

# **TUGAS AKHIR**

## **VARIASI KEMIRINGAN SUDUT TERHADAP EFEKTIVITAS KINERJA PANEL SURYA**

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

**Disusun Oleh:**

**YOGA PRADONA**  
**1507230194**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Yoga Pradona  
NPM : 1507230194  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Variasi Kemiringan Sudut Terhadap Efektivitas Kinerja Panel Surya  
Bidang ilmu : Konversi Energi

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

Medan, 23 September 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I

H. Muharnif M, S.T., M.Sc

Dosen Penguji II

Bekti Suroso, S.T., M.Eng

Dosen Penguji III

Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji IV

Chandra A Siregar, S.T., M.T



Program Studi Teknik Mesin  
Ketua,

Iffandi, S.T., M.T

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Yoga Pradona  
Tempat /Tanggal Lahir : Medan/23 Oktober 1997  
NPM : 1507230194  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

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

**“Variasi Kemiringan Sudut Terhadap Efektivitas Kinerja Panel Surya”,**

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

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

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

Medan, 23 September 2019



Saya yang menyatakan,

Yoga Pradona

## ABSTRAK

Sel surya merupakan teknologi yang mengubah energy cahaya matahari menjadi energy listrik. Sel surya merupakan lapisan semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkain dioda. Matahari merupakan energy yang di hasilkan atau di pancarkan dari sumber cahaya. Seperti di ketahui matahari merupakan sumber dari energy penerangan yang paling besar di dunia terkadang energy ini juga di sebut sebagai energy surya karena sebenarnya sumber dari penerangan berasal dari tenaga surya atau matahari. Teknologi ini sangat berpotensi di terapkan di Indonesia yang mempunyai iklim tropis, tetapi permasalahan utama dari system ini adalah ketidak setabilan tegangan arus dan daya yang di hasilkan sangat tergantung pada intensitas matahari yang di terima oleh panel surya . intensitas radiasi matahari yang di terima oleh panel surya dapat di maksimalkan dengan cara memasang panel surya, dengan sudut kemiringan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyerapan panel surya di masing-masing sudut kemiringan sehingga dari sudut ini bisa di bandingkan di posis sudut mana yang paling efektif dalam kinerjanya dan yang paling optimal. Tugas akhir ini membahas mengenai pengaruh sudut kemiringan terhadap tegangan, arus dan daya yang di hasilkan dengan memvariasikan sudut kemiringan  $0^\circ$ ,  $40^\circ$  dan  $60^\circ$ . Tegangan tertinggi di hasilkan oleh sudut  $0^\circ$  16,432 Volt, sedangkan arus tertinggi di hasilkan oleh sudut  $40^\circ$  2,79 Ampere, dan daya tertinggi yaitu pada sudut  $40^\circ$  48,594 Watt. Maka sudut yang efektif dalam pemasangan panel surya yaitu pada sudut kemiringan  $40^\circ$

Kata kunci: Kemiringan Sudut, Efektifitas Kinerja, Panel Surya.

## **ABSTRACT**

*Solar cells are technologies that convert sunlight energy into electrical energy. Solar cells are semiconductor layers that have a wide surface and consist of a series of diodes. The sun is the energy produced or emitted from a light source. As it is known that the sun is the biggest source of lighting energy in the world, sometimes this energy is also referred to as solar energy because the source of lighting actually comes from solar or solar power. This technology has the potential to be applied in Indonesia which has a tropical climate, but the main problem of this system is the unstable current and power voltage generated depends on the intensity of the sun received by the solar panel. the intensity of solar radiation received by solar panels can be maximized by installing solar panels, with a tilt angle. The purpose of this study is to determine the absorption of solar panels at each slope angle so that from this angle can be compared at which angle is the most effective in performance and the most optimal. This final project discusses the influence of the tilt angle on the voltage, current and power produced by varying the tilt angle of 0°, 40° and 60°. The highest voltage is produced by an angle of 0° 16.432 Volts, while the highest voltage is generated by an angle of 40° 2.79 Amperes, and the highest power is at an angle of 40° 48.594 Watt. Then the effective angle in the installation of solar panels is at a slope angle of 40°*

*Keywords: Angle of Slope, Performance Effectiveness, Solar Panels.*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Variasi Kemiringan Sudut Terhadap Efektivitas Kinerja Panel Surya” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

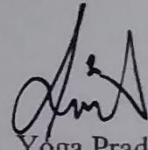
Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara..
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak H.Muharnif, S.T.,M.Sc selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Bekti Suroso, S.T.,M.Eng selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin , Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik Mesin kepada penulis.

7. Orang tua penulis: Suparlik dan Nurlela, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis: Aji Maulana, Teza Sandri, Rizki Fadillah, Bayu Anggara, Fahrul Rozi, M.Hadi Alfasha, Ozzi Pranico dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia industri Teknik Mesin.

Medan, 23 September 2019



Yoga Pradona

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	2
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>3</b>
2.1. Landasan Teori	3
2.2. Radiasi Energi Matahari	3
2.3. Sejarah Panel Surya	6
2.3.1. Panel Surya	6
2.3.2. Jenis-Jenis Panel Surya	7
2.3.2.1. Monokristal (Mono-crystalline)	8
2.3.2.2. Polikristal (Poly-Crystalline)	8
2.3.2.3. Gallium Arsenide (GaAs)	8
2.3.3. Karakteristik Solar Cell (Pholtovoltaic)	9
2.3.4. Prinsip Kerja Sel Surya Pholtovoltaik	10
2.3.5. Faktor Pengoprasian Sel Surya	11
2.3.5.1. Ambient Air Temperatur	11
2.3.5.2. Radiasi Matahari	11
2.3.5.3. Atmosfir Bumi	11
2.3.5.4. Orientasi Panel atau Larik Sel Surya	11
2.3.5.5. Posisi Letak Sel Surya (larik) Terhadap Matahari (tilt angle)	11
2.3.6. Semikonduktor Tipe P dan N	12
2.3.7. Sambungan P-N	13
2.4. Charger Controller	13
2.5. Inverter	14
2.6. Baterai	15
2.7. Arus dan Tegangan	15
2.8. Deklinasi	17
2.9. Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi	18
2.9.1. Pengaruh Gerakan Terhadap Energi Surya	18



2.9.2.	Arah Radiasi	19
2.9.3.	Pengaruh Sudut Datang Terhadap Radiasi yang di Terima	19
2.9.4.	Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Terhadap Radiasi Rata-Rata Matahari	20
2.9.5.	Pengujian Pengaruh Sudut Datang Terhadap Keluaran Sel Surya	20
2.9.6.	Pengambilan Data Pada Posisi/Sudut Matahari	21
2.10.	Road Map Penelitian	21
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI</b>	<b>22</b>
3.1	Tempat dan Waktu	22
3.1.1.	Tempat	22
3.1.2.	Waktu	22
3.2	Bahan dan Alat	22
3.2.1.	Bahan	22
3.2.2.	Alat-Alat	26
3.3	Bagan Alir Penelitian	30
3.4	Rancangan Alat Penelitian	31
3.5	Prosedur Penelitian	32
3.5.1.	Langkah-Langkah Perakitan Alat	32
3.5.2.	Langkah-Langkah Pengujian	34
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>37</b>
4.1	Hasil Tegangan, Arus dan Daya	37
4.2	Hasil Pengujian Selama Enam Hari Untuk Mengetahui Sudut yang Paling Efektif	41
4.2.1	Perhitungan Daya yang di Hasilkan	43
4.3.	Menghitung Sudut Deklinasi Selama Enam Hari Pengujian	45
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>48</b>
5.1.	Kesimpulan	48
5.2.	Saran	48
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>49</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	
	<b>LEMBAR ASISTENSI</b>	
	<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Tabel 2.1 Road Map Penelitian	21
Tabel 3.1.	Jadwal Kegiatan Penelitian	22
Tabel 4.1.	Pengujian Tanggal 07 Mwi 2019	38
Tabel 4.2.	Hubungan Antara Tegangan dengan Hari	41
Tabel 4.3.	Hubungan Antara Arus dengan Hari	42
Tabel 4.4.	Hubungan Antara Daya dengan Hari	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Konsep Kerja Sell Surya	4
Gambar 2.2.	Panel Sel Surya	5
Gambar 2.3.	Cara Kerja Sel Surya Dengan Prinsip P-n Junction	6
Gambar 2.4.	Panel Surya Monokristalin	8
Gambar 2.5.	Panel Surya Polkristalin	8
Gambar 2.6.	Panel Surya Gallium Arsenide	9
Gambar 2.7.	Semikonduktor Tipe-p (kiri) dan Tipe-N (kanan)	12
Gambar 2.8.	Radiasi Sorotan dan Radiasi Sebaran ang Mengenai Permukaan Bumi	18
Gambar 2.9.	Sudut-Sudut Sinar dan Posisi Matahari	19
Gambar 2.10.	Arah Sinar Datang Membentuk Sudut Terhadap Normal Bidang Panel Surya	19
Gambar 2.11.	Pengujian Pengaruh Arah Sudut Matahari Terhadap Keluaran Sel Surya (a) Arah Sinar Membentuk Sudut Tertentu	21
Gambar 3.1.	Panel Surya	24
Gambar 3.2.	Charger Controller	24
Gambar 3.3.	Baterai	25
Gambar 3.4.	Inverter	25
Gambar 3.5.	Lampu	26
Gambar 3.6.	Kabel	26
Gambar 3.7.	Besi	26
Gambar 3.8.	Baut dan Mur	27
Gambar 3.9.	Multimeter	27
Gambar 3.10.	Infrared Thermometer	28
Gambar 3.11.	Digital Lux Meter	28
Gambar 3.12.	Mesin Las	28
Gambar 3.13.	Mesin Grinda	29
Gambar 3.14.	Mesin Bor	29
Gambar 3.15.	Meteran	30
Gambar 3.16.	Obeng	30
Gambar 3.17.	Kunci Pas Ring	30
Gambar 3.18.	Bagan Alir	31
Gambar 3.19.	Pandangan Atas	32
Gambar 3.20.	Pandangan Depan	32
Gambar 3.21.	Pandangan Samping	32
Gambar 3.22.	Pembangkit Listrik Tenaga Surya	33
Gambar 3.23.	Memasang Triplek	34
Gambar 3.24.	Memasang Tiang Panel	34
Gambar 3.25.	Memasang Panel	34
Gambar 3.26.	Memasang Charger Controler	35
Gambar 3.27.	Memasang Batrai	35
Gambar 3.28.	Mengatur Sudut Kemiringan	35
Gambar 3.29.	Pengujian Panel Surya di Tempat Terbuka	36
Gambar 3.30.	Mengukur Intensitas Matahari	36

Gambar 3.31.	Mengukur Temperatur	36
Gambar 3.32.	Mencatat Hasil Pengujian Panel Surya	37
Gambar 4.1.	Pengujian Pengaruh Arah Sudut Matahari Terhadap Keluaran Sel Surya Sinar Membentuk Sudut Tertentu	38
Gambar 4.2.	Grafik Hubungan Antara Jam dengan Tegangan	40
Gambar 4.3.	Grafik Hubungan Antara Jam dengan Arus	41
Gambar 4.4.	Grafik Hubungan Antara Jam dengan Daya	41
Gambar 4.5.	Grafik Hubungan Antara Tegangan dengan Hari	43
Gambar 4.6.	Grafik Hubungan Antara Arus dengan Hari	44
Gambar 4.7.	Grafik Hubungan Antara Daya dengan Hari	44

## DAFTAR NOTASI

Simbol	Besaran	Satuan
A	Luas Penampang	$m^2$
G	Intensitas Radiasi	Watt/ $m^2$
I	Arus	Ampere
P	Daya	Watt
V	Tegangan	Volt

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1. Latar Belakang

Panel Surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Sel surya merupakan lapisan semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkaian dioda. Untuk meningkatkan kinerja dari sel surya, maka sel surya harus selalu mengarah ke pancaran matahari. Dimana posisi matahari setiap waktunya selalu berubah dengan seiring perputaran permukaan bumi sehingga penerimaan energy matahari pada sel surya tidak optimal.

Adapun energy alternative lain yang bisa di Manfaatkan seperti angin, gas hydrogen, panas bumi, gelombang air laut dan lain-lain. Energy surya ini juga ramah terhadap lingkungan tidak berpolusi aman dan tidak ada batasan selama matahari terbit bahkan dalam keadaan mendung pun masih dapat menghasilkan energy.

Kinerja panel surya ini dapat di tinjau dari beberapa factor yang sangat mempengaruhi hambatan yang di serap oleh panel surya seperti Suhu Udara Sel surya dapat beroperasi secara maksimal jika temperatur sel tetap normal pada 25 derajat celsius. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan Voc. Radiasi Matahari Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariasi dan sangat tergantung dengan keadaan spektrum matahari ke bumi. Insolasion matahari akan banyak berpengaruh terhadap arus (I) dan sedikit terhadap tegangan (V). Atmosfir Bumi Keadaan atmosfir bumi yang berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat berpengaruh untuk menentukan hasil maksimal arus listrik dari sel surya. Tiupan Angin Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya sangat membantu terhadap pendinginan temperatur permukaan sel surya sehingga temperatur dapat terjaga dikisaran 25 derajat celsius. Orientasi Panel Orientasi dari rangkaian panel ke arah matahari secara optimal memiliki efek yang sangat besar untuk menghasilkan energi yang maksimum. Selain arah orientasi sudut, orientasi miring dari panel juga sangat mempengaruhi hasil energi yang maksimum.

Untuk itu perlu upaya mengoptimalkan daya keluaran listrik terhadap efektivitas kinerja panel surya agar efisiensinya meningkat juga. Dengan memvariasikan sudut kemiringan maka diprediksi jumlah intensitas cahaya yang jatuh pada area permukaan modul surya akan lebih maksimal dan daya keluaran listrik yang dihasilkan akan lebih besar. Jadi dengan adanya peningkatan daya keluaran listrik yang dihasilkan, maka nilai efisiensinya juga akan meningkat.

Hal tersebut di atas dapat di efektifkan dengan melalui modifikasi sebuah alat yang mampu untuk menerima radiasi matahari terhadap daya keluaran sel fotovoltaik dan perubahan efisiensi sel fotovoltaik pada menyerapan energy yang lebih maksimal maka dari itu di rancang sebuah sudut kemiringan terhadap sudut deklimasi, maka dari penjelasan latar belakang di atas bisa di jadikan judul skripsi tentang “Variasi Kemiringan Sudut Terhadap Efektivitas Kinerja Panel Surya”.

#### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan bisa di rumuskan suatu masalah tentang bagaimana penyerapan energi matahari terhadap panel surya agar energi listrik yang di hasilkan dapat jauh lebih maksimal dengan pengaruh Variasi sudut kemiringan.

#### 1.3. Ruang Lingkup

Dalam penelitian ini untuk mengetahui kinerja panel surya pada variasi sudut kemiringan agar tegangan, arus dan daya yang di hasilkan lebih optimal.

#### 1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan daya yang maksimal pada panel surya terhadap penyerapan matahari.
2. Untuk mengetahui tegangan, arus yang di hasilkan pada sudut kemiringan.
3. Untuk mengetahui sudut mana yang paling efektif.

