

TUGAS AKHIR

STUDI EXPERIMENTAL POTENSI PENYERAPAN ENERGI MATAHARI SISTEM FOTOVOLTAIK DI WILAYAH PEGUNUNGAN BERASTAGI

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

Disusun Oleh:

RIFKI RAMADANI
1607230073



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

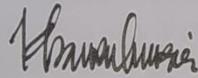
Nama : Rifki Ramadani
NPM : 1607230073
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Studi Experimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem
Fotovoltaik Di Wilayah Pegunungan Berastagi.
Bidang ilmu : Konversi Energi

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, 13 November 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji



Khairul Umurani, S.T.,M.T

Dosen Peguji



Affandi, S.T.,M.T

Dosen Penguji



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

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rifki Ramadani
Tempat /Tanggal Lahir : Gunung Sari/15 Januari 1998
NPM : 1607230073
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Studi Experimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem Fotovoltaik Di Wilayah Pegunungan Berastagi”

Bukan merupakan plagiatisme, 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, 13 November 2020



Saya yang menyatakan,

Rifki Ramadani

ABSTRAK

Panel Surya merupakan alat konversi energi matahari menjadi energi listrik secara langsung menggunakan bahan semikonduktor berdasarkan prinsip efek fotolistrik. Sel surya merupakan lapisan semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkain dioda. Matahari merupakan energi yang di hasilkan atau dipancarkan dari sumber cahaya. Seperti di ketahui matahari merupakan sumber dari energi penerangan yang paling besar didunia terkadang energi ini juga disebut sebagai energi surya karena sebenarnya sumber dari penerangan berasal dari tenaga surya atau matahari. Teknologi ini sangat berpotensi diterapkan di Indonesia yang mempunyai iklim tropis, tetapi permasalahan utama dari sistem ini adalah ketidak setabilan tegangan arus dan daya yang di hasilkan sangat tergantung pada intensitas matahari yang diterima oleh panel surya . Intensitas radiasi matahari yang di terima oleh panel surya dapat dimaksimalkan dengan cara memasang panel surya, dengan sudut kemiringan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyerapan panel surya diwilayah berastagi dengan sudut kemiringan 40 sehingga dari sudut ini bisa diketahui tegangan, arus, dan daya yang optimal. Tugas akhir ini membahas mengenai hasil keluaran panel surya yang meliputi tegangan, arus dan daya yang dihasilkan dari pengujian panel surya diwilayah pegunungan berastagi dengan sudut kemiringan 40°. Pengujian ini dilakukan selama tujuh hari berturut-turut, Tegangan tertinggi dihasilkan pada pengujian hari kelima yaitu 13,50 Volt, sedangkan arus tertinggi dihasilkan pada pengujian hari ke lima yaitu 1,97 Ampere, dan daya tertinggi juga pada pengujian hari kelima yaitu 26,92 Watt. Maka Berdasarkan hasil dari penelitian, ketinggian wilayah pegunungan Berastagi yang mencapai 1400 Mdpl dan cuaca yang selalu berubah-ubah menjadikan wilayah Pegunungan Berastagi kurang efisien untuk mendapatkan hasil keluaran panel surya.

Kata kunci: Energi Matahari, Efektifitas Kinerja, Panel Surya.

ABSTRACT

Solar panels are a means of converting solar energy into electrical energy directly using semiconductor materials based on the principle of the photoelectric effect. The solar cell is a semiconductor layer that has a wide surface and consists of a series of diodes. The sun is energy that is generated or emitted from a light source. As we know, the sun is the largest source of lighting energy in the world, sometimes this energy is also referred to as solar energy because the actual source of lighting comes from solar power or the sun. This technology has the potential to be applied in Indonesia which has a tropical climate, but the main problem of this system is the instability of the current and power voltages that are generated depending on the intensity of the sun received by the solar panels. 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 was to determine the absorption of solar panels in the berastagi region with a slope angle of 40 so that from this angle the optimal voltage, current and power can be found. This final project discusses the results of the solar panel output which includes the voltage, current and power generated from testing the solar panels in the Berastagi mountainous region with a 40° tilt angle. This test was carried out for seven consecutive days, the highest voltage was generated on the fifth day of testing, namely 13.50 Volts, while the highest current was produced on the fifth day of testing, namely 1.97 Ampere, and the highest power was also on the fifth day of testing, namely 26.92 Watt. So based on the results of the research, the altitude of the Berastagi mountain region which reaches 1400 masl and the weather that is always changing makes the Berastagi Mountains region less efficient to get the output of solar panels.

Keywords: Solar Energy, Performance Effectiveness, Solar Panels.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Studi Experimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem Fotovoltaik Di Wilayah Pegunungan Berastagi” 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 Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Khairul Umurani, S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji I yang telah banyak mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sekaligus sebagai Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Affandi, S.T., M.T selaku Dosen Penguji II yang telah banyak mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sekaligus Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin , Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik Mesinan kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Bapak Matno dan Ibu Yatini, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.

7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhamadiyah Sumatera Utara.
8. Sahabat-sahabat penulis: Muhammad Anwar, Iqbal Zhafran, Aldi Trisna Irawan, M.Kamaluddin Wahdani, M.Abduh Fahmi Sinaga dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.

