

OPTIMALISASI KECEPATAN PUTARAN MOTOR LISTRIK SEBAGAI BEBAN PADA PLTS 5 kWp

**(APLIKASI: LABORATORIUM BALAI BESAR
PENGEMBANGAN DAN PENJAMIN MUTU PENDIDIKAN
VOKASI BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK MEDAN)**

TESIS

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik (M.T) Pada Program Studi
Magister Teknik Elektro*

Oleh:

I PUTU PAWITRA TEGUH DHARMA P

NPM: 1920080007



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

PENGESAHAN TESIS

Nama : I.PUTU PAWITRA TEGUH DHARMA P
Nomor Pokok Mahasiswa : 1920080007
Konsentrasi/Program Studi : Magister Teknik Elektro
Judul Tesis : OPTIMALISASI KECEPATAN PUTAR MOTOR LISTRIK SEBAGAI BEBAN PADA PLTS 5 KW_p
(APLIKASI : BALAI BESAR PENGEMBANGAN DAN PENJAMINAN MUTU PENDIDIKAN VOKASI BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK MEDAN)

Pengesahan Tesis

Medan, 21 Maret 2022

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II



Assoc.Prof. Dr. Ir. SUWARNO, M.T.


Assoc.Prof. Dr. M. FITRA ZAMBAK, M.Sc.

Diketahui:

Direktur

Ketua Program Studi


Prof. Dr. Triyono Eddy, S.H, M.Hum.


Assoc.Prof. Dr. Ir. SUWARNO, M.T.

PENGESAHAN TESIS

OPTIMALISASI KECEPATAN PUTAR MOTOR LISTRIK SEBAGAI BEBAN
PADA PLTS 5 KWp
(APLIKASI : BALAI BESAR PENGEMBANGAN DAN PENJAMINAN MUTU
PENDIDIKAN VOKASI BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK MEDAN)

LPUTU PAWITRA TEGUH DHARMA P.

1920080007

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Tesis ini telah dipertahankan di Hadapan Komisi Penguji yang dibentuk oleh Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Dinyatakan Lulus dalam Ujian Tesis dan Berhak Menyandang Gelar Magister Teknik (M.T) Pada Hari Senin, Tanggal 21 Maret 2022

Komisi Penguji

1. Assoc.Prof. Dr. Ir. SYAFRUDDIN HASAN, M.Sc.

Ketua

2. Assoc.Prof. Dr. Ir. SURYA HARDI, M.Sc.

Sekretaris

3. Dr. JOSEF HADIPRAMANA.

Anggota

1.....

2.....

3.....

SURAT PERNYATAAN

Optimalisasi Kecepatan Putar Motor Listrik Sebagai Beban Pada PLTS lima kWp (Aplikasi: Balai Besar Pengembangan & Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan & Listrik Medan)*

Dengan ini penulis menyatakan bahwa:

1. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara benar merupakan hasil karya penulis sendiri.
2. Tesis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara maupun di perguruan tinggi lain.
3. Tesis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Komisi Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
4. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
5. Pernyataan ini saya tulis dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya penulis sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, penulis bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang penulis sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Medan, 21 Maret 2022

Penulis



(I. Putu Pawitra Teguh D. P)
1920080007

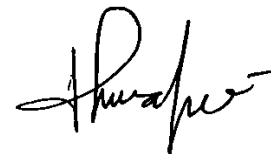
KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala hidayah dan titipannya pada dunia ini. Sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang sudah membawa kita dari alam kebodohan menuju alam yang penuh menggunakan ilmu pengetahuan. Alhamdulillah berkat izin-NYA penulis bisa menuntaskan penelitian tesis dengan judul **“Optimalisasi Kecepatan Putar Motor Listrik Sebagai Beban Pada PLTS lima kWp (Aplikasi: Balai Besar Pengembangan & Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan & Listrik Medan)”** dan penelitian tesis ini adalah salah satu syarat pada meraih gelar magister dalam program studi Magister Teknik Elektro Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Selanjutnya, atas bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan penulisan tesis ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Istri dan keluarga yang selalu mensupport pada penyusunan tesis ini.
2. Bapak Prof. Dr. Triyono Eddy, S.H, M.Hum. Selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Fitra Zambak, S.T., M.Sc. Selaku Wakil Direktur Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara sekaligus Dosen Pembimbing – II pada penulisan Tesis ini.
4. Bapak Dr. Ir. Suwarno, M.T. Selaku kepala Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara sekaligus menjadi Dosen Pembimbing – I pada penulisan Tesis ini.

5. Ibu Rohana, S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Magister Teknik Elektro.
6. Bapak & Ibu Dosen pada Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Karyawan biro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teman dan sahabat sejawat dan seperjuangan pada Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Penulis sudah berusaha untuk mengungkapkan yang terbaik pada tesis ini, tetapi penulis menyadari masih banyak kekurangan pada dalamnya. Oleh karenanya penulis senantiasa mengharapkan kritik & saran membangun untuk kesempurnaan tesis ini. Akhir kata, semoga tesis ini berguna bagi kita semua. Aamiin.

Medan, 21 Maret 2022
Penulis



I Putu Pawitra Teguh DP.

OPTIMALISASI KECEPATAN PUTARAN MOTOR LISTRIK SEBAGAI BEBAN PADA PLTS 5 kWp

**(APLIKASI: LABORATORIUM BALAI BESAR PENGEMBANGAN DAN
PENJAMIN MUTU PENDIDIKAN VOKASI
BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK MEDAN)**

I PUTU PAWITRA TEGUH DHARMA P
NPM: 1920080007

ABSTRAK

Dewasa ini kebutuhan akan energi listrik terus mengalami pertumbuhan membuat konsumsi listrik juga meningkat, pemanfaatan energi matahari sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah banyak dilakukan dengan menggunakan panel surya. Dalam implementasinya energi listrik yang di hasilkan oleh PLTS dapat dimanfaatkan untuk memutar motor listrik dan seberapa besar mempengaruhi nilai dari putaran motor serta kerja motor listrik tersebut. Hal ini dikarenakan motor listrik memiliki efisiensi yang relative tinggi, kontruksi yang sederhana dan kuat, serta mudah dan murah perawatannya. Pada penelitian ini penulis memilih metode penelitian kualitatif yang bertujuan untuk mengetahui daya output PLTS sebagai penggerak motor, kecepatan putaran dan efisiensi. Hasil penelitian ini terdapat perubahan frekuensi yang menyebabkan perubahan putaran motor listrik tiga fasa, dengan cara mengatur tahanan input pada inverter dengan mengubah-ubah frekuensi. Pada motor listrik tiga fasa hubungan delta tanpa beban dioperasikan menggunakan inverter diperoleh rata-rata kecepatan sebesar 916 Rpm dengan daya 1,6 kW, berbeban diperoleh rata-rata kecepatan sebesar 854,4 Rpm dengan daya 1,8 kW, hubungan bintang tanpa beban diperoleh rata-rata kecepatan sebesar 1024 Rpm dengan daya 1,9 kW, berbeban di peroleh rata-rata kecepatan sebesar 934 Rpm dengan daya 2,2 kW. Dan rata-rata efisiensi pada motor yaitu 55%. Maka optimalisasi putaran motor listrik ketika beroperasi pada beban 50% - 100% dan akan paling efisiensi pada beban 75% sampai 80 %, Jika beban turun di bawah 50% maka efisiensi akan turun dengan cepat.

Kata Kunci: PLTS, Motor Listrik Tiga fasa, Kecepatan putran motor, Daya dan Efisiensi.

**OPTIMIZATION OF ROTARY SPEED OF ELECTRIC MOTORS
AS A LOAD IN PLTS 5 kWp**

**(APPLICATION: CENTER FOR THE LABORATORY OF VOCATIONAL
EDUCATION DEVELOPMENT AND QUALITY ASSURANCE
BUILDING AND ELECTRICITY FIELD)**

**I PUTU PAWITRA TEGUH DHARMA P
NPM: 19200080007**

ABSTRACT

Today the need for electrical energy continues to grow, making electricity consumption also increasing, the use of solar energy as a Solar Power Plant has been widely carried out using solar panels. In its implementation, the electrical energy produced by Solar Power Plant can be used to rotate the electric motor and how much influence it has on the value of the rotation of the motor and the work of the electric motor. This is because electric motors have relatively high efficiency, simple and strong construction, and easy and inexpensive maintenance. In this study, the authors chose a qualitative research method that aims to determine the Solar Power Plant output power as a motor drive, rotation speed and efficiency. The results of this study are changes in frequency that cause changes in the rotation of a three-phase electric motor, by adjusting the input voltage on the inverter by varying the frequency. In a three-phase electric motor, the no-load delta connection is operated using an inverter, the average speed is 916 Rpm with a power of 1.6 kW, with an average load speed of 854.4 Rpm with a power of 1.8 kW, a no-load connection star is obtained. an average speed of 1024 Rpm with a power of 1.9 kW, obtained an average load speed of 934 Rpm with a power of 2.2 kW. And the average efficiency of the motor is 55%. Then optimizing the rotation of the electric motor when operating at a load of 50% - 100% and will be most efficient at a load of 75% to 80%. If the load drops below 50% then the efficiency will drop rapidly.

Keywords: Solar Power Plant, Three Phase Electric Motor, Motor rotation speed, Power and Efficiency.

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Dasar Teori	6
2.1.1 Radiasi Matahari.....	6
2.1.2 Panel Surya	7
2.1.2.1 Prinsip Panel Surya.....	9
2.1.2.2 Rangkaian Panel Surya.....	10
2.1.2.3 Sistem Kerja Panel Surya	10
2.1.2.4 Menghitung kapasistas PLTS	11
2.1.3 Perhitungan Energi Masuk dan Energi Keluar	12
2.1.3.1 Daya Maksimum.....	12
2.1.3.2 Faktor Pengisian	13
2.1.3.3 Daya Masuk.....	14
2.1.3.4 Daya keluaran	15
2.1.3.5 Efisiensi Panel Surya	15
2.1.4 Motor Induksi	16
2.1.4.1 Kontruksi motor induksi tiga fasa	17
2.1.4.2 Pengasutan motor induksi tiga fasa	21
2.1.5 Baterai yang digunakan	26
2.1.6 Inverter.....	30

2.2 Kajian Penelitian yang Relevan	34
2.3 Kerangka Berfikir.....	39
BAB 3 METODEODOLOGI PENELITIAN	40
3.1 Perlengkapan alat dan bahan	40
3.1.1 Solar Modul Capacity	40
3.1.2 Charger Controler	41
3.1.3 Inverter Pure Sinewave.....	41
3.1.4 Baterai.....	42
3.1.5 Multitester.....	42
3.1.6 Solar Power Meter	42
3.2 Metode riset yang digambarkan dalam penelitian.....	43
3.3 Diagram Alir.....	45
3.3.1 Pendekatan Penelitian.....	46
3.3.2 Teknik Pengumpulan Data	46
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Deskripsi Hasil Penelitian	53
4.1.1 Daya yang dibangkitkan oleh PLTS	53
4.2 Pengujian motor induksi tiga fasa berhubungan delta tanpa beban.....	57
4.3 Pengujian motor induksi tiga fasa berhubungan delta berbeban	59
4.4 Pengujian motor induksi tiga fasa berhubung bintang tanpa beban	62
4.5 Pengujian motor induksi tiga fasa berhubungan bintang berbeban.....	66
4.6 Efisiensi motor induksi	69
BAB 5 PENUTUP.....	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis Kelebihan dalam motor induksi.....	21
Tabel 4.1. Hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya, kecepatan putar motor, kecepatan putar motor induksi menggunakan rumus hubungan delta tanpa beban	57
Tabel 4.2. Hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan delta tanpa beban	59
Tabel 4.3. Hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan delta berbeban	60
Tabel 4.4. Hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan delta tanpa beban	62
Tabel 4.5. Hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan bintang tanpa beban.....	63
Tabel 4.6. Hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan delta tanpa beban	65
Tabel 4.7. Hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan bintang berbeban	66
Tabel 4.8. Hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan bintang tanpa beban.....	68
Tabel 4.9. Hasil perhitungan nilai rata-rata efisiensi motor induksi 3 fasa berhubung delta dan bintang tanpa beban dan berbeban.	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan Antara Matahari dan Bumi	7
Gambar 2.2 Konversi Cahaya Matahari.....	11
Gambar 2.3 Kurva Karakteristik Arus dan Tegangan.....	13
Gambar 2.4 Motor induksi 3 fasa.....	16
Gambar 2.5 Kontruksi Motor insuksi 3 fasa	18
Gambar 2.6 Prinsip kerja motor induksi 3 fasa.....	20
Gambar 2.7 Sistem 3 fasa.....	22
Gambar 2.8 Hubungan Star dan Diagram Fasor Tegangan	23
Gambar 2.9 Diagram Fasor	24
Gambar 2.10 Energy Storage (baterai).....	29
Gambar 2.11 Diagram Blok Inverter tiga fasa	31
Gambar 2.12 Inverter	32
Gambar 2.13 Kerangka Berfikir.....	39
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	45
Gambar 3.2 Blok Diagram PLTS 5 kWp.....	50
Gambar 3.3 Blok Diagram Pengoperasian Motor Induksi 3 Fasa	51
Gambar 3.4 Spesifikasi Plate Motor Induksi 3 Fasa	51
Gambar 4.1 Grafik hasil pengukuran hubungan Delta tanpa beban	58
Gambar 4.2 Grafik hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan delta tanpa beban.....	59
Gambar 4.3 Grafik hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan delta berbeban	61
Gambar 4.4 Grafik hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan delta berbeban	62
Gambar 4.5 Grafik hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan bintang tanpa beban	64
Gambar 4.6 Grafik hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan bintang tanpa beban	65

Gambar 4.7 Grafik hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan bintang berbeban	67
Gambar 4.8 Grafik hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan bintang berbeban	68
Gambar 4.9 Nilai Efisiensi Motor Induksi 3 fasa Berhubung Delta dan Bintang Tanpa Beban dan Berbeban	70

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Didalam era globalisasi saat ini, teknologi sangat berkembang pesat. Keandalan dalam mengelola kehidupan manusia secara langsung maupun tidak langsung diperlukan untuk selalu bertindak efektif dan efisien dalam beraktivitas dan menemukan inovasi terbaru untuk menunjang kebutuhan kehidupannya. Salah satunya untuk menghadapi masalah sumber daya alam yang makin berkurang,

Belakangan ini semakin banyak yang mencoba mengembangkan motor listrik. Hal itu disebabkan karena persediaan material utama minyak bumi dan cadangannya mulai menipis, sehingga harus ada jalan keluar untuk mengatasi hal tersebut dengan cara mencari energi alternatif yaitu dengan memanfaatkan energi surya. Namun pemakaian motor listrik masih belum efektif karena apabila isi dari baterai tersebut habis maka motor listrik tersebut harus berhenti dan harus melakukan pengisian ulang pada baterai, dan jika ingin memakai motor listrik dengan jarak atau waktu yang lama dibutuhkan baterai yang banyak pula sehingga kurang efektifnya penggunaan, hal ini juga diharapkan sebagai pengganti bahan bakar sehingga dapat memenuhi kebutuhan di masa depan.

Kebutuhan tenaga listrik tidak sebanding dengan ketersediaan tenaga listrik yang ada, jadi masih banyak kebutuhan yang tidak terpenuhi. Pembangkit listrik energi matahari/ tenaga surya (PLTS) salah satu cara yg mampu membentuk energi listrik. Panas yang timbul dari energi matahari yg ditangkap dan diproses oleh

photovoltaic ataupun panel surya akan membentuk energi listrik berupa arus searah (DC). Tetapi bukanlah semua beban listrik itu berbentuk beban arus searah (DC) masih ada juga beban atau dapat dirubah menjadi arus bolak-balik (AC)[1]. Agar energi listrik yg didapatkan berdasarkan tenaga terbarukan harus dikonversi, maka dipergunakan inverter sebagai alat untuk mengkonversinya. Namun aspek cuaca juga akan sangat pengaruhi kinerja dari PLTS. Jika panel surya mendapatkan cahaya matahari dalam cuaca yg sangat terik, namun jika sebaliknya saat cuaca mendung ataupun panel surya kurang memperoleh cahaya matahari, sampai tegangan dan arus yang didapat sepanjang proses pengisian baterai jadi lama.

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah energi yang terjangkau. Disaat ini masyarakat ataupun Industri sudah banyak yang memakai Pembangkit Listrik Tenaga Surya dimana mampu mengurangi ketergantungan pemakaian energi listrik yg dikelola oleh pihak PT. PLN Persero. Tiap tahun kenaikan tarif dasar listrik dan kebutuhan tenaga listrik terus bertambah. Pemanfaatan tenaga surya adalah tenaga yang sangat potensial untuk dikembangkan khususnya di Negara Kesatuan Republik Indonesia. Pemanfaatan tenaga Matahari selaku pembangkit listrik sudah banyak di manfaatkan dengan memakai panel surya. Disaat ini pemanfaatan untuk penerangan jalur jalan raya telah sangat banyak dan begitu pula untuk rumah tangga serta industri.

Pada riset ini penulis akan melaksanakan kajian pemanfaatan tenaga listrik yang di hasilkan oleh Pembangkit listrik tenaga surya, serta seberapa besar mempengaruhi nilai dari putaran motor dan cara kerja motor listrik, sehingga motor

listrik dapat bekerja dengan baik dan normal, serta dapat melakukan perubahan putarannya.

Menguji motor listrik sebagai beban apakah dapat mempengaruhi putaran motor berdasarkan jenis dan nilai panel surya, ukuran dan efisiensi panel surya untuk menyalakan baterai dan menggunakan motor listrik sebagai beban variabel[2]

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan di angkat dan di jawab pada riset/penelitian ini adalah:

1. Seberapa besar keluaran daya output pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk motor listrik.
2. Seberapa besar optimalisasi kecepatan putaran motor yang di hasilkan sebagai beban dari listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya.
3. Seberapa besar efisiensi yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga terhadap putaran motor listrik

1.3 Batasan Masalah

Pada batasan masalah yang akan di teliti ini nilai kecepatan putaran motor listrik, sebagai beban dan efisiensi putaran dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga surya 5 kWp serta efisiensi PLTS di Laboratorium BBPPMPV BBL Medan diantaranya adalah:

1. Untuk mengetahui seberapa besar keluaran daya output pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk motor listrik.