#### 1.5. Manfaat

Dari hasil penelitian ini maka akan memberikan informasi kepada masyarakat, institusi terkait potensi penyerapan radiasi matahari terhadap kemiringan sudut pemasangan panel surya khususnya di Sumatra Utara.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1. Landasan Teori

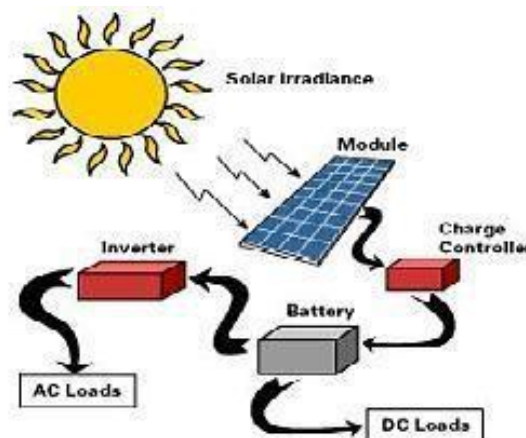
(Muhammad Rezanul, 2018) Salah satu upaya yang dilakukan dalam pemanfaatan energi matahari adalah dengan menggunakan teknologi sel surya atau panel surya. Teknologi sel surya merupakan sebuah teknologi yang mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Penelitian ini membahas tentang simulasi sel surya dengan menggunakan Solar Emulator, sel surya jenis polycrystalline dengan daya keluaran maksimal 10 WP. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan pengaruh sudut panel surya dengan cara mengetahui tegangan dan arus optimal berdasarkan data intensitas radiasi matahari dari tanggal 17 Maret sampai 25 Maret 2016. Variasi yang digunakan adalah variasi sudut sel surya. Metode penelitian yaitu menghidupkan solar emulator, mengatur sudut datang surya dan sudut elevasi. Lalu mengatur intensitas radiasi lampu halogen sebagai pengganti matahari dengan mengatur intensitasnya berdasarkan data intensitas radiasi matahari tersebut. Mengatur sudut sel surya. Tegangan dan arus yang keluar diperoleh dengan menyinari sel surya dengan bola lampu halogen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut panel surya yang efisien berdasarkan data yang diperoleh adalah pada sudut panel  $10^\circ$  dibandingkan dengan sudut panel  $20^\circ$  dan  $30^\circ$  karena pemanfaatan intensitas radiasi terbesar biasanya efektif pada waktu 10.30-14.30 WITA.

#### 2.2. Radiasi Energi Matahari

Energi Matahari merupakan sumber energi utama untuk proses–proses yang terjadi di Bumi. Energi matahari sangat membantu berbagai proses fisis dan biologis di Bumi. Radiasi adalah suatu proses perambatan energi(panas) dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang tanpa memerlukan zat perantara. Energi Matahari bisa sampai ke permukaan Bumi adalah dengan cara radiasi (pancaran), karena diantara Bumi dan Matahari terdapat ruang hampa (tidak ada zat perantara), sedangkan gelombang elektromagnetik adalah suatu bentuk gelombang yang dirambatkan dalam bentuk komponen medan listrik dan medan magnet, sehingga dapat merambat dengan kecepatan yang sangat tinggi dan tanpa memerlukan zat atau medium perantara. Dari sekian banyak energi yang



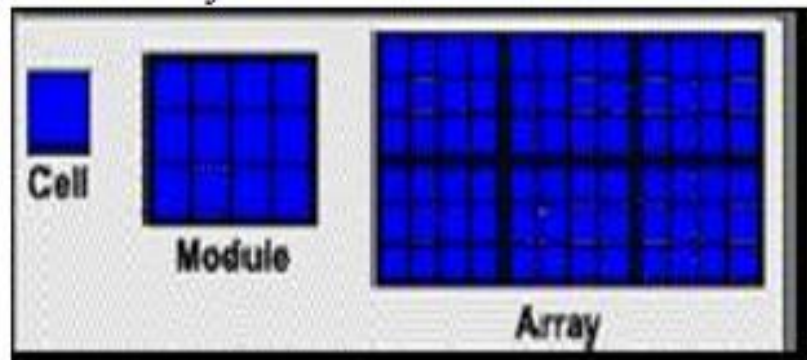
dikeluarkan matahari yang sampai ke Bumi melalui melalui proses perambatan tadi kemudian diserap oleh Bumi. Energi yang diserap ini akan menyebabkan suhu dari Bumi akan naik. Pada gilirannya, suhu Bumi yang hangat atau panas ini akan memancarkan juga sebagian energinya, sehingga energi yang diterima Bumi = energi yang diserap Bumi + energi yang dipancarkan Bumi. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada dasarnya adalah pecatu daya (alat yang menyediakan daya), dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri, maupun dengan *hybrid* (dikombinasikan dengan sumber energi lain) baik dengan metode Desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metode Sentralisasi (listrik didistribusikan dengan jaringan kabel). Pada siang hari modul surya/panel *solarcell* menerima cahaya matahari yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses *photovoltaic*. Energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya dapat langsung disalurkan ke beban atau disimpan dalam baterai sebelum digunakan ke beban. Dan arus searah DC (*direct current*) yang dihasilkan dari modul surya yang telah tersimpan dalam baterai sebelum digunakan ke beban terlebih dahulu.



Gambar 2.1 Konsep kerja sell surya (Sumber koleksi%20jurnal/75-116-1-SM.pdf)

Modul ini berfungsi merubah cahaya matahari menjadi listrik arus searah (DC). Listrik tenaga matahari dibangkitkan oleh komponen yang disebut *solar cell*, kom-ponen ini mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik Solar cell meru-pakan komponen vital yang terbuat dari bahan semi konduktor. Tenaga listrik dihasilkan oleh satu solar cell sangat kecil, maka beberapa solar cell harus digabung sehingga terbentuklah satuan komponen yang disebut module. Pada aplikasinya karena tenaga listrik yang dihasilkan oleh module ini masih kecil,

maka dalam pemanfaatannya beberapa modul digabungkan sehingga terbentuklah apa yang disebut array. Perhatikan Gambar berikut ini.



Gambar 2.2 Panel Sel Surya (Sumber koleksi%20jurnal/75-116-1-SM.pdf)

Sel surya atau photovoltaic adalah perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek photovoltaic ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foto ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Pada tahun 1954 peneliti menemukan untuk pertama kali sel surya silikon berbasis pn junction dengan efisiensi 6%. Sekarang ini, sel surya silikon mendominasi pasar sel surya dengan pangsa pasar sekitar 82% dan efisiensi lab dan komersil berturut-turut yaitu 24,7% dan 15%. Kepingan sel photovoltaic terdiri atas kristal silikon yang memiliki dua lapisan silisium doped, yaitu lapisan sel surya yang menghadap ke cahaya matahari memiliki doped negatif dengan lapisan fosfor, sementara lapisan di bawahnya terdiri dari doped positif dengan lapisan borium. Antara kedua lapisan dibatasi oleh penghubung p-n. Jika pada permukaan sel photovoltaic terkena cahaya matahari maka pada sel bagian atas akan terbentuk muatan-muatan negatif yang bersatu pada lapisan fosfor. Sedangkan pada bagian bawah lapisan sel photovoltaic akan membentuk muatan positif pada lapisan borium.

Kedua permukaan tersebut akan saling mengerucut muatan masing-masingnya jika sel photovoltaic terkena sinar matahari. Sehingga pada kedua sisi sel photovoltaic akan menghasilkan beda potensial berupa tegangan listrik. Jika kedua sisnya dihubungkan dengan beban berupa lampu menyebabkan lampu akan menyala.

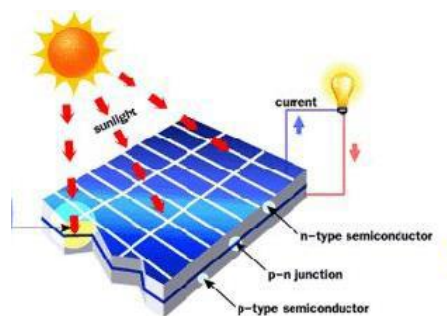
### 2.3. Sejarah Panel Surya

Efek photovoltaik pertama kali diperkenalkan pada tahun 1839 oleh fisikawan Perancis Alexandre-Edmond Becquerel. Dia bereksperimen menggunakan sel larutan elektrolisis yang dibuat dari dua elektroda. Kemudian Becquerel menemukan bahwa beberapa material jenis tertentu memproduksi arus listrik dalam jumlah kecil ketika terkena cahaya. Akan tetapi, sel surya yang pertama dibuat baru pada tahun 1883 oleh Charles Fritts, yang melingkupi semikonduktor selenium dengan sebuah lapisan emas yang sangat tipis untuk membentuk sambungan-sambungan. Alat tersebut hanya memiliki efisiensi 1%. Pada tahun 1941, seorang peneliti bernama Russel Ohl berhasil mengembangkan teknologi sel surya dan dikenal sebagai orang pertama yang memuat paten piranti solar sel modern.

Bahan yang digunakan adalah silikon dan mampu menghasilkan efisiensi sebesar 4%. Era sel surya modern baru dimulai setelah penemuan fenomena photovoltaik pertama pada tahun 1954, yakni ketika tiga peneliti *Bell Laboratories* di Amerika Serikat (Chapin, Fullr, dan Pearson) secara tidak sengaja menemukan bahwa sambungan dioda p-n dari silikon mampu membangkitkan tenaga listrik ketika lampu laboratorium dinyalakan. Pada tahun yang sama, usaha mereka telah berhasil membuat sel surya pertama dengan efisiensi sebesar 6%. Pada akhirnya, penelitian sel surya yang berkembang hingga saat ini memiliki banyak jenis dan variasi teknologi pembuatannya.

#### 2.3.1. Panel Surya

Panel Surya adalah alat konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Untuk memanfaatkan potensi energi surya ada dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu energi surya fotovoltaik dan energi surya termal



Gambar 2.3 Cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction (Julisman, 2017)

Dari ilustrasi diatas menunjukkan cara kerja panel surya dengan prinsip p-n junction. Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan hole tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor. Ilustrasi diatas menggambarkan junction semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Peran dari p-n junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan hole) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susuna p-n junction ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar diatas.

### 2.3.2. Jenis-jenis Panel surya

Panel sel surya mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Panel sel surya menghasilkan arus yang digunakan untuk mengisi baterai. Panel surya terdiri dari photovoltaic, yang menghasilkan listrik dari intensitas cahaya, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, mendung, hujan) arus listrik yang dihasilkan juga berkurang. Dengan memperluas panel surya berarti menambah konversi tenaga surya. Umumnya panel sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil yang tertentu juga. Contohnya ukuran  $a$  cm x  $b$  cm menghasilkan listrik DC (Direct Current) sebesar  $x$  watt per hour.

### 2.3.2.1. Monokristal (Mono-crystalline)

Panel ini adalah panel surya yang paling efisien, yaitu menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi di tempat yang cahaya matahari kurang (teduh), kestabilannya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.4 Panel Surya Monokristalin (Mintorogo Danny Santoso, 2000)

### 2.3.2.2. Polikristal (Poly-crystalline)

Panel surya ini memiliki susunan kristal acak. Type polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik dalam keadaan cuaca berawan.



Gambar 2.5 Panel Surya Polikristalin (Mintorogo Danny Santoso, 2000)

### 2.3.2.3. Gallium Arsenide (GaAs)

Panel surya yang terbuat dari GaAs (Gallium Arsenide) yang lebih efisien pada temperatur tinggi. Sel Surya III-V semikonduktor yang sangat efisien sekitar 25%.



Gambar 2.6 Panel Surya Gallium Arsenide (Mintorogo Danny Santoso, 2000)

### 2.3.3. Karakteristik Solar Cell (Photovoltaic)

Solar Cell pada umumnya memiliki ketebalan 0.3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub (+) dan kutub (-). Apabila suatu cahaya jatuh pada permukaannya maka pada kedua kutubnya timbul perbedaan tegangan yang tentunya dapat menyalakan lampu, menggerakkan motor listrik yang berdaya DC. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar bisa menghubungkan solar cell secara seri atau paralel tergantung sifat penggunaannya.

Sel surya menghasilkan arus, dan arus ini beragam tergantung pada tegangan sel surya. Karakteristik tegangan-arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut ketika tegangan sel surya sama dengan nol atau digambarkan sebagai “sel surya hubung pendek”, “arus rangkaian pendek” atau ISC (short circuit current), yang sebanding dengan iradiansi terhadap sel surya dapat diukur.

Spesifikasi keseluruhan dari Solar Cell yang digunakan adalah:

- Maks. Daya (Pmax) : 50W
- Maks. Tegangan Listrik (Vmp) : 16.5V
- Maks. Arus Daya (Imp) : 3.34A
- Tegangan Sirkuit Terbuka (Voc) : 21.1V
- Arus Sirkuit Pendek (Isc) : 4.23A
- Nominal Operating Cell Temp (NOCT) :  $45 \pm 2$  ° C
- Maks. Tegangan Sistem : 1000V
- Maks. Seri Fuse : 16A
- Berat : 6.5Kg
- Dimensi : 775 x 680 x 28 mm

#### 2.3.4. Prinsip Kerja Sel Surya Photovoltaik

Sinar matahari menjadi listrik dengan panel photovoltaik, kebanyakan menggunakan *Poly Crystalline Silicon* sebagai material semikonduktor *photo cell* mereka. Prinsipnya sama dengan prinsip diode p-n.

Secara sederhana, proses pembentukan gaya gerak listrik pada sebuah sel surya adalah sebagai berikut:

- Dari cahaya matahari menumbuk panel surya kemudian diserap oleh material semikonduktor seperti silikon.
- Elektron (muatan negatif) terlempar keluar dari atomnya, sehingga mengalir melalui material semikonduktor untuk menghasilkan listrik. Muatan positif yang disebut *hole* (lubang) mengalir dengan arah yang berlawanan dengan elektron pada panel surya silikon.
- Gabungan/susunan beberapa panel surya mengubah energi surya menjadi sumber daya listrik DC. yang nantinya akan disimpan dalam suatu wadah yang dinamakan baterai.
- Daya listrik DC tidak dapat langsung digunakan pada rangkaian listrik rumah atau bangunan sehingga harus mengubah daya listriknya dengan daya listrik AC. Dengan menggunakan konverter inilah maka daya listrik DC dapat berubah menjadi daya listrik AC sehingga sekarang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik.

Berikut ini adalah persamaan rumus yang digunakan pada panel surya:

Daya Input : Perhitungan daya input dapat menggunakan persamaan 2.1

$$P_{in} = G \times A \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

Pin = Daya input akibat Radiasi matahari (Watt)

G = Intensitas radiasi matahari (Watt/m<sup>2</sup>)

A = Luas area permukaan photovoltaic module (m<sup>2</sup>)

Daya Output : Perhitungan daya output dapat dilihat pada persamaan 2.2

$$P_{out} = V_{max} \times I_{max} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

Vmax = Tegangan pada daya maksimum (Volt)

Imax = Arus pada daya maksimum (Ampere)

### 2.3.5. Faktor Pengoperasian Sel Surya

Pada pengoperasian sel surya pastinya terdapat komponen yang menjadi faktor pengoperasian sel surya agar dapat beroperasi secara maksimal, faktor pengoperasiannya adalah sebagai berikut:

#### 2.3.5.1. Ambient air temperature

Sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada 25 °C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel akan menurunkan nilai tegangan ( $V_{oc}$ ). Setiap kenaikan temperatur Sel surya 10 Celsius (dari 25°C) akan berkurang sekitar 0,4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 100°C.

#### 2.3.5.2. Radiasi Matahari

Radiasi matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada current ( $I$ ) sedikit pada tegangan

#### 2.3.5.3. Atmosfir Bumi

Keadaan atmosfer bumi yang berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat berpengaruh untuk menentukan hasil maksimal arus listrik dari sel surya.

#### 2.3.5.4. Orientasi panel atau larik sel surya

Orientasi dari rangkaian sel surya (larik) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan sel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut orientasi (tilt angle) dari panel/deretan sel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Sebagai guideline: untuk lokasi yang terletak di belahan Utara latitude, maka panel/deretan sel surya sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke Timur Barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel/deretan sel surya, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum.

