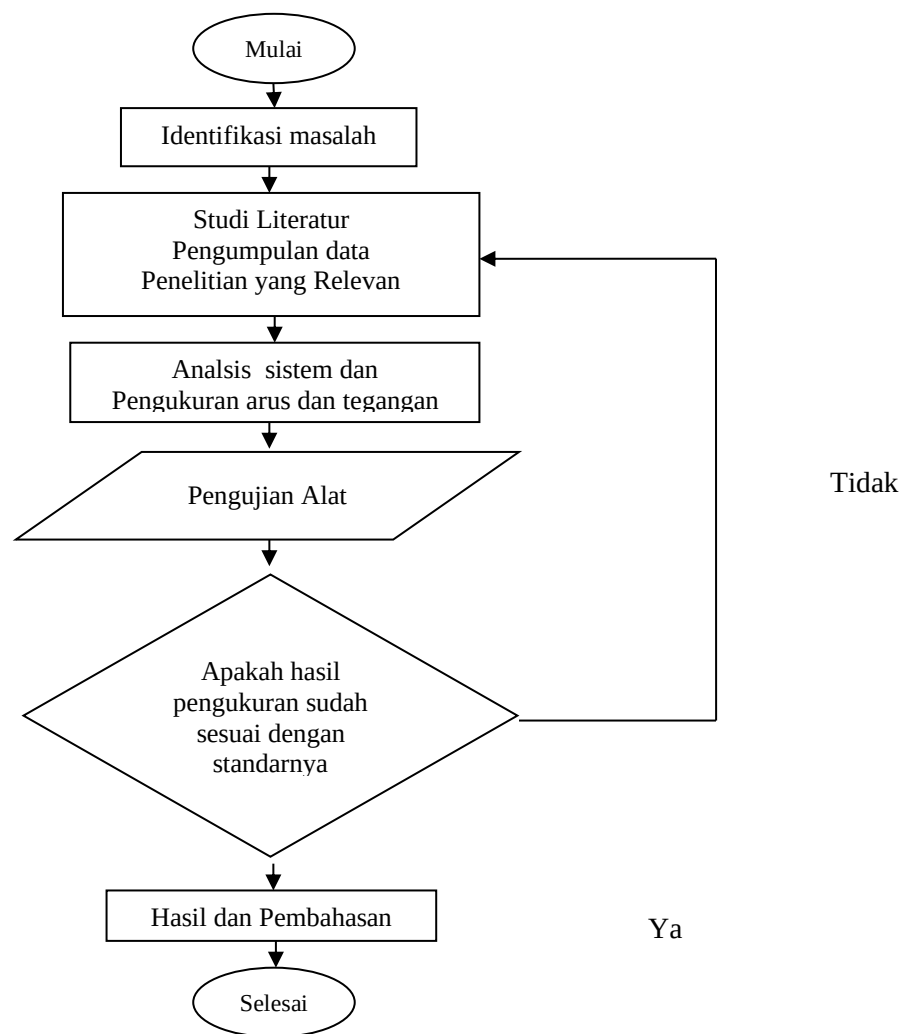
V_{out} adalah tegangan output inverter, dan

I_{out} adalah arus output inverter.

3.7 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan Menganalisis current voltage source pada inverter pada bulan Agustus 2024 sampai Maret 2025 bertempat 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 inverter
 3. Melakukan input data Softher Microsoft Excel
 4. Melakukan perhitungan dan analisis data
 5. Melakukan analisis dan efaluasi hasil data current voltage source pada inverter
 6. Mengambil kesimpulan dari hasil analisis yang telah di laksanakan
 7. Selesai, Berikut Diagram Alir Serta Proses Penelitian dapat dilihat pada gamabar 3.1
- Berikut



Gambar 3.2 Diagram Alir

BAB 4

HASIL PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian terhadap mesin

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.