2. Untuk mengetahui seberapa besar putaran motor yang di hasilkan sebagai beban pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya.
3. Untuk mengetahui seberapa besar efisiensi yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya terhadap putaran motor listrik.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghitung besar daya output Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dipergunakan sebagai penggerak motor listrik.
2. Optimalisasi kecepatan putaran motor listrik sebagai beban pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya 5 kWp di Laboratorium BBPPMPV BBL Medan.
3. Menganalisis efisiensi yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya terhadap putaran motor listrik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini meliputi beberapa hal yaitu:

1. Pemanfaatan di Laboratorium Balai Besar Pengembangan dan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi bidang Bangunan dan Listrik sebagai salah satu alat dari energy terbarukan dalam hal ini PLTS. Sehingga dapat membantu untuk memberikan rekomendasi bagi suatu kebijakan, program yang dicanangkan oleh instansi secara maksimal sumber daya yang sudah ada

2. Melalui aktivitas penelitian ini bisa mendapatkan sebuah solusi juga penemuan terhadap beragam masalah yg berkembang di masyarakat disekitarnya. Itu artinya, aktivitas penelitian bisa mendukung pengabdian masyarakat bagi perguruan tinggi.
3. Manfaat bagi Penulis yaitu dengan penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan tentang seberapa besar daya dari keluaran PLTS yang bisa di manfaatkan untuk menggerakkan motor listrik dan dapat dilanjutkan sebagai referensi bagi penelitian berikutnya.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

Kebutuhan energi listrik semakin lama semakin meningkat seiring dengan pola hidup manusia modern yang selalu menggunakan teknologi yang membutuhkan energi listrik. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka diperlukan beberapa inovasi misalnya dengan pemasangan panel surya untuk sistem pengisian daya pada baterai yang diperlukan sebagai tenaga pada penggerak dari motor listrik tersebut. Maka di dalam penelitian ini peneliti melakukan pengujian terhadap motor listrik, terhadap putaran motor serta nilai dari pada panel surya, dimensi serta pula efisiensi dari panel surya untuk mensuplai tenaga ke baterai serta dimanfaatkan motor listrik selaku beban yang bermacam-macam.

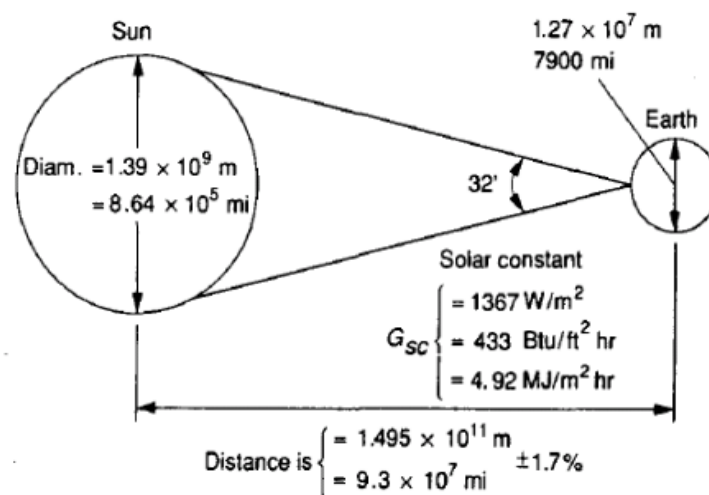
2.1.1 Radiasi Matahari

Jarak eksentrisnya dari lintasan bumi adalah jarak antara matahari dan bumi dengan variasi 1,7%. Dari hasil pengukuran astronomi didapat jarak rata-rata bumi dan matahari adalah $1,495 \times 10^{11}$ m dengan sudut kecenderungan matahari 320. Radiasi yang diemisikan oleh matahari dan ruang angkasa yang berhubungan dengannya ke bumi menghasilkan intensitas radiasi matahari yang hampir konstan di luar atmosfer bumi.

Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari-bumi di luar atmosfer. *World Radiation Center*

(WRC) mengambil nilai konstanta matahari (G_{sc}) sebesar 1367 W/m^2 dengan ketidakpastian sebesar 1% [10].

Selain itu, ada juga yang disebut dengan konstanta radiasi ekstraterrestrial (G_{on}) yaitu radiasi di luar atmosfer bumi yang diukur pada bidang normal terhadap radiasi pada hari ke-n pada satu tahun, hal ini dikarenakan orbit bumi sebenarnya berbentuk elips sehingga perlu sedikit koreksi terhadap konstanta matahari di atas. Jadi sebenarnya ada dua penyebab adanya variasi radiasi ekstraterrestrial yaitu variasi radiasi yang diemisikan matahari dan variasi jarak matahari-bumi.



Gambar 2.1. Hubungan Antara Matahari dan Bumi

2.1.2 Panel Surya (*Solar Cell*)

Panel surya (*Solar Cell*) adalah suatu komponen yang dapat digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip yang disebut efek *photovoltaic*. Kata '*photovoltaic*' terdiri dari 2 kata ialah photo serta Volta. Photo yang berarti sinar (dari bahasa Yunani ialah phos, photos: sinar) serta Volta (berasal dari nama seseorang fisikawan Italia

yang hidup antara tahun 1745-1827 yang bernama Alessandro Volta) yang berarti unit tegangan listrik. Dengan kata lain, makna *photovoltaic* ialah proses konversi sinar matahari secara langsung untuk diganti jadi listrik. Oleh sebab itu, kata *photovoltaic* biasa disingkat dengan PV. Bahan semikonduktor semacam silicon, gallium arsenide, serta cadmium telluride ataupun *copper indium deselenide* umumnya digunakan selaku bahan bakunya. *Panel surya crystalline* umumnya digunakan secara luas untuk pembuatan panel surya[11].

Efek *photovoltaic* itu sendiri adalah suatu fenomena di mana muncul tegangan listrik karena adanya suatu hubungan atau kontak dari dua elektroda, dimana keduanya dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Pada dasarnya, panel surya ini merupakan dioda foto yang mempunyai permukaan yang sangat besar.

Permukaan panel surya yang luas, mampu menjadikan perangkat panel surya ini lebih sensitif terhadap cahaya yang masuk dan juga menghasilkan tegangan dan arus yang lebih kuat dari dioda foto pada umumnya. Contohnya, sebuah panel surya yang terbuat dari semikonduktor silikon saat terkena cahaya matahari mampu menghasilkan tegangan sebesar 0,5V dan arus sebesar 0,1A. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi performansi dari panel surya adalah bahan pembuatnya, resistansi beban, intensitas cahaya matahari, dan suhu atau temperatur. Hal-hal tersebut perlu diperhatikan. Saat ini, banyak yang telah mengaplikasikan perangkat panel surya ini ke berbagai jenis penggunaan. Perangkat panel surya ini sering kita jumpai sebagai sumber listrik untuk kalkulator, mainan, pengisi baterai

hingga ke pembangkit listrik, dan bahkan sebagai sumber listrik untuk menggerakkan satelit yang mengorbit bumi[13].

2.1.2.1 Prinsip Kerja Panel Surya

Sinar matahari tersusun dari partikel kecil yang disebut dengan foton. Ketika terkena sinar matahari, foton yang merupakan partikel dari sinar matahari tersebut menabrak atom semikonduktor silikon panel surya, sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya.

Elektron yang terpisah dan bermuatan negatif tersebut akan bergerak pada daerah konduksi dari material semikonduktor. Pada atom yang kehilangan elektron, maka akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan dengan *hole*. *Hole* ini memiliki muatan positif. Jika terdapat elektron bebas yang bersifat negatif, maka akan berperan sebagai pendonor elektron, hal ini disebut juga dengan semikonduktor tipe-n. Sedangkan daerah semikonduktor dengan *hole* yang bermuatan positif dan juga bertindak sebagai penerima elektron disebut dengan semikonduktor tipe-p. Di antara daerah positif dan negatif, atau yang bisa dikenal dengan *PN Junction*, akan muncul energi yang mendorong elektron dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif, karena elektron ini bermuatan negatif. Sedangkan *hole* akan bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya di antara *PN Junction* ini, maka akan menimbulkan arus listrik yang nantinya bisa dimanfaatkan.

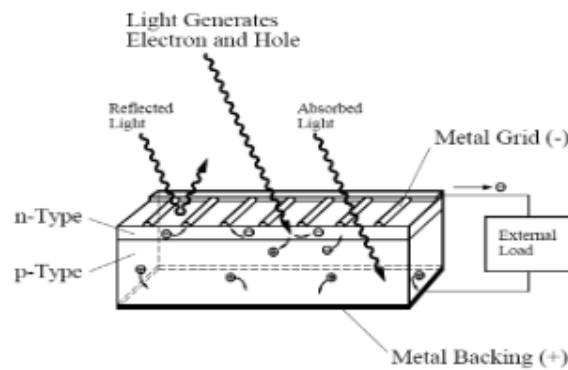
2.1.2.2 Rangkaian Panel Surya

Sama halnya dengan baterai, panel ternyata juga dapat dirangkai secara seri maupun paralel. Umumnya, setiap panel surya mampu menghasilkan tegangan sekitar 0,45-0,5 V dan arus listrik yang mampu dihasilkan adalah sebesar 0,1 A. Hal ini dapat terjadi pada saat panel surya menerima cahaya yang terang. Hal seperti ini sama dengan baterai, panel surya yang disusun secara seri mampu meningkatkan tegangan atau voltage. Sedangkan panel surya yang disusun dengan rangkaian paralel, mampu meningkatkan arus atau current[13].

2.1.2.3 Sistem kerja Panel Surya

Apabila sesuatu bahan semikonduktor semacam bahan silikon ditaruh dibawah cahaya matahari, hingga bahan silikon tersebut hendak membebaskan beberapa kecil listrik yang biasa diucap dampak fotolistrik. Dampak fotolistrik merupakan pelepasan elektron dari permukaan metal yang diakibatkan penumbukan sinar. Dampak ini ialah proses bawah fisis dari fotovoltaiik merubah tenaga sinar jadi listrik. Sinar matahari terdiri dari partikel- partikel yang diucap selaku “photons” yang memiliki beberapa tenaga yang besarnya bergantung dari panjang gelombang pada spektrum sinar. Pada dikala photon menumbuk panel surya hingga sinar tersebut hendak dipantulkan ataupun diserap ataupun bisa jadi cuma diteruskan. Sinar yang diserap hendak membangkitkan listrik. Dikala terjalin tumbukan, tenaga yang dikandung oleh photon ditransfer pada elektron yang ada pada atom panel surya yang ialah bahan semikonduktor.

Dengan tenaga yang didapat dari photon, elektron membebaskan diri dari jalinan wajar bahan semikonduktor serta jadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik yang terdapat. Dengan membebaskan dari ikatannya, elektron tersebut menimbulkan terjadinya lubang ataupun “hole” [14].



Gambar 2.2 Konversi Cahaya Matahari

2.1.2.4 Menghitung Kapasistas PLTS

PV modul hanya akan efektif bila mendapatkan sinar langsung dengan arah normal tegak lurus terhadap permukaan PV modul. Jika semakin jauh sudut tegak PV modul terhadap matahari maka tingkat penerimaan sinar matahari akan semakin rendah karena bila sudut PV semakin miring maka sebagai besar sinar matahari akan mantul dari permukaan panel surya dan hanya sedikit foton yang diserap. Persamaan untuk mengetahui ketinggian maksimum (dalam derajat) ketika matahari mencapai langit (α) [15].

Perhitungan pemakaian PLTS:

$$PV \text{ area} = \frac{EL}{G_{av} \cdot \eta_{pv} \cdot TCF \cdot \eta_{out}} \quad (2.6)$$

Dimana:

E_L = Pemakaian energi (KWh/hari)

G_{av} = Isolasi harian matahari rata – rata (Kwh/m²/hari)

H = efisiensi %

TCF = Temperatur correction factor

η_{out} = efisiensi inverter

2.1.3 Perhitungan Energi Masuk dan Energi Keluar

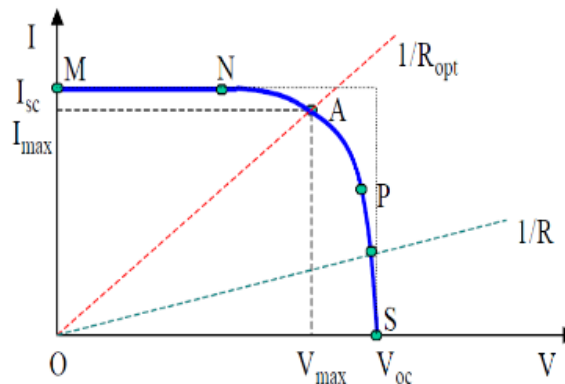
Panel surya menangkap cahaya matahari lalu mengubahnya menjadi energi listrik, sebelum disimpan ke dalam baterai daya yang di peroleh dari panel surya harus terlebih dahulu melewati MPPT. MPPT ini bertujuan untuk mengatur arus listrik yang masuk ke dalam baterai agar baterai tidak cepat rusak. Setelah melewati MPPT, daya yang di hasilkan oleh panel surya di simpan ke dalam baterai. Maka perlu dibuat perhitungan energi masukan sebagai input (sumber energi) dan perhitungan energi keluaran sebagai output energi yang dapat dipergunakan

2.1.3.1 Daya Maksimum

Untuk mengetahui karakteristik arus dan tegangan pada panel surya dengan kondisi beban atau resistensi yang berbeda-beda, maka dapat digunakan suatu kurva diperlihatkan pada Gambar 2.2. Bahwa parameter untuk menentukan nilai output pada panel surya meliputi:

- a. Arus hubung singkat atau *short circuit current* (I_{sc}) adalah arus keluaran maksimum yang di peroleh dari panel surya pada kondisi tidak ada resistansi (R), $V = 0$.

- b. Tegangan hubung terbuka atau *open circuit voltage* (V_{oc}) adalah kapasitas tegangan maksimum



Gambar 2.3 Kurva karakteristik arus dan tegangan [12].

Daya maksimum (P_m) diperoleh dari perkalian antara arus dan tegangan, pada setiap titik A kurva I-V pada Gambar 2.2. Secara grafik daya maksimum pada panel surya berada pada puncak yang memiliki luas terbesar. Titik puncak tersebut dapat disebut maximum power point (MPP). Daya maksimum berdasarkan panel surya bisa dihitung menggunakan Persamaan (2.2):

$$P_m = V_m \times I_m \quad (2.2)$$

Dengan:

P_m = Daya maksimum keluaran (W)

V_m = Tegangan maksimum (Volt)

I_m = Arus maksimum (Ampere)

2.1.3.2 Faktor Pengisian

Faktor pengisian merupakan berukuran kualitas berdasarkan panel surya bisa diketahui menggunakan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya hasil dalam tegangan rangkaian terbuka dan interaksi pendek. Faktor pengisian

yaitu parameter yg menyatakan seberapa sebesar $I_{SC} \times V_{oc}$ berdasarkan daya maksimum $V_m \times I_m$ yang didapatkan panel surya.

Faktor pengisian adalah ukuran kualitas dari panel surya dapat diketahui dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubungan pendek. Faktor pengisian yaitu parameter yang menyatakan seberapa besar $I_{SC} \times V_{oc}$ dari daya maksimum $V_m \times I_m$ yang dihasilkan panel surya.

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{I_{SC} \times V_{oc}} \quad (2.1)$$

Dengan:

FF = Faktor pengisian

V_m = Tegangan maksimum (Volt)

I_m = Arus maksimum (Ampere)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

I_{SC} = Arus hubung singkat (Ampere)

2.1.3.3 Daya masuk

Daya masuk (P_{in}) diperoleh menurut perkalian antara intensitas radiasi surya yg diterima menggunakan luas area panel surya memakai Persamaan (2.3).

$$P_{in} = I_r \times A \quad (2.3)$$

Dengan:

P_{in} = Daya input dampak radiasi surya (W)

I_r = Intensitas radiasi surya (W/m^2)

A = Luas area bagian atas panel surya (m^2)

2.1.3.4 Daya keluaran

Daya keluaran (P_{out}) dalam panel surya yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) menggunakan arus hubung singkat (I_{sc}) & factor pengisi (FF) yg didapatkan oleh panel surya bisa dihitung menggunakan Persamaan (2.4).

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2.4)$$

Dengan:

P_{out} = Daya keluaran (W)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

I_{sc} = Arus hubungan singkat (Ampere)

FF = Faktor pengisi

2.1.3.5 Efisiensi panel surya

Efisiensi panel surya (η) merupakan perbandingan daya keluaran menggunakan daya intensitas surya bisa dihitung menggunakan Persamaan[12] (2.5).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (2.5)$$

Dengan:

η = Efisiensi panel surya (%)

P_{in} = Daya intensitas surya (Watt)

P_{out} = Daya maksimum keluaran (Watt)

Banyak energy matahari yang diserap oleh panel surya menentukan efisiensinya karena panel surya didefinisikan sebagai perbandingan daya keluaran dengan daya masukan.