#### 2.3.5.5. Posisi letak sel surya (larik) terhadap matahari (tilt angle)

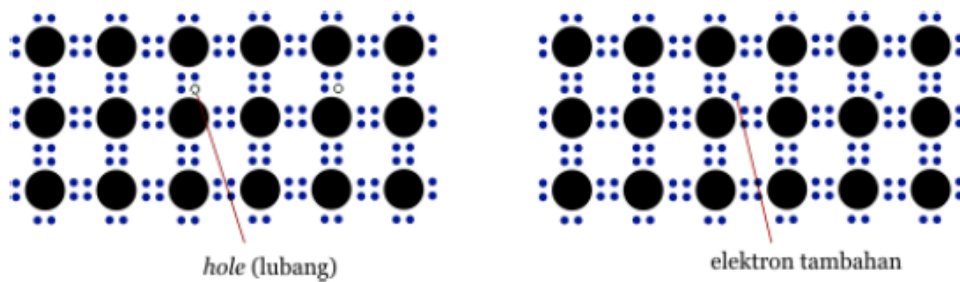
Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel sel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum  $\pm 1000 \text{ W/m}^2$  atau  $1 \text{ kW/m}^2$ . Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara



sinar matahari dengan bidang sel surya, maka ekstra luasan bidang panel sel surya dibutuhkan (bidang panel sel surya Sel surya pada Equator (latitude 0 derajat) yang diletakkan mendatar (tilt angle = 0) akan menghasilkan energi maksimum, sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda harus dicarikan “tilt angle” yang optimum.

### 2.3.6. Semikonduktor Tipe P dan Tipe N

*Solar cell* merupakan suatu perangkat semikonduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah energi cahaya. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam Kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energi.



Gambar 2.7 Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan)(Sumber <http://digilib.unimus.ac.id/files/disk1/149/jtptunimus-gdl-efendiabdu-7401-3-babii.pdf>)

Ketika suatu Kristal silikon ditambahkan dengan unsur golongan kelima, misalnya arsen, maka atom-atom arsen itu akan menempati ruang diantara atom-atom silikon yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki oleh arsen terhadap lingkungan sekitarnya, dalam hal ini adalah silikon. Semikonduktor jenis ini kemudian diberi nama semikonduktor tipe-n. Hal yang sebaliknya terjadi jika Kristal silikon ditambahkan oleh unsur golongan ketiga, misalnya boron, maka kurangnya elektron valensi boron dibandingkan dengan silikon mengakibatkan munculnya *hole* yang bermuatan positif pada semikonduktor tersebut. Semikonduktor ini dinamakan semikonduktor tipe-p. Adanya tambahan pembawa muatan tersebut mengakibatkan semikonduktor ini akan lebih banyak menghasilkan pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada semikonduktor tipe-n maupun tipe-p.

### 2.3.7. Sambungan P-N

Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n disambungkan maka akan terjadi difusi *hole* dari tipe-p menuju tipe-n dan difusi elektron dari tipe-n menuju tipe-p. Difusi tersebut akan meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe-n dan daerah lebih negative pada batas tipe-p. Adanya perbedaan muatan pada sambungan p-n disebut dengan daerah deplesi akan mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya arus *drift*. Arus *drift* yaitu arus yang dihasilkan karena kemunculan medan listrik. Namun arus ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan p-n tersebut. Sebagaimana yang kita ketahui bersama, elektron adalah partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. Kehadiran medan listrik pada elektron dapat mengakibatkan elektron bergerak. Hal inilah yang dilakukan pada solar cell sambungan p-n, yaitu dengan menghasilkan medan listrik pada sambungan p-n agar elektron dapat mengalir akibat kehadiran medan listrik tersebut.

Ketika *junction* disinari, *photon* yang mempunyai *electron* sama atau lebih besar dari lebar pita *electron-electron* tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* pada pita valensi. Elektron dan *hole* ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan *electronhole*. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka *electron* dari area akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir.

### 2.4. Charger Controller

Charge controller berfungsi memastikan agar baterai tidak mengalami kelebihan pelepasan muatan (*over discharge*) atau kelebihan pengisian muatan (*over charge*) yang dapat mengurangi umur baterai. Charge controller mampu menjaga tegangan dan arus keluar masuk baterai sesuai kondisi baterai. Charge controller sering disebut dengan solar charge controller atau battery charge controller. Jika charge controller menghubungkan panel surya ke baterai atau peralatan lainnya seperti inverter maka disebut solar charge controller. Jika bagian ini terhubung dari inverter ke baterai lazim disebut battery charge controller,

namun hal tersebut tidak baku. Walaupun kedua alat ini berfungsi sama, berbeda dengan SCC, BCC tidak dilengkapi oleh PWM-MPPT (Pulse Width Modulation Maximum Power Point Tracking), yaitu kemampuan untuk mendapatkan daya listrik dari panel surya pada titik maksimumnya.

## 2.5 Inverter

Inverter adalah “jantung” dalam sistem suatu PLTS. Inverter berfungsi mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak balik (AC). Tegangan DC dari panel surya cenderung tidak konstan sesuai dengan tingkat radiasi matahari. Tegangan masukan DC yang tidak konstan ini akan diubah oleh inverter menjadi tegangan AC yang konstan yang siap digunakan atau disambungkan pada sistem yang ada, misalnya jaringan PLN. Parameter tegangan dan arus pada keluaran inverter pada umumnya sudah disesuaikan dengan standar baku nasional/internasional. Saat ini, seluruh inverter menggunakan komponen elektronika dibagian dalamnya. Teknologi terkini suatu inverter telah menggunakan IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) sebagai komponen utamanya menggantikan komponen lama BJT, MOSFET, J-FET, SCR dan lainnya. Karakteristik IGBT adalah kombinasi keunggulan antara MOSFET dan BJT. Pemilihan jenis inverter dalam merencanakan PLTS disesuaikan dengan desain PLTS yang akan dibuat. Jenis inverter untuk PLTS disesuaikan apakah PLTS On Grid atau Off Grid atau Hibrid. Inverter untuk sistem On Grid (On Grid Inverter) harus memiliki kemampuan melepaskan hubungan (islanding system) saat grid kehilangan tegangan. Inverter untuk sistem PLTS hibrid harus mampu mengubah arus dari kedua arah yaitu dari DC ke AC dan sebaliknya dari AC ke DC. Oleh karena itu inverter ini lebih populer disebut bi-directional inverter. Kelengkapan suatu inverter belum memiliki standard, sehingga produk yang satu dengan lain tidak sepenuhnya kompatibel. Ada inverter yang telah dilengkapi fungsi SCC dan atau BCC dan fungsi lainnya secara terintegrasi. Alat ini lazim disebut juga PCS (Power Conditioner System) atau Power Conditioner Unit (PCU). Dibutuhkannya SCC atau BCC tergantung dari kelengkapan inverter tersebut. Jika inverter telah dilengkapi dengan charge controller (SCC dan BCC) dibagian internalnya, maka charge controller eksternal sangat mungkin tidak diperlukan lagi.

## 2.6 Baterai

Mengingat PLTS sangat tergantung pada kecukupan energi matahari yang diterima panel surya, maka diperlukan media penyimpanan energi sementara bila sewaktu-waktu panel tidak mendapatkan cukup sinar matahari atau untuk penggunaan listrik malam hari. Baterai harus ada pada sistem PLTS terutama tipe Off Grid. Beberapa teknologi baterai yang umum dikenal adalah lead acid, alkalin, NiFe, Ni-Cad dan Li-ion. Masing-masing jenis baterai memiliki kelemahan dan kelebihan baik dari segi teknis maupun ekonomi (harga). Baterai lead acid dinilai lebih unggul dari jenis lain jika mempertimbangkan kedua aspek tersebut. Baterai lead acid untuk sistem PLTS berbeda dengan baterai lead acid untuk operasi starting mesin-mesin seperti baterai mobil. Pada PLTS, baterai yang berfungsi untuk penyimpanan (storage) juga berbeda dari baterai untuk buffer atau stabilitas. Baterai untuk pemakaian PLTS lazim dikenal dan menggunakan deep cycle lead acid, artinya muatan baterai jenis ini dapat dikeluarkan (discharge) secara terus menerus secara maksimal mencapai kapasitas nominal. Baterai adalah komponen utama PLTS yang membutuhkan biaya investasi awal terbesar setelah panel surya dan inverter. Namun, pengoperasian dan pemeliharaan yang kurang tepat dapat menyebabkan umur baterai berkurang lebih cepat dari yang direncanakan, sehingga meningkatkan biaya operasi dan pemeliharaan. Atau dampak yang paling minimal adalah baterai tidak dapat dioperasikan sesuai kapasitasnya. Kapasitas baterai yang diperlukan tergantung pada pola operasi PLTS. Besar kapasitas baterai juga harus mempertimbangkan seberapa banyak isi baterai akan dikeluarkan dalam sekali pengeluaran. Kapasitas baterai dinyatakan dalam Ah atau Ampere hours. Jika suatu PLTS menggunakan baterai dengan kapasitas 2000 Ah dengan tegangan sekitar 2 Volt. Maka baterai tersebut memiliki kemampuan menyimpan muatan sekitar  $2000 \text{ Ah} \times 2 \text{ V}$  atau 4 kWh. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan jenis dan kapasitas baterai untuk suatu PLTS dan pengaruhnya pada umur baterai.

## 2.7 Arus dan Tegangan

Atom adalah partikel terkecil penyusun materi, atom terdiri dari partikel-partikel sub-atom yang tersusun atas elektron, proton, dan neutron dalam berbagai gabungan. Elektron adalah muatan listrik negatif (-) yang paling

mendasar. Elektron dalam cangkang terluar suatu atom disebut elektron valensi. Apabila energi eksternal seperti energi kalor, cahaya, atau listrik diberikan pada materi, elektron valensinya akan memperoleh energi dan dapat berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Jika energi yang diberikan telah cukup, sebagian dari elektron-elektron valensi terluar tadi akan meninggalkan atomnya dan statusnya pun berubah menjadi elektron bebas. Gerakan elektron-elektron bebas inilah yang akan menjadi arus listrik dalam konduktor logam. Gerak atau aliran elektron disebut arus ( $I$ ), dengan satuan ampere. Sebagian atom kehilangan elektron dan sebagian atom lainnya memperoleh elektron. Keadaan ini akan memungkinkan terjadinya perpindahan elektron dari satu objek ke objek lain. Apabila perpindahan ini terjadi, distribusi muatan positif dan negatif dalam setiap objek tidak sama lagi. Objek dengan jumlah elektron yang berlebih akan memiliki polaritas listrik negatif (-). Objek yang kekurangan elektron akan memiliki polaritas listrik positif (+). Besaran muatan listrik ditentukan oleh jumlah elektron dibandingkan dengan jumlah proton dalam suatu objek. Simbol untuk besaran muatan elektron ialah  $Q$  dan satuannya adalah coulomb. Besarnya muatan  $1\text{ C} = 6,25 \times 10^{18}$  elektron. Kemampuan muatan listrik untuk mengerahkan suatu gaya dimungkinkan oleh keberadaan medan elektrostatis yang mengelilingi objek yang bermuatan tersebut. Suatu muatan listrik memiliki kemampuan untuk melakukan kerja akibat tarikan atau tolakan yang disebabkan oleh gaya medan elektrostatisnya. Kemampuan melakukan kerja ini disebut potensial. Apabila satu muatan berbeda dari muatan lainnya, di antara kedua muatan ini pasti terdapat beda potensial. Satuan dasar beda potensial adalah volt (V). Karena satuan inilah beda potensial  $V$  sering disebut sebagai voltage atau tegangan

$$P = V.I$$

dengan:

$P$  = Daya keluaran (Watt)

$V$  = Tegangan keluaran (Volt)

$I$  = Arus (Ampere)

## 2.8 Deklinasi

Yang disebut dengan deklinasi (declination) adalah jarak sudut antara sebuah benda langit dengan khatulistiwa langit. Oh, pernah mendengar khatulistiwa langit? Khatulistiwa langit merupakan proyeksi khatulistiwa bumi terhadap bola langit. Kalau diasumsikan bahwa langit berbentuk bola jadi deklinasi itu analog dengan lintang di bumi yang diprojektikan ke bola langit. Untuk benda langit di utara memakai tanda positif sedangkan jika benda berada di belahan langit selatan maka negative. Sama halnya dengan di bumi, titik di utara ekuator mempunyai nilai lintang positif dan titik di selatan mempunyai nilai lintang negatif.

Equation of time dalam bahasa Indonesia sering disebut dengan istilah perata waktu. Equation of time adalah dalam bahasa Arab disebut dengan ta'dil al-syam, yaitu selisih antara waktu kulminasi matahari hakiki dengan waktu matahari rata-rata. Dalam perhitungan astronomi biasanya disimbolkan dengan huruf "e" dan diperlukan misalnya dalam menghitung waktu shalat, menghitung arah kiblat yang menggunakan sudut deklinasi matahari, dan juga dalam perhitungan awal bulan. Data-data deklinasi dan equation of time tentu tidak semata digunakan untuk melayani keperluan falak syar'i seperti yang disebutkan di atas, tetapi juga diperlukan dalam berbagai perhitungan astronomi lainnya.

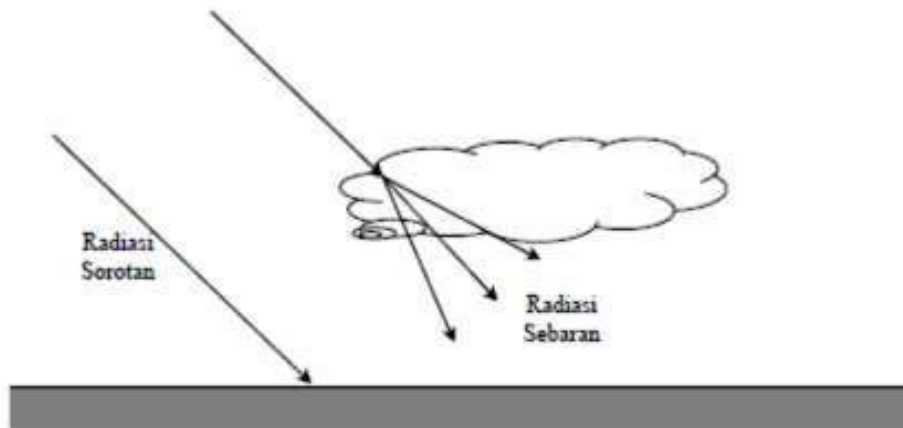
Data astronomi tentang deklinasi dan equation of time ada yang diterbitkan dalam bentuk buku seperti Nautical Almanac, Ephemeris Hisab Rukyat, dan lain-lain. Tetapi karena memuat data astronomi yang banyak maka bukunya pun tebal dan "tidak enak" untuk dibawa kemana-mana. Padahal bagi seorang yang dipandang mengerti ilmu falak sewaktu-waktu bisa diminta membantu masyarakat untuk melakukan perhitungan terkait dengan keperluan ibadah, seperti waktu shalat, arah kiblat dan sebagainya. Tanpa buku yang memuat data astronomi tersebut tentu akan kesulitan menentukan nilai-nilai yang akan di input ke dalam rumus-rumus perhitungan. Maka salah satu cara untuk memudahkan adalah dengan membuat program yang akan membantu menentukan nilai-nilai yang dibutuhkan dalam perhitungan, yaitu nilai deklinasi matahari dan equation of time pada tanggal tertentu.

Rumus menentukan deklinasi matahari

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (N - 81) \right]$$

## 2.9 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi

Konstanta radiasi matahari sebesar 1353 W/m<sup>2</sup> dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang-gelombang pendek (ultraviolet) sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran.