Pengujian kinerja inverter melibatkan beberapa parameter yang perlu diukur dan dianalisis. Berikut adalah beberapa rumus yang digunakan dalam pengujian kinerja inverter:

2. Efisiensi Inverter: Efisiensi inverter dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\eta = (P_{out} / P_{in}) \times 100\%$$

3. Daya Output Inverter: Daya output inverter dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

4. Daya Input Inverter: Daya input inverter dapat dihitung menggunakan rumus:

$$(P_{in} = V_{in} \times I_{in}),$$

5. Faktor Daya Inverter: Faktor daya inverter dapat dihitung menggunakan rumus:

$$(PF = (P_{out} / (V_{out} \times I_{out})) \times 100\%),$$



Gambar 4.1 Pengujian Bantrai dan Kecepatan putran Alternator

A. Data Hasil Pengukuran Mesin

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pada Mesin dan Alternator

Nama Mesin	Kecepatan Putaran (RPM)	Daya (Watt)	Kecepatan Sudut (ω) (rad/s)	Torsi (τ) (Nm)
Putaran Mesin Penggerak (RPM)	1477	1100	154,5	7,119
Putaran Alternator (RPM)	1056	1000	110,5	9,049

Pada pengujian dilakukan kecepatan putaran pada mesin penggerak lebih tinggi yaitu 1477 RPM sedangkan kecepatan putaran pada mesin penggerak alternator yaitu 1057 RPM maka kecepatan sudut pada mesin penggerak sebesar 154,5 rad/s dan Torsinya sebesar 7,119Nm. Sedangkan kecepatan sudut pada penggerak alternator sebesar 110,5 rad/s dan Torsinya sebesar 9, 049 Nm.

B. Data Hasil Pengukuran Alternator

Dalam pengukuran alat tersebut ada tiga hal yang terukur dalam penelitian ini yaitu kecepatan putaran (Rpm), arus pada I (mA), dan tegangan (Volt). Alat yang digunakan dalam pengukuran tersebut yaitu multimeter dan tacometer. Dalam pengukuran yang dilakukan, pengukuran dilakukan sebanyak dua kali yaitu pengukuran tanpa beban tambahan dan diberikan baban tambahan berupa kipas angin 20 watt. Adapun hasil pengukurannya yang ditunjukkan pada tabel berikut:

1. Pengukuran kecepatan putaran (Rpm) tanpa beban tambahan dan diberi baban tambahan yaitu pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.2 Pengukuran Tanpa Beban

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

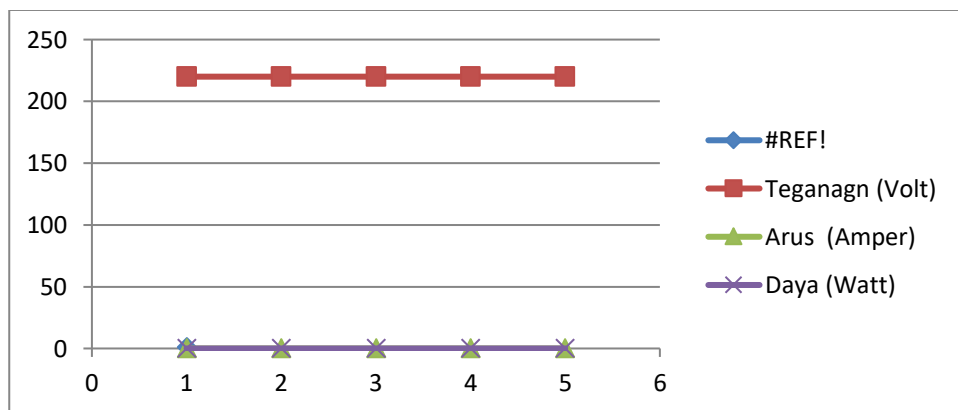
Analisis Perubahan

1. Tegangan (V)

- 220V tetap stabil karena AVR akan menyesuaikan arus eksitasi agar tegangan tidak berubah.
- Bisa sedikit naik/turun ($\pm 2V$) jika ada perubahan kecil dalam kecepatan rotor atau arus eksitasi.

2. 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 4.2 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.