2.1.4 Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak-balik (ac) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator. Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3-fasa dan motor induksi 1-fasa. Motor induksi 3-fasa dioperasikan pada sistem tenaga 3-fasa dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi 1-fasa dioperasikan pada sistem tenaga 1-fasa dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi 1-fasa mempunyai daya keluaran yang rendah. Bentuk gambaran motor induksi 3-fasa diperlihatkan pada gambar 2.4, dan contoh penerapan motor induksi ini di industri diperlihatkan pada gambar 2.5.



a) bentuk fisik

b. motor induksi dilihat ke dalam

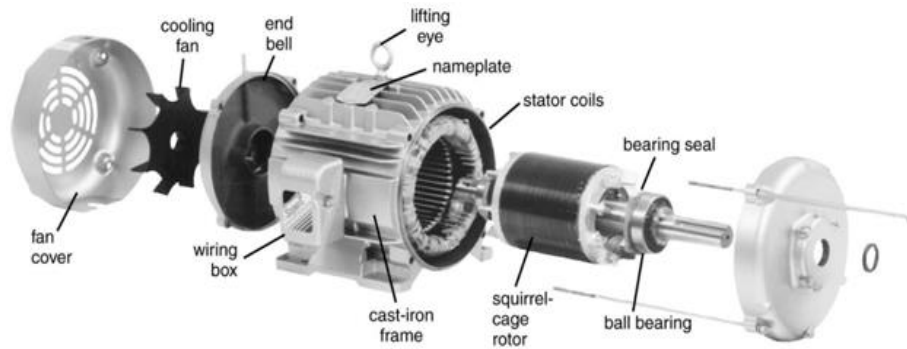
Gambar 2.4 Motor induksi 3-fasa[16]

Berbeda dengan motor satu fasa, sistem tiga fasa telah menyediakan perbedaan fasa sebesar 120° pada setiap fasa sehingga terjadi perbedaan fluks magnetik yang menggerakkan motor. Adapun Jenis jenis motor Induksi tiga fasa diantaranya:

1. Motor tiga Fasa rotor belitan, yaitu motor dengan belitan kumparan pada rotornya. Kelebihan rotor dengan kumparan adalah mempunyai arus awal yang rendah dan torsi awal yang tinggi.
2. Motor tiga fasa rotor sangkar, Jenis motor induksi ini terdiri dari tumpukan lempengan besi tipis yang dilaminasi dan batang konduktor di sekelilingnya dan kemudian disatukan untuk membentuk inti rotor. Dengan rotor sangkar, motor dapat menghasilkan arusawal yang tinggi, torsi awal rendah dan kapasitas Overload tinggi serta Efisiensi dan faktor kerja yang lebih tinggi dibanding rotor belitan[17].

2.1.4.1 Konstruksi Motor Induksi

Konstruksi motor induksi satu fasa hampir sama dengan konstruksi motor induksi tiga fasa, yaitu terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk silinder dan simetris. Di antara rotor dan stator ini terdapat celah udara yang sempit. Konstruksi dari motor induksi satu fasa seperti pada gambar



Gambar 2.5 Kontruksi Motor Induksi[18]

Prinsip kerja motor induksi tiga fasa didasarkan pada Hukum Faraday (tegangan induksi akan ditimbulkan oleh perubahan induksi magnetik pada suatu belitan). Hukum Faraday berdasarkan pada persamaan (2.7)[19].

$$\varepsilon = B \times L \times v \quad (2.7)$$

Dimana:

ε = Tegangan induksi (V)

B = Medan magnet (T)

L = Panjang konduktor (m)

v = Kecepatan medan magnet menginduksi konduktor (m/s)

Hukum lain yang mendasari prinsip kerja dari motor induksi adalah Hukum Lorentz (Apabila konduktor yang teraliri arus berada pada medan magnet, maka akan timbul gaya yang disebut gaya elektromagnet atau gaya Lorentz). Hukum Lorentz berdasarkan pada persamaan (2.2) sebagai berikut.

$$F = B \times I \times L \quad (2.8)$$

Dimana:

F = Gaya Lorentz (N)

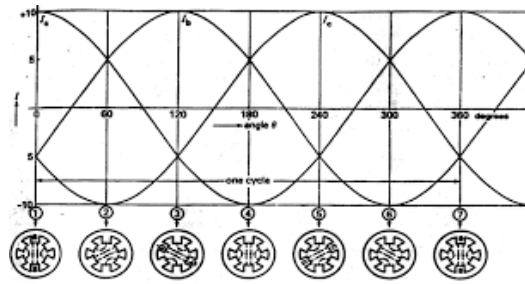
B = Medan magnet (T)

I = Arus yang mengalir pada konduktor (A)

L = Panjang konduktor (m)

Motor induksi bekerja bergantung pada medan magnet putar yang ditimbulkan dalam celah udara motor yang disebabkan oleh arus belitan stator. Belitan tiga fasa stator dililit dengan jarak antar belitan sebesar 120° secara elektrik, jika belitan diberi tegangan tiga fasa maka akan mengalir arus dan menimbulkan 14 medan magnet. Medan magnet pada suatu luasan belitan akan menimbulkan fluks pada masing-masing fasa. Ketiga fluks tersebut bergabung membentuk fluks secara vektor yang bergerak mengelilingi permukaan stator pada kecepatan konstan yang disebut medan magnet putar. Medan magnet putar akan menyebabkan rotor berputar dengan arah yang sama dengan fluks putar. Prinsip dasar dapat dijelaskan:

1. Tegangan induksi akan timbul pada setiap konduktor yang diakibatkan oleh medan magnet yang memotong konduktor (Hukum Faraday).
2. Konduktor dihubungkan menjadi satu atau dihubung singkat pada ujung belitan, maka tegangan induksi akan menyebabkan arus mengalir dari satu konduktor ke konduktor lain.
3. Arus yang mengalir pada suatu medan magnet akan menimbulkan gaya (Hukum Lorentz).
4. Gaya akan selalu menarik konduktor (rotor) untuk bergerak sepanjang medan magnet berputar



Gambar 2.6 Prinsip kerja motor induksi 3 fasa[20]

Kecepatan motor induksi tiga fasa sangat dipengaruhi oleh jumlah kutub pada stator dan frekuensi sumber tegangan yang dirumuskan sebagai berikut.

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (2.9)$$

Dimana:

N_s = kecepatan sinkron (rpm)

f = frekuensi (Hz)

P = jumlah kutub

Selisih antara kecepatan rotor dan kecepatan sinkron disebut slip. Slip dapat dinyatakan dalam putaran permenit, tetapi lebih umum dinyatakan sebagai persen dari kecepatan sinkron. Slip dinyatakan dengan persamaan 2.10 sebagai berikut[21].

$$S = \frac{n_s \cdot n_r}{N_s} \times 100\% \quad (2.10)$$

dimana:

S = Slip

n_s = Kecepatan Sinkron (putaran/menit)

n = Kecepatan rotor (putaran/menit)

Efisiensi motor dipengaruhi oleh kehilangan dasar yang bisa dikurangi hanya oleh perubahan dalam rancangan motor dan syarat operasi. Kehilangan bisa bervariasi berdasarkan sekitar 2% sampai 20%. Tabel 1 menunjukkan jenis kehilangan untuk motor induksi.

Tabel 1. Jenis Kehilangan **dalam** Motor Induksi (BEE India, 2004)

Jenis kehilangan	Persentase kehilangan total (100%)
Kehilangan permanen atau kehilangan Inti	25
Kehilangan variabel: kehilangan stator $I^2 R$	34
Kehilangan variabel: kehilangan rotor $I^2 R$	21
Kehilangan gesekan & penggulangan ulang	15
Kehilangan beban yg menyimpang	5

Terdapat interaksi yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor menciptakan rancangan motor untuk beroperasi dalam beban 50-100% akan paling efisien dalam beban antara 75% sampai menggunakan 80%. Tetapi, bila beban turun dibawah 50% efisiensi turun menggunakan cepat[22]

2.5.2 Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa

Pada motor induksi yang diam apabila tegangan normal diberikan ke stator maka akan ditarik arus yang besar oleh belitan primernya. Motor induksi saat dihidupkan secara langsung akan menarik arus 5 sampai 7 kali dari arus beban penuh dan hanya menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh. Untuk mengurangi besarnya arus pengasutan pada motor, ada beberapa metoda pengasutan motor induksi yang biasa digunakan, yaitu: -Pengasutan dengan

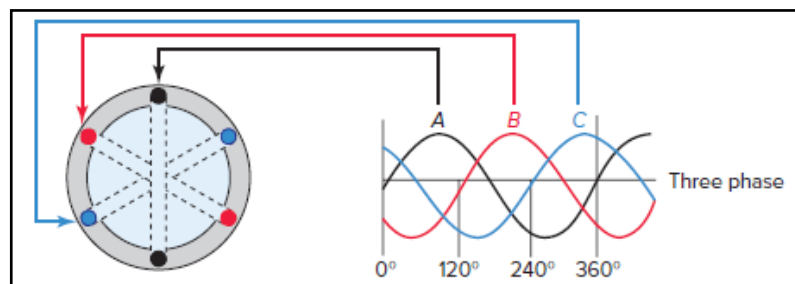
primary resistors (rheostat) -Pengasutan dengan auto-transformator -Pengasutan bintang-segitiga (Y - Δ) -Pengasutan dengan tahanan rotor (rheostat), khusus untuk motor tipe rotor belitan. Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa Metode Bintang-Segitiga (Y- Δ) Sistem pengasutan bintang segitiga adalah metode pengasutan dengan pengurangan tegangan. Sebuah motor induksi dengan hubungan bintang-segitiga memiliki enam buah terminal sehingga dapat diswitch, baik untuk hubungan bintang atau segitiga. Motor dihubungkan bintang (Y) pada waktu pertama kali di-start, dan ketika motor telah mendekati kecepatan normal, hubungan diubah menjadi hubungan segitiga (Δ). Saat terhubung bintang, tegangan masing-masing fasa dikurangi sebesar $1/\sqrt{3}$ (57,7% tegangan saluran) karena itu torsi yang timbul menjadi $1/3$ dari apabila motor langsung terhubung delta. Arus saluran dikurangi sebesar $1/3$.

$$I_{st} \text{ per fasa} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{sc} \text{ per fasa} \quad (2.11)$$

dimana:

I_{sc} = arus start bila motor terhubung Δ

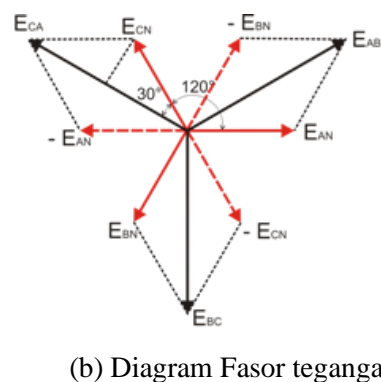
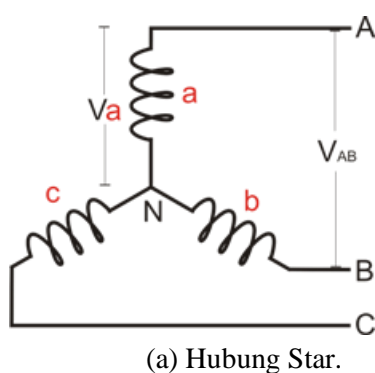
I_{st} = arus start bila motor terhubung Y



Gambar 2.7 Sistem Tiga Fasa

Pada gambar 2.7 memberitahukan fasor diagram menurut tegangan fasa. Jika fasor-fasor tegangan tadi berputar menggunakan kecepatan sudut dan menggunakan arah antagonis jarum jam (arah positif), maka nilai maksimum positif menurut fasa terjadi berturut-turut untuk fasa R, S, dan T. Sistem tiga fasa ini dikenal menjadi sistem yg memiliki urutan fasa R – S – T. Sistem tegangan tiga fasa dibangkitkan sang generator sesuai tiga fasa. Tegangan tiga fasa tak jarang digambarkan menggunakan 3 butir garis menggunakan satu ujung saling bertemu, sebagai akibatnya setiap garis membangun sudut 120° .

Sudut itulah yang dianggap sudut disparitas fasa antara satu fasa menggunakan fasa lainnya sebanyak 120° . V_{rs} adalah tegangan antara fasa R dan fasa S, sedangkan V_{rn} adalah tegangan antara fasa R menggunakan netral $V_{rn} = V_{sn} = V_{tn}$. Sudut antara garis RN dan SN sebanyak 120° . Berikut merupakan gambar 2.9 rangkaian hubung star (Y) dan diagram fasor tegangannya:



Gambar 2.8 Hubung Star dan Diagram Fasor Tegangan[23]

Pada gambar pada atas, tegangan E_{AB} , E_{BC} dan E_{CA} adalah tegangan line dimana :

$$E_{AB} = E_{AN} + E_{NB} = E_{AN} - E_{BN}$$

$$E_{BC} = E_{BN} + E_{NC} = E_{BN} - E_{CN}$$

$$E_{CA} = E_{CN} + E_{NA} = E_{CN} - E_{AN}$$

Gambar b menampilkan diagram fasor pada mana bisa dicermati bahwa tegangan phase E_{AN} , E_{BN} dan E_{CN} mempunyai magnitude yang sama tetapi terpisah satu sama lain sebanyak 120° . Tegangan line E_{AB} adalah penjumlahan berdasarkan vector E_{AN} dan $-E_{BN}$ begitupun menggunakan tegangan line E_{BC} dan E_{CA} & pula terpisah 120° satu menggunakan yang lainnya. $E_{AB} = E_{BC} = E_{CA} = 2 E_{AN} \cos 30^\circ$

Maka :

$$2 E_{ph} \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} E_{ph} \quad (2.12)$$

Sedangkan arus yang mengalir dapat dihitung dengan persamaan :

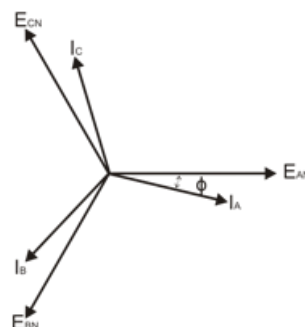
$I_A = I_B = I_C = I_{ph}(I_a, I_b, I_c)$ (magnitude)

$$I_A = \frac{V_{AN}}{Z} = \frac{V_{ph} \angle 0^\circ}{Z \angle \phi} = \frac{V_{ph}}{Z} \angle -\phi \quad (2.13)$$

$$I_B = \frac{V_{BN}}{Z} = \frac{V_{ph} \angle -120^\circ}{Z \angle \phi} = \frac{V_{ph}}{Z} \angle -120 - \phi \quad (2.14)$$

$$I_C = \frac{V_{CN}}{Z} = \frac{V_{ph} \angle -240^\circ}{Z \angle \phi} = \frac{V_{ph}}{Z} \angle -240 - \phi \quad (2.15)$$

Dari persamaan di atas, dapat dilihat bahwa arus yang mengalir pada belitan motor (I_a) sama dengan arus yang masuk (I_A). dan diagram fasornya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.9 Diagram fasor

Tegangan phase a (belitan a) = tegangan line = V_{CA} . Sementara arus dalam rangkaian dapat dihitung dengan persamaan:

$$I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z} = \frac{V_L \angle 0^\circ}{Z \angle \phi} = \frac{V_L}{Z} \angle -\phi \quad (2.16)$$

$$I_{BC} = \frac{V_{BC}}{Z} = \frac{V_L \angle -120^\circ}{Z \angle \phi} = \frac{V_L}{Z} \angle -120 - \phi \quad (2.17)$$

$$I_{CA} = \frac{V_{CA}}{Z} = \frac{V_L \angle -240^\circ}{Z \angle \phi} = \frac{V_L}{Z} \angle -240 - \phi \quad (2.18)$$

dan arus line (I_A, I_B, I_C) bisa diperoleh dengan menerapkan hukum Kirchhoff's

$$I_A = I_{ab} - I_{ca}$$

$$I_B = I_{bc} - I_{ab}$$

$$I_C = I_{ca} - I_{bc}$$

$$\begin{aligned} I_A &= \sqrt{3} \cdot I_{AB} \angle 30^\circ = \sqrt{3} \cdot \left(\frac{V_L}{Z}\right) \angle -\phi \angle -30^\circ \\ &= \sqrt{3} \cdot I_{ph} \angle -30^\circ - \phi \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$I_B = \sqrt{3} \cdot I_{AB} \angle 30^\circ = \sqrt{3} \cdot I_{ph} \angle -150^\circ - \phi \quad (2.20)$$

$$I_C = \sqrt{3} \cdot I_{CA} \angle 30^\circ = \sqrt{3} \cdot I_{ph} \angle -270^\circ - \phi \quad (2.21)$$

Dari persamaan di atas, dapat dilihat bahwa magnitudo arus yang mengalir pada line (I_A) adalah $\sqrt{3}$ kali magnitudo arus fasa I_{ph} . berikut ini disajikan perbandingan arus line yang mengalir pada kedua metode hubung di atas:

$$\frac{I_{L-star}}{I_{L-delta}} = \frac{\frac{V_{phasa}}{Z}}{\frac{\sqrt{3} \cdot V_{Phasa}}{Z}} = \frac{\frac{\sqrt{3} \cdot V_L}{3 \cdot Z}}{\frac{\sqrt{3} \cdot V_L}{Z}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 1 \quad (2.22)$$

Dalam transformasi dari rangkaian star ke delta (atau sebaliknya) maka nilai Z adalah:

$$Z_{delta} = 3 \times Z_{star} \quad (2.23)$$

$$Z_{star} = \frac{Z_{delta}}{3} \quad (2.24)$$

bahwa metode starter star-delta dapat mengurangi konsumsi arus yang dibutuhkan oleh motor untuk starting.

2.1.5 Baterai yang digunakan

Baterai (Battery) merupakan sebuah asal tenaga yang bisa merubah tenaga kimia yang disimpannya sebagai tenaga listrik yang bisa dipakai misalnya perangkat elektro. Hampir seluruh perangkat elektro yang portabel misalnya handphone, laptop, dan maianan remote control memakai baterai menjadi asal listriknya. Dengan adanya baterai, sebagai akibatnya perlu menyambungkan kabel listrik ke terminal untuk bisa mengaktifkan perangkat elektro kita sebagai akibatnya bisa menggunakan gampang dibawa kemana-mana. Setiap baterai terdiri menurut terminal positif (Katoda) dan terminal negatif (Anoda) dan elektrolit yang berfungsi menjadi penghantar. Output arus listrik menurut baterai merupakan arus searah atau dianggap pula menggunakan arus DC (*Direct Current*). Pada umumnya, baterai terdiri menurut dua jenis primer yakni baterai utama yang hanya bisa sekali pakai

(*single use battery*) dan baterai sekunder yang bisa diisi ulang (*rechargeable battery*).