Gambar 2.8 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi  
(Yuwono Budi, 2015)

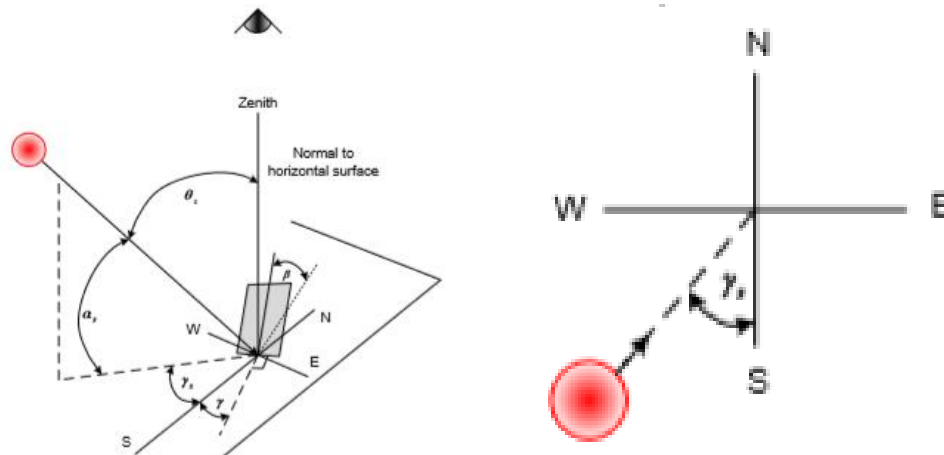
Besarnya radiasi harian yang diterima permukaan bumi ditunjukkan pada grafik gambar 2.8. Pada waktu pagi dan sore radiasi yang sampai permukaan bumi intensitasnya kecil. Hal ini disebabkan arah sinar matahari tidak tegak lurus dengan permukaan bumi (membentuk sudut tertentu) sehingga sinar matahari mengalami peristiwa difusi oleh atmosfer bumi.

### 2.9.1 Pengaruh Gerakan Matahari Terhadap Energi Surya

Photovoltaic cell selalu dilapisi oleh penutup yang berasal dari gelas, maka optical input dari photovoltaic cell juga sangat dipengaruhi oleh orientasinya terhadap matahari karena variasi sudut dari pantulan gelas.

### 2.9.2 Arah radiasi

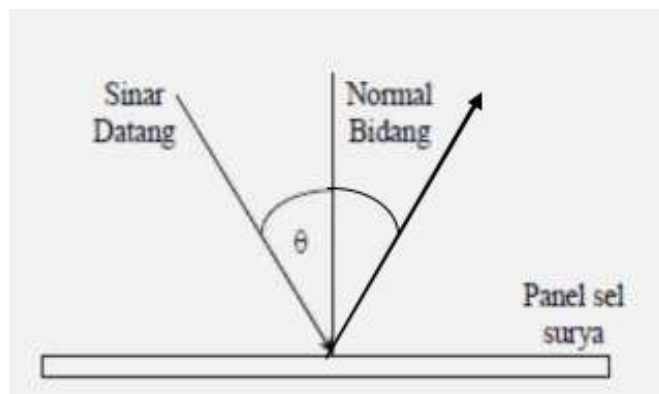
Karena garis edar semu matahari di angkasa cukup kompleks, maka akan dikenal beberapa sudut untuk mendefinisikannya. Beberapa sudut akan didefinisikan pada Gambar 2.10



Gambar 2.9 Sudut-Sudut Sinar Dan Posisi Mataharislope B Adalah Sudut Antara Permukaan Yang Dianalisis Dengan Horizontal.

### 2.9.3 Pengaruh Sudut datang terhadap Radiasi yang diterima

Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang (*angle of incidence*) yaitu sudut antara arah sinar datang dengan komponen tegak lurus bidang panel.



Gambar 2.10 Arah sinar datang membentuk sudut terhadap normal bidang panel sel surya (Yuwono Budi, 2015)

Panel akan mendapat radiasi matahari maksimum pada saat matahari tegak lurus dengan bidang panel. Pada saat arah matahari tidak tegak lurus dengan bidang panel atau membentuk sudut  $\theta$  seperti gambar 2.10 maka panel akan menerima radiasi lebih kecil dengan faktor  $\cos \theta$ .

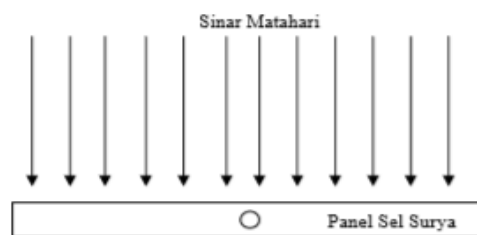


#### 2.9.4 Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Terhadap Radiasi Rata-Rata Matahari

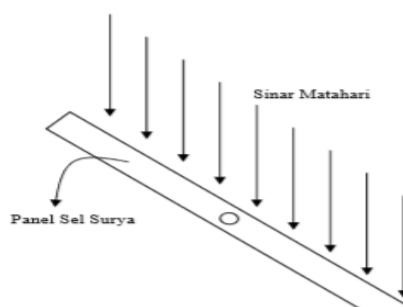
Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh panel surya sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh system *photovoltaic*, semakin besar intensitas radiasi yang diterima maka daya yang dapat dihasilkan oleh sistem juga semakin besar karena energi matahari merupakan sumber utama dari pembangkitan menggunakan teknologi *photovoltaic*. Daya keluaran sistem *photovoltaic* dapat dimaksimalkan dengan menggunakan peralatan kontrol tambahan seperti PWM atau MPPT dan juga dapat dilakukan dengan memaksimalkan besar intensitas matahari yang dapat diterima oleh panel surya. Pada penelitian ini daya keluaran *photovoltaic* dilakukan dengan cara memaksimalkan radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel surya. Salah satu cara untuk memaksimalkan intensitas radiasi matahari adalah dengan menempatkan panel surya dengan sudut kemiringan yang paling tepat agar dapat menerima radiasi matahari yang paling tinggi.

#### 2.9.5 Pengujian Pengaruh Sudut Datang terhadap Keluaran Sel Surya

Pada penelitian ini pertama dilakukan adalah pengujian pengaruh sudut datang matahari terhadap keluaran sel surya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sudut datang matahari dan juga seberapa besar pengaruh sudut tersebut dapat diabaikan. Cara pengujian dilakukan seperti gambar 2.11



(a)



(b)

Gambar 2.11 Pengujian pengaruh arah sudut matahari terhadap keluaran selsurya (a) arah sinar tegak lurus panel (b) arah sinar membentuk sudut tertentu Pemasangan sebuah panel sel surya dengan posisi tegak lurus terhadap sinar matahari seperti gambar 2.11a dilakukan untuk mengetahui keluaran maksimum, sedangkan untuk mengetahui pengaruh arah sinar matahari terhadap keluaran panel dilakukan dengan merubah arah panel sel surya tiap  $0^\circ$ ,  $40^\circ$  hingga mencapai sudut  $60^\circ$  terhadap sudut datang matahari seperti gambar 2.11b. Dari langkah-langkah tersebut dapat diketahui pengaruh arah sinar matahari terhadap keluaran panel sel surya.

#### 2.9.6 Pengambilan Data Posisi/Sudut Matahari

Pengambilan data posisi/sudut matahari sangat diperlukan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pergeseran sudut matahari pada selang waktu tertentu. Pengambilan data ini dilakukan pukul 08.00 hingga pukul 17.00. Hasil yang diperoleh pada langkah ini digunakan untuk perhitungan besar pergeseran arah panel sel setiap tiga puluh menit sekali.

#### 2.10 Road Map Penelitian

Road map penelitian panel surya di gedung D Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Tabel 2.1 Road Map Penelitian

No	Judul	Nama Penulis	NPM
1	Perencanaan dan pembuatan pembangkit tenaga surya di Gedung D Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Rizki Fadillah	1507230182
2	Variasi kemiringan sudut terhadap efektifitas kinerja panel surya	Yoga Pradona	1507230194
3	Penerapan system otomasi pada panel surya mengikuti arah gerak matahari untuk memaksimalkan kinerja panel surya	Fahrul Rozi	1507230137
4	Analisis pemanfaatan panel surya dalam penghematan daya listrik di gedung D Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Bayu Anggara	1507230163

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1. Tempat dan Waktu

#### 3.1.1 Tempat

Tempat di laksanakan nya kegiatan penelitian ini yaitu di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl. Kapten Muktar Basri No.3 Medan, 20238.

#### 3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu di mulai tanggal di sahkannya usulan judul penelitian oleh Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan akan di kerjakan selama kurang lebih 6 bulan sampai di nyatakan selesai.

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Waktu (bulan)							
		Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September
1	Pengajuan Judul	■							
2	Studi Litelatur	■							
3	Desain Alat		■						
4	Perakitan Alat			■					
5	Pengujian Alat				■				
6	Pengolahan Data				■	■			
7	Penulisan Laporan				■	■	■	■	■
8	Seminar dan Sidang							■	■

### 3.2 Bahan dan Alat

#### 3.2.1 Bahan

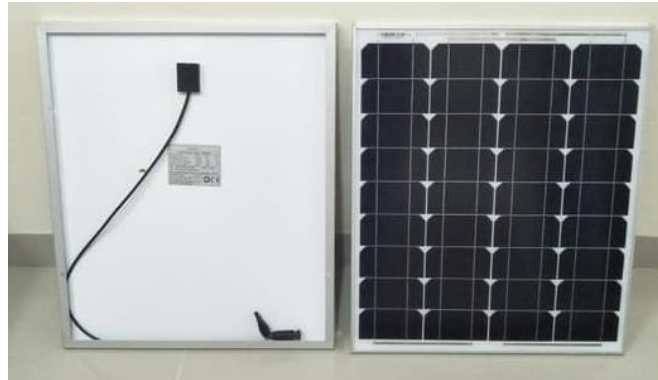
Adapun bahan yang di gunakan dalam pembuatan alat ini adalah sebagai berikut :

##### 1. Panel Surya

Panel surya digunakan untuk mengubah cahaya menjadi listrik. Panel surya yang di gunakan dalam penelitian ini adalah type *monocrystalline* 50 watt dengan spesifikasi keseluruhan dari solar cell sebagai berikut :

- Maks. Daya (Pmax) : 50Watt

- Maks. Tegangan Listrik ( $V_{mp}$ ) : 18 Volt
- Tegangan Sirkuit Terbuka ( $V_{oc}$ ) : 21 Volt
- Maks. Arus Daya ( $I_{mp}$ ) : 2.7 Ampere
- Modul Operasi Temperatur :  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga  $+85^{\circ}\text{C}$
- Dimensi :  $630 \times 540 \times 18$  mm



Gambar 3.1 Panel Surya

## 2. Charger Controller

Charger controller digunakan sebagai pengatur arus listrik (*current regulator*) baik terhadap arus yang masuk dari panel surya maupun arus beban keluar / digunakan. Charger controller yang digunakan pada penelitian type PWM (*pulse width modulation*) dengan nilai tegangan  $12\text{V}/24\text{V}$  dan maksimal input arus surya  $30\text{A}$ .



Gambar 3.2 Charger Controller

## 3. Baterai

Baterai digunakan sebagai penyimpan daya listrik yang dihasilkan dari panel surya setelah penyerap cahaya matahari menjadi listrik. Baterai yang digunakan pada penelitian ini menggunakan baterai mobil gs astra type gs hybrid 36B20L NS40ZL 12V 35Ah.



Gambar 3.3 Baterai

#### 4. Inverter

Inverter digunakan untuk mengkonversikan daya listrik dari listrik arus searah DC (baterai) ke daya listrik arus bolak balik AC (*alternating current*). Inverter yang di gunakan pada penelitian ini inverter 500W 12V type (Suocer SDA-500) mengubah daya listrik 12V menjadi daya listrik 220V, sehingga cocok untuk penggunaan berbagai alat electronic.



Gambar 3.4 Inverter

#### 5. Lampu

Lampu digunakan sebagai hasil output yang dihasilkan dari baterai setelah proses charging dari panel surya.



Gambar 3.5 Lampu

## 6. Kabel

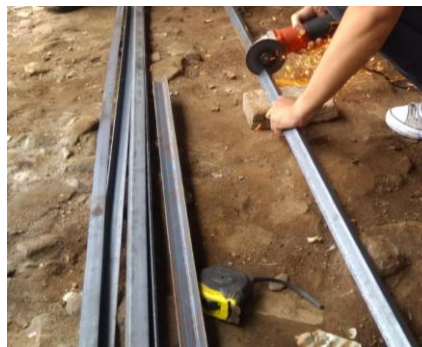
Kabel digunakan untuk menghubungkan arus yang dihasilkan dari panel surya menuju charger controller lalu menuju ke baterai untuk di simpan arus tersebut. Kabel yang di gunakan pada penelitian jenis kabel nyhy (2x2,5mm).



Gambar 3.6 Kabel

## 7. Besi Plat

Besi plat digunakan untuk rangka panel surya dan komponen lainnya. Besi yang digunakan untuk rangka panel surya yaitu besi siku (30x30mm), besi hollow (25x25mm), dan besi plat lidah (4x2,5mm).



Gambar 3.7 Besi

## 8. Baut dan Mur

Baut dan mur digunakan untuk memasang besi-besi rangka panel dan komponen-komponen lainnya.



Gambar 3.8 Baut dan Mur

### 3.2.2. Alat-alat

Adapun alat-alat yang di gunakan pada saat pengambilan data adalah sebagai berikut:

#### 1. Multimeter

Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya pada saat pengujian. Multimeter yang di gunakan adalah Digital Multimeter DT830B.



Gambar 3.9 Multimeter

#### 2. Infrared Thermometer

Infrared Thermometer adalah alat ukur digunakan untuk mengukur tempratur pada panel surya pada saat pengujian dilakukan. Thermometer yang di gunakan adalah Thermometer Infra Merah Laser OC-305C. Dapat mengukur suhu mulai dari  $-33^{\circ}\text{C}$  hingga  $400^{\circ}\text{C}$



Gambar 3.10 Infrared Thermometer

### 3. Digital Lux Meter

Digital Lux Meter digunakan untuk mengetahui intensitas radiasi matahari yang dihasilkan dari pancaran sinar matahari pada saat pengujian dilakukan. Digital lux meter yang di gunakan adalah tipe YH611 digital lux meter



Gambar 3.11 Digital Lux Meter

### 4. Mesin Las

Mesin las digunakan untuk menyambung besi menjadi satu rangkaian untuk rangka panel surya dan komponen lainnya. Mesin las yang di gunakan pada pembuatan alat adalah Mesin Trafo Las MMA tipe Falcon 120e.



Gambar 3.12 Mesin Las



#### 5. Mesin Gerinda

Mesin gerinda digunakan untuk mengasah/memotong besi-besi untuk membuat rangka panel dan komponen lainnya. Mesin gerinda yang di gunakan pada penelitian ini mesin gerinda tangan tipe MT90.



Gambar 3.13 Mesin Gerinda

#### 6. Mesin Bor

Mesin bor digunakan untuk melubangi besi rangka panel dan komponen lainnya. Mesin bor yang di gunakan pada pembuatan alat penelitian mesin bor Stanley type STEL 101.



Gambar 3.14 Mesin Bor

#### 7. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur besi dalam pembuatan rangka rangka panel dan komponen lainnya.



Gambar 3.15 Meteran

8. Obeng

Obeng digunakan untuk memasang baut dan komponen lainnya pada saat perakitan alat.