Tabel 4.3 Pengukuran beban kipas angin 20 Watt

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

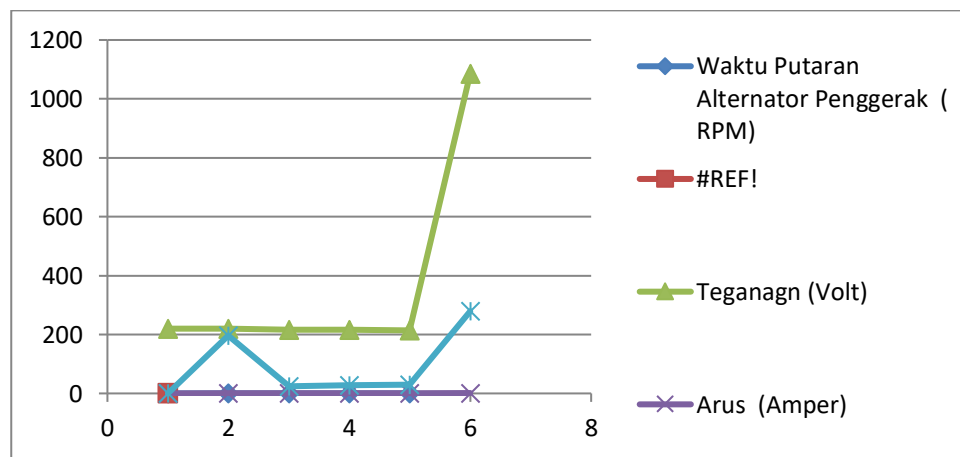
Analisis Perubahan

1. 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.

2. 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.

Tabel 4.4 Pengukuran kecepatan putaran (Rpm) diberi beban lampu hanoch 45 Watt

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

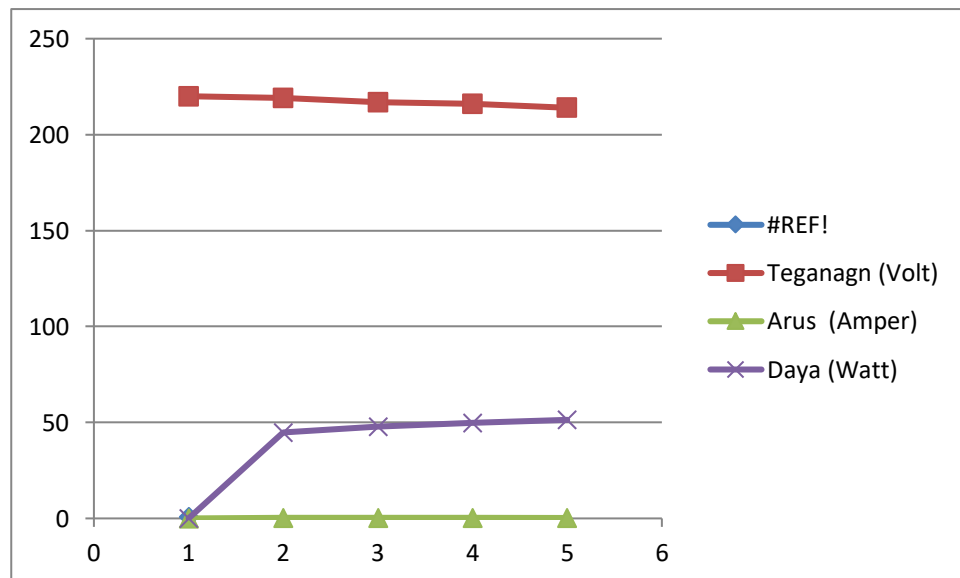
Analisis Perubahan

1. 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.

Maka Efisiensi Inverter Pengukuran beban beban lampu hanoch 45 Watt dengan rata-rata daya $P = 56\text{Watt}$

$$\eta = (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \times 100\%$$

$$\eta = (56 / 1000) \times 100\%$$

$$\eta = 0.056$$

dan Efisiensi Inverter Pengukuran beban kipas angin 20 Watt dengan rata-rata daya $P = 39$ Watt

$$\eta = (P_{out} / P_{in}) \times 100\%$$

$$\eta = (39 / 1000) \times 100\%$$

$$\eta = 0.039$$

Daya output inverter beban beban lampu hanoch 45 Watt dengan rata-rata tegangan dan arus

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

$$P_{out} = 217,2 \times 1$$

$$P_{out} = 217,2 \text{ Volt}$$

Daya output inverter beban kipas angin 20 Watt dengan rata-rata tegangan dan arus