Jenis Baterai PLTS yang Bagus, Ideal, dan Berkualitas. Ada spesifikasi tertentu yang harus digunakan saat mengevaluasi opsi baterai surya, seperti berapa lama baterai akan bertahan atau berapa banyak daya yang dapat disediakan. Dalam memilih jenis baterai PLTS cukup rumit sebab ada beragam opsi yang tersedia di pasaran dengan berbagai kelebihan dan juga efektifitas biaya.

- *Depth of discharge* atau DoD adalah jumlah energi yang digunakan dari baterai. Ini adalah kebalikan dari *state of charge*. Oleh karena itu, ketika spesifikasi baterai menyatakan bahwa siklus hidupnya mungkin lebih besar dari 1500 siklus dengan DoD 80%, artinya hal tersebut hanya akan terjadi jika penggunaan energi tidak melebihi 80% dari kapasitas nominalnya.
- *C-rate* biasanya menyatakan pengisian atau pemakaian energi yang sama dengan kapasitas baterai dibagi dengan waktu. Sebagai contoh: tingkat pemakaian C10 (atau I10) untuk 1000 Ah adalah sebesar 1000/10 atau sebesar 100 A.
- *Deep discharge* adalah ketika energi baterai dipakai di bawah tegangan *end-of-discharge* atau tegangan di pemakaian akhir. Tegangan *end-of-discharge* itu sendiri adalah titik tegangan baterai ketika baterai telah benar-benar habis terpakai atau ketika SoC kurang dari 20%.
- *Round-trip efficiency* adalah menyatakan rasio antara energi yang digunakan selama pemakaian dan energi untuk mengisi kembali baterai sampai penuh. Efisiensi termasuk rugi-rugi selama pemakaian dan pengisian. Baterai *lead*

acid pada umumnya memiliki efisiensi sekitar 85% atau sedikit lebih rendah dari lithium-ion yang efisiensinya mencapai 95%.

- *Overcharge* adalah kondisi ketika arus berlebih diterapkan pada baterai di akhir pengisian. *Overcharge* menyebabkan terjadinya elektrolisis sehingga terjadi pembentukan gas serta hilangnya air.
 - Siklus/ *Cycle* adalah satu kali urutan pengisian dan pemakaian. *Lead acid* baterai ditentukan sebagai siklus pakai atau jumlah siklus sebelum baterai mengalami penurunan kapasitas atau rusak. Idealnya, baterai yang baik harus memiliki setidaknya 2000 siklus atau setara dengan 5 tahun operasi.
 - *State of health (SoH)* adalah rasio kondisi baterai saat ini terhadap kondisi ideal atau kapasitasnya ketika masih baru. SoH dinyatakan dalam persentase (%). Salah satu alasan turunnya nilai SoH adalah meningkatnya hambatan internal baterai yang memuntok sebagian dari kapasitas baterai tidak dapat digunakan.
- Jenis baterai untuk PLTS yang paling baru adalah baterai Li-On.

Baterai ini mungkin sudah tidak asing lagi bagi kita karena juga digunakan di banyak peralatan elektronik portabel seperti ponsel dan laptop. Perbedaan utama adalah soal skala. Baterai Li-on memiliki rasio daya terhadap berat sangat tinggi. Jenis baterai ini efisiensi energinya tinggi. Kinerjanya pada suhu tinggi juga baik. Baterai tersebut memiliki rasio energi lebih besar tiap beratnya –sebuah parameter karakteristik yang sangat penting. Baterai ini juga memiliki tingkat “*self-discharge*” rendah, sehingga baterai paling baik dibanding baterai lain dalam mempertahankan kemampuan menahan muatan penuhnya. Selain itu, sebagian besar bagian baterai Li-on dapat didaur ulang, menjadi pilihan tepat bagi peminat PLTS yang sadar lingkungan.

Jenis-jenis baterai Li-on:

1. *Lithium Iron Phosphate*(LiFePO_4) — *LFP*
2. *Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide* (LiNiCoAlO_2) — *NCA*
3. *Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide* (LiNiMnCoO_2) — *NMC*
4. *Lithium Titanate* (Li_2TiO_3) — *LTO*
5. *Lithium Manganese Oxide* (LiMn_2O_4) — *LMO*
6. *Lithium Cobalt Oxide* (LiCoO_2) — *LCO*

Pengembangan energi baru terbarukan dari sumber *energy intermittent* (surya dan angin), misalnya, masih terkendala atas pengadaan *energy storage* (baterai). Meski harga ESS ini terus turun, namun pengadaan instrument itu masih memerlukan biaya besar, sehingga akselerasi pengembangan energi terbarukan itu kurang secepat dibandingkan pengembangan energi berbasis fosil.



Gambar 2.10 Energy Storage (baterai)[24]

Battery Charge Regulator atau *Solar Charge Controller* adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang di isi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mengatur *overcharging*

(kelebihan pengisian karena baterai sudah penuh) dan kelebihan tegangan (*overvoltage*) dari panel surya. Baterai akan rusak oleh *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya di isi pada tegangan 14 -14,7%.

2.1.6 Inverter

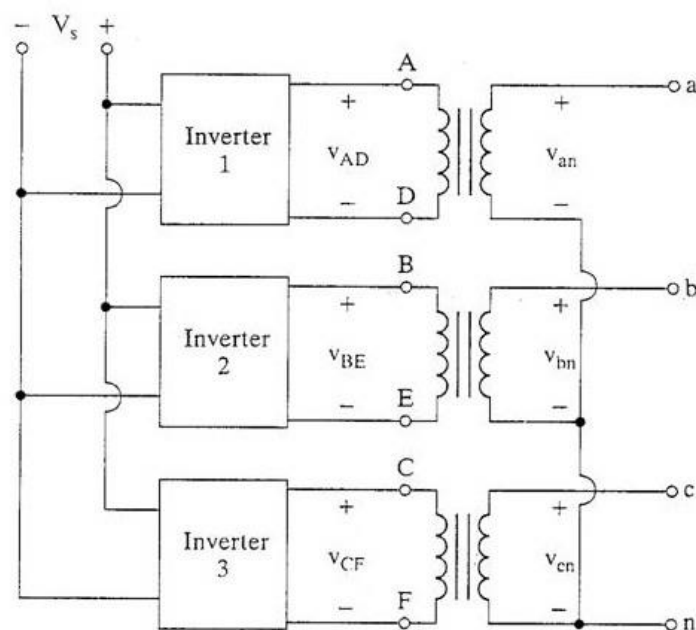
Inverter merupakan suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC tetap menjadi sumber tegangan AC dengan frekuensi tertentu. Komponen semikonduktor daya yang digunakan dapat berupa SCR, transistor, dan MOSFET yang beroperasi sebagai sakelar dan pengubah. Inverter dapat diklasifikasikan dalam dua jenis, yaitu: inverter satu fasa dan inverter tiga fasa. Setiap jenis inverter tersebut dapat dikelompokkan dalam empat kategori ditinjau dari jenis rangkaian komutasi pada SCR, yaitu:

1. modulasi lebar pulsa
2. inverter resonansi
3. inverter komutasi bantu
4. inverter komutasi komplemen.

Inverter disebut sebagai inverter catu-tegangan (*voltage-fed inverter-VFI*) apabila tegangan masukan selalu dijaga konstan, disebut inverter catu-arus (*current-fed inverter-CFI*) apabila arus masukan selalu dipelihara konstan, dan disebut inverter variabel (*variable dc linked inverter*) apabila tegangan masukan dapat diatur. Selanjutnya, jika ditinjau dari proses konversi, inverter dapat dibedakan dalam tiga jenis, yaitu inverter: seri, paralel, dan jembatan.

Inverter jembatan dapat dibedakan menjadi inverter setengah-jembatan (*half-bridge*) dan jembatan (**bridge**). Dalam Bab ini akan difokuskan pada pembahasan inverter jembatan baik untuk inverter satu fasa maupun tiga fasa[25]. Pengaturan irama penyaklaran akan mengubah sumber tegangan DC (*Direct Current*) menjadi tegangan AC (*Alternating Current*).

Inverter 3 fasa merupakan inverter dengan tegangan keluaran berupa tegangan bolak-balik (ac) 3 fasa per segi. Sebuah rangkaian dasar inverter 3 fasa tunggal sederhana terdiri dari 3 buah inveter 1 fasa dengan menggunakan mosfet daya (power mosfet) sebagai sakelar diperlihatkan pada gambar dibawah. Tegangan suplai merupakan sumber dc dengan tegangan sebesar V_s , dengan titik netral merupakan titik hubung dari titik bintang (Y) pada beban. Terdapat 2 jenis mode operasi dari inverter jenis ini, yaitu mode konduksi 120° dan mode konduksi 180° . Diagram blok dari inverter 3 fasa dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.11 Diagram Blok Inverter Tiga fasa[26]

Dengan memakai filter pasif LC, maka frekuensi keluaran berdasarkan inverter bisa diubah sebagai gelombang sinusoidal berfrekuensi 50Hz sebagaimana diharapkan. Output frekuensi inverter terhadap PLN mempunyai perbedaan fasa sebagai akibatnya disimulasikan sebuah prosedur yang bisa mendeteksi beda fasa dan mengatur delay pwm sebagai akibatnya hasil inverter dan sefasa menggunakan PLN. Hasil analisis memberitahuakn bahwa tegangan fasa dan beda fasa berdasarkan keluaran inverter bisa diatur sinkron menggunakan tegangan dalam fasa grid PLN.



Gambar 2.12 Inverter[27]

Application:

Off-Grid Solar System Output Power: 3000W

Samples: Off-Grid Solar System, 3000W

Nomor Model: SGP3000A

Nilai Daya: 3000W

Daya Lonjakan: 6000W

Tegangan masukan: 12VDC/24VDC/48VDC

Tegangan Keluaran: 110VAC \pm 5% / 220VAC \pm 5%

Inverter matahari merupakan bagian paling sophisticated menurut sistem pembangkit listrik energi matahari & jua bagian yg paling mungkin mempunyai masalah. Alat ini berfungsi mengkonversi arus DC dari Panel surya menjadi listrik ac yang siap digunakan untuk peralatan rumah tangga. Inverter juga perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC). dari perangkat seperti baterai, panel surya (*solar cell*) menjadi arus AC 220 V dengan frekuensi output 50 Hz atau 60 Hz. Penggunaan inverter dalam pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah untuk perangkat yang menggunakan AC (*Alternating Current*). Inverter berfungsi sebagai penyedia listrik cadangan baik di rumah maupun di kendaraan, sebagai *emergency power* saat aliran listrik rumah padam.

Penggunaan motor asinkron di industri semakin banyak, mengingat kesederhanaan konstruksi, dan kemudahan perawatannya. Kelebihan motor asinkron dapat dikendalikan dengan perubahan frekuensi. Metode tersebut memungkinkan pengaturan kecepatan putarnya. Berkembangnya teknologi semikonduktor dewasa ini, mendorong berkembangnya peralatan pengatur kendali motor induksi asinkron, menggunakan inverter biasa disebut VSD. Karena metode pengendaliannya dilakukan dengan mengatur tegangan dan frekuensi secara bersamaan. Peralatan semacam ini disebut Voltage Variable Frequency (VVF) atau Volt/ Hertz Inverter. Berkembangnya peralatan ini memberikan tambahan keuntungan, penggunaan motor induksi yaitu penggunaan motor menjadi lebih efisien, peningkatan fleksibilitas produksi dan peningkatan usia pemakaian pada kecepatan nominalnya[28].

2.2 Kajian Penelitian yang Relevan

Pada bagian ini peneliti bermaksud untuk membagikan cerminan tentang kaitan upaya penelitian dan pengembangan dengan upaya-upaya lain yang bisa jadi telah sempat ditempuh oleh peneliti sebelumnya guna mendekati kasus yang sama ataupun relative sama. Adapun penelitian tersebut dapat ditemui pada jurnal berikut ini antara lain:

1. Didalam jurnal dengan judul *Efficiency optimization of electric motors: a comparative study of stochastic algorithms*, menyajikan studi perbandingan 3 populer, prosedur pemecahan stokastik berbasis populasi yaitu: Algoritma Genetika, *Particle Swarm Optimization*, & Evolusi Diferensial untuk memaksimalkan efisiensi motor listrik. Hasil simulasi untuk diagram beban pabrik tekstil hipotetis menampakan bahwa meskipun ketiga prosedur pemecahan tadi menaruh output yg sekitar sama dibandingkan satu sama lain, kinerjanya lebih baik dari pada teknik tradisional[3].
2. Pada jurnal yang lain dengan judul *Performance Improvement of Induction Motor by using Particle Swarm Optimization* Motor induksi sangkar-tupai (SCIM) banyak digunakan sebagian besar industri dan komersial, pelaksanaan karena penyempitan bayaran rendah mereka. Dekat 80% motor induksi memainkan kedudukan berarti untuk tingkatkan perekonomian negeri tumbuh. Namun kala kebesaran, sebagian besar motor beroperasi menggunakan low efisiensi dan aspek tenaga (PF). energi homogen-homogen disantap oleh motor sepanjang daur hidupnya adalah dekat 40-80 kali berdasarkan bayaran ini. Sangat berarti untuk dipertahankan efisiensi

dan PF motor pada yg pada idamkan strata sepanjang keadaan beban variabel. Dalam makalah ini diusulkan cara meningkatkan secara optimal desain dimana desain belitan stator multi fluks teruji bertambah efisiensi motor dan PF pada rentang beban yang luas diusulkan menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO) prosedur pemecahan dan kesimpulannya untuk menggapai parameter desain SCIM yang aporisma yg membentuk efisiensi, tenaga maksimum aspek dan menggunakan kerugian yang lebih kecil. Implementasi ini prosedur pemecahan lebih efektif dan juga sanggup menanggulangi efektif[4].

3. Rangkaian Bintang dan rangkaian Delta juga dapat dijelaskan pada jurnal yang bertajuk *Preferential General Delta vs. Experimental Connection for Start of Star- Delta Induction*. Pilihan salah satu bentuk untuk memilih amplitudo arus transien stator selama peralihan berdasarkan interaksi bintang ke delta waktu motor digerakkan oleh sistem pengasutan bintang-delta, yang merupakan metode yang paling sering digunakan untuk menstarter motor induksi. Salah satu kemungkinan bentuk koneksi delta mengakibatkan arus *switching* menggunakan amplitudo yang relatif kecil, yang menaruh denominasi preferensial. Bentuk lain mempunyai amplitudo arus *switching* yang lebih tinggi, namun ini merupakan yang paling direkomendasikan dan ditunjukkan pada diagram katalog & pelat motor. Oleh karena itu, hal ini disebut "umum". Dengan tujuan untuk menggambarkan bagaimana disparitas antara 2 bentuk koneksi delta ini dimanifestasikan, makalah ini mendekati kasus secara eksperimental,

melalui metodologi menggunakan dukungan statistik, untuk karakterisasi yang lebih baik berdasarkan kinerja masing-masing bentuk koneksi delta ini, pada perkara metode awal bintang-delta yang sangat populer[5]

4. Pada jurnal Indonesia *Journal of Electrical Engineering and Computer Science* berjudul *Optimization Circuit Based Buck- Boost Converter for Charging the Solar Power Plant*, didalam makalah ini mengulas mengenai konverter *buck-boost Based* untuk mengisi baterai menurut modul panel surya. Kombinasi konverter *buck-bust sircuit & arus step-up* bisa menaikkan persentase pengisi daya baterai. Metode yg dipakai pada meningkatkan secara optimal pembangkit listrik energi mentari menggunakan cara menaikkan arus keluaran menurut panel surya supaya bisa dioptimalkan untuk pengisian baterai, sebagai akibatnya membutuhkan ketika pengisian & baterai aman. Hal ini lantaran sinar matahari bisa dipakai waktu jelas kurang lebih 4-5 jam per hari. Dengan menaikkan arus keluaran modul matahari yg didapatkan waktu ini bisa meningkatkan kecepatan ketika pengisian baterai. Kombinasi penggunaan *voltage stabilizer* bisa membuat keluaran tegangan dan arus yang stabil, meskipun tegangan keluaran panel matahari relatif kecil (± 6 Volt), bisa mengoptimalkan kerja *charger* menggunakan baik. Dengan menggabungkan antara penstabil tegangan dan arus step-up diperoleh tegangan yang masuk ke aki sebanyak 12,4 V kenaikan arus sebanyak 21,5% untuk aki 12 V, 7Ah, sedangkan tegangan masuk ke aki sebanyak 12,1 V sebanyak kenaikan arus 10,99 %

untuk baterai 12 V, 120 Ah. Studi ini menampakan bahwa kenaikan waktu ini telah pada atas 10 %[6].