Gambar 3.16 Obeng

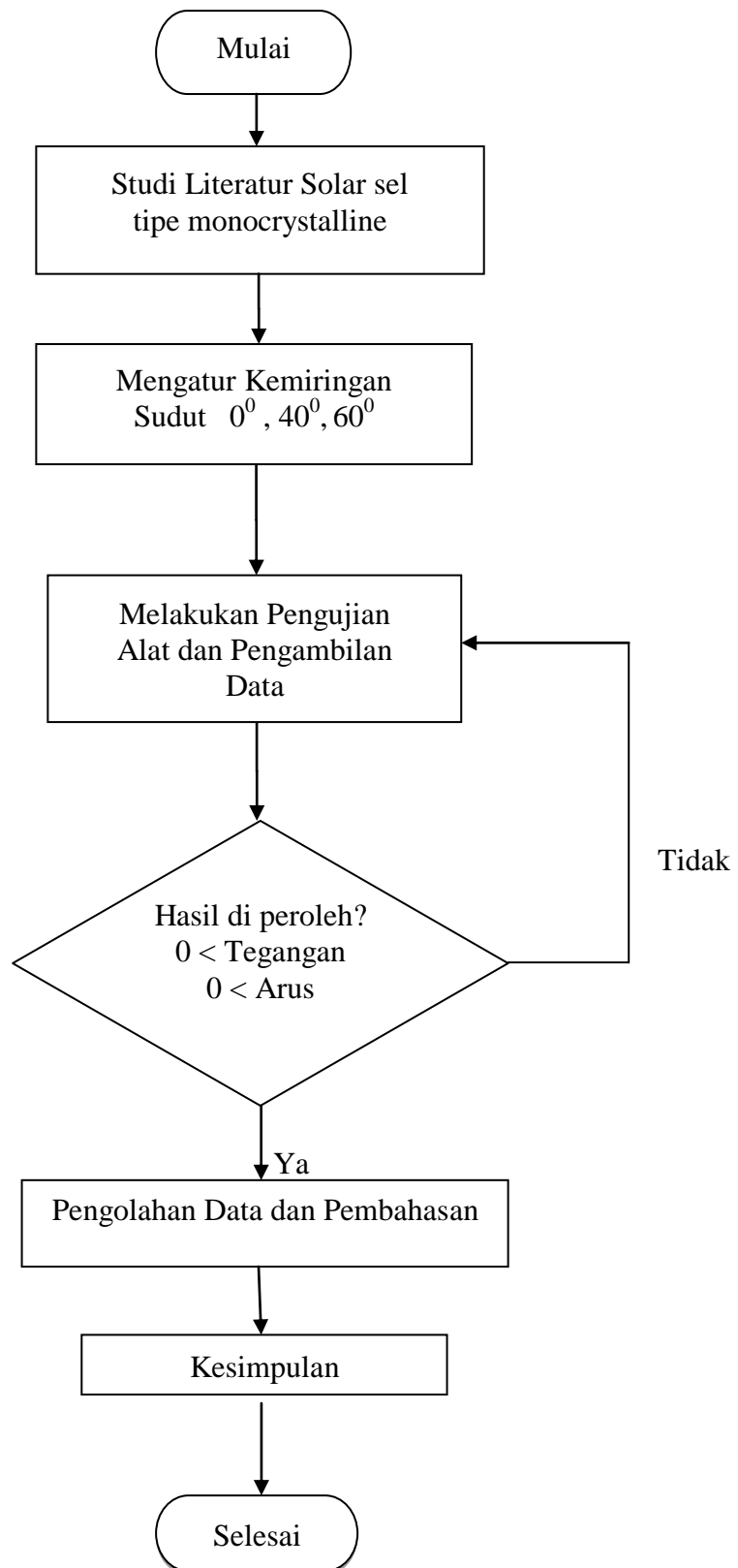
9. Kunci Ring Pas

Kunci pas ring digunakan untuk memasang baut pada kerangka panel dan komponen lainnya.



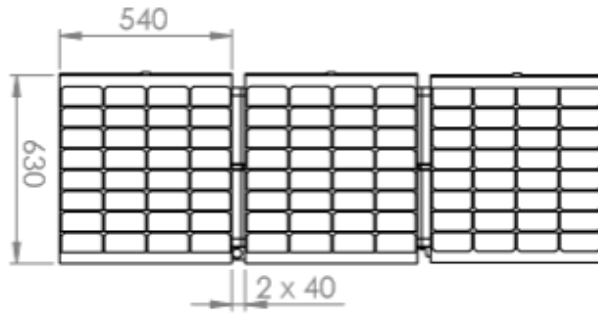
Gambar 3.17 Kunci Ring Pas

### 3.3. Bagan Alir Penelitian

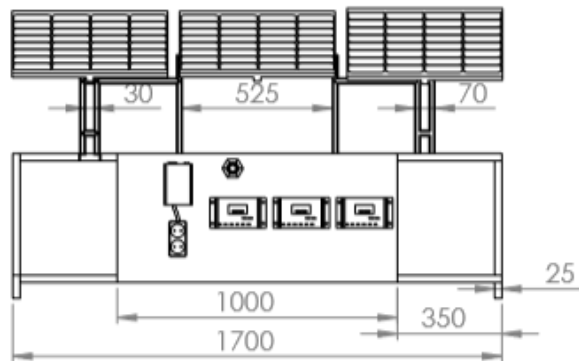


Gambar 3.18 Bagan Alir Penelitian

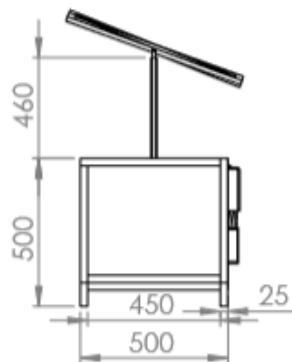
### 3.4. Rancangan Alat Penelitian



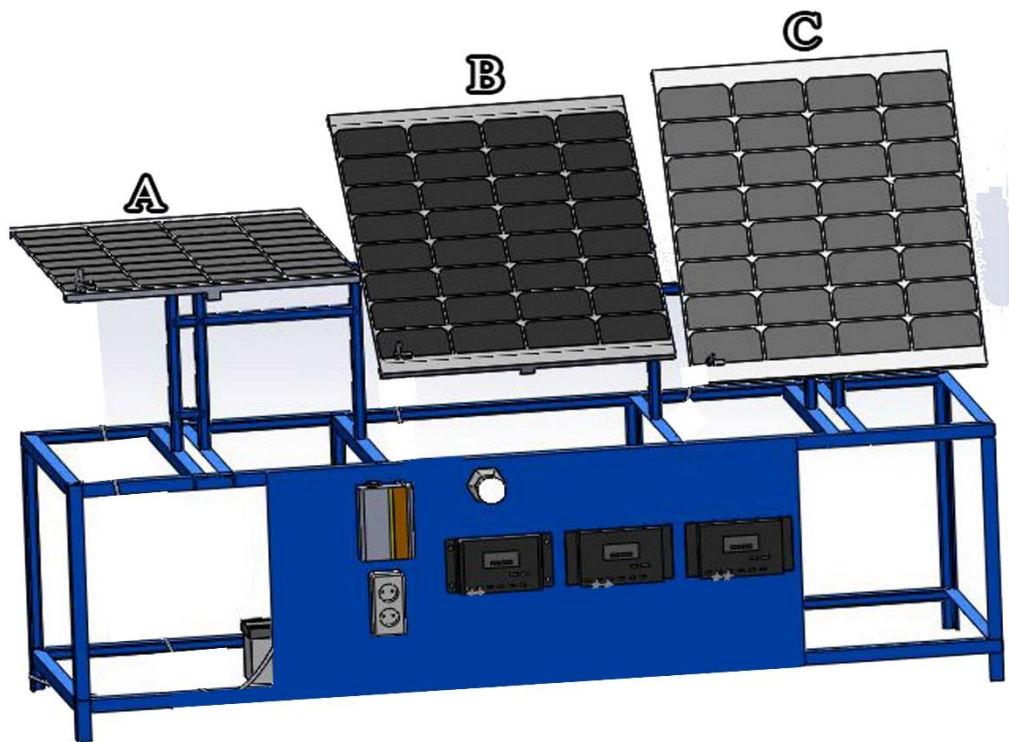
Gambar 3.19 Pandangan Atas



Gambar 3.20 Pandangan Depan



Gambar 3.21 Pandangan Samping



Gambar 3.22 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Keterangan :

1. Panel Surya
2. Charger Controler
3. Baterai
4. Inverter
5. Lampu

3.5. Prosedur Penelitian.

3.5.1. Langkah-langkah Pemasangan Alat

Adapun langkah-langkah perakitan komponen-komponen PLTS adalah sebagai berikut :

1. Memasang triplek sebagai dudukan charger controller, inverter, dan komponen lainnya seperti yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 3.23 Memasang Triplek

2. Memasang tiang peyangga dudukan panel surya seperti yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 3.24 Memasang Tiang Panel

3. Memasang panel surya ke tiang dudukan yang terpasang di kerangka yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 3.25 Memasang Panel

4. Memasang charger controller dan inverter ke triplek yang sudah terpasang di kerangka seperti yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 3.26 Memasang Charger Controler

5. Memasang baterai dan kabel penghubung keseluruhan komponen seperti yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 3.27 Memasang Baterai

6. Mengatur sudut kemiringan panel dengan sudut  $0^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  sebelum pengujian seperti yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 3.28 Mengatur Sudut Kemiringan.

### 3.5.2. Langkah-Langkah Pengujian

Adapun langkah-langkah pengujian PLTS adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengujian panel surya di tempat terbuka yang mendapat sinar matahari, pengujian dilakukan dari jam 07.30 wib hingga 17.00 wib.



Gambar 3.29 Pengujian Panel di Tempat Terbuka

2. Mengukur intensitas radiasi matahari yang di hasilkan pancaran sinar matahari seperti di tunjukan pada gambar.



Gambar 3.30 Mengukur Intensitas Matahari

3. Mengukur temperatur pada panel surya seperti di tunjukan pada gambar.



Gambar 3.31 Mengukur Temperatur

4. Mencatat hasil pengujian panel surya dengan sudut  $0^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  dari jam 07.30 wib hingga 17.00 wib.





Gambar 3.32 Mencatat Hasil Pengujian Panel Surya

5. Setelah pengujian dilakukan membersihkan lokasi pengujian dan merapikan alat-alat yang telah digunakan.

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Tegangan, Arus dan Daya

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pengaruh sudut datang matahari terhadap keluaran sel surya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sudut datang matahari dan juga seberapa besar pengaruh sudut tersebut dapat diabaikan. Cara pengujian dilakukan seperti Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pengujian pengaruh arah sudut matahari terhadap keluaran sel surya arah sinar membentuk sudut tertentu.

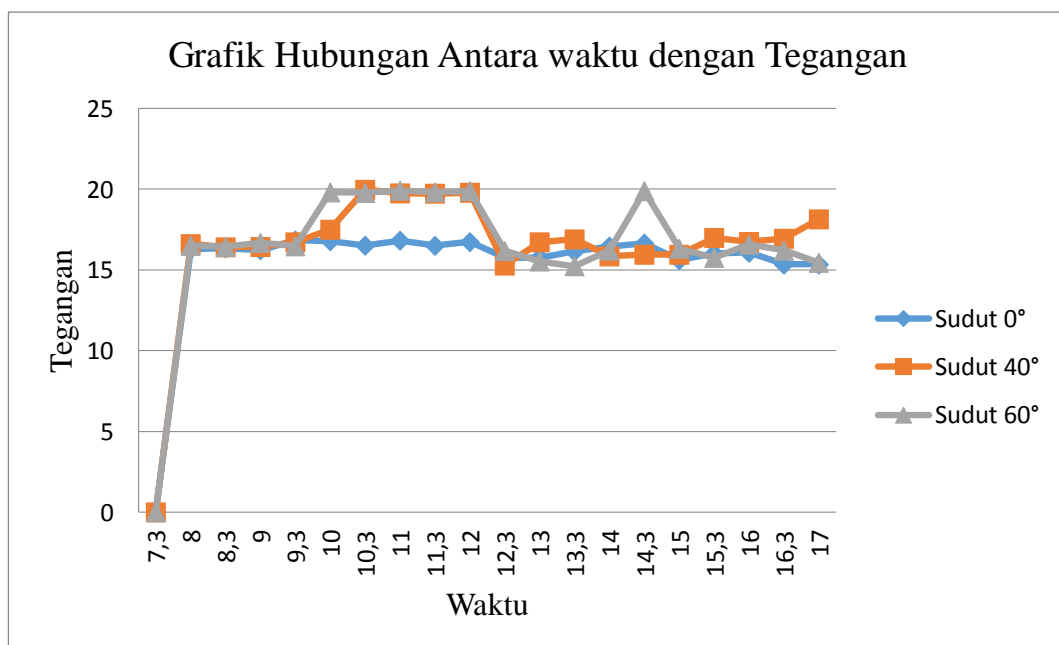
Pemasangan sebuah panel sel surya dengan merubah posisi arah panel sel surya tiap  $0^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$  hingga mencapai sudut  $60^{\circ}$  terhadap sudut datang matahari seperti Gambar di atas. Dari langkah-langkah tersebut dapat diketahui pengaruh arah sinar matahari terhadap keluaran panel sel surya. Pengambilan data posisi/sudut matahari sangat diperlukan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pergeseran sudut matahari pada selang waktu tertentu. Pengambilan data ini dilakukan pukul 07.30 hingga pukul 17.00. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1 dengan menggunakan data pada Tabel 4.1 diatas dapat dibuatkan grafik hubungan antara tegangan rangkaian terbuka terhadap waktu, seperti pada Gambar 4.1

Tabel 4.1 Pengujian Tanggal 07 Mei 2019

No	Jam	Posisi Sudut Panel $0^{\circ}$			Posisi Sudut Panel $40^{\circ}$			Posisi Sudut Panel $60^{\circ}$		
		Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (P)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (P)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (P)
1	07.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	8	16.29	0.8	13.03	16.61	0.9	14.95	16.5	2.3	37.95
3	8.3	16.35	1	16.35	16.41	2.6	42.67	16.43	2.1	34.5
4	9	16.23	1	16.23	16.43	2.4	39.43	16.68	1.6	26.69
5	9.3	16.83	1.5	25.24	16.72	3.4	56.89	16.47	2.2	36.23

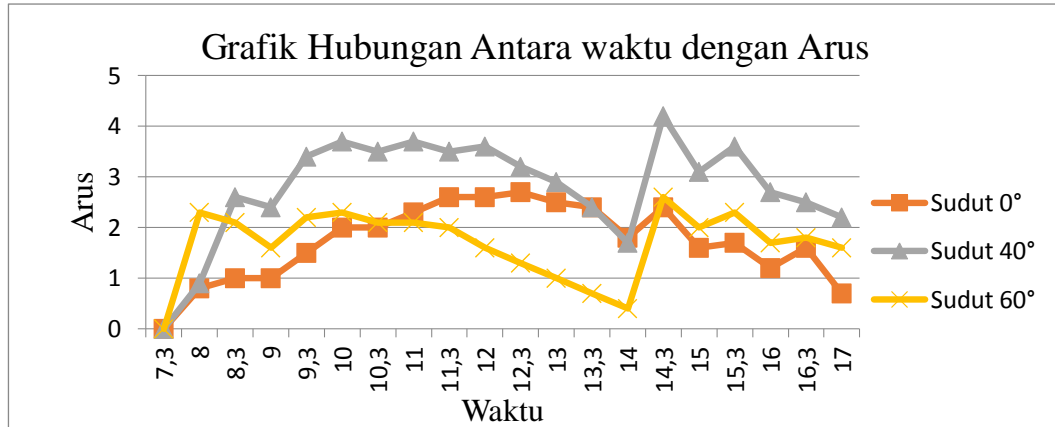
6	10	16.79	2	33.58	17.5	3.7	64.75	19.81	2.3	45.56
7	10.3	16.51	2	33.02	19.97	3.5	69.89	19.78	2.1	41.54
8	11	16.82	2.3	38.68	19.75	3.7	73.07	19.92	2.1	41.83
9	11.3	16.5	2.6	42.9	19.73	3.5	69.05	19.82	2	39.64
10	12	16.73	2.6	43.49	19.79	3.6	71.24	19.89	1.6	31.82
11	12.3	15.76	2.7	42.55	15.28	3.2	48.9	16.18	1.3	21.03
12	13	15.76	2.5	39.4	16.72	2.9	48.49	15.53	1	15.53
13	13.3	16.14	2.4	38.73	16.9	2.4	40.56	15.24	0.7	10.67
14	14	16.46	1.8	29.63	15.85	1.7	26.94	16.21	0.4	6.48
15	14.3	16.64	2.4	39.94	15.95	4.2	66.99	19.89	2.6	51.71
16	15	15.61	1.6	24.98	15.95	3.1	49.44	16.32	2	32.64
17	15.3	16.02	1.7	27.23	16.99	3.6	61.16	15.76	2.3	36.25
18	16	16.07	1.2	19.28	16.74	2.7	45.2	16.57	1.7	28.17
19	16.3	15.34	1.6	24.54	16.94	2.5	42.35	16.2	1.8	29.16
20	17	15.34	0.7	10.74	18.14	2.2	39.91	15.45	1.6	24.72
Total		308.1	34.	477.3	328.3	55.	971.8	328.6	33.	592.1
		9	4	7	7	8	8	5	7	2
Rata-rata		15.40	1.7	26.52	16.41	2.7	48.59	16.43	1.6	29.60
		95	2	0	85	9	4	25	85	6