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

$$P_{out} = 217,2 \times 0,179$$

$$P_{out} = 38,9 \text{ Volt}$$

Faktor daya inverter beban lampu hanoch 45 Watt

$$PF = P_{out} / (V_{out} \times I_{out}) \times 100\%$$

$$PF = 217,2 / (217,2 \times 1) \times 100\%$$

$$PF = 1$$

Faktor daya inverter beban kipas angin 20 Watt

$$PF = P_{out} / (V_{out} \times I_{out}) \times 100\%$$

$$PF = 38,9 / (217,2 \times 0,179) \times 100\%$$

$$PF = 0,032$$

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Jika alternator tidak dilengkapi dengan AVR, tegangan keluaran dapat melebihi 220V saat tanpa beban karena tidak adanya penurunan tegangan akibat arus beban. Saat beban terhubung, kecepatan putaran (RPM) sedikit menurun, namun tetap dalam kisaran yang stabil. Tegangan juga dapat mengalami sedikit penurunan tetapi tetap dalam batas normal karena peran AVR dalam menjaga kestabilan tegangan. Sementara itu, arus meningkat seiring dengan bertambahnya beban, dari awalnya sebesar 0,205 A dan dapat sedikit bertambah akibat faktor pemanasan.
2. Berdasarkan hasil perhitungan pada beban lampu Hanoch 45 Watt dan kipas angin 20 Watt, diperoleh rata-rata efisiensi sebesar 0,0755. Rata-rata daya keluaran inverter (P) tercatat sebesar 236,65 Watt, dengan rata-rata faktor daya sebesar 1,016.

5.2 Saran

1. Peneliti selanjutnya perlu dilakukan optimasi pada desain inverter untuk meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan, mengingat nilai efisiensi yang diperoleh masih relatif rendah.
2. Disarankan untuk melakukan pengujian dengan variasi beban yang lebih beragam guna menganalisis performa inverter dan alternator pada kondisi operasi yang berbeda. Mengingat adanya peningkatan arus akibat faktor pemanasan, pemasangan sensor suhu pada alternator dan inverter dapat membantu memantau kinerja termal dan mencegah overheating.
3. Disarankan untuk melakukan analisis harmonisa pada keluaran inverter guna memastikan kualitas daya yang lebih baik dan meminimalkan gangguan pada perangkat yang terhubung.
4. Perlu dilakukan pengujian jangka panjang untuk mengevaluasi ketahanan dan keandalan sistem dalam kondisi operasi yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Efendi Setiawan, T. Odianto, S. Muharom, J. Teknik Elektro, and I. Teknologi Adhi Tama, "Rancang Bangun Inverter 3 Fasa Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa 1/2Hp 0.37Kw Menggunakan Metode Spwm Berbasis Arm Mikrokontroler (Stm32F4)," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. IV*, pp. 17–23, 2016.
- [2] A. Elnady, A. A. A. Ismail, M. Alshabi, and A. Noureldin, "A Comprehensive Review of Centralized Current/Power Control Schemes for Parallel Inverters and AC Microgrids," *IEEE Access*, vol. 10, no. October, pp. 125061–125085, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3222315.
- [3] F. A. Perdana, "Baterai Lithium," *INKUIRI J. Pendidik. IPA*, vol. 9, no. 2, p. 113, 2021, doi: 10.20961/inkuiri.v9i2.50082.
- [4] 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.
- [5] 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/964>
- [6] K. Li *et al.*, "New strategy for eliminating zero-sequence circulating current between parallel operating three-level NPC voltage source inverters," *J. Power Electron.*, vol. 18, no. 1, pp. 70–80, 2018, doi: 10.6113/JPE.2018.18.1.70.
- [7] M. Adam, P. Harahap, and M. R. Nasution, "Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan GeneratorDc," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 30–36, 2019, doi: 10.30596/rele.v2i1.3648.
- [8] M. Al Amin, "Sepeda Statis Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif Dengan Pemanfaatan Alternator Bekas," *J. Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 119–128, 2017, doi: 10.21831/jee.v1i2.17415.
- [9] M. M. Chusni, M. P. Si, P. Studi, and P. Fisika, "HANDOUT PERKULIAHAN PENGENALAN ALAT UKUR".
- [10] N. Femia, G. Spagnuolo, and G. Petrone, "(12) United States Patent," vol. 2, no. 12, 2011.
- [12] S. Lubis, "Analisa Tegangan Keluaran Alternator Mobil Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 44–47, 2018, doi: 10.30596/rele.v1i1.2270.
- [13] S. Lubis, "Rancang Bangun Alternator Mobil Sebagai Pembangkit Energi Listrik
- [14] S. Muttaqin, I. Setiawan, and M. Facta, "Desain Dan Implementasi Voltage-Source Inverter (Vsi) Tiga Fase Uniform Pulse-Width Modulation (Upwm) Dengan Dspic30F4011," *Transmisi*, vol. 18, no. 4, p. 153, 2016.
- [15] S. Vokasi and U. Diponegoro, "Tachometer Laser , Pemakaian Dan Perawatannya," vol. 13, no. 1, pp. 7–12, 2017.
- [16] I. P. G. I. Dwipayana, I. N. S. Kumara, and I. N. Setiawan, "Status of Battery in Indonesia to Support Application of Solar PV with Energy Storage," *J. Electr. Electron. Informatics*, vol. 5, no. 1, p. 29, 2021, doi: 10.24843/jeei.2021.v05.i01.p06.
- [17] Y. Li, Z. Zhang, K. Li, P. Zhang, and F. Gao, "Predictive Current Control for Voltage Source Inverters Considering Dead-Time Effect," *CES Trans. Electr. Mach. Syst.*, vol. 4, no. 1, pp. 35–42, 2020, doi: 10.30941/CESTEMS.2020.00006. P.