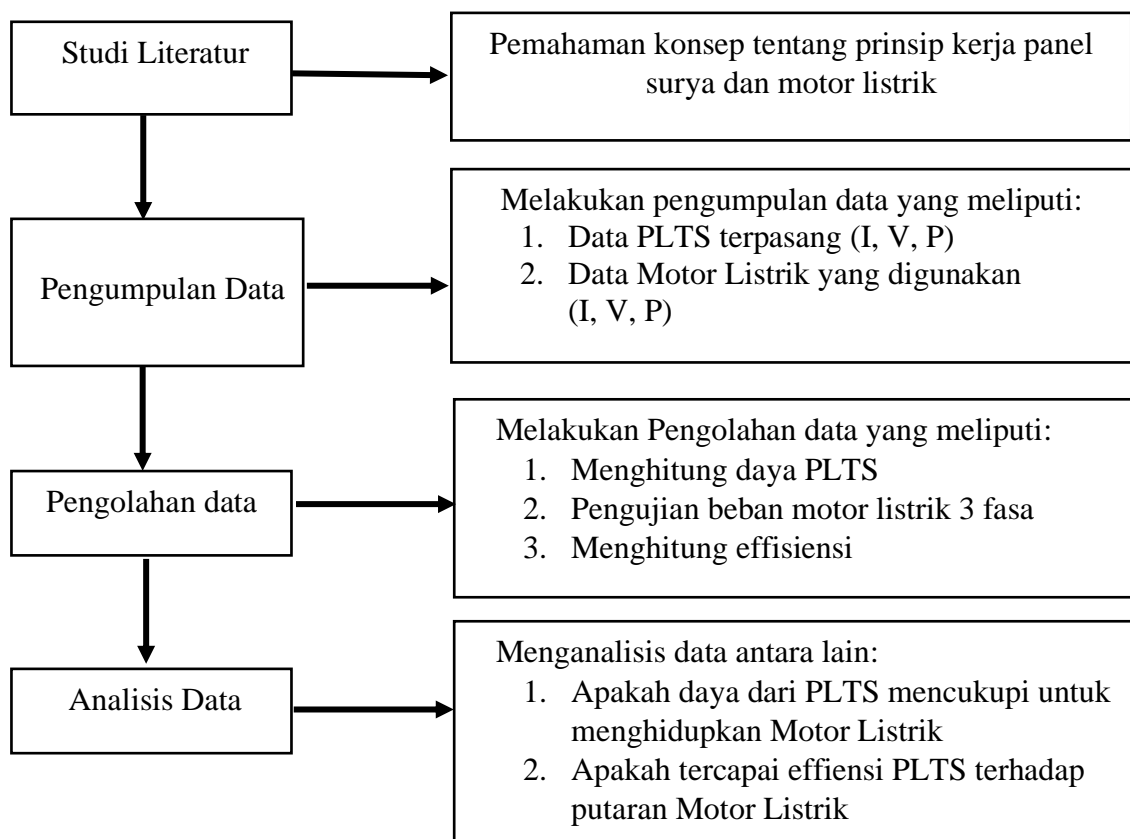
5. Di dalam *International Journal of Renewable Energy Development (IJRED)* berjudul *Thermal Effects Investigation on Electrical Properties of Silicon Solar Cells Treated by Laser Irradiation* Dalam makalah ini, kami mempelajari sifat listrik panel surya silikon monokristalin dan polikristalin lantaran iradiasi laser menggunakan panjang gelombang 650 nm pada 2 keadaan, iradiasi proksimat dan melalui pengaturan optik. Efek termal dalam bagian atas sel karena iradiasi laser diselidiki dalam sifat listrik juga. Penyelidikan parameter listrik panel surya mendeskripsikan sel melalui iradiasi laser dan efisiensi menurun lantaran kenaikan suhu bagian atas sel. Parameter monokristalin berubah menggunakan bentuk yang seragam lantaran pengaruh termal dan iradiasi laser terhadap sel polikristalin[7]
6. Didalam jurnal terbitan *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Udayana University, Bali, Indonesia. International Journal of Engineering and Emerging Technology* bertajuk *Solar PV Plant as a Replacement for Power Supply of Irrigation Water Pump* Penelitian ini merancang pembangkit listrik energi matahari untuk pompa *submersible* pada sisi selatan Subak Babakan Yeh Kuning menggunakan perhitungan jumlah kebutuhan air irigasi, merancang pembangkit listrik energi matahari dan biaya investasi, dan membandingkan biaya operasi antara sistem baru dan lama. Berdasarkan perancangan, kapasitas pembangkit listrik energi matahari ditetapkan sebanyak 12,54 kWp memakai 33 modul panel surya

dan unit inverter sebanyak 18,5 kW. Pompa bisa beroperasi selama lima jam 30 menit pada cuaca cerah menggunakan debit air 253 m³ atau memenuhi 17,5% kebutuhan air untuk luas 16 hektar. Biaya investasi untuk sistem pompa PLTS komunal merupakan Rp. 171.193.500. Biaya operasional sistem baru (energi surya) per hektar merupakan Rp 6.495/hari. Sedangkan biaya operasional sistem lama (bertenaga diesel) per hektarnya adalah Rp. 15.950/hari[8].

7. Jurnal berikut juga membahas tentang Panel surya yang berjudul *Performance of Grid- Connected Rooftop Solar PV System for Households during Covid- 19 Pandemic* memuntuk Pemanfaatan energi matahari bisa dimulai menggunakan memanfaatkan sistem energi matahari *rooftop* dalam atap hotel atau dalam atap bangunan industri lainnya. Sebagai salah satu lembaga penelitian dan pengembangan pada bidang infrastruktur perumahan dan permukiman, mencoba menaruh solusi teknologi cara lain melalui teknologi inovatif yang dianggap PV-roof. Hasil penelitian memberitahukan bahwa atap *off-grid* yg dibuat mempunyai tegangan dan arus rata-rata pada hari pertama sebanyak 13 Volt dan arus sebanyak 1,8 A, dan & dalam hari ke 2 sebanyak 12,4 Volt dan arus sebanyak 1,6 A, sedangkan dalam hari ketiga, 12,8 Volt dan arus 1,8 A. apabila penggunaan 1 (satu) baterai menanggung beban 450 Watt selama 2,7 jam, maka untuk pengguna kurang menurut lima jam, kapasitas pengontrol pengisi daya matahari merupakan 12,12 A[9].

2.3 Kerangka Berfikir

Untuk menyempurnakan penelitian ini, maka peneliti perlu melakukan susunan kerangka berfikir yang jelas guna membantu penelitian ini tahap demi tahap. Kerangka ini guna mengatasi permasalahan dalam melakukan penelitian tersebut. Tahapan kerangka berfikir yang digunakan dalam tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 2.13



Gambar 2.13. Kerangka Berfikir

BAB 3

METODE PENELITIAN

Prosedur riset adalah kualitatif menggunakan riset permasalahan terhadap riset yang dilaksanakan Di Laboratorium Balai Besar Pengembangan Dan Penjamin Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan Dan Listrik Medan. Dengan tujuan guna melaksanakan pengujian diantaranya mengukur besar tenaga atau daya hasil PLTS yang akan menggerakkan motor listrik, optimalisasi kecepatan putaran motor listrik sebagai beban dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebanyak 5 kWp, serta menghitung bersaran efisiensi yang didapatkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya terhadap putaran motor listrik.

3. 1 Perlengkapan alat dan bahan

Penelitian ini dilakukan di Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik (BBPPMPVBBL) Medan, beralamat di Jln Setia Budi No. 75 Simpang Lima Kapten Sumarsono, Kelurahan Helvetia Timur, Kecamatan Helvetia-Medan dengan waktu pengambilan data dilakukan selama satu bulan yaitu bulan Mei 2021 s.d Agustus 2021.

Perlengkapan alat dan bahan yang dipergunakan adalah peralatan yang tersedia di laboratorium BBPPMPVBBL Medan. Untuk kepentingan penelitian ini dipergunakanlah alat-alat antara lain:

3. 1. 1 *Solar Module Capacity*

Panel surya ataupun *photovoltaics cells* adalah semikonduktor yang membarui energi sinar ke tenaga listrik lewat proses fotoelektrik. Modul PV ini

adalah modul PV jenis ST- 50- 5M protesis Tiongkok yang dibentuk dalam tahun 2009. Jenis modul panel surya ini adalah jenis monocrystalline. Solar Module Capacity yang dipakai $120 \text{ Wp} \times 44 \text{ Unit} = 5,280 \text{ kWp}$.

3. 1. 2 Charge Controller BCR

Perlengkapan BCR (Baterai Control Regulator) selaku Controlling serta Monitoring pengisian baterai pada PLTS. Perlengkapan ini akan melaksanakan pemantauan terhadap proses pengisian baterai pada PLTS pada tegangan serta arus yang nantinya akan dicoba pengontrolan supaya proses pengisian baterai jadi maksimal dan memperpanjang usia baterai dan mengamankan sistem PLTS.

- Total ampacity array materi surya maksimum 77 Ampere
- BCR Capacity 140 Ampere
- Merek: Steca Tarom 4140

3. 1. 3 Inverter Pure Sinewave

Inverter adalah sebuah peralatan pengubah frekuensi yang di gunakan untuk merubah arus listrik searah (DC) jadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan teknik switching untuk bisa mengendalikan kecepatan motor AC. Perlengkapan yang berperan selaku Switch merupakan GTO (*Gate Turn Off Thyristor*), MOSFET ataupun IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) yang seluruhnya bekerja memakai prinsip elektronika energi.

- Kapasitas beban total 5000 Watt terus menerus
- Masukan 48 Volt

- Output 230 Volt s. d 5000 Watt

- Merek: Steca XTH 6000- 48

3. 1. 4 Baterai

Mengingat PLTS sangat bergantung pada kecukupan tenaga matahari yang diterima panel surya, hingga dibutuhkan media penyimpan tenaga sedangkan apabila sewaktu- waktu panel tidak memperoleh lumayan cahaya matahari ataupun untuk pemakaian listrik malam hari.

- Type: VRLA Gel- deep cycle

- Jumlah 48 Volt– 1000 Ah

- Sel& Sirkuit Baterai: Rangkaian 24 Unit 2 Volt– 1000 Ah

- Merek: Baterai BSB

3. 1. 5 Multitester

Multimeter yang digunakan dalam pengukuran ini merupakan multimeter digital (elektronis) yang dapat digunakan untuk mengukur Ampere, Voltase, serta Ohm (Resistansi). Dalam riset ini, cuma diperlukan untuk mengukur tegangan searah serta arus searah. Tegangan yang diukur dalam pengujian ini ialah tegangan rangkaian terbuka (Voc), serta arus yang didapat ialah arus hubung pendek (Isc).

3. 1. 6 Solar Power Meter

Solar Power Meter adalah alat ukur yang dirancang khusus guna membantu pengguna dalam melakukan pengukuran radiasi dari sinar matahari. Alat ini

memiliki fungsi arus puncak, juga dapat melihat data fungsi terus menerus dalam jangka waktu yang lama memiliki presisi untuk mengukur intensitas cahaya pada kaca untuk memverifikasi sifat kaca.

3. 2 Metode riset yang digunakan dalam penelitian

Metode riset yang digunakan dalam penelitian adalah metode kualitatif merupakan metode yang fokus pada pengamatan yang mendalam. Oleh karenanya, penggunaan metode kualitatif dalam penelitian dapat menghasilkan kajian atas suatu fenomena yang lebih komprehensif.

a. Prosedur pengumpulan data

Prosedur yang digunakan pada proses pengumpulan informasi ialah prosedur eksperimen dari objek yang diteliti yaitu motor induksi 3 fasa 1 HP, 220/380 Volt, 50 Hz, 3000 rpm untuk memperoleh data-data seperti kecepatan, tegangan, arus, energi, $\cos \phi$ serta tenaga listrik motor induksi 3 fasa ikatan rangkaian bintang serta delta.

b. Prosedur Pengolahan data

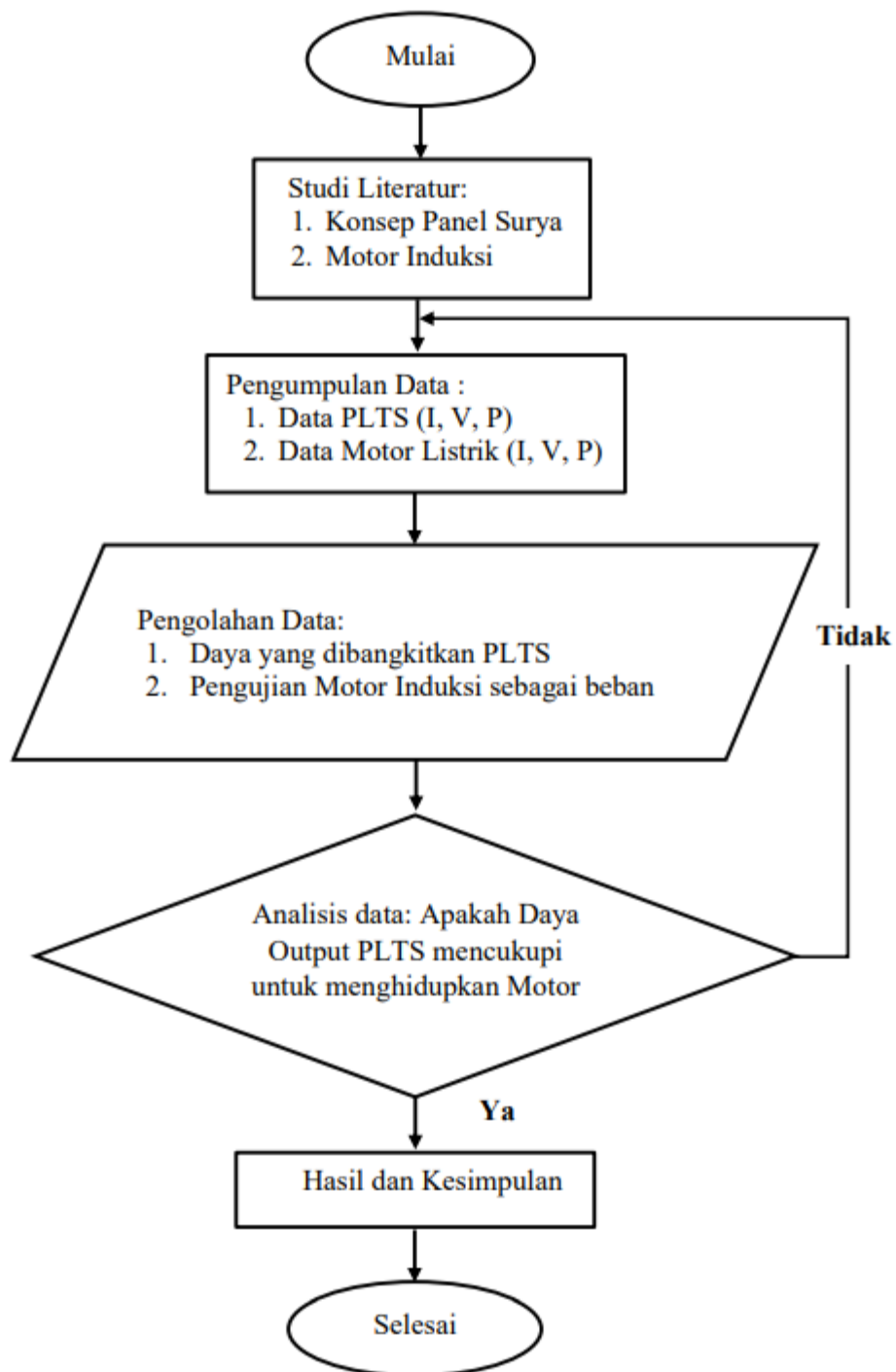
Pengolahan data merupakan konversi data atau manipulasi data menjadi bentuk yang informatif sehingga dapat digunakan. Informasi adalah hasil dari pemrosesan data dalam bentuk tertentu yang lebih bermakna daripada suatu kegiatan atau peristiwa. Secara sederhana, pengolahan data dapat diartikan sebagai proses menerjemahkan data-data lapangan sesuai dengan tujuan, rancangan, dan sifat dari penelitian serta kebutuhan untuk pengambilan keputusan.

Dari informasi yang diperoleh dari percobaan serta pengukuran daya Masukan Input dari Panel surya dan pengukuran daya keluaran Output dari Panel surya, pengukuran motor induksi 3 fasa ikatan bintang serta delta memakai AC Voltage regulator 3 fasa, data-data tersebut yang akan digunakan untuk menghitung pemakaian tenaga listrik.

c. Analisis data

Dari data-data yang sudah diolah berikutnya akan dicoba untuk dianalisa, data tersebut untuk menemukan nilai energi serta tenaga listrik motor induksi 3 fasa hubungan bintang serta delta dan pemakaian tenaga listrik disaat pergantian kecepatan motor induksi 3 fasa hubungan bintang serta delta tanpa beban serta berbeban dan hasilnya. Dari analisa data untuk mendapat nilai daya dan energi listrik dari PLTS 5 kWp dipergunakan untuk menggerakkan motor listrik 3 fasa dengan kondisi berbeban dalam rentang waktu tertentu, menganalisa dan membandingkan penggunaan energi listrik dari PLTS 5 kWp saat kondisi motor listrik 3 fasa dengan rangkaian hubungan delta tanpa beban dibandingkan dengan kondisi motor listrik 3 fasa dengan rangkaian hubungan delta berbeban. Selanjutnya menganalisa dan membandingkan penggunaan energi listrik dari PLTS 5 kWp saat kondisi motor listrik 3 fasa dengan rangkaian hubungan bintang tanpa beban dibandingkan dengan kondisi motor listrik 3 fasa dengan rangkaian hubungan bintang berbeban.

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian ini adalah Penelitian Kualitatif dengan melakukan studi kasus terkait pengaruh terhadap dari jenis dan nilai dari panel surya, ukuran dan efisiensi dari PLTS guna menyuplai energi ke baterai dan dimanfaatkan terhadap beban motor listrik yang bervariasi serta menghitung nilai efisiensi dan pengaruh terhadap putaran yang dilaksanakan di Laboratorium Balai Besar Pengembangan Dan Penjamin Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan Dan Listrik Medan.