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, 13 November 2020



Rifki Ramadani

DAFTAR ISI

COVER	
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Letak Geografis Wilayah Pegunungan Bukit Kubu Berastagi	4
2.2. Landasan Teori	5
2.2.1. Penelitian Terdahulu	5
2.2.2. Teori Umum	5
2.3. Radiasi Energi Matahari	6
2.4. Sejarah Panel Surya	9
2.4.1. Jenis-jenis Panel Surya	10
2.4.1.1. Monokristal (Mono-crystalline)	11
2.4.1.2. Polikristal (Poly-Crystalline)	11
2.4.1.3. Gallium Arsenide (GaAs)	12
2.4.2. Karakteristik Solar Cell (Pholtovoltaic)	12
2.4.3. Prinsip Kerja Sel Surya Pholtovoltaik	13
2.4.4. Faktor Pengoperasian Sel Surya	14
2.4.4.1. Ambient Air Temperatur	14
2.4.4.2. Radiasi Matahari	14
2.4.4.3. Atmosfir Bumi	15
2.4.4.4. Orientasi Panel atau Larik Sel Surya	15
2.4.4.5. Posisi letak Sel Surya (larik) terhadap matahari (tilt angle)	15
2.4.5. Semikonduktor Tipe P dan N	15
2.4.6. Sambungan P-N	16
2.5. Charger Controller	17
2.6. Inverter	18
2.7. Baterai	19
2.8. Arus dan Tegangan	20
2.9. Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi	21
2.10. Gerakan Terhadap Energi Surya	22
2.10.1. Pengaruh Sudut Datang Terhadap Radiasi yang di Terima	23

2.10.2. Pengambilan Data Pada Posisi/Sudut Matahari	23
2.11. Deklinasi	23
2.12. Efisiensi Sel Surya	25
2.13. Road Map Penelitian	25
BAB 3 METODOLOGI	27
3.1 Tempat dan Waktu	27
3.1.1. Tempat	27
3.1.2. Waktu	27
3.2 Bahan dan Alat	28
3.2.1. Bahan	28
3.2.2. Alat	32
3.3 Bagan Alir Penelitian	37
3.4 Rancangan Alat Penelitian	38
3.5 Prosedur Penelitian	40
3.5.1 Langkah-langkah pemasangan Alat	40
3.5.2 Langkah-langkah pengujian Alat	42
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1. Hasil Tegangan, Arus dan Daya	45
4.2. Hasil Pengujian Untuk Mengetahui Seberapa Optimal Kerja Panel Surya Terhadap Perbedaan Wilayah	50
4.3. Perhitungan sudut deklinasi selama 7 hari pengujian.	54
4.4. Intensitas Radiasi Matahari Pada Permukaan Datar Berastagi	55
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Road Map Penelitian	26
Tabel 3.1	Jadwal Kegiatan Penelitian	27
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Pada Tanggal 09 Agustus 2020	46
Tabel 4.2	Hubungan Antara rata-rata Lux dengan rata-rata Tegangan	50
Tabel 4.3	Hubungan Antara rata-rata Lux dengan rata-rata Arus	51
Tabel 4.4	Hubungan Antar rata-rata Lux dengan rata-rata Daya	53
Tabel 4.5	Nilai n Pada Hari Berdasarkan Bulan	54
Tabel 4.6	Sudut Deklinasi Selama 7 Hari	55
Tabel 4.7	Faktor Koreksi Iklim	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Letak geografis Berastagi	4
Gambar 2.2	Panel surya	6
Gambar 2.3.	Konsep kerja Sell Surya	7
Gambar 2.4.	Panel Sel Surya	8
Gambar 2.5.	Panel Surya Monokristalin	11
Gambar 2.6.	Panel Surya Polikristalin	12
Gambar 2.7.	Panel Surya Gallium Arsenide	12
Gambar 2.8.	Prinsip kerja Panel Surya	13
Gambar 2.9.	Semikonduktor Tipe-P (kiri) dan Tipe-N (kanan)	16
Gambar 2.10.	Charger Controller	18
Gambar 2.11.	Inverter	19
Gambar 2.12.	Baterai	20
Gambar 2.13.	Radiasi Sorotan dan Radiasi Sebaran yang mengenai Permukaan Bumi	22
Gambar 2.14.	Arah Sinar datang Membentuk Sudut terhadap Normal Bidang Panel Surya	23
Gambar 3.1.	Panel Surya	28
Gambar 3.2.	Charger Controller	29
Gambar 3.3.	Baterai	29
Gambar 3.4.	Inverter	30
Gambar 3.5.	Lampu	30
Gambar 3.6.	Kabel	31
Gambar 3.7.	Besi	31
Gambar 3.8.	Baut dan Mur	31
Gambar 3.9.	Multimeter	32
Gambar 3.10.	Infrared Thermometer	33
Gambar 3.11.	Digital Lux Meter	33
Gambar 3.12.	Mesin Las	34
Gambar 3.13.	Mesin Gerinda	34
Gambar 3.14.	Mesin Bor	35
Gambar 3.15.	Meteran	35
Gambar 3.16.	Obeng	35
Gambar 3.17.	Kunci Ring Pas	36
Gambar 3.18.	Bagan Alir	37
Gambar 3.19.	Pandangan atas	38
Gambar 3.20.	Pandangan depan	38
Gambar 3.21.	Pandangan samping	39
Gambar 3.22.	Pembangkit Listrik Tenaga Surya	39
Gambar 3.23.	Memasang triplek	40
Gambar 3.24.	Memasang tiang penyangga panel	40
Gambar 3.25.	Memasang panel	41
Gambar 3.26.	Memasang charger controller	41
Gambar 3.27.	Memasang inverter	41
Gambar 3.28.	Memasang baterai	42
Gambar 3.29.	Pengujian Panel ditempat terbuka	42