- Harahap, I. Nofri, and S. Lubis, "PLTS 200 Wp to Meet Energy Needs at the Taqwa Muhammadiyah Mosque, Sei Litur Village, Sawit Sebrang Langkat District," *J. Innov. Community Engagem.*, vol. 1, no. 1, pp. 60–71, 2021, doi: 10.28932/jice.v1i1.3380.
- [18] E. Enny, "Tachometer Laser , Pemakaian Dan Perawatannya," *Metana*, vol. 13, no. 1, p. 7, 2018, doi: 10.14710/metana.v13i1.12578.
- [19] A. Boynawan *et al.*, "Analisis Parameter Yang Memengaruhi Kalibrasi Tachometer Non-Kontak Analysis of Parameters That Influence Non-Contact Tachometer Calibration," pp. 161–170, 2023.
- [20] P. H. Partoanan Harahap and W. K. A. Al-Ani, "The Effect of Charcoal on the Improvement of Grounding Resistance as a Soil Treatment in Reducing Grounding Resistance," *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 12, 2021, doi: 10.29103/jreece.v1i1.3619.
- [21] T. E. Lestari, "Rancang Bangun Digital Multimeter Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *Skripsi Fak. Mat. Dan Ilmu Pengetah. Alam Univ. Sriwij.*, pp. 1–34, 2018.
- [22] P. Harahap, F. I. Pasaribu, and M. Adam, "Prototype Measuring Device for Electric Load in Households Using the Pzem-004T Sensor," *Budapest Int. Res. Exact Sci. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 347–361, 2020.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : FERNANDO SAUT MARULI SILITONGA
 NPM : 2007220073
 Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
 Judul Tugas Akhir : “Analisis Implementasi Inverter Tipe Sumber Arus
 (CSI) dan Sumber Tegangan (VSI) pada Sistem
 Pembangkit Listrik Berbasis Alternator terhadap
 Variasi Kecepatan Putar “

NO	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	10/8-2024	Buat abstrak pada Bab 3	
2	23/8 2024	Uji coba alternator dgn beban vari- ber.	
3	10/10 2024	Perbaiki tabel	
4	10/10 2024	Buat BAB 6 dan revisi ke-1	
5	13/12 2024	Buat daftar pustaka	
6	21/3 2024	Perbaiki gambar	

Acc Saut Maruli

 24/3-2025

Mengetahui,
 Pembimbing I

Partaon Harahap S.T.,



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : FERNANDO SAUT MARULI SILITONGA
 NPM : 2007220073
 Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
 Judul Tugas Akhir : “Analisis Implementasi Inverter Tipe Sumber Arus
 (CSI) dan Sumber Tegangan (VSI) pada Sistem
 Pembangkit Listrik Berbasis Alternator terhadap
 Variasi Kecepatan Putar “

NO	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	10/6 2024	Buat Bab 1 dan 2 Catatan bab 1 dan 2	<i>[Signature]</i>
2	20/6 2024	Perbaiki teor pali bab 2	<i>[Signature]</i>
3	5/7 2024	Ganti media Revisi	<i>[Signature]</i>
4	10/7 2024	Lampirkan Bab 3 dan perbaiki kutipan	<i>[Signature]</i>
5	5/8 2024	Buat daftar istilah yg ada	<i>[Signature]</i>
6	28/8-2024	Ace sesuai paper sesuai daftar	<i>[Signature]</i>

Mengetahui,
Pembimbing I

[Signature]
Partaonan Harahap S.T.,