3.3.2 Teknik Pengumpulan Data

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya antara lain sebagai berikut:

Suhu Modul Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimal jika suhu panel surya tetap normal pada suhu 25 °C. Kenaikan suhu lebih tinggi dari suhu normal pada panel surya yang akan melemahkan tegangan open circuit (V_{oc}) yang dihasilkan. Kenaikan suhu surya 1 °C dari 25 °C akan mengakibatkan berkurangnya daya yang di hasilkan sekitar 0,5 % [29]. Besarnya daya yang berkurang pada saat suhu di sekitar panel mengalami kenaikan °C dari suhu standar, menggunakan persamaan:

$$P_{\text{saat naik } ^\circ\text{C}} = 0.5\% \times P_{MPP} \times \Delta t \text{ (} ^\circ\text{C)} \quad (3.1)$$

Dimana:

- $P_{\text{saat naik } ^\circ\text{C}}$: Daya pada saat suhu naik °C dari suhu standar
- P_{MPP} : daya keluaran maksimal modul surya
- Δt : kenaikan suhu

Daya keluaran maksimum panel surya pada saat suhu naik menjadi $t^{\circ}\text{C}$ dari suhu standar dihitung dengan persamaan[29]:

$$P_{MPP \text{ saat naik menjadi } t^{\circ}\text{C}} = P_{MPP} - P_{\text{saat naik } t^{\circ}\text{C}} \quad (3.2)$$

P_{MPP} saat naik menjadi $t^{\circ}\text{C}$ adalah daya keluaran maksimum panel surya pada saat suhu di sekitar panel naik menjadi $t^{\circ}\text{C}$ dari suhu standar. Faktor koreksi temperatur (*Temperature Correction Factor*) dihitung dengan rumus:

$$\text{TCF} = \frac{T_{MPP \text{ saat naik menjadi } t^{\circ}\text{C}}}{T_{MPP}} \quad (3.3)$$

Pengukuran arus, tegangan, radiasi matahari dan temperatur pada PLTS 5 kWp. Daya (*wattpeak*) yang dibangkitkan PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi, diperhitungkan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

1. Menghitung Area Array (*PV Area*)

Area array (*PV Area*) diperhitungkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut [30]:

$$PV_{\text{Area}} = \frac{E_L}{G_{av} \times \text{TCF} \times \eta_{PV} \times \eta_{out}} \quad (3.1)$$

Dimana:

E_L	= Energi yang dibangkitkan (kWh/hari)
PV_{Area}	= Luas permukaan panel surya (m^2)
G_{av}	= Intensitas Matahari harian ($\text{kW}/\text{m}^2/\text{hari}$)
TCF	= <i>Temperature coefficient factor</i> (%)
η_{PV}	= Efisiensi panel surya (%)
η_{out}	= Efisiensi keluaran (%) asumsi 0,9

2. Menghitung Daya yang Dibangkitkan PLTS (*watt peak*)

Dari perhitungan area array, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS

(wattpeak) dapat diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{\text{Wattpeak}} = \text{PV Area} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{PV}} \text{ (watt)} \quad (3.2)$$

Dimana:

- PV_{Area} = Luas permukaan panel surya (m²)
- PSI = Peak Solar Insolation adalah 1.000 W/m²
- η_{PV} = Efisiensi panel surya (%)
Module Efficiency 17%

Selanjutnya berdasarkan besar daya yang akan dibangkitkan (*wattpeak*), maka jumlah panel surya yang diperlukan, diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Panel surya} = \frac{P_{\text{Wattpeak}}}{P_{\text{MPP}}} \quad (3.3)$$

Dimana:

- P_{Wattpeak} = Daya yang dibangkitkan [WP]
- P_{MPP} = Daya maksimum keluaran panel surya [watt]

1. Implementasi lapangan dan survey
2. Pengujian motor induksi 3 fasa
 - Pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya, energi listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan delta tanpa beban dan berbeban.
 - Pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya, energi listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan bintang tanpa beban dan berbeban.

3. Analisa hasil pengukuran

- Perhitungan Daya dan energi listrik motor induksi tiga fasa hubungan delta tanpa beban dan berbeban.
- Perhitungan Daya dan energi listrik motor induksi tiga fasa hubungan bintang tanpa beban dan berbeban.

Persamaan Daya dan energi listrik motor induksi tiga fasa[31]:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (3.1)$$

Dimana:

P : Daya (Watt)

I : Arus (Ampere)

V : Tegangan (Voltage)

$\sqrt{3}$: Konstanta jika memakai 3 fasa dengan nilai jika didesimalkan 1.73

$\cos \varphi$: 85 % dari motor biasanya nilai standartnya 0.85

Energi listrik merupakan sejumlah daya listrik yang digunakan atau diserap selama waktu tertentu dan energi listrik diukur dengan menggunakan alat ukur listrik disebut dengan wattjam meter atau kWh meter atau MWh meter. Satuan energi listrik antara lain: watt detik, wattjam, kilo Watt jam (kWh), Mega Watt jam (MWh). Energi listrik dapat dituliskan dengan persamaan[32][18]:

$$W = P \times t \quad (3.2)$$

dimana:

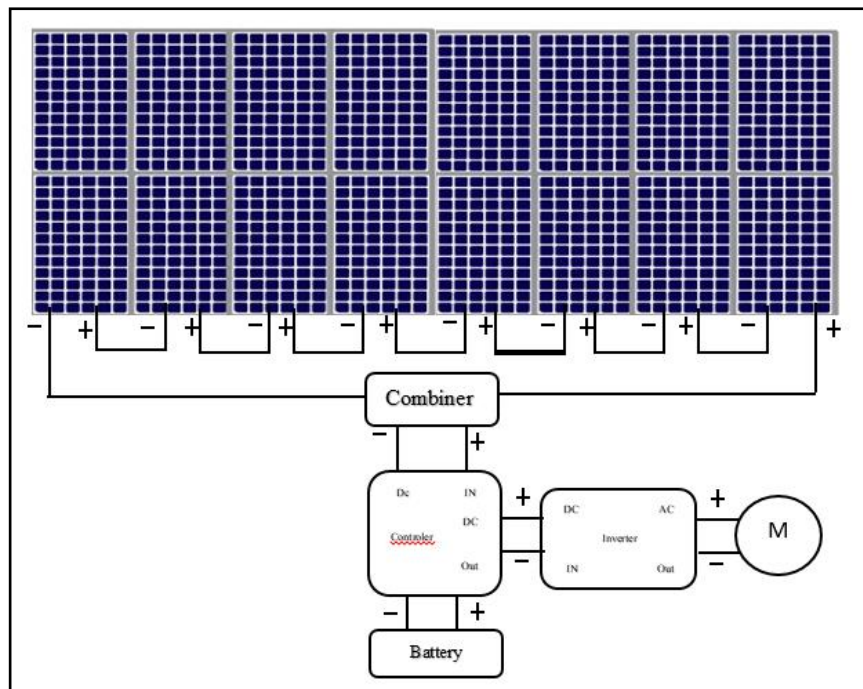
W = Energi Listrik (Wh)

P = daya (Watt)

t = waktu

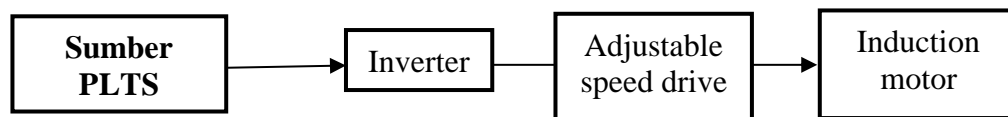
PLTS yang akan dikembangkan di Gedung di Laboratorium Balai Besar Pengembangan Dan Penjamin Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan Dan Listrik Medan. Direncanakan untuk menyuplai daya pada motor-motor listrik tanpa terkoneksi dengan sistem kelistrikan yang terdapat pada gedung di Laboratorium Balai Besar Pengembangan Dan Penjamin Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan Dan Listrik Medan. Berdasarkan hal tersebut maka pada penelitian ini sistem PLTS yang akan digunakan adalah sistem *off-grid* dengan *Backup Battery Banks*.

Banks.



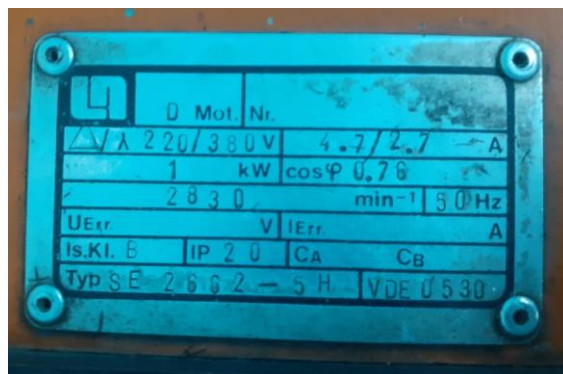
Gambar 3.2 Blok Diagram PLTS 5 kWp

Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian ini sistem PLTS yang akan dipakai merupakan sistem off-grid menggunakan Backup Bateray Banks. Gambar 3.2 menggambarkan wiring diagram PLTS yang terdiri berdasarkan array PV, Inverter, Charger Controller, Baterai, dan beban motor listrik AC dan lampu penerangan. Berikut merupakan contoh motor induksi 3 fasa yang dilakukan dalam penelitian ini misalnya dalam gambar 3.3.



Gambar 3.3 Blok diagram pengoperasian motor induksi tiga fasa

Pada proses penelitian ini dilakukan pengambilan data melalui percobaan dan pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya, tenaga listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi 3 fasa menggunakan kumparan interaksi delta dan bintang tanpa beban. Data selanjutnya berupa output pengukuran motor induksi 3 fasa menggunakan kumparan interaksi delta dan bintang berbeban. Adapun data dari spesifikasi dari motor induksi 3 fasa, data motor induksi tiga fasa dari data *name plate* yang diteliti adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Spesifikasi plate motor induksi 3 fasa

Daya Motor : 1 kW
Jumlah Kutub : 4
Frekuensi : 50 Hz
Tegangan : Δ 220 / Y 380 Volt
Putaran : 1500 rpm
Arus : Δ 4.7 / Y 2.7 Amper
Cos φ : 0.78

1. Type dalam Motor 3 fasa

Pada motor 3 fasa ini mempunyai kekuatan atau horse power sama menggunakan 1 kW, mempunyai 4kutub (4P) dan beroperasi dalam tegangan 3 fasa (3 PH).

2. Amper, KW dan Ins. CL.B

Pada plate motor listrik dalam daya, arus dan tipe isolasi ketahanan menurut suatu gulungan motor 3 fasa menggambarkan nomor 1 kw berarti motor elektrik ini mempunyai daya 1000 Watt atau dinotasikan menggunakan motor listrik ini memakan daya sebanyak 1000 Watt maksimal.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Hasil Penelitian

Panel surya merupakan perangkat yang bisa mengganti tenaga cahaya sebagai arus listrik. Panel surya bisa disebut sebagai pemeran utama untuk memaksimalkan potensi energi cahaya matahari yang sampai ke bumi, walaupun selain digunakan sebagai menghailkan energi listrik, energi dari matahari juga bisa dimaksimalkan energi panasnya melalui sistem solar thermal. Panel surya mampu memproduksi energi selama puncak penyinaran, kurang lebih sekitar 5 jam per harinya dengan variasi sekitar 30%, variasi ini dipengaruhi oleh lokasi, iklim, dan lain sebagainya.

4.1.1 Daya yang di bangkitkan oleh PLTS (Watt Peak)

Besar pemakain energy listrik pada motor induksi 3 fasa yang akan di suplai dari PLTS adalah sebesar 5 kWp. Untuk *Temperature Correction Factor (TCF)* digunakan nilai sebesar 25°C. Karena Panel surya beroperasi pada suhu lebih tinggi dari 25°C dari tes standar kondisi, ketika suhu meningkat, tegangan rangkaian terbuka panel surya, V_{oc} menurun, sehingga tegangan keluaran, juga menurun. Suhu operasi panel surya diberikan oleh suhu sekitar dan penyinaran matahari atau intensitas sinar matahari. Untuk memahami pengaruh suhu pada daya, yang dihasilkan oleh sumber daya ketika terhubung ke beban.

Semakin panas (suhu semakin tinggi), maka voltase semakin turun. Karena daya listrik merupakan hasil kali voltase dan arus, makan daya yang dihasilkan semakin kecil. Faktor kecepatan angin juga berpengaruh dalam produksi listrik.

Dalam implementasinya, syarat ideal hampir tidak mungkin terjadi. Lantaran adanya tiga faktor pada atas, hasil riil yg didapatkan rata-rata hanya 70-80 % kapasitas. Maka, panel surya 5 kWp, bisa membentuk daya listrik sebesar:

$$5 \text{ kWp} \times 80 \% = 4 \text{ kWh}$$

Selain hasil riil, jumlah daya yang didapatkan per hari bergantung dalam equivalent sun hour. Dalam panel surya, terdapat kata *Peak Sun Hours* (PSH). PSH merupakan waktu atau syarat ketika radiasi sinar surya maksimal. Standar umum yg digunakan pada penentuan PSH merupakan 1000 W/m^2 atau 1 kW/m^2 . Meski surya bersinar sepanjang hari, besarnya radiasi yg didapatkan berbeda-beda, mampu pada bawah juga pada atas 1 kW/m^2 . Pada pagi hingga siang hari, intensitas radiasi yang diterima cenderung meningkat.

- Pada siang hingga sore hari, intensitas radiasi mulai berkurang
- Pada saat berawan atau hujan, intensitas radiasi sangat minimal

Maka data temperature maksimum untuk wilayah kota medan dan sekitarnya adalah sebesar 33°C . Data temperature ini memeperlihatkan bahwa peningkatan suhu sebesar 8°C dari suhu standar 25°C yang diperlukan oleh panel surya[33]. Besar daya yang berkurang pada saat temperature di sekitar panel surya mengalami kenaikan 8°C dari temperatur standarnya, hal ini dapat di hitung menggunakan persamaan 3.1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{\text{saat naik } 8^{\circ}\text{C}} &= 0.5\% \times P_{MPP} \times \Delta t (^{\circ}\text{C}) \\ &= 0.5\% \times 120\text{W} \times 8^{\circ}\text{C} \\ &= 4,8 \text{ W} \end{aligned}$$

Untuk daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperaturnya naik menjadi 33°C , maka nilai TCF dapat dihitung dengan sebagai berikut:

$$P_{MPP \text{ saat naik menjadi } t^{\circ}C} = P_{MPP} - P_{\text{saat naik } ^{\circ}C}$$

$$\begin{aligned} P_{MPP \text{ saat naik menjadi } 33^{\circ}C} &= 120W - 4,8W \\ &= 115,2 W \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan daya keluaran maximum panel surya pada saat temperaturnya naik menjadi $33^{\circ}C$, maka nilai TCF dapat dihitung menggunakan persamaan 3.3 sebagai berikut:

$$TCF = \frac{T_{MPP \text{ saat naik menjadi } t^{\circ}C}}{T_{MPP}}$$

$$TCF = \frac{115,2 W}{120 W}$$

$$TCF = 0,96$$

Efisiensi out (η_{out}) dipengaruhi dari efisiensi komponen inverter. Dalam penelitian ini pada fokuskan dalam penggunaan listrik arus bolak-balik (AC) untuk meminimalkan rugi-rugi daya dalam proses konversi tenaga listrik maka komponen inverter yang berfungsi menjadi konversi arus searah sebagai arus bolak-balik. Jika nilai E_L , G_{av} , η_{PV} , TCF disubstitusikan maka menggunakan memakai persamaan 3.2 akan diperoleh:

$$PV_{Area} = \frac{E_L}{G_{av} \times TCF \times \eta_{PV} \times \eta_{out}}$$

$$PV_{Area} = \frac{5 kWp}{4,55 \times 0,96 \times 0,17 \times 0,96}$$

$$PV_{Area} = 6,94 m^2$$

Dengan area *array* adalah = 6,94 m², *Peak Sun Insolation* (PSI) adalah 1000W/m² dan efisiensi panel surya adalah 17%, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (*Wattpeak*) sebagai berikut:

$$P_{\text{Wattpeak}} = \text{PV Area} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{PV}} \text{ (watt)}$$

$$P_{\text{Wattpeak}} = 6,94 \text{ m}^2 \times 1000 \times 0,17$$

$$P_{\text{Wattpeak}} = 1179,8 \text{ Wattpeak}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, perkiraan total kebutuhan tenaga harian sebanyak 4 kWh menggunakan daya yang dibangkitkan sebanyak 1179,8 Wattpeak. Sehingga dapat memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut dibutuhkan PLTS terpusat (*Off-Grid*) menggunakan daya yang dibangkitkan sebanyak 5 kWp.

Panel surya yg digunakan menjadi acuan yang merupakan panel surya yang terpasang dalam PLTS terpusat. Panel surya ini mempunyai spesifikasi PMPP sebanyak 120 Wp per panel.

$$\text{Jumlah Panel surya} = \frac{P_{\text{Wattpeak}}}{P_{\text{MPP}}}$$

$$\text{Jumlah Panel surya} = \frac{5000 \text{ Wp}}{120 \text{ Wp}}$$

$$\text{Jumlah Panel surya} = 42 \text{ Unit}$$

Maka jumlah panel surya yg terpasang dilaboratorium BBPPMPV BBL MEDAN sebesar 42 unit dibagi sebagai 3 (tiga) rangkaian array, dan dalam masing-masing array pemasangan panel surya berhubungan seri. Cara memilih hubungan seri dan paralel panel surya, sangat tergantung pada daya hasil *Solar Charge Controller/MPPT*.

4.2 Pengujian motor induksi tiga fasa berhubung delta tanpa beban

Pada proses penelitian ini dilakukan pengambilan data melalui percobaan dan pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya, tenaga listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi tiga fasa tanpa beban dan berbeban.

Tabel 4.1. Hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya, kecepatan putar motor, kecepatan putar motor induksi menggunakan rumus hubungan delta tanpa beban

Frekuensi (Hz)	Kecepatan putaran terukur (rpm)	Kecepatan putaran dengan rumus (rpm) $N_s = \frac{120 \cdot F}{P}$	Tegangan	Arus	Cos phi
50	1409	1500	378	4.7	0.43
40	1214	1200	330	5.3	0.46
30	927	900	323	5.6	0.48
20	689	600	280	6.8	0.56
10	342	300	270	6.5	0.58

Dari table 4.1 Dapat dilihat bahwa pada pengujian pertama saat frekuensi pada inverter disetting 50 Hz maka kecepatan putaran motor induksi sebesar 1409 Rpm. Sedangkan dengan menggunakan rumus diperoleh kecepatan 1500 Rpm maka rata-rata kecepatan putaran motor terukur 916.2 Rpm dan dengan menggunakan rumus 900 Rpm. Hal ini menunjukkan pada pegujian kecepatan motor tidak sama, namun perbedaanya tidak signifikan. Pada hasil pengukuran motor induksi hubungan delta tanpa beban memiliki besar rata-rata tegangan 316.4 Volt, arus 5,8 A dan faktor daya 0,5.