Gambar 3.30.	Mengukur intensitas matahari	43
Gambar 3.31.	Mengukur temperature	43
Gambar 3.32	Mengukur tegangan	43
Gambar 4.1.	Pengujian pengaruh arah sudut matahari terhadap keluaran sel surya arah sinar membentuk sudut 40 derajat.	45
Gambar 4.2.	Grafik hubungan antara Lux dengan Tegangan	47
Gambar 4.3.	Grafik hubungan antara Lux dengan Arus	48
Gambar 4.4.	Grafik hubungan antara Lux dengan Daya	49
Gambar 4.5.	Grafik hubungan antara rata-rata Lux dengan Tegangan	50
Gambar 4.6.	Grafik hubungan antara rata-rata Lux dengan Arus	51
Gambar 4.7.	Grafik hubungan antara rata-rata Lux dengan Daya	53

DAFTAR NOTASI

Simbol	Besaran	Satuan
P_{in}	Daya input	Watt
G	Intensitas matahari	Watt/m ²
A	Luas permukaan photovoltaic	m ²
V_{max}	Tegangan daya maksimum	Volt
I_{max}	Arus daya maksimum	Ampere
P	Daya	Watt
I	Ampere	Ampere
V	Tegangan keluar	Volt
δ	Sudut Deklinasi	Derajat
η	Efisiensi	%
τ_b	Faksi radiasi yang diteruskan ke bumi	
G_{on}	Radiasi yang diterima atmosfer	Watt/m ²
G_{cb}	Radiasi yang di transmisikan dari atmosfer ke permukaan bumi	Watt/m ²
$\cos \theta_z$	Consinus sudut <i>zenith</i>	
r_0	Faktor koreksi akibat iklim	
r_1	Faktor koreksi akibat iklim	
r_k	Faktor koreksi akibat iklim	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Panel Surya merupakan alat konversi energy matahari menjadi energi listrik secara langsung menggunakan bahan semikonduktor berdasarkan prinsip efek fotolistrik. Material panel surya yang paling banyak digunakan terbuat dari bahan *crystalline silicon* dengan jenis *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Dengan mengetahui karakteristik panel surya, dapat diketahui besar daya keluaran yang dihasilkan. Besar daya keluaran panel surya ditentukan oleh bahan material dan kondisi lingkungan dimana panel surya berada seperti intensitas cahaya matahari, arah datangnya sinar matahari, temperature dan spectrum cahaya.

Mengingat letak geografis indonesia yang berada di garis khatulistiwa dan matahari bersinar sepanjang tahun, maka tepat sekali menerapkan dan memanfaatkan energi matahari (biasa disebut tenaga surya) yang melimpah jumlahnya dan tidak akan ada habis habisnya. Berdasarkan itu untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia dan sebagai alternatif pengganti supply daya dari PLN, sangat tepat bila di kembangkannya *photovoltaik*, yaitu suatu proses yang dapat merubah sinar matahari menjadi energi listrik secara langsung dengan bantuan sel surya. Adapun energi alternatif lain yang bisa di dimanfaatkan seperti angin, gas hidrogen, panas bumi, gelombang air laut dan lain-lain. Energi surya ini juga ramah terhadap lingkungan tidak berpolusi aman dan tidak ada batasan selama matahari terbit bahkan dalam keadaan mendung pun masih dapat menghasilkan energi.

Kinerja panel surya ini dapat di tinjau dari beberapa faktor 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 sirkuit terbuka. Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariasi dan sangat tergantung dengan keadaan spektrum matahari ke bumi. Intensitas matahari akan banyak berpengaruh terhadap arus (I) dan sedikit terhadap tegangan (V). 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. Tiupan angin kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya sangat membantu terhadap pendinginan temperatur permukaan sel surya sehingga temperatur dapat terjaga pada suhu 25 derajat celsius. Orientasi panel 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 energi yang lebih maksimalkan dari itu di rancang sebuah sudut kemiringan terhadap sudut deklimasi, Penelitian ini penting dilakukan sebagai salah satu referensi bagi desainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam perencanaan dan penerapan pada wilayah pegunungan (Bukit kubu) Berastagi dengan suhu sekitar 17 sampai dengan 20 derajat celcius dan ketinggian 1300 mdpl. Maka dari penjelasan latar belakang di atas bisa dijadikan penelitian tentang “Studi Experimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem Fotovoltaik Di Wilayah Pegunungan Berastagi”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan bisa di rumuskan suatu masalah tentang seberapa besar volt, ampere, dan daya yang dihasilkan panel surya 50 WP (*Watt Peak*) di wilayah pegunungan berastagi selama tujuh hari.

1.3. Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan untuk mengamati panel surya dengan kapasitas 50 WP (*Watt Peak*) yang berada di wilayah pegunungan bukit kubu, Berastagi. dengan suhu sekitar 17-20 derajat celcius dan ketinggian 1300 mdpl. Dengan sudut kemiringan peletakan panel surya = 40°. Parameter yang diobservasi pengukuran besaran tegangan, intensitas cahaya, dan temperatur secara berkala dari pukul 08.00-17.00 WIB dan setiap 30 menit sekali diukur menggunakan multimeter, lux meter dan thermometer, penelitian ini akan berjalan selama tujuh hari.

1.4. Tujuan

1. Untuk menganalisa Tegangan maksimum yang dihasilkan panel surya 50 WP di wilayah pegunungan.
2. Untuk menganalisa Arus maksimum yang dihasilkan panel surya 50 WP di wilayah pegunungan.
3. Untuk menganalisa Daya maksimum yang dihasilkan panel surya 50 WP di wilayah pegunungan.
4. Untuk menganalisa efisiensi keluaran dari panel surya 50 WP di wilayah Pegunungan.