Tabel di atas adalah hasil dari pengujian untuk mengetahui perbandingan tegangan, arus dan daya yang di hasilkan dari tiga sudut kemiringan yaitu 0° 40° 60°. Tabel tersebut hasil pengujian hari ke empat pada tanggal 07 mei 2019. Yang Mulai pukul 07.30 sampai 17.00 wib. Untuk melihat hasil perbandingan tegangan arus dan daya maka dapat di lihat pada gambar.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Jam dengan Tegangan

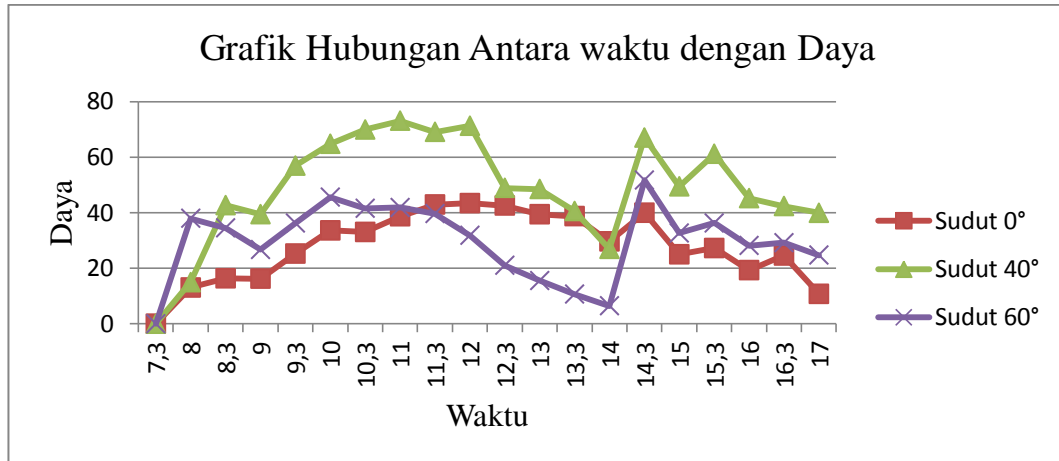
Dari grafik pada Gambar 4.1 dapat di lihat bahwa tegangan maksimum yang dihasilkan oleh sudut kemiringan  $0^\circ$  adalah 16,83 V dan tegangan minimum yang dihasilkan adalah 15,34 V, dan tegangan rata-rata adalah 15,41 V. pada tegangan yang di dihasilkan pada sudut  $0^\circ$  tidak begitu tinggi di bandingkan sudut  $40^\circ$  dan  $60^\circ$ . Sedangkan tegangan maksimum yang dihasilkan oleh sudut  $40^\circ$  naik sekitar pukul 10.00 sampai dengan 12.00, namun turun dari jam 12.30 sampai 13.00 namun ada kenaikan tegangan dari jam 14.00 karena panel pindah posisi ke arah barat. Dari pengolahan data hasil penelitian selama 1 hari di dapatkan tegangan maksimal adalah 19,97 V sedangkan tegangan minimum yang dihasilkan adalah 15,28 V, dan tegangan rata-ratanya adalah 16,41 V. Dan tegangan maksimum yang di hasil sudut  $60^\circ$  naik sekitar pukul 10.00 sampai dengan 12.00, namun turun dari jam 12.30 sampai 13.00 dan naik lagi tegangan jam 14.00 karena panel surya pindah posisi sudut ke arah barat, tegangan maksimum yang di dihasilkan adalah 19,92 V sedangkan tegangan minimum yang dihasilkan adalah 15,45 V dan tegangan rata-ratanya adalah 16,43. Maka tegangan yang dihasilkan dari 3 sudut yang paling maksimal adalah sudut kemiringan  $60^\circ$ .



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Jam dengan Arus

Grafik di atas menjelaskan pergerakan naik turunnya arus dengan waktu yang di peroleh masing masing sudut kemiringan  $0^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $60^\circ$ . Dengan pengambilan data per setengah jam sekali . Di pukul 8.00 yang memiliki nilai tertinggi yaitu sudut kemiringan  $60^\circ$  2,3 Ampere dan kemudian memasuki pukul 8.30 arus tertinggi di sudut  $40^\circ$  2,6 Ampere di jam seterusnya sampai pada pukul 13.00 nilai yang di dihasilkan oleh sudut kemiringan  $40^\circ$  sangat efisien, walaupun pergerakannya turun naik tetapi pada jam yang sama di sudut  $0^\circ$  dan  $60^\circ$  tidak ada

satu pun nilai yang bisa mendekati nilai di kemiringan sudut  $40^\circ$  kemungkinan pada waktu itu posisi panel berhadapan langsung dengan matahari dan memasuki pukul 14.00 nilai yang di hasilkan oleh sudut  $0^\circ$  namun nilai tersebut hanya berbanding tipis saja dengan kedua sudut tersebut dan kemudian naik kembali naik di sudut  $40^\circ$  pada pukul 14.30 sampai 17.00



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Jam dengan Daya

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa grafik tersebut menampilkan perbandingan daya hasil pengujian dari jam 07.30 sampai 17.00 dengan sudut kemiringan  $0^\circ$ ,  $40^\circ$  dan  $60^\circ$ . dapat di lihat pada grafik bahwa daya yang dihasilkan oleh sudut  $0^\circ$  dari pukul 08.00 sampai 12.00 selalu meningkat, namun dari pukul 12.00 sampai 17.00 mengalami penurunan daya yang hasilkan hanya saja naik pada pukul 14.30. daya maksimum yang dihasilkan adalah 43,49 watt sedangkan daya minimum yang dihasilkan adalah 13,03 watt, dan daya rata-ratanya adalah 26,52 watt. Untuk daya maksimal yang di hasilkan pada sudut  $40^\circ$  dari pukul 08.00 sampai 11.00, sedangkan dari pukul 11.30 daya yang di hasilkan semakin menurun hingga pukul 14.00, namun pukul 14.30 daya tinggi lagi karena posisi panel surya pindah kearah barat yang sebelum arah timur mulai pukul 07.30 sampai 14.00, daya maksimum yang dihasilkan adalah 73,07 watt sedangkan daya minimum yang dihasilkan adalah 14,95 watt, dan daya rata-ratanya adalah 48,59 watt. Sedangkan daya yang dihasilkan pada sudut  $60^\circ$  tidak begitu maksimal dapat lihat pada grafik bahwa daya maksimum yang dihasilkan adalah 51,71 watt sedangkan daya minimum yang dihasilkan adalah 6,48 watt, dan daya rata-ratanya adalah 29,60 watt. Maka daya yang di hasil dari 3 sudut yang optimal adalah sudut  $40^\circ$ .

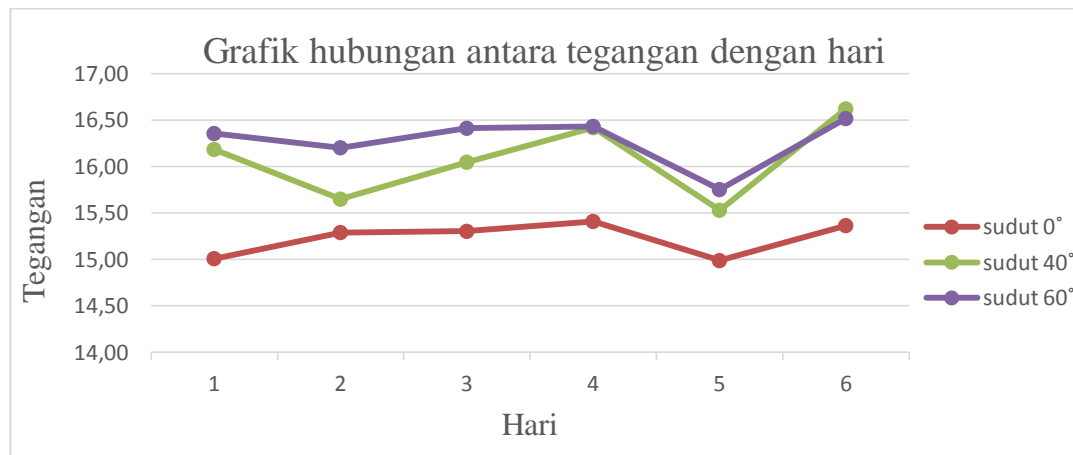
#### 4.2 Hasil Pengujian Selama 6 Hari Untuk Mengetahui Sudut Yang Paling Efektif

Untuk mengetahui sudut yang paling efektif pada variasi sudut kemiringan dengan memasukan nilai rata rata selama enam hari pengujian pada tegangan arus dan daya.

Tabel 4.2 Hubungan Antara Tegangan (Volt) dengan Hari

Hari	sudut 0°	sudut 40°	sudut 60°
1	15.01	16.18	16.36
2	15.29	15.65	16.20
3	15.30	16.05	16.41
4	15.41	16.42	16.43
5	14.99	15.53	15.75
6	15.37	16.62	16.52

Tabel di atas menjelaskan tentang hubungan antara tegangan dengan hari yang di ambil dari hasil proses pengujian selama 6 hari dengan kemiringan sudut 0° 40° 60°. Data di tiap masing-masing sudut di ambil dari nilai rata rata yang di hasilkan selama proses pengujian 6 hari.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Tegangan dengan Hari

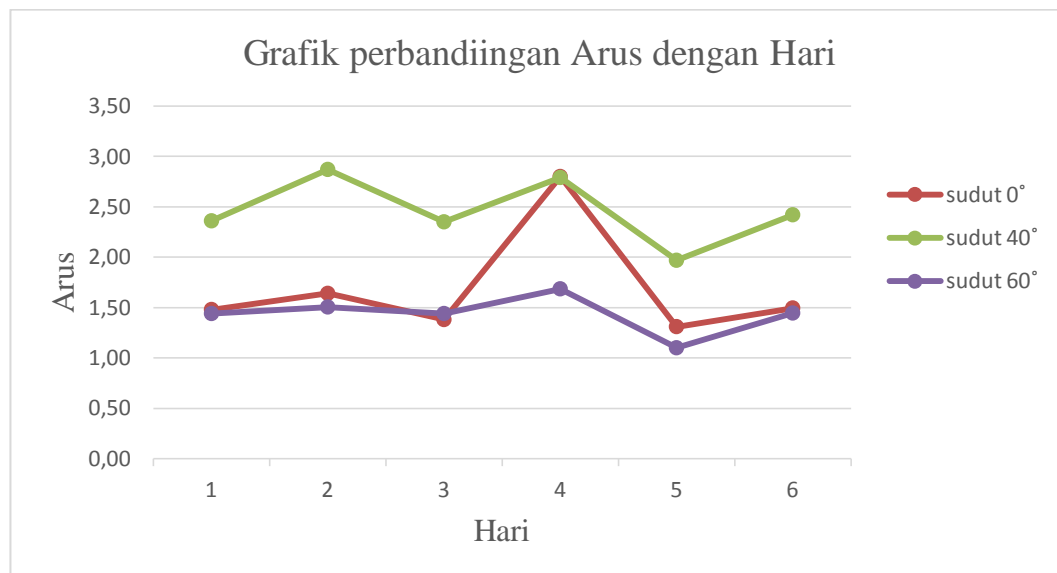
Grafik di atas di lampirkan untuk mengetahui perbandingan tegangan berdasarkan 3 sudut yaitu sudut kemiringan 0, 40, 60, data di ambil dari pengujian selama 6 hari yang di kutip hanya nilai rata-rata dalam perhari. Pada hari pertama tegangan pada sudut 0° 15,01 Volt, sudut 40° 16,18 Volt dan sudut 60° 16,36 Volt. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa tegangan paling tinggi pada sudut kemiringan 60°. Di hari ke dua dengan kemiringan sudut 0° 15,29 Volt, 40° 15,65 Volt dan 60° 16,20 Volt tegangan tertinggi di peroleh sudut 40. Kemudian di hari ke tiga dengan sudut kemiringan 0° 15,30 Volt, 40° 16,05 Volt, dan 60° 16,41

Volt tegangan tertinggi pada sudut 60°. Di hari ke empat pada sudut 0° 15,41 Volt, 40° 16,42 Volt dan 60° 16,43 Volt tegangan tertinggi di sudut kemiringan 60°. Kemudian di hari ke lima pada kemiringan sudut 0° 14,99 Volt dan 40° 15,53 Volt 60° 15,75 Volt tegangan tertinggi di dapat Pada sudut kemiringan 60 15,75 Volt. Di hari ke enam pada sudut kemiringan 0° 15,37 40° 16,62 dan 60° 16,52 Volt tegangan tertinggi di sudut kemiringan 60°.

Tabel 4.3 Hubungan Antara Arus (Ampere) dengan Hari

Hari	sudut 0°	sudut 40°	sudut 60°
1	1.48	2.36	1.44
2	1.64	2.87	1.51
3	1.38	2.35	1.44
4	2.80	2.79	1.69
5	1.31	1.97	1.10
6	1.50	2.42	1.45

Tabel di atas menjelaskan tentang hubungan antara arus dengan hari yang di ambil dari hasil proses pengujian selama 6 hari dengan sudut kemiringan 0° 40° 60°. Data di tiap masing masing sudut dari nilai rata rata yang di hasilkan selama proses pengujian 6 hari.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Arus dengan Hari

Grafik di atas di lampirkan untuk mengetahui perbandingan arus berdasarkan 3 sudut yaitu sudut kemiringan 0°, 40°, 60°, derajat data di ambil dari pengujian selama 6 hari yang di kutip hanya nilai rata-rata dalam perhari. Di hari pertama arus yang di hasilkan pada sudut 0° 1,48 Ampere . 40° 2,36 Ampere. dan 60° 1,44 Ampere. Nilai tertinggi di peroleh sudut 40° bisa di lihat pada pergerakan

grafik yang menunjukkan bahwa pada sudut kemiringan 40° jauh lebih efisien karena di hari pertama kedua ketiga sampai hari ke enam pengujian arus yang di terima sangat stabil namun hanya saja di hari empat dan kelima arus yang di hasilkan oleh sudut 0° sedikit lebih tinggi hanya berbanding tipis dengan sudut kemiringan 40° dengan nilai yang di terima oleh sudut 0° 2,80 Ampere . Dan 40° 2,79 Ampere . Begitu juga pada hari ke lima arus yang di terima oleh sudut 0°, 40°, 60°. Sama-sama mengalami penurunan namun tetap saja lebih di sudut kemiringan 40°. Kemungkinan pada saat itu cuaca dalam ke adaan mendung yang menghambat penyerapan panel sehingga arus yang di hasilkan oleh masing-masing sudut tidak terlalu begitu maksimal. Bisa di tarik kesimpulan pada grafik di atas menjelaskan bahwa pada skemiringan sudut 40° jauh lebih efisien di banding dengan sudut 0° dan 60° yang perharinya bisa menghasilkan nilai rata-ratanya mencapai 2,87 Ampere.