Gambar 4.1 Grafik hasil pengukuran hubungan Delta tanpa beban

Daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga fasa hubungan delta tanpa beban dengan kecepatan 1500 rpm dapat dihitung dengan menggunakan data pada tabel 4.2 dan hasilnya sebagai berikut:

Persamaan Daya dan energi listrik motor induksi tiga fasa:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \times 378 \times 4.7 \times 0.43$$

$$P = 1322 \text{ kW}$$

Pemakaian energi listrik selama 1,5 jam sebagai berikut:

$$W = P \times 1\text{Jam}$$

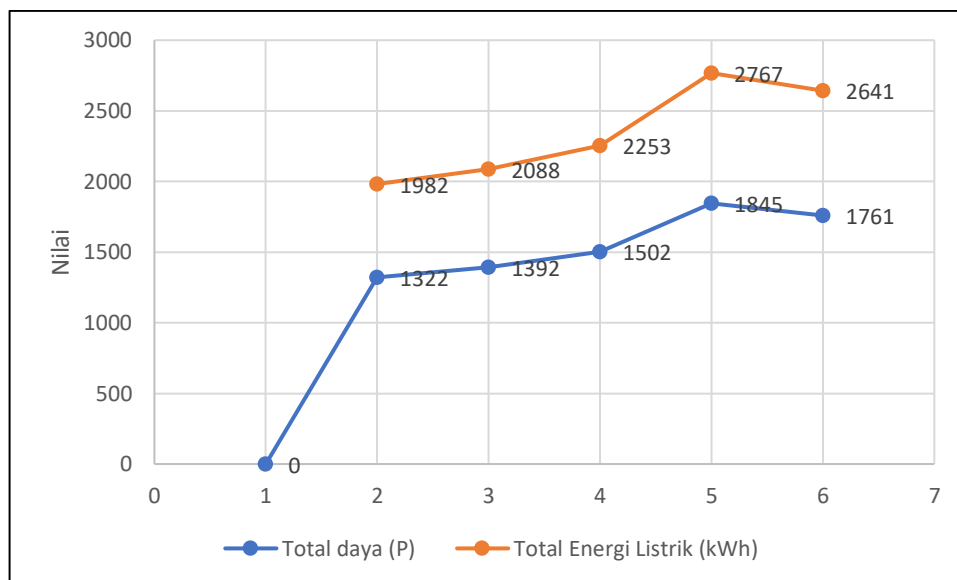
$$W = 1322 \times 1,5 \text{ Jam}$$

$$W = 1982 \text{ kWh}$$

Tabel 4.2 Hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan delta tanpa beban

Waktu	Total daya (P) (kW)	Total Energi Listrik (kWh)
08.00-09.30	1322	1982
10.00-11.30	1392	2088
11.00-12.30	1502	2253
12.00-13.30	1845	2767
14.00 -15.30	1761	2641

Pada hasil perhitungan pada motor induksi hubungan delta tanpa beban memiliki rata-rata total daya sebesar 1.6 kW dan rata-rata total energy listrik sebesar 2.3 kWh.



Gambar 4.2 Grafik hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan delta tanpa beban

4.3 Pengujian motor induksi 3 Fasa berhubungan delta berbeban

Pada proses penelitian ini dilakukan pengambilan data melalui percobaan dan pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya, energi listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi tiga fasa berbeban.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan delta berbeban

Frekuensi (Hz)	Kecepatan putaran terukur (rpm)	Kecepatan putaran dengan rumus (rpm) $N_s = \frac{120 \cdot F}{P}$	Tegangan	Arus	Cos phi
50	1317	1500	324	7.8	0.5
40	1225	1200	330	7.7	0.46
30	830	900	394	5.8	0.42
20	642	600	351	5.8	0.41
10	308	300	378	5.9	0.39

Dari table 4.3 Dapat dilihat bahwa pada pengujian pertama saat frekuensi pada inverter disetting 50 Hz maka kecepatan putaran motor induksi sebesar 1317 Rpm. Sedangkan dengan menggunakan rumus diperoleh kecepatan 1500 Rpm maka rata-rata kecepatan putaran motor terukur 864.4 Rpm dan dengan menggunakan rumus 900 Rpm. Hal ini menunjukkan pada pegujian kecepatan motor tidak sama, namun perbedaanya tidak signifikan. Pada hasil pengukuran motor induksi hubungan delta tanpa beban memiliki besar rata-rata tegangan 355,5 Volt, arus 6.6 A dan faktor daya 0,4. Dari hasil pengujian tersebut dapat kita lihat dengan mengatur frekuensi maka kecepatan putaran motor juga dapat di ubah, atau dapat dikatakan putaran motor dapat dengan mengubah frekuensi pada inverter secara grafik dapat kita lihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan delta berbeban

Daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga fasa hubungan delta berbeban dengan kecepatan 1500 rpm dapat dihitung dengan menggunakan data pada tabel 4.4

Persamaan Daya dan energi listrik motor induksi tiga fasa pada pukul 09.00-10.30 wib:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \times 324 \times 7 \times 7 \times 0,5$$

$$P = 2176 \text{ kW}$$

Pemakaian energi listrik selama 1,5 jam sebagai berikut:

$$W = P \times 1,5 \text{ Jam}$$

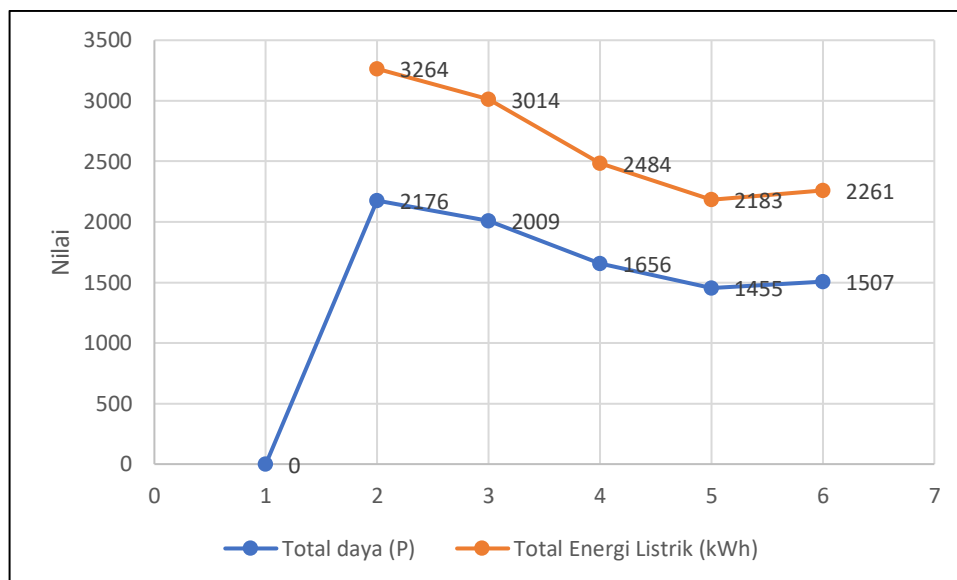
$$W = 2176 \times 1,5 \text{ Jam}$$

$$W = 3264 \text{ kWh}$$

Tabel 4.4 Hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan delta tanpa beban

Waktu	Total daya (P) (kW)	Total Energi Listrik (kWh)
08.00-09.30	2176	3264
10.00-11.30	2009	3014
11.00-12.30	1656	2484
12.00-13.30	1455	2183
14.00 -15.30	1507	2261

Pada hasil perhitungan pada motor induksi hubungan delta tanpa beban memiliki rata-rata total daya sebesar 1.8 kW dan rata-rata total energy listrik sebesar 2.6 kWh.



Gambar 4.4 Grafik hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan delta berbeban

4.4 Pengujian motor induksi 3 fasa berhubung bintang tanpa beban

Pada proses penelitian ini dilakukan pengambilan data melalui percobaan dan pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya, energi listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi tiga fasa tanpa beban dan berbeban.

Tabel 4.5. Hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan bintang tanpa beban

Frekuensi (Hz)	Kecepatan putaran terukur (rpm)	Kecepatan putaran dengan rumus (rpm) $N_s = \frac{120 \cdot F}{P}$	Tegangan	Arus	Cos phi
50	1417	1500	344	7.8	0.5
40	1325	1200	324	7.7	0.56
30	930	900	310	5.8	0.67
20	842	600	231	5.8	0.71
10	608	300	221	5.9	0.83

Dari table 4.5 Dapat dilihat bahwa pada pengujian pertama saat frekuensi pada inverter disetting 50 Hz maka kecepatan putaran motor induksi sebesar 1417 Rpm. Sedangkan dengan menggunakan rumus diperoleh kecepatan 1500 Rpm maka rata-rata kecepatan putaran motor terukur 1024 Rpm dan dengan menggunakan rumus 900 Rpm. Hal ini menunjukkan pada pegujian kecepatan motor tidak sama, namun perbedaanya tidak signifikan. Pada hasil pengukuran motor induksi hubungan delta tanpa beban memiliki besar rata-rata tegangan tegangan 286 Volt, arus 6.6 A dan faktor daya 0,6. Dari hasil pengujian tersebut dapat kita lihat dengan mengatur frekuensi maka kecepatan putaran motor juga dapat di ubah, atau dapat dikatakan putaran motor dapat dengan mengubah frekuensi pada inverter secara grafik dapat kita lihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan bintang tanpa beban

Daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga fasa hubungan bintang tanpa beban dengan kecepatan 1500 rpm dapat dihitung dengan menggunakan data pada tabel 4.6 dan hasilnya sebagai berikut:

Persamaan Daya dan energi listrik motor induksi tiga fasa pada pukul 09.00-10.30 wib:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \times 344 \times 7.8 \times 0.5$$

$$P = 1617 \text{ kW}$$

Pemakaian energi listrik selama 1,5 jam sebagai berikut:

$$W = P \times 1,5 \text{ Jam}$$

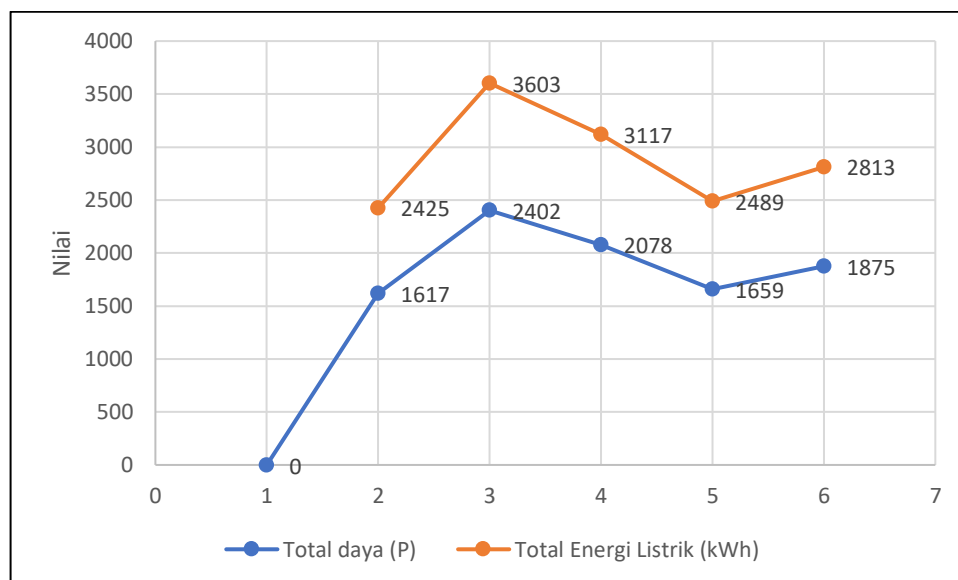
$$W = 1617 \times 1,5 \text{ Jam}$$

$$W = 2425 \text{ kWh}$$

Tabel 4.6 Hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan delta tanpa beban

Waktu	Total daya (P) (kW)	Total Energi Listrik (kWh)
08.00-09.30	1617	2425
10.00-11.30	2402	3603
11.00-12.30	2078	3117
12.00-13.30	1659	2489
14.00-15.30	1875	2813

Pada hasil perhitungan pada motor induksi hubungan delta tanpa beban memiliki rata-rata total daya sebesar 1,9 kW dan rata-rata total energy listrik sebesar 2,9 kWh.



Gambar 4.6 Grafik hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan bintang tanpa beban

4.5 Pengujian motor induksi 3 fasa hubungan bintang berbeban

Pada proses penelitian ini dilakukan pengambilan data melalui percobaan dan pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya, energi listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi tiga fasa berbeban.

Tabel 4.7 Hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan bintang berbeban

Frekuensi (Hz)	Kecepatan putaran terukur (rpm)	Kecepatan putaran dengan rumus (rpm) $N_s = \frac{120 \cdot F}{P}$	Tegangan	Arus	Cos phi
50	1322	1500	367	6.8	0.7
40	1190	1200	354	5.7	0.7
30	912	900	340	5.3	0.7
20	766	600	317	4.8	0.7
10	480	300	307	4.7	0.8

Dari tabel 4.7 Dapat dilihat bahwa pada pengujian pertama saat frekuensi pada inverter disetting 50 Hz maka kecepatan putaran motor induksi sebesar 1322 Rpm. Sedangkan dengan menggunakan rumus diperoleh kecepatan 1500 Rpm maka rata-rata kecepatan putaran motor terukur 934 Rpm dan dengan menggunakan rumus 900 Rpm. Hal ini menunjukkan pada pengujian kecepatan motor tidak sama, namun perbedaannya tidak signifikan. Pada hasil pengukuran motor induksi hubungan delta tanpa beban memiliki besar rata-rata tegangan 337 Volt, arus 5.5 A dan faktor daya 0,7. Dari hasil pengujian tersebut dapat kita lihat dengan mengatur frekuensi maka kecepatan putaran motor juga dapat di ubah, atau dapat dikatakan putaran motor dapat dengan mengubah frekuensi pada inverter secara grafik dapat kita lihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik hasil pengukuran tegangan, arus, faktor daya dan kecepatan putar rotor motor induksi hubungan bintang berbeban

Daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga fasa hubungan bintang berbeban dengan kecepatan 1500 rpm dapat dihitung dengan menggunakan data pada tabel 4.8 dan hasilnya sebagai berikut:

Persamaan Daya dan energi listrik motor induksi tiga fasa pada pukul 09.00-10.30 wib:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \times 344 \times 6.8 \times 0,7$$

$$P = 2791 \text{ kW}$$

Pemakaian energi listrik selama 1,5 jam sebagai berikut:

$$W = P \times 1,5 \text{ Jam}$$

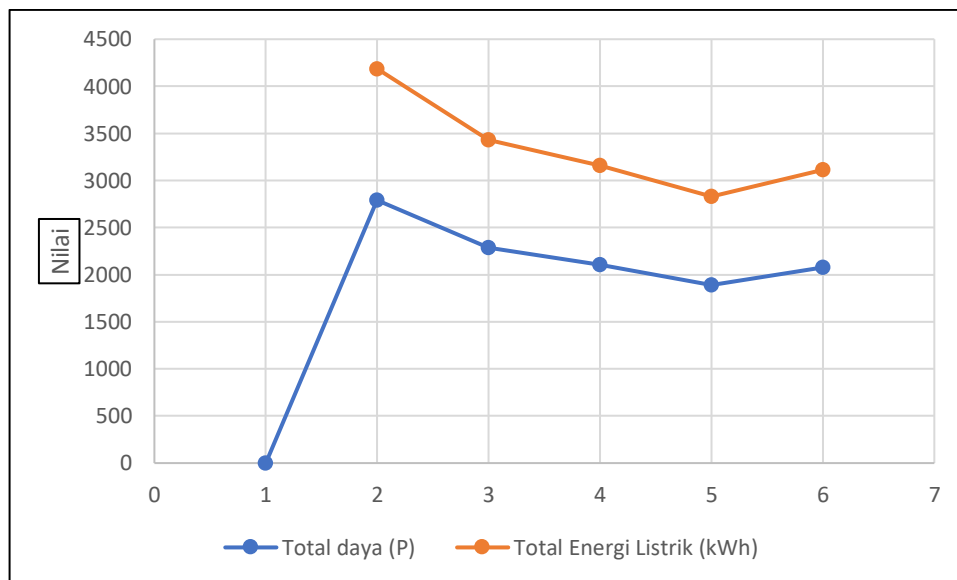
$$W = 2791 \times 1,5 \text{ Jam}$$

$$W = 4186 \text{ kWh}$$

Tabel 4.8 Hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan bintang tanpa beban

Waktu	Total daya (P) (kW)	Total Energi Listrik (kWh)
08.00-09.30	2791	4186
10.00-11.30	2289	3433
11.00-12.30	2105	3158
12.00-13.30	1889	2830
14.00 -15.30	2076	3114

Pada hasil perhitungan pada motor induksi hubungan delta tanpa beban memiliki rata-rata total daya sebesar 2.2 kW dan rata-rata total energy listrik sebesar 3.3 kWh.



Gambar 4.8 Grafik hasil perhitungan daya, energi listrik pada motor induksi hubungan bintang berbeban

4.6 Efisiensi motor induksi

Efisiensi motor induksi adalah ukuran keefektifan motor induksi untuk mengganti tenaga listrik sebagai tenaga mekanik yang dinyatakan menjadi perbandingan antara daya keluaran dan daya masukan dan umumnya dinyatakan dalam % juga sering dinyatakan dengan perbandingan antara keluaran menggunakan keluaran ditambah rugi - rugi, yang dirumuskan pada persamaan berikut.