1.5. Manfaat

1. Memperoleh pengalaman dalam menganalisis data, serta mengetahui hubungan antara data-data yang diperoleh.
2. Menjadi sumber energy listrik pengganti PLN
3. Menjadi salah satu referensi bagi desainer pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) Khususnya di Sumatera utara.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Letak Geografis Wilayah Berastagi.

Berastagi memiliki luas wilayah sekitar 2.127,25 Km² (212.725 Ha). Berastagi diapit oleh 2 gunung berapi aktif yaitu Gunung Sibayak dan Gunung Sinabung. Kota Berastagi sendiri berada di ketinggian 1300-1400 mdpl, sehingga menjadikan kota ini menjadi salah satu kota terdingin di provinsi Sumatera Utara.

-Sebelah Utara berbatasan dengan : Kab. Langkat dan Kabupaten Deli Serdang

-Sebelah Selatan berbatasan dengan : Kab. Dairi dan Kab. Samosir

-Sebelah Barat berbatasan dengan : Prov. Nangroe Aceh Darusalam

-Sebelah Timur berbatasan dengan : Kab. Deli Serdang dan Kab.Simalungun

Tofografi tanah : Datar, Bergelombang, dan Berbukit serta terletak pada :

- 97°55'-98°38' Bujur Timur (BT)
- 2°50'-3°19' Lintang Utara (LU)

Lokasi yang digunakan untuk melakukan penelitian yaitu tepatnya pada desa lau gumba bukit kubu seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 dibawah ini:

(Data Statistik Kabupaten Karo, 2020)



Gambar 2.1 Letak Geografis Bukit Kubu Berastagi dalam *Google Map* dan Peta Sumatera Utara
(google satelit, 2020)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Penelitian terdahulu

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Dari penelitian terdahulu, penulis tidak menemukan penelitian dengan judul yang sama seperti judul penelitian penulis. Namun penulis mengangkat beberapa penelitian sebagai referensi dalam memperkaya bahan kajian pada penelitian penulis. Berikut merupakan penelitian terdahulu berupa beberapa jurnal terkait dengan penelitian yang dilakukan penulis. Penelitian terdahulu pertama dilakukan oleh Yoga Pradona pada tahun 2019 dengan mengambil judul Variasi Kemiringan Sudut Terhadap Efektifitas Kinerja Panel Surya. Dari penelitian tersebut didapat hasil yaitu Sudut kemiringan yang paling efektif berada pada sudut kemiringan 40 derajat. Sehingga penulis menggunakan referensi ini sebagai pemilihan sudut kemiringan panel surya yaitu 40 derajat. Penelitian terdahulu kedua dilakukan oleh Bambang Hari Purwanto dan Ilham Fahmi Huda pada tahun 2018 dengan mengambil judul Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif. Dan dari penelitian ini di dapat hasil yaitu bahwa penggunaan panel surya ternyata lebih efisien dibandingkan dengan penggunaan genset.

2.2.2 Teori umum

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Panel surya sering disebut sel *PhotoVoltaic* yang dapat diartikan sebagai “cahaya-listrik”. Sel surya atau sel *PhotoVoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. Sel surya perlu dilindungi dari kelembaban dan kerusakan mekanis karena hal ini dapat merusak efisiensi panel surya secara signifikan, dan menurunkan masa pakai dari yang diharapkan.

Panel surya merupakan pembangkit listrik yang mampu mengkonversi penyinaran matahari yang diubah menjadi energi listrik. Energi matahari sesungguhnya merupakan sumber energi yang menjanjikan mengingat sifatnya *continue* serta jumlahnya yang besar dan melimpah ketersediaannya. Matahari

merupakan sumber energi yang diharapkan dapat mengatasi atau memecahkan permasalahan kebutuhan energi masa depan setelah berbagai sumber energi konvensional berkurang jumlahnya serta tidak ramah terhadap lingkungan. Panel surya juga memiliki kelebihan menjadi sumber energi yang praktis dan ramah lingkungan mengingat tidak membutuhkan transmisi seperti jaringan listrik konvensional, karena dapat dipasang secara modular di setiap lokasi yang membutuhkan.

Posisi ideal panel surya adalah menghadap langsung ke sinar matahari seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Panel surya memiliki perlindungan *overheating* yang baik dalam bentuk semen konduktif termal. Perlindungan *overheating* penting dikarenakan panel surya mengkonversi kurang dari 20% dari energi surya yang ada menjadi listrik, sementara sisanya akan terbuang sebagai panas, dan tanpa perlindungan yang memadai kejadian *overheating* dapat menurunkan efisiensi panel surya secara signifikan.