#### 4.2.1. Perhitungan Daya yang di Hasilkan

Untuk mengetahui daya yang di hasilkan panel surya berdasarkan sudut kemiringan 0°, 40° dan 60° di ambil data dari pengujian selama 6 hari dapat di lihat pada tabel 4.4. Dari data rata-rata tegangan dan arus perharimaka dapat hasilkan daya pada sudut 0°, 40°, 60° dapat di hitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$P = V \cdot I$$

dimana :

$$P = \text{Daya (Watt)}$$

$$V = \text{Tegangan (Volt)}$$

$$I = \text{Arus (Ampere)}$$

➤ Sudut 0° hari pertama

$$\text{Dik : Rata-rata } V = 15,01$$

$$I = 1,48$$

$$P = 15,01 \times 1,48 = 22,214 \text{ Watt (rata-rata perhari)}$$

Maka dari sudut 0° dapat menghasilkan daya sebesar 22,214 Watt

➤ Sudut 40° hari pertama

$$\text{Dik : Rata-rata } V = 16,18$$

$$I = 2,36$$

$$P = 16,18 \times 2,36 = 38,184 \text{ Watt. (rata-rata perhari)}$$



Maka dari sudut 40° dapat menghasilkan daya sebesar 38,184 Watt.

➤ Sudut 60° hari pertama

Dik : Rata-rata V = 16,36 V

I = 1,44 A

P = 16,36 x 1,44 = 23,558 Watt. (rata-rata perhari)

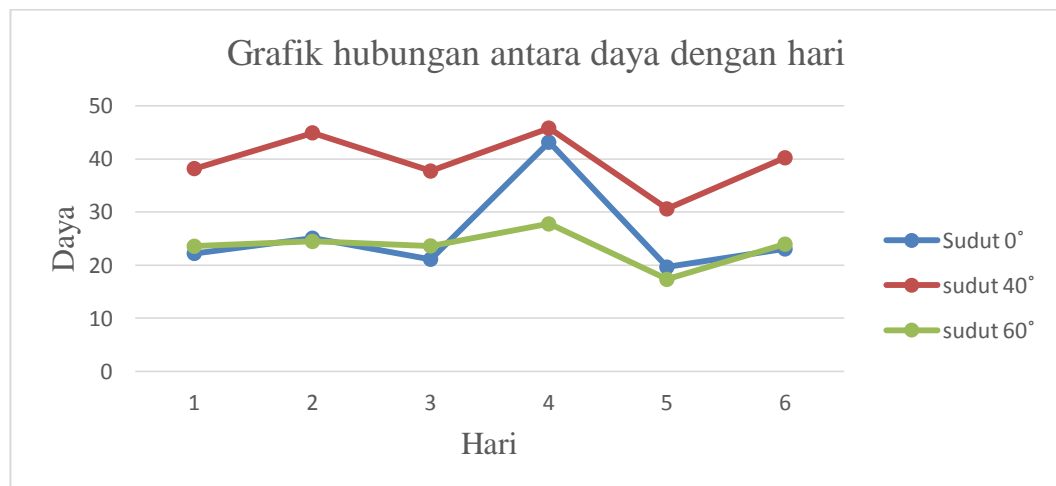
Maka dari sudut 60° dapat menghasilkan daya sebesar 23,558 Watt.

Dengan metode perhitungan mencari daya yang sama seperti di atas. Maka hasil daya yang di hasilkan secara lengkap di tampilkan pada tabel 4.4 di bawah ini sebagai berikut.

Tabel 4.4 Hubungan Antara Daya dengan Hari

Hari	Posisi sudut 0°			Posisi sudut 40°			Posisii sudut 60°		
	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (P)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (P)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (P)
1	15.01	1.48	22.214	16.18	2.36	38.184	16.36	1.44	23.558
2	15.29	1.64	25.075	15.65	2.87	44.915	16.2	1.51	24.462
3	15.3	1.38	21.114	16.05	2.35	37.717	16.41	1.44	23.630
4	15.41	2.8	43.148	16.42	2.79	45.811	16.43	1.69	27.766
5	14.99	1.31	19.636	15.53	1.97	30.594	15.75	1.10	17.325
6	15.37	1.5	23.055	16.62	2.42	40.220	16.52	1.45	23.954

Tabel di atas menjelaskan tentang hubungan antara daya dengan hari yang di ambil dari hasil proses pengujian selama 6 hari dengan kemiringan sudut 0° 40° 60°. Data di tiap masing-masing sudut di ambil dari nilai rata rata yang di hasilkan selama proses pengujian 6 hari.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Antara Daya dengan Hari

Grafik di atas menjelaskan tentang pergerakan naik turunnya daya yang di hasilkan oleh nilai rata rata perhari. Di hari pertama daya yang di hasilkan oleh

sudut kemiringan 0° 22,214 watt 40° 38,184 watt dan 60° 23,558 watt. Tentu saja bisa di lihat perbandingan di ketiga sudut tersebut namun daya tertinggi di hasilkan pada sudut 40° 38,184 watt yang mana pada sudut tersebut memiliki nilai tertinggi di banding dengan sudut 0° dan 60° begitu juga di hari kedua ketiga dan sampai di hari keenam pengujian daya maksimal tetap pada sudut 40°. Dan untuk di sudut 0° dan 60° di hari pertama sampai di enam hari pengujian daya yang di hasilkan oleh sudut tersebut tidak begiyu maksimal . Tetapi di hari ke empat daya yang di hasilkan oleh sudut 0° lebih tinggi di banding dengan sudut kemiringan 60° dengan daya yang di hasilkan oleh sudut 0° 43,148 watt dan 60° 27,766 watt. Maka di ketiga sudut tersebut yang memiliki daya terbesar yaitu pada sudut kemiringan 40°.

Sudut kemiringan yang optimal dalam pemasangan panel surya yaitu pada posisi sudut 40° karena daya yang di hasilkan lebih maksimal di bandingkan dengan sudut 0° dan 60° bisa di lihat pada grafik dan tabel yang menjelaskan nilai rata-rata yang di ambil dengan enam hari pengujian.jadi sudut yang paling efisien yaitu pada sudut 40° di mana pergerakannya slalu stabil, dengan berbagai cuaca pada saat pengujian berlangsung.

#### 4.3 Perhitungan sudut deklinasi selama enam hari pengujian.

Untuk mencari nilai sudut deklinasi menggunakan rumus cooper

$$\delta = 23,45^{\circ} \sin \left[ \frac{360}{365} (N - 81) \right]$$

Dimana:

$\delta$  =yaitu kemiringan sumbu matahari terhadap garis normalnya.

➤ Pengujian pada Tanggal 01-05-2019

Maka  $N = 31 + 28 + 31 + 30 + 1$

$$= 121$$

Maka menggunakan rumus cooper II

$$\begin{aligned} \delta &= 23,45^{\circ} \sin \left[ \frac{360}{365} (N - 81) \right] \\ &= 23,45^{\circ} \sin \left[ \frac{360}{365} (121 - 81) \right] \\ &= 23,45^{\circ} \sin(39,452) \\ &= 14,901^{\circ} \end{aligned}$$

Maka pada pengujian pertama letak posisi sudut deklinasi yaitu  $14,901^\circ$

➤ Pengujian pada Tanggal 02-05-2019

$$\text{Maka } N = 31 + 28 + 31 + 30 + 2$$

$$= 122$$

Maka menggunakan rumus cooper II

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (N - 81) \right]$$

$$= 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (122 - 81) \right]$$

$$= 23,45^\circ \sin(40,438)$$

$$= 15,210^\circ$$

Maka pada pengujian ke dua letak posisi sudut deklinasi yaitu  $15,210^\circ$

➤ Pengujian pada Tanggal 04-05-2019

$$\text{Maka } N = 31 + 28 + 31 + 30 + 4$$

$$= 124$$

Maka menggunakan rumus cooper II

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (N - 81) \right]$$

$$= 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (124 - 81) \right]$$

$$= 23,45^\circ \sin(42,410)$$

$$= 15,815^\circ$$

Maka pada pengujian ke tiga letak posisi sudut deklinasi yaitu  $15,815^\circ$

➤ Pengujian pada Tanggal 07-05-2019

$$\text{Maka } N = 31 + 28 + 31 + 30 + 7$$

$$= 127$$

Maka menggunakan rumus cooper II

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (N - 81) \right]$$

$$= 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (127 - 81) \right]$$

$$= 23,45^\circ \sin(45,369)$$

$$= 16,688^\circ$$

Maka pada pengujian ke empat letak posisi sudut deklinasi yaitu  $16,688^\circ$

➤ Pengujian pada Tanggal 08-05-2019

$$\begin{aligned} \text{Maka } N &= 31 + 28 + 31 + 30 + 8 \\ &= 128 \end{aligned}$$

Maka menggunakan rumus cooper II

$$\begin{aligned} \delta &= 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (N - 81) \right] \\ &= 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (128 - 81) \right] \\ &= 23,45^\circ \sin(46,356) \\ &= 16,969^\circ \end{aligned}$$

Maka pada pengujian ke lima letak posisi sudut deklinasi yaitu 16,969°

➤ Pengujian pada Tanggal 09-05-2019

$$\begin{aligned} \text{Maka } N &= 31 + 28 + 31 + 30 + 9 \\ &= 129 \end{aligned}$$

Maka menggunakan rumus cooper II

$$\begin{aligned} \delta &= 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (N - 81) \right] \\ &= 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (129 - 81) \right] \\ &= 23,45^\circ \sin(47,342) \\ &= 17,245^\circ \end{aligned}$$

Maka pada pengujian ke enam letak posisi sudut deklinasi yaitu 17,245°

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Hasil penelitian yang di peroleh dapat di simpulkan sebagai berikut

1. Daya yang paling optimal di hasilkan pada sudut kemiringan  $40^\circ$  sebesar 48,594 Watt sedangkan daya yang di hasilkan sudut  $0^\circ$  sebesar 26,520 Watt. Dan daya yang di hasilkan sudut  $60^\circ$  sebesar 29,606 Watt.
2. Tegangan yang paling optimal di hasilkan pada sudut kemiringan  $60^\circ$  sebesar 16,432 Volt sedangkan tegangan yang di hasilkan sudut  $0^\circ$  sebesar 15,409 Volt. Dan tegangan yang di hasilkan sudut  $40^\circ$  sebesar 16,418 Volt.
3. Arus yang paling optimal di hasilkan pada sudut kemiringan  $40^\circ$  sebesar 2,79 Ampere sedangkan arus yang di hasilkan sudut  $0^\circ$  sebesar 1,72 Ampere Dan arus yang di hasilkan sudut  $60^\circ$  sebesar 1,68 Ampere.
4. Berdasarkan hasil dari penelitian maka sudut kemiringan yang paling efektif berada pada sudut kemiringan 40 derajat.

#### **5.2 Saran**

1. Saat pengujian harus lebih teliti pada saat pengambilan data agar hasilnya lebih optimal.
2. Harus lebih teliti pada saat mengatur sudut kemiringan .
3. Pada saat pengujian pastikan cuaca dalam keadaan cerah agar penyerapan yang di hasilkan oleh panel surya lebih optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dzulfikar Dafi, Wisnu Broto. (2016) *Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga*. E-Journal SNF2016, Jakarta: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Pancasila Jakarta.
- Siregar Ramadhan Halid, Sara Ira Devi, Julisman Andi. (2017) *Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomasi Atap Stadion Bola*. Jurnal, Banda Aceh: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Syiah kuala Banda Aceh.
- Rusman. (2015) *Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell Dengan Kapasitas 50 WP*. Jurnal, Lampung: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Metro.
- Subekti Yuliananda, Gede Sarya, RA Retno Hastijanti. (2015) *Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya* Jurnal Pengabdian LPPM, Surabaya: Fakultas Teknik, UNTAG.
- Ramadhan Anwar Ilmu, Ery, D. Sony Hari Mukti. (2016) *Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP*, Jurnal. Jakarta: Fakultas Teknik, UMJ.
- Eflita Yohana, Darmanto. (2012) *Uji Eksperimental pengaruh sudut kemiringan Modul surya 500 Watt peak dengan posisi mengikuti pergerakan arah Matahari*. Laporan Tugas Akhir, Semarang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Muhammad Rezanul Iqbal, Abdul Natsir, Hendra Sakke Tira. (2018) *Pengaruh Sudut Surya Terhadap Daya Keluaran Sel Surya 10 WP Tipe Polycrystalline*, Jurnal Mataram, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Mataram.

**LAMPIRAN**  
**LAMPIRAN**

Hasil Pengujian Ke 1 Tanggal 01 Mei 2019

No	Jam	Arah	L	Posisi Sudut Panel 0 <sup>0</sup>				Posisi Sudut Panel 40 <sup>0</sup>				Posisi Sudut Panel 60 <sup>0</sup>			
				Temp eratur °C	Tegan gan (Volt)	Arus (Amp per)	Daya (Watt)	Temp eratur °C	Tegan gan (Volt)	Arus (Amp er)	Daya (Watt)	Temp eratur °C	Tegan gan (Volt)	Arus (Amp er)	Daya (Watt)
1	07.30	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	08.00	T	238	32,9	15,13	0,4	6,05	32,9	13,06	0,8	10,44	34	15,49	0,5	7,74
3	08.30	T	312	32,9	15,39	0,4	6,16	32,7	16,33	0,8	13,06	35,5	15,31	0,5	7,65
4	09.00	T	873	40,8	17,43	1,8	31,37	47,3	17,24	4,4	75,85	48,8	16,65	2,7	44,95
5	09.30	T	463	35	14,31	0,9	12,88	37,8	17,75	1,9	33,72	38,9	13,5	1,2	16,2
6	10.00	T	505	44,2	15,46	1,1	17,01	45,8	16,39	1,8	29,51	44,4	16,34	1,1	17,97
7	10.30	T	923	54,4	16,05	2,2	35,31	55,9	17,42	4,1	71,42	51,5	16,04	2,2	35,29
8	11.00	T	582	46,1	13,45	1,4	18,83	46	14,14	2,1	29,69	43,5	13,82	1,2	16,58
9	11.30	T	697	50,5	15,41	3,2	49,31	51	14,77	3,1	45,78	48	20,1	1,1	22,11
10	12.00	T	385	47,9	16,61	0,8	13,29	46,6	16,25	1,1	17,87	46,6	15,61	0,5	7,805
11	12.30	T	946	52,2	17,51	3,0	52,53	48,8	17,21	0,9	15,48	47,1	18,64	1,4	26,10
12	13.00	T	871	46,2	16,76	0,7	11,73	43	15,19	0,8	12,15	40,9	19,08	0,3	5,72
13	13.30	T	797	48,5	15,18	1,9	28,84	43,7	17,46	2,1	36,67	41,8	19,71	0,6	11,83
14	14.00	T	823	51,6	17,12	2,5	42,80	45,8	19,97	1,8	35,94	40,3	16,47	0,4	6,59
15	14.30	B	871	49,6	15,27	2,4	36,65	51,5	20,2	4,3	86,86	52,8	19,97	2,6	51,92
16	15.00	B	896	50	16,73	2,2	36,81	53,2	19,99	4,2	83,96	54	15,62	2,7	42,17
17	15.30	B	775	44	16,21	1,9	30,68	49,1	17,5	4,2	73,5	55,4	20,2	2,7	54,54
18	16.00	B	813	43,5	16,15	1,5	24,22	49,1	16,11	3,7	59,61	55,6	19,98	2,5	49,95
19	16.30	B	585	37,8	15,19	0,6	9,114	43,8	20,4	2,4	48,96	45,7	17,68	2,5	44,2
20	17.00	B	715	33,4	14,82	0,7	10,37	40,8	16,3	2,7	44,01	43,4	16,9	2,1	35,49
	Total		1307	841,5	841,5	29,6	473,95	864,8	323,68	47,2	824,521	826,4	327,11	28,8	504,83
	Rata-rata		653	42,1	42,07	1,48	23,69	43,2	16,18	2,36	41,22	43,4	16,35	1,44	25,24