1. Nilai efisiensi dalam rangkaian hubungan delta tanpa beban

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$n = \frac{1000}{1564} \times 100 \%$$

$$n = 64 \%$$

2. Nilai efisiensi pada rangkaian hubungan delta berbeban

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$n = \frac{1000}{1761} \times 100 \%$$

$$n = 57 \%$$

3. Nilai efisiensi pada rangkaian hubungan bintang tanpa beban

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$n = \frac{1000}{1926} \times 100 \%$$

$$n = 52 \%$$

4. Nilai efisiensi pada rangkaian hubungan bintang berbeban

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

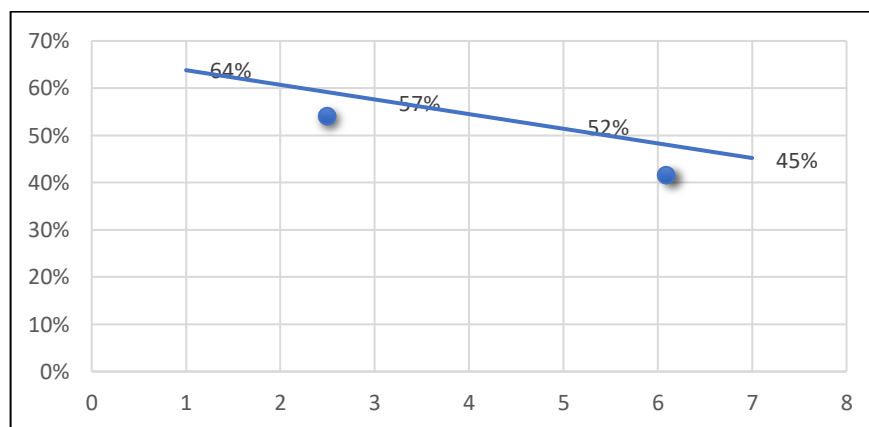
$$n = \frac{1000}{2229} \times 100 \%$$

$$n = 45 \%$$

Tabel 4.9 hasil perhitungan diatas maka nilai rata-rata efisiensi motor induksi 3 fasa berhubung delta dan bintang tanpa beban dan berbeban.

Nilai Efisiensi Motor Induksi 3 fasa	Hasil Perhitungan Nilai Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa (n)
Nilai efisiensi pada rangkaian hubungan delta tanpa beban	64 %
Nilai efisiensi pada rangkaian hubungan delta berbeban	57 %
Nilai efisiensi pada rangkaian hubungan bintang tanpa beban	52 %
Nilai efisiensi pada rangkaian hubungan bintang berbeban	45 %

Dari hasil perhitungan diatas maka nilai rata-rata efisiensi motor induksi 3 fasa berhubung delta dan bintang tanpa beban dan berbeban sebesar 55%.



Gambar 4.9 Nilai Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa Berhubung Delta dan Bintang Tanpa Beban dan Berbeban

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan pada PLTS dan motor induksi 3 fasa maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Besar pemakain energy listrik dalam motor induksi tiga fasa yang akan di suplai dari PLTS adalah sebesar 5 kWp dapat menghasilkan daya listrik sebanyak 4 kWh. Dari output perhitungan daya keluaran maximum panel surya dalam waktu temperaturnya naik menjadi 33°C, maka nilai TCF sebesar 0,96 dan perkiraan total kebutuhan tenaga harian sebesar 4 kWh dengan daya yang dibangkitkan sebesar 1179,8 Wattpeak. Jumlah panel surya yang terpasang dilaboratorium BBPPMPV BBL MEDAN sebesar 42 unit dibagi sebagai 3 (tiga) rangkaian array, dan pada masing-masing array pemasangan panel surya berhubungan seri.
2. Pada pengujian yang dilakukan Motor induksi 3 fasa hubungan delta tanpa beban dioperasikan memakai inverter diperoleh rata-rata kecepatan sebesar 916 Rpm menggunakan daya 1,6 kW, berbeban diperoleh rata-rata kecepatan sebesar 854,4 Rpm menggunakan daya 1,8 kW, hubungan bintang tanpa beban diperoleh rata-rata kecepatan sebesar 1024 Rpm menggunakan daya 1,9 kW, berbeban diperoleh rata-rata kecepatan sebesar 934 Rpm menggunakan daya 2,2 kW.
3. Rata-rata efisensi pada motor adalah 55%, maka optimalisasi kecepatan putran motor induksi, saat beroperasi pada beban 50%-100% dan akan

paling efisiensi pada beban 75% sampai 80%, jika beban turun di bawah 50% maka efisiensi akan turun dengan cepat.

5.2. Saran

Agar alat ini lebih efektif dan efisien sebaiknya pada percobaan yang dilakukan memakai komponen-komponen elektro yang berkualitas dan melalui perencanaan yang lebih matang sehingga diperoleh output pengaturan yang lebih optimal. Saat pengukuran pada putaran rendah, sebaiknya jangan sampai terlalu lama karena akan menyebabkan motor cepat panas dan mudah terbakar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Teori dasar Panel surya, “Teori dasar Panel surya,” *Sol. Cells*, no. JP2012164733A, pp. 1–11, 2004.
- [2] S. Pratama, “Bab II Landasan Teori,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [3] M. Pant, R. Thangaraj, and V. P. Singh, “Efficiency optimization of electric motors: a comparative study of stochastic algorithms,” *World J. Model. Simul.*, vol. 4, no. 2, pp. 140–148, 2008.
- [4] S. S. Sivaraju, N. Devarajan, and F. J. T. E. Ferreira, “Performance improvement of Induction motor by using Particle Swarm Optimization,” *J. Electr. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 112–126, 2013.
- [5] J. A. Itajiba *et al.*, “Experimental comparison of preferential vs. Common delta connections for the star-delta starting of induction motors,” *Energies*, vol. 14, no. 5, 2021, doi: 10.3390/en14051318.
- [6] Rohana and Suwarno, “Optimization circuit based buck-boost converter for charging the solar power plant,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 254–258, 2017, doi: 10.11591/ijeecs.v6.i2.pp254-258.
- [7] A. P. Saffar and B. D. Barani, “Thermal effects investigation on electrical properties of silicon solar cells treated by laser irradiation,” *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 3, no. 3, pp. 184–187, 2014, doi: 10.14710/ijred.3.3.184-187.
- [8] I. M. A. Sastradiangga, I. Ayu, D. Giriantari, and I. W. Sukerayasa, “Solar PV Plant as a Replacement for Power Supply of Irrigation Water Pump,” vol. 5, no. 2, 2020.
- [9] P. Harahap, F. I. Pasaribu, C. A. P. Siregar, and B. Oktrialdi, “Performance of Grid-Connected Rooftop Solar PV System for Households during Covid-19 Pandemic,” *J. Electr. Technol. UMY*, vol. 5, no. 1, pp. 26–31, 2021, doi: 10.18196/jet.v5i1.12089.
- [10] R. P. Strong, Steven J, 1987, *The Solar Electric House, A Design Manual for Home-Scale Photovoltaic Power Systems*, Pennsylvania, “Teori Radiasi Matahari,” pp. 6–44.
- [11] O. Daya *et al.*, “Jaringan Distribusi Menggunakan Maximum Power Point Tracker (Mppt) Metode Pengukuran Arus Hubung Singkat Dwi Agustina Hery Indrawati – 2206100028,” pp. 1–6.
- [12] R. Pido, S. Himran, and Mahmuddin, “Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi,” *Teknologi*, vol. 19, no. 1, pp. 31–38, 2018.
- [13] K. Kami and T. Produk, “Apa itu yang Dimaksud Panel Surya atau Solar Cell Ini Penjelarasannya,” *Sol. Cell Surya*, pp. 1–6, 2019, [Online]. Available:

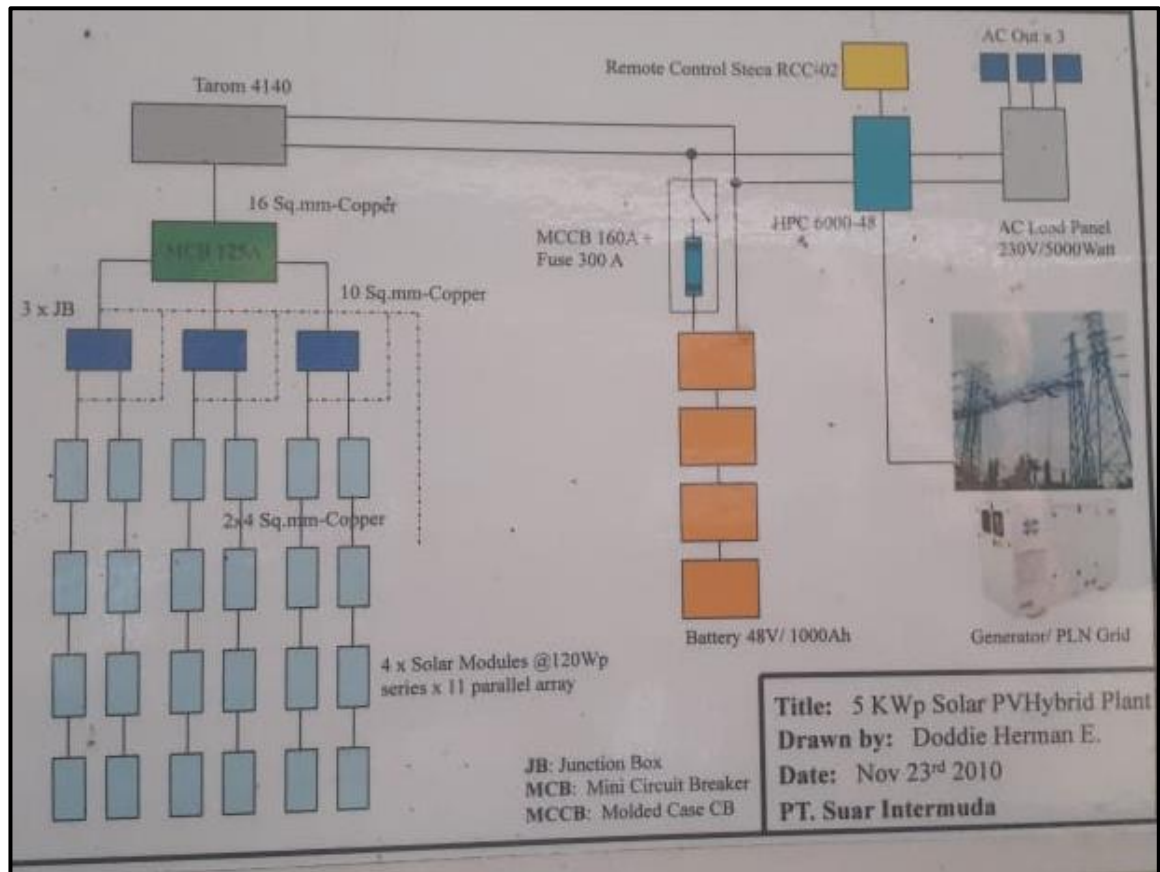
<https://www.solarcellsurya.com/apa-itu-panel-surya-atau-solar-cell/>.

- [14] I. Purwanto, "Solar Cell(Photovoltaic/Pv)Solusi Menuju Pulau Mandiri Listrik," *J. Penelit. Dan Karya Ilm. Lemb. Penelit. Univ. Trisakti*, vol. 5, no. 2, p. 117, 2020, doi: 10.25105/pdk.v5i2.7410.
- [15] R. Rimbawati, A. A. Hutasuhut, and M. Muharnif, "Peningkatan Kapasitas Daya Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bintang Asih Guna Memenuhi Kebutuhan Penerangan," *J. Pengabd. Kpd. Masy.*, 2019, doi: 10.24114/jpkm.v24i4.12836.
- [16] Jurnal Pribadi, "Motor Induksi," *Mot. Induksi Satu Fasa*, pp. 1-23 ,Teknik Elektro UNILAK Pekanbaru, 2017, [Online]. Available: <https://drive.google.com/file/d/1LhWupCci2es1DbNUu6-jgf7G2UNzXK6p/view?usp=sharing>.
- [17] M. M. Induksi, "Find TDK technologies he We can provide the mos Mengenal Motor Induksi , Cara Kerja dan Maxzer Solusi Industri Daftar isi," pp. 1–12, 2020.
- [18] E. Zondra, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. L. Kuning, "Analisis Penggunaan Energi Listrik Pada Motor," vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2017.
- [19] H. Prasetijo and B. Dharmawan, "Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah," *Din. Rekayasa*, vol. 8, no. 2, pp. 70–77, 2012.
- [20] Theodore Wildi, "Teori Motor Induksi Tiga Fasa Universitas Semarang," pp. 7–37, 2008.
- [21] B. A. B. Ii and T. Pustaka, "Politeknik Negeri Sriwijaya BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1. Teori U," pp. 7–30, 2014.
- [22] U. Motor, L. Di, and I. Farmasi, "(1) , 2)," vol. 4, no. 1, pp. 31–39, 2011.
- [23] I. Control, "Blog elektro," pp. 5–8, 2012.
- [24] F. Posts, "Industri Baterai Efisien , Tekan Biaya PLTS," pp. 1–12, 2022.
- [25] B. A. B. Vii and K. Dasar, "Inverter 2010," pp. 70–76, 2010, [Online]. Available: <http://www.pdfzilla.com/>.
- [26] D. Karakteristik, "Elektronika Dasar 2," p. 8, 2010, [Online]. Available: <https://repository.unikom.ac.id/34247/1/dioda.pdf>.
- [27] M. Inverter and T. Dunia, "Inverter Terbaik untuk PLTS , Daftar Merek Inverter Top Dunia Jenis Inverter Surya Inverter Off Grid (Stand-Alone Solar Inverter)," pp. 1–33, 2021.
- [28] M. Suyanto, Subandi, Syafrudin, and A. Maulana Fikri, "Kendali Putaran Motor Asinkron 3 fasa Dengan Vsd Tipe Atv312Hu15N4," *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 4, no. 2502, pp. E89–E96, 2019, doi:

10.22236/teknoka.v4i0.4190.

- [29] Y. Teguh Priyono, Kho Hie Khwee, “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Peternakan Ayam Pedaging (Broiler) Di Gang Karya Tani Pontianak Selatan,” *Univ. Tanjung Pura Pontianak*, 2019.
- [30] I. G. N. Janardana and I. W. A. Wijaya, “Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Listrik Pada Kelompok Usaha Pertanian,” *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, pp. 53–59, 2021.
- [31] R. A. Diantari, Erlin, And Christine Widyastuti, “Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai Plts,” *J. Energi Kelistrikan Vol. 9 No. 2, Juni - Desember 2017*, No. April, Pp. 5–24, 2016.
- [32] 2016 Universitas Pendidikan Indonesia, “Energi Dan Daya Listrik,” no. x, pp. 1–4, “Energi Dan Daya Listrik,” no. x, pp. 1–4, 2016, [Online]. Available:
[Http://File.Upi.Edu/Direktori/Sps/Prodi.Pendidikan_Ipa/195107261978032-Fransisca_Sudargo/Model_Buku_Ipa_Smp_%28revisi-2007%29/03._Kelas_IX/Bab._9-IX_Energi_dan_Daya_Listrik_%28Made%29.pdf](http://file.upi.edu/direktori/sps/prodi.pendidikan_ipa/195107261978032-fransisca_sudargo/model_buku_ipa_smp_%28revisi-2007%29/03._Kelas_IX/Bab._9-IX_Energi_dan_Daya_Listrik_%28Made%29.pdf).
- [33] H. Ini, P. E. R. Jam, P. E. R. Bulan, and K. Udara, “Medan, Sumatera Utara 27°,” pp. 27–28, 2021.

LAMPIRAN.















Lampiran 1. 5 kWp Solar PVHybrid Plant

11/23/21, 8:28 PM

Cuaca Bulanan di Medan, Sumatera Utara, Indonesia | AccuWeather

 Medan, Sumatera Utara 27° c 
 Cari Lokasi

 HARI INI PER JAM HARIAN RADAR PER BULAN KUALITAS UDARA
November ▼ 2021 ▼HARIAN →

M	S	S	R	K	J	S
31	1	2	3	4	5	6
30° 22°	32° 23°	31° 23°	30° 22°	30° 24°	31° 24°	32° 24°
7	8	9	10	11	12	13
31° 23°	32° 24°	33° 23°	30° 23°	31° 24°	31° 23°	31° 24°
14	15	16	17	18	19	20
31° 24°	32° 25°	32° 25°	30° 22°	29° 24°	32° 25°	30° 24°
21	22	23	24	25	26	27
						
31° 24°	32° 24°	31° 25°	30° 25°	30° 24°	29° 25°	29° 24°
28	29	30	1	2	3	4
						
29° 24°	29° 23°	30° 23°	31° 23°	31° 23°	31° 23°	30° 23°

Kami telah memperbarui Kebijakan Privasi dan Kebijakan Cookie.

°C

Saya Mengerti

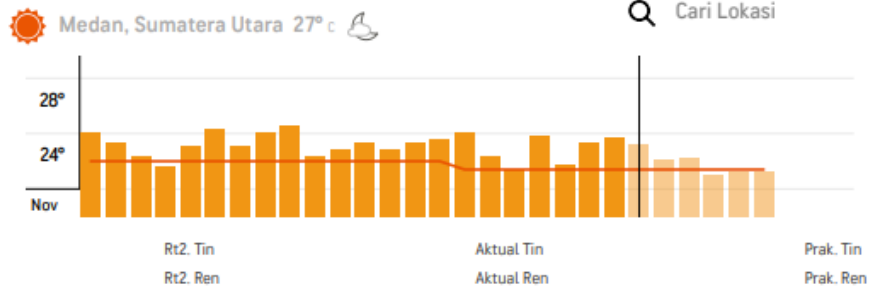
36° |

<https://www.accuweather.com/id/id/medan/211298/november-weather/211298>

1/2

11/23/21, 8:28 PM

Cuaca Bulanan di Medan, Sumatera Utara, Indonesia | AccuWeather



LEBIH JAUH KE DEPAN

DESEMBER 2021 →

JANUARI 2022 →

FEBRUARI 2022 →

DI SELURUH DUNIA

TOPAN →

CUACA BURUK →

RADAR & PETA →

VIDEO →

Dunia > Asia > Indonesia > Sumatera Utara > Medan

Tempat Terdekat: Bandar Klippa, Sumatera Utara ; Tanjung Gusta, Sumatera Utara ; Tembung, Sumatera Utara

© 2021 AccuWeather, Inc. "AccuWeather" dan desain matahari adalah merek dagang terdaftar milik AccuWeather, Inc. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang.

Ketentuan Penggunaan | Kebijakan Privasi | Kebijakan Cookie | Penafian TAG

Kami telah memperbarui Kebijakan Privasi dan Kebijakan Cookie.

Saya Mengerti<https://www.accuweather.com/id/id/medan/211298/november-weather/211298>

2/2

Lampiran 2. Prakiraan Cuaca Bulan November







Lampiran 3. Foto-foto kegiatan penelitian