Panel surya dapat mudah dalam hal pemeliharaan karena tidak ada bagian yang bergerak. Satu-satunya hal yang harus dikhawatirkan adalah memastikan untuk menyingkirkan segala hal yang dapat menghalangi sinar matahari ke panel surya tersebut. (Oki Herijanto, 2018)

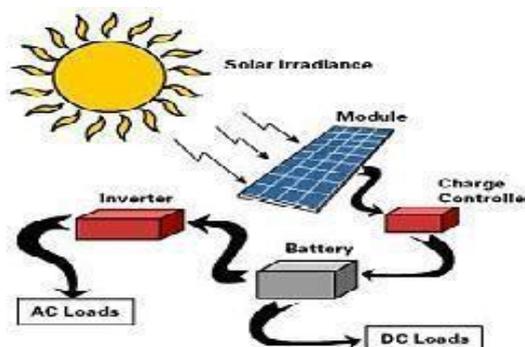


Gambar 2.2 Panel surya (Republika.co.id, 2017)

2.3 Radiasi Energi Matahari

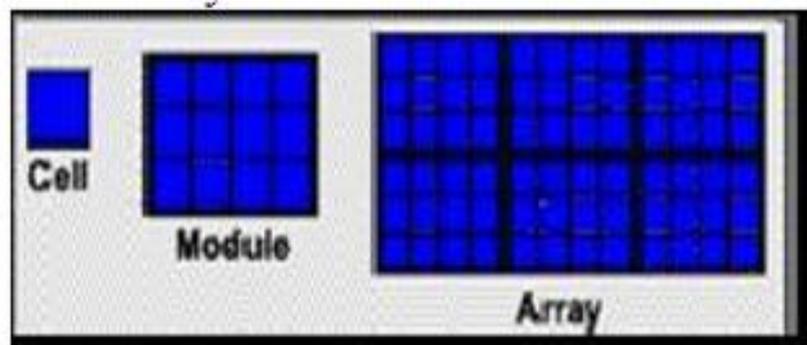
Energi Matahari merupakan sumber energi utama untuk proses–proses yang terjadi di Bumi. Energi matahari sangat membantu berbagai proses fisis dan biologis di Bumi. Radiasi adalah suatu proses perambatan energy (panas) dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang tanpa memerlukan zat perantara.

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 panel 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. Konsep kerja panel surya dapat dilihat pada Gambar 2.3 dibawah ini. (Yoga Pradona, 2019)



Gambar 2.3 Konsep kerja sell surya (Yoga Pradona, 2019)

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 digabung-kan sehingga terbentuklah apa yang disebut array. Perhatikan Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Panel Sel Surya (Yoga Pradona, 2019)

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 mata-hari memiliki doped negatif dengan lapisan fosfor, sementara lapisan di bawahnya terdiri dari doped positif dengan lapisan borium. Antara kedua la-pisan 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. (Yoga Pradona, 2019)

2.4 Sejarah Panel Surya

Menurut bahasa, kata *Photovoltaic* berasal dari bahasa Yunani *photos* yang berarti cahaya dan *volta* yang merupakan nama ahli fisika dari Italia yang menemukan tegangan listrik. Secara sederhana dapat diartikan sebagai listrik dari cahaya. *Photovoltaic* merupakan sebuah proses untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Proses ini bisa dikatakan kebalikan dari penciptaan laser.

Efek *photovoltaic* pertama kali berhasil diidentifikasi oleh seorang ahli Fisika berkebangsaan Prancis Alexandre Edmond Becquerel pada tahun 1839. Baru pada tahun 1876, William Grylls Adams bersama muridnya, Richard Evans Day menemukan bahwa material padat selenium dapat menghasilkan listrik ketika terkena paparan sinar.

Dari percobaan tersebut, meskipun bisa dibilang gagal karena selenium belum mampu mengonversi listrik dalam jumlah yang diinginkan, namun hal itu mampu membuktikan bahwa listrik bisa dihasilkan dari material padat tanpa harus ada pemanasan ataupun bagian yang bergerak.

Tahun 1883, Charles Fritz mencoba melakukan penelitian dengan melapisi semikonduktor selenium dengan lapisan emas yang sangat tipis. *Photovoltaic* yang dibuatnya menghasilkan efisiensi kurang dari 1 %. Perkembangan berikutnya yang berhubungan dengan ini adalah penemuan Albert Einstein tentang efek fotolistrik pada tahun 1904. Tahun 1927, *photovoltaic* dengan tipe yang baru dirancang menggunakan tembaga dan semikonduktor copper oxide. Namun kombinasi ini juga hanya bisa menghasilkan efisiensi kurang dari 1 %.

Pada tahun 1941, seorang peneliti bernama Russel Ohl berhasil mengembangkan teknologi sel surya dan dikenal sebagai orang pertama yang membuat paten peranti solar cell modern. Bahan yang digunakan adalah silicon dan mampu menghasilkan efisiensi berkisar 4%.

Barulah kemudian di tahun 1954, Bell Laboratories berhasil mengembangkannya hingga mencapai efisiensi 6% dan akhirnya 11%. 5 Pada tengah hari yang cerah radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 watt per meter persegi. Jika sebuah piranti semikonduktor seluas satu meter persegi memiliki efisiensi 10 persen, maka modul sel surya ini mampu memberikan tenaga listrik sebesar 100 watt.

Sampai saat ini modul sel surya komersial memiliki efisiensi berkisar antara 5 hingga 15 persen tergantung material penyusunnya. Tipe silikon kristal merupakan jenis piranti sel surya yang memiliki efisiensi tinggi meskipun biaya pembuatannya relatif lebih mahal dibandingkan jenis sel surya lainnya. Tipe modul sel surya inilah yang banyak beredar di pasaran. Sebenarnya ada produk sel surya yang efisiensinya bisa mencapai 40%, namun belum dijual secara massal. Prestasi ini dicapai oleh DoE yang sudah mengembangkannya sejak awal tahun 1980.

Pada tahun 1994, laboratorium energi terbarukan (National Renewable Energy laboratory) milik DoE berhasil memecahkan rekor efisiensi 30 persen yang sangat menarik minat bagi dunia industri angkasa luar untuk memanfaatkannya. Hampir semua satelit saat ini memanfaatkan teknologi multi-junction cells. Pencapaian efisiensi hingga 40% tersebut dilakukan dengan mengkonsentrasikan cahaya matahari. Teknologi ini menggunakan konsentrator optik yang mampu meningkatkan intensitas cahaya matahari sehingga konversi listriknya pun juga meningkat.

Sedangkan pada umumnya teknologi sel surya hanya mengandalkan cahaya matahari alami atau dikenal dengan “one sun insolation” yang hanya mampu menghasilkan efisiensi 12 hingga 18 persen. Boeing-Spectrolab memakai struktur yang bernama multi-junction solar cell. Struktur ini mampu menangkap spectrum sinar matahari lebih banyak dan mengubahnya menjadi energi listrik. Sel individunya dibuat dalam beberapa lapis dan setiap lapisan mampu menangkap cahaya yang melewati sel. (R Pahlevi, 2015)

2.4.1 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.

2.4.1.1 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. Panel surya type monokristal dapat dilihat pada Gambar 2.5 dibawah ini. (M rif'an,2012)



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

2.4.1.2 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. Panel surya jenis polikristal dapat dilihat pada Gambar 2.6 di bawah ini (M rif'an,2012)



Gambar 2.6 Panel Surya Polikristalin (Mintorogo Danny Santoso, 2000)

2.4.1.3 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%. Jenis panel surya gallium arsenide ditunjukkan pada Gambar 2.7 dibawah ini. (M rif'an,2012)



Gambar 2.7 Panel Surya Gallium Arsenide (Mintorogo Danny Santoso, 2000)

2.4.2 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. (Yoga Pradona, 2019)

2.4.3 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. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Prinsip kerja Panel Surya (Yoga Pradona, 2019)

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 berikut:

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

Daya Output : Perhitungan daya output dapat dilihat pada persamaan 2.2 berikut:

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

2.4.4 Faktor Pengoperasian Sel Surya

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

2.4.4.1 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. 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.

2.4.4.2 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

2.4.4.3 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.

2.4.4.4 Orientasi panel atau larik sel surya

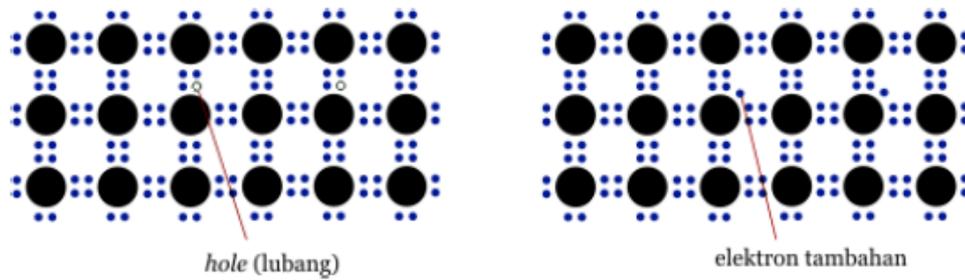
Orientasi dari rangkaian sel surya (larik) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan sel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut orientasi (tilt angle) dari panel/deretan sel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Sebagai guideline: 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.

2.4.4.5 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 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.

2.4.5 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 2.9 Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan)

(Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008))

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. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 diatas. 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.

(Yoga Pradona, 2019).

2.4.6 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 *electron hole*. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka *electron* dari area akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir.

(Yoga Pradona, 2019)

2.5 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. Charger 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. Dapat dilihat pada Gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 Charger Controller (Yoga Pradona, 2019)

2.6 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 (InsulatedGate 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. Gambar 2.11 dibawah ini menunjukkan perangkat inverter.

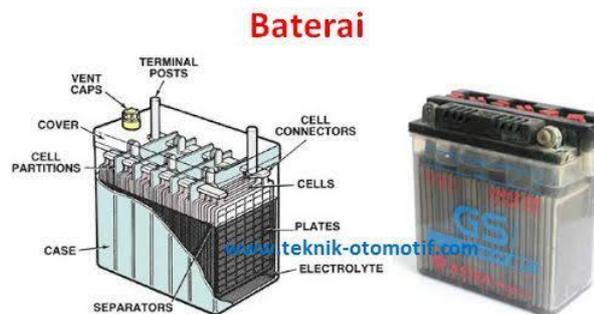


Gambar 2.11 Inverter (Sumber : teknikelektronika.com)

2.7 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. Gambar 2.12 dibawah ini menunjukkan sebuah baterai dan keterangan baterai.



Gambar 2.12 Baterai (Sumber : teknik-otomotif.com)

2.8 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 elektrostatik yang mengelilingi objek yang bermuatan tersebut. Suatu muatan listrik memiliki kemampuan untuk melakukan kerja akibat tarikan atau tolakan yang disebabkan oleh gaya medan elektrostatiknya. 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

2.9 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi

Konstanta radiasi matahari sebesar 1339 W/m^2 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 dipencarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran. Radiasi harian matahari yang sampai ke permukaan bumi dapat dihitung dengan persamaan 2.3 berikut:

$$\tau_b = (a_0 \times r_0) + (a_1 \times r_1) \times (k / \cos \theta_z) \quad (2.3)$$

Dimana :

$$a_0 = 0.4237 - 0,00821 (6 - A)^2$$

$$a_1 = 0.5055 + 0,00595 (6,5 - A)^2$$

$$k = 0.2711 + 0,01858 (2,5 - A)^2$$

A = Ketinggian diatas permukaan laut

Radiasi sebelum memasuki atmosfer ini dihitung dengan persamaan 2.4 dibawah ini:

$$G_{on} = G_{sc} (1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365}) \quad (2.4)$$

Maka radiasi batang dapat dihitung dengan persamaan 2.5 dibawah ini :

$$G_{cnb} = G_{on} \times \tau_b \quad (2.5)$$

Dan komponennya pada bidang horizontal dihitung dengan persamaan 2.6 dibawah ini :

$$G_{cb} = G_{on} \times \tau_b \times \cos \theta_z \quad (2.6)$$

Radiasi difusi dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 2.7 dibawah ini:

$$G_d = G_{on} \times \cos \theta_z (0,271 - 0,294\tau_b) \quad (2.7)$$

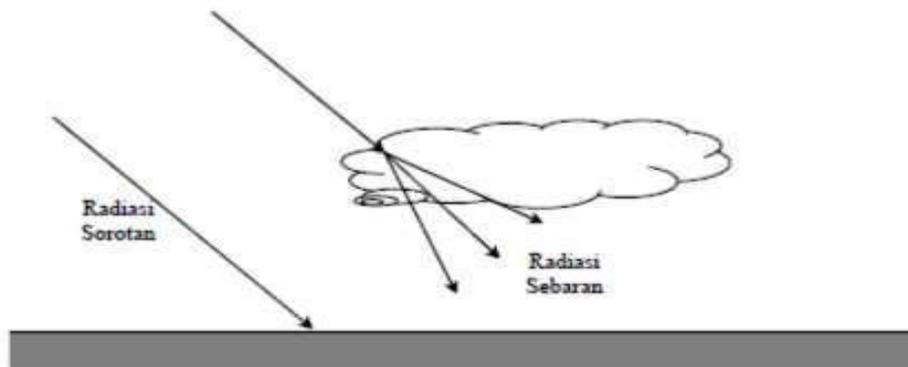
Maka radiasi total dapat dihitung dengan persamaan 2.8 dibawah ini:

$$G_{total} = G_{cb} + G_d \quad (2.8)$$

Daya input yang dihasilkan dihitung dengan persamaan 2.9 berikut ini:

$$P_{in} = G_{total} \times \text{Luas penampang} \quad (2.9)$$

Gambar 2.13 dibawah ini menunjukkan Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi.



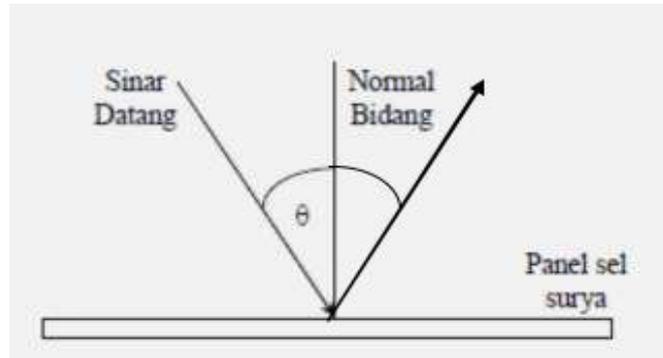
Gambar 2.13 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi
(Yuwono Budi, 2015)

2.10. 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.

2.10.1. 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. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14 dibawah ini.



Gambar 2.14 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 θ seperti gambar 2.14 maka panel akan menerima radiasi lebih kecil dengan faktor $\cos \theta$.

2.10.2 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.

2.11 Deklinasi

Yang disebut dengan deklinasi (*declination*) adalah jarak sudut antara sebuah benda langit dengan 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

diprojeksikan 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. (Sugiyatno, 2000)

Rumus menentukan deklinasi matahari seperti ditunjukkan pada persamaan 2.3 dibawah ini.

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (N - 81) \right] \quad (2.10)$$

2.12 Efisiensi Sel Surya

Efisiensi Sel Surya dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain tegangan open circuit (VOC), arus short circuit (ISC) dan Fill Factor (FF) seperti ditunjukkan pada Persamaan 2.4 dibawah ini:

$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{G} \times A \times 100\% \quad (2.11)$$

surya tergantung pada temperatur kerja, radiasi matahari, kecepatan angin, keadaan atmosfer bumi, dan posisi letak sel surya terhadap matahari (tilt angle). Intensitas radiasi matahari akan banyak berpengaruh pada arus (I) yang dihasilkan dan sedikit berpengaruh pada tegangan. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi adalah dengan menambah intensitas cahaya matahari seperti menggunakan lensa pengumpul cahaya atau reflector cahaya seperti cermin. Kecepatan angin disekitar lokasi sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur sel surya secara langsung atau mendinginkan pendingin sel surya yang sudah dipasang. Untuk mendapatkan angin secara terus menerus dapat dilakukan dengan pemasangan kipas angin yang dikontrol. Namun cara ini juga akan membutuhkan energi tambahan Keadaan atmosfer bumi pada saat berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimal arus listrik dari deretan sel surya. (Tarigan A.D, 2020)

2.13 Road Map Penelitian

Road map merupakan peta pemikiran dan hasil penelitian yang ada terkait tema penelitian (jurnal), hasil penelitian yang telah dilakukan peneliti sebelumnya dan posisinya dalam peta pemikiran, rencana pengembangan luaran kedepan, rencana dan tahapan riset yang akan dilakukan mendukung luaran yang akan dicapai. Road map penelitian panel surya di wilayah Pegunungan berastagi, Pantai Bunga Batubara, dan wilayah pantai Belawan ditunjukkan pada Tabel 2.1 dibawah ini.

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	Fakhrul Rozi	1507230137
4	Analisis Pemanfaatan Panel Surya Dalam Penghematan Daya Listrik Di Gedung D Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Bayu Anggara	1507230163
5	Study experimental penyerapan energi matahari sistem fotovoltaiik di wilayah pegunungan sibolangit	Rifki Ramadani	1607230073
6	Study Experimental Penyerapan Energi Matahari Sistem Fotovoltaiik Di Wilayah Kabupaten Batubara	Muhammad Anwar	1607230072
7	Study Experimental Peningkatan Efektivitas Panel Surya Dengan Penambahan Lapisan Kaca	Iqbal Zhafran	1607230126

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Tempat di laksanakan nya kegiatan penelitian ini yaitu di wilayah pegunungan Bukit Kubu Berastagi yang berkisar 1300-1400 mdpl.

3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu di mulai tanggal di sah kanya 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					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul						
2	Studi Litelatur						
3	Desain Alat						
4	Perakitan Alat						
5	Pengujian Alat						
6	Penulisan Bab 1 s/d Bab 3						
7	Seminar Proposal						
8	Pengujian dan Pengolahan Data						
9	Penyelesaian penulisan						
10	Sidang						

3.2 Bahan dan Alat

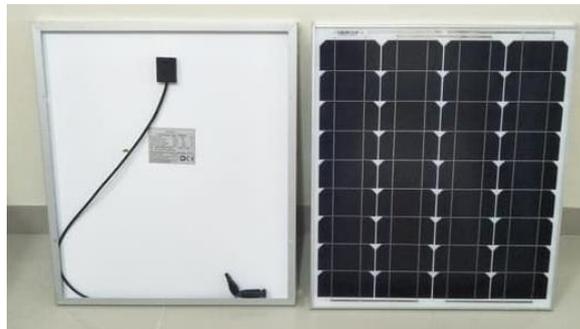
3.2.1. Bahan

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 seperti yang di tunjukkan pada Gambar 3.1 dengan spesifikasi keseluruhan dari solar cell sebagai berikut :

- Maks. Daya (Pmax) : 50Watt
- Maks. Tegangan Listrik (Vmp) : 18 Volt
- Tegangan Sirkuit Terbuka (Voc) : 21 Volt
- Maks. Arus Daya (Imp) : 2.7 Ampere
- Modul Operasi Temperatur : -40°C hingga +85°C
- Dimensi : 630×540×18 mm



Gambar 3.1 Panel Surya

2. Charger Controler

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 ini dapat dilihat pada Gambar 3.2. dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Model : PWM (*pulse width modulation*)
- Nilai Tegangan : 12V/24V
- Tegangan dihasilkan : 50 V
- Daya masuk : 390 W (12V), 780 W (24V)



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 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 dengan spesifikasi:

Model : gs astra type gs hybrid 36B20L NS40ZL

Tegangan : 12V 35Ah.

Berat : 12000 gr

Etalase : DCA720



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 Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 dibawah ini dengan spesifikasi:

- Model : Suoer SDA-500)

- Nilai daya : 500W

- Tegangan masuk : 12V
- Tegangan keluar : 220 V-240V
- Efisiensi : 50%
- Dimensi : 17.8 x 13,5 x 5.5 cm

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. Lampu yang digunakan pada penelitian ini adalah lampu jenis hannochs 11 watt seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5 dibawah ini.



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 nyyhy (2 x 2,5mm) seperti Gambar 3.6 dibawah ini.



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) seperti pada Gambar 3.7 dibawah ini.



Gambar 3.7 Besi

8. Baut dan Mur

Baut dan mur digunakan untuk memasang besi-besi rangka panel dan komponen-komponen lainnya. Baut dan mur yang digunakan adalah ukuran 12 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 dibawah ini.



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 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9 dengan spesifikasi perangkat sebagai berikut:

- Model digital Multimeter : DT830B
- Arus konstan : 10 A.
- Tegangan konstan : 1 kW.
- Tegangan bergantian – berkisar : 200 hingga 750 watt.
- Resolusi LCD : 3,5.
- Batas pengukuran gaya tahanan : 200 kOhm.
- Kisaran suhu yang diizinkan : 0 hingga 40°C.
- Dimensi : 126 x 28 x 70 mm.
- Massa perangkat : 137 g.



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 pada penelitian ini adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 dibawah ini. berikut merupakan spesifikasi infrared thermometer:

- Model : OC-305C.
- Kisaran suhu : -33°C hingga 400°C
- ketepatan : 1.5%

- Resolusi : 0.1C atau 0.1F
- Jarak rasio : 12:1
- Emisivitas : 0,95 (fixed)
- Dimensi : 150 x 85 x 35 mm



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 pada penelitian ini adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 dibawah ini. dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Model : YH611 digital lux meter
- Dimensi : 170 x 89 x 43 mm
- Akurasi : + 3%
- Daya : 9 V
- Resolusi : 0.01
- Rentang pengukuran : 0 – 20000FC



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 dudukan panel penelitian ini adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12 dibawah ini. dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Model : MMA 120G-KR.
- Tegangan : 220 V/50Hz
- Daya listrik : 900-1500 watt
- Arus masuk : 16 ampere
- Arus keluar : 20-120 ampere
- Ukuran soket : 25 mm



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 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13 dibawah ini.



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 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.14 dibawah ini.



Gambar 3.14 Mesin Bor

7. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur besi dalam pembuatan rangka rangka panel dan komponen lainnya. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.15 dibawah ini.



Gambar 3.15 Meteran

8. Obeng

Obeng digunakan untuk memasang baut dan komponen lainnya pada saat perakitan alat. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.16 dibawah ini.



Gambar 3.16 Obeng