Hasil Pengujian Ke 4 Tanggal 07 Mei 2019

No.	Jam	Arah	L	Posisi Sudut Panel 0 <sup>0</sup>				Posisi Sudut Panel 40 <sup>0</sup>				Posisi Sudut Panel 60 <sup>0</sup>			
				Temp eratur °C	Tegan gan (Volt)	Arus (Amp per)	Daya (Watt)	Temp eratur °C	Tegan gan (Volt)	Arus (Amp er)	Daya (Watt)	Temp eratur °C	Tegan gan (Volt)	Arus (Amp er)	Daya (Watt)
1	07.30	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	08.00	T	648	34,3	16,29	0,8	13,03	45,1	16,61	0,9	14,95	49,4	16,5	2,3	37,95
3	08.30	T	746	39,3	16,35	1,0	16,35	51	16,41	2,6	42,67	52,6	16,43	2,1	34,5
4	09.00	T	742	37,7	16,23	1,0	16,23	42,7	16,43	2,4	39,43	45,2	16,68	1,6	26,69
5	09.30	T	787	43,7	16,83	1,5	25,24	50,1	16,72	3,4	56,89	49,5	16,47	2,2	36,23
6	10.00	T	882	48,8	16,79	2,0	33,58	53,7	17,5	3,7	64,75	57,7	19,81	2,3	45,56
7	10.30	T	889	51,3	16,51	2,0	33,02	52,7	19,97	3,5	69,89	52,7	19,78	2,1	41,54
8	11.00	T	897	50,8	16,82	2,3	38,68	57,4	19,75	3,7	73,07	52,7	19,92	2,1	41,83
9	11.30	T	899	53,4	16,5	2,6	42,9	56,6	19,73	3,5	69,05	54,4	19,82	2,0	39,64
10	12.00	T	923	54,4	16,73	2,6	43,49	56,3	19,79	3,6	71,24	49,4	19,89	1,6	31,82
11	12.30	T	814	53	15,76	2,7	42,55	51,9	15,28	3,2	48,9	46,2	16,18	1,3	21,03
12	13.00	T	897	48,7	15,76	2,5	39,4	46,2	16,72	2,9	48,49	41	15,53	1,0	15,53
13	13.30	T	746	50,3	16,14	2,4	38,73	48	16,9	2,4	40,56	40,6	15,24	0,7	10,67
14	14.00	T	647	44	16,46	1,8	29,63	40,2	15,85	1,7	26,94	36,1	16,21	0,4	6,48
15	14.30	B	912	50,7	16,64	2,4	39,94	54,3	15,95	4,2	66,99	54,6	19,89	2,6	51,71
16	15.00	B	667	45,6	15,61	1,6	24,98	50	15,95	3,1	49,44	47,5	16,32	2,0	32,64
17	15.30	B	633	42,1	16,02	1,7	27,23	47,5	16,99	3,6	61,16	49,1	15,76	2,3	36,25
18	16.00	B	591	40,5	16,07	1,2	19,28	45,2	16,74	2,7	45,2	45,6	16,57	1,7	28,17
19	16.30	B	644	39	15,34	1,6	24,54	45,6	16,94	2,5	42,35	46,8	16,2	1,8	29,16
20	17.00	B	599	36,5	15,34	0,7	10,74	44,3	18,14	2,2	39,91	47,2	15,45	1,6	24,72
	Total		14563	864,1	308,19	34,4	477,37	938,8	328,37	55,8	971,88	918,3	328,65	33,7	592,12
	Rata-rata		728,15	43,2	15,40	1,72	26,52	46,9	16,41	2,79	48,59	45,9	16,43	1,68	29,60

Hasil Pengujian Ke 5 Tanggal 08 Mei 2019

No.	Jam	Arah	L	Posisi Sudut Panel 0 <sup>0</sup>				Posisi Sudut Panel 40 <sup>0</sup>				Posisi Sudut Panel 60 <sup>0</sup>			
				Temp eratur °C	Tegan gan (Volt)	Arus (Amp per)	Daya (Watt)	Temp eratur °C	Tegan gan (Volt)	Arus (Amp er)	Daya (Watt)	Temp eratur °C	Tegan gan (Volt)	Arus (Amp er)	Daya (Watt)
1	07.30	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	08.00	T	1311	29,1	15,84	0,3	4,752	30,3	15,15	0,5	7,57	30,2	15,78	0,3	4,73
3	08.30	T	257	30,8	15,82	0,5	7,91	31,2	15,55	0,8	12,44	32,6	16,18	0,5	8,09
4	09.00	T	278	31,6	16,2	0,6	9,72	34,2	16,35	0,9	14,71	33,9	16,24	0,5	8,12
5	09.30	T	407	32,6	16,43	0,9	14,78	35,6	16,46	1,4	23,04	35,9	16,28	0,9	14,65
6	10.00	T	636	35,4	16,17	1,4	22,63	43,4	17,25	2,7	46,57	43,4	16,15	1,8	29,07
7	10.30	T	834	42,1	17,71	2,0	35,42	49,8	16,66	3,5	58,31	48,2	17,76	2,1	37,29
8	11.00	T	791	47,4	16,25	1,9	30,87	48,5	16,45	3,2	52,64	48,8	16,3	1,8	29,34
9	11.30	T	585	48,5	13,32	1,4	18,64	47,2	17,34	2,0	34,68	47,1	16,63	1,1	18,29
10	12.00	T	903	58,5	15,32	3,1	47,49	54,3	16,35	4,1	67,03	51,6	16,26	2,0	32,52
11	12.30	T	624	54,9	15,32	0,9	13,78	50,3	16,45	1,6	28,32	58,5	15,14	0,7	10,59
12	13.00	T	784	51,6	15,76	2,8	44,12	49,5	16,61	3,1	51,49	43,7	16,45	1,2	19,74
13	13.30	T	244	39,1	16,89	0,5	8,445	37,4	16,67	0,7	11,66	57,5	15,77	0,4	6,30
14	14.00	T	925	42	15,36	2,6	39,93	45,3	16,46	2,3	37,85	38,5	19,45	0,7	13,61
15	14.30	B	520	46,3	16,34	2,2	35,94	42,5	15,6	3,7	58,81	37,8	20,7	2,3	47,61
16	15.00	B	692	47,1	16,06	2,7	43,36	50,8	16,46	3,0	49,36	50,6	14,88	1,9	28,27
17	15.30	B	284	37,5	15,85	0,7	11,09	38	16,2	1,0	16,2	37,6	15,98	0,6	9,58
18	16.00	B	237	33	14,45	0,4	5,78	33,6	16,24	0,8	12,99	34,5	16,25	0,5	8,12
19	16.30	B	628	38,8	15,46	1,0	15,46	43,2	16,24	2,5	40,5	43,6	16,19	1,7	27,52
20	17.00	B	402	35,4	16,65	0,3	4,99	39,5	16,11	1,5	24,16	41,8	16,66	1,0	16,66
Total			11342	781,7	284,77	26,2	415,15	804,65	310,6	39,3	647,79	815,8	315,05	22	370,1
Rata-rata			567,1	39,08	14,98	1,31	20,75	40,2	15,53	1,96	32,38	40,79	15,75	1,1	18,50

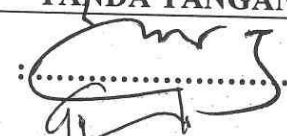
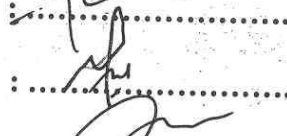
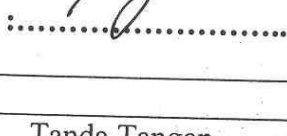
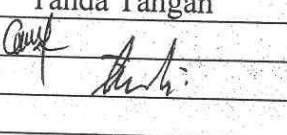
Hasil Pengujian Ke 6 Tanggal 09 Mei 2019


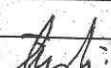
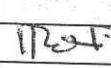



No.	Jam	Arah	L	Posisi Sudut Panel 0 <sup>0</sup>				Posisi Sudut Panel 40 <sup>0</sup>				Posisi Sudut Panel 60 <sup>0</sup>			
				Temp eratur °C	Tegan gan (Volt)	Arus (Amp er)	Daya (Watt)	Temp eratur °C	Tegan gan (Volt)	Arus (Amp er)	Daya (Watt)	Temp eratur °C	Tegan gan (Volt)	Arus (Amp er)	Daya (Watt)
1	07.30	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	08.00	T	307	30,3	15,42	0,3	4,626	35,4	16,04	1,3	20,85	38	16,27	1,0	16,27
3	08.30	T	612	33,8	16,30	1,0	16,30	39,9	16,2	2,7	43,74	43,3	16,18	1,9	30,74
4	09.00	T	736	36,8	16,51	1,3	21,46	44,9	16,77	3,1	51,98	46	16,97	2,1	35,63
5	09.30	T	901	45	16,53	1,8	29,75	52,8	17,72	3,8	67,33	52,8	16,32	2,3	37,53
6	10.00	T	797	46,1	16,17	1,7	27,48	49,6	16,25	3,4	55,25	49,3	15,93	2,0	31,86
7	10.30	T	583	44,4	15,84	2,3	36,43	47,6	15,17	2,4	36,40	47,1	15,75	0,9	14,17
8	11.00	T	450	47	16,4	0,9	14,76	47,7	16,53	1,4	23,14	46,6	16,3	0,9	14,67
9	11.30	T	364	47,4	15,86	0,8	12,68	46,8	16,01	1,2	19,21	45,4	15,44	1,7	26,24
10	12.00	T	360	40,5	16,54	1,6	26,46	39,3	16,08	1,3	20,90	40,3	14,74	0,7	10,31
11	12.30	T	918	51,9	16,68	2,4	40,03	51,6	19,97	3,0	59,91	45,8	19,96	1,2	23,95
12	13.00	T	884	52,3	16,33	2,4	39,19	47,2	16,43	2,7	52,46	43,8	16,9	0,9	15,21
13	13.30	T	913	48,2	16,8	2,4	40,32	42,9	20,1	2,4	48,24	38	20,10	0,6	12,06
14	14.00	T	920	49,8	14,86	2,4	35,66	43,1	13,79	2,0	27,58	36,9	18,2	0,3	5,46
15	14.30	B	869	45,7	16,51	2,2	36,32	50,8	20,6	3,8	78,28	50,4	21,7	2,3	49,91
16	15.00	B	802	44,6	16,86	1,9	32,03	50,8	21,5	3,9	83,85	51,1	20,3	2,5	50,75
17	15.30	B	826	44	15,2	1,8	27,36	49,2	17,73	3,6	63,82	49,3	16,18	2,3	37,21
18	16.00	B	774	39,3	14,98	1,3	19,47	47	15,92	3,2	50,94	49,2	16,8	2,1	35,28
19	16.30	B	680	38	16,85	1,0	16,85	45,3	20,1	2,6	52,26	47	20,7	1,9	39,33
20	17.00	B	630	36	16,66	0,4	6,66	42,9	19,5	0,6	11,7	45,1	15,59	1,3	20,26
	Total		13326	821,1	307,3	29,9	483,88	874,88	332,41	48,4	867,88	865,4	330,33	28,9	506,8
	Rata-rata		666,3	41,05	15,365	1,49	24,19	43,74	16,62	2,42	43,39	43,27	16,51	1,4	25,34

**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK - UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2018 - 2019**

Peserta Seminar

Nama : Yoga Pradona  
 NPM : 1507230194  
 Judul Tugas Akhir : Variasi Kemiringan Sudut Terhadap Efektifitas Kinerja Panel Surya.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T	: 
Pembimbing - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T	: 
Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc	: 
Pembanding - II : Bakti Suroso.S.T.M.Eng	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1507230163	BAYU ANGGARA	
2	1507230137	FAHRI RUL ROZI	
3	<del>1507230137</del>		
4	1507230182	RIZKI FADILLAH	
5	1507230116	BAYU DARMAWAN	
6	1507230175	Maulana Setra	
7	1507230019	JERRY PERAGAPAL SUDARMA	
8			
9			
10			

Medan, 17 Muharram 1440 H  
17 September 2019 M



**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Yoga Pradona  
NPM : 1507230194  
Judul T.Akhir : Variasi Kemiringan Sudut Terhadap Efektifitas Kinerja Panel Surya.

Dosen Pembimbing – I : Munawar A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing – II : Chandra A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc  
Dosen Pembanding - II : Bekti Suroso.S.T.M.Eng

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

Lihat buku sen p31  
.....  
.....  
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
- Perbaikan :

.....  
.....  
.....  
.....

Medan 17 Muharram 1440H  
17 September 2019 M



Dosen Pembanding- I

H.Muharnif.S.T.M.Sc

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Yoga Pradona  
NPM : 1507230194  
Judul T.Akhir : Variasi Kemiringan Sudut Terhadap Efektifitas Kinerja Panel Surya.

Dosen Pembimbing – I : Munawar A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing – II : Chandra A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc  
Dosen Pembanding - II : Bekti Suroso.S.T.M.Eng

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

*lilas pada Naskah Tjjes Akhir*

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

Medan 17 Muharram 1440H  
17 September 2019 M



Dosen Pembanding- II



Bekti Suroso.S.T.M.Eng





**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12  
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor 188/3AU/UMSU-07/F/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 09 Februari 2019 dengan ini Menetapkan :

Nama : **YOGA PRADONA**  
Npm : 1507230194  
Program Study : **TEHNIK MESIN**  
Semester : **V111 ( Delapan )**  
Judul Tugas Akhir : **VARIASI KEMIRINGAN SUDUT TERHADAP EFEKTIFITAS KINERJA  
PANEL SURYA**

Pembimbing 1 : **MUNAWAR ALFANSURY SIREGAR ST.MT.**  
Pembimbing 11 : **CHANDRA A SIREGAR ST.MT.**

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.  
Medan 04 Jumadil Akhir 1440 H  
09 Februari 2019 M



**Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT**  
NIDN: 0101017202

Cc. File

## LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

### Variasi kemiringan Sudut Terhadap Efektifitas Kinerja Panel Surya

Nama : Yoga Pradona

NPM : 1507230194

Dosen Pembimbing 1 : Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T

Dosen Pembimbing 2 : Chandra A Siregar, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Sabtu, 23/2 - 2019	lanjutkan bab II perbaiki bab I	
1.	8/7 - 2019	Perhatikan dasar pembelajaran judul	<i>[Signature]</i>
2.	11/7 - 2019	Rumuskan latar belakang dari pembelajaran judul	<i>[Signature]</i>
3.	30/7 - 2019	Setiap kalimat dalam judul harus terurai di latar belakang dan rumusan masalah	<i>[Signature]</i>
4.	2/8 - 2019	Lanjutkan ke pembimbing I	<i>[Signature]</i>
5.	6/8 - 2019	Tambahkan analisa perhitungan	<i>[Signature]</i>
6.	10/8 - 2019	perbaiki analisa	<i>[Signature]</i>
7.	20/8 - 2019	Tambahkan literatur	<i>[Signature]</i>
8.	22/8 - 2019	Ace seminar kembali ke pembimbing I	<i>[Signature]</i>

Ace di seminar *[Signature]* 9/9 - 2019

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### **DATA PRIBADI**

Nama : Yoga Pradona  
NPM : 1507230194  
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 23-10-1997  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Agama : Islam  
Status : Belum Menikah  
Alamat : Lingkungan IX  
Kecamatan : Medan Labuhan  
Kabupaten : Medan Kota  
Provinsi : Sumatra Utara  
Nomor Hp : 081977031355  
E-mail : [yogapradona2310@gmail.com](mailto:yogapradona2310@gmail.com)  
Nama Orang Tua  
Ayah : Suparlik  
Ibu : Nurlela

### **PENDIDIKAN FORMAL**

2003-2009 : SD Swasta ALWASHLIYAH 30  
2009-2012 : SMP Swasta PULAU BRAYAN DARAT  
2012-2015 : SMK Negeri 5 MEDAN  
2015-2019 : S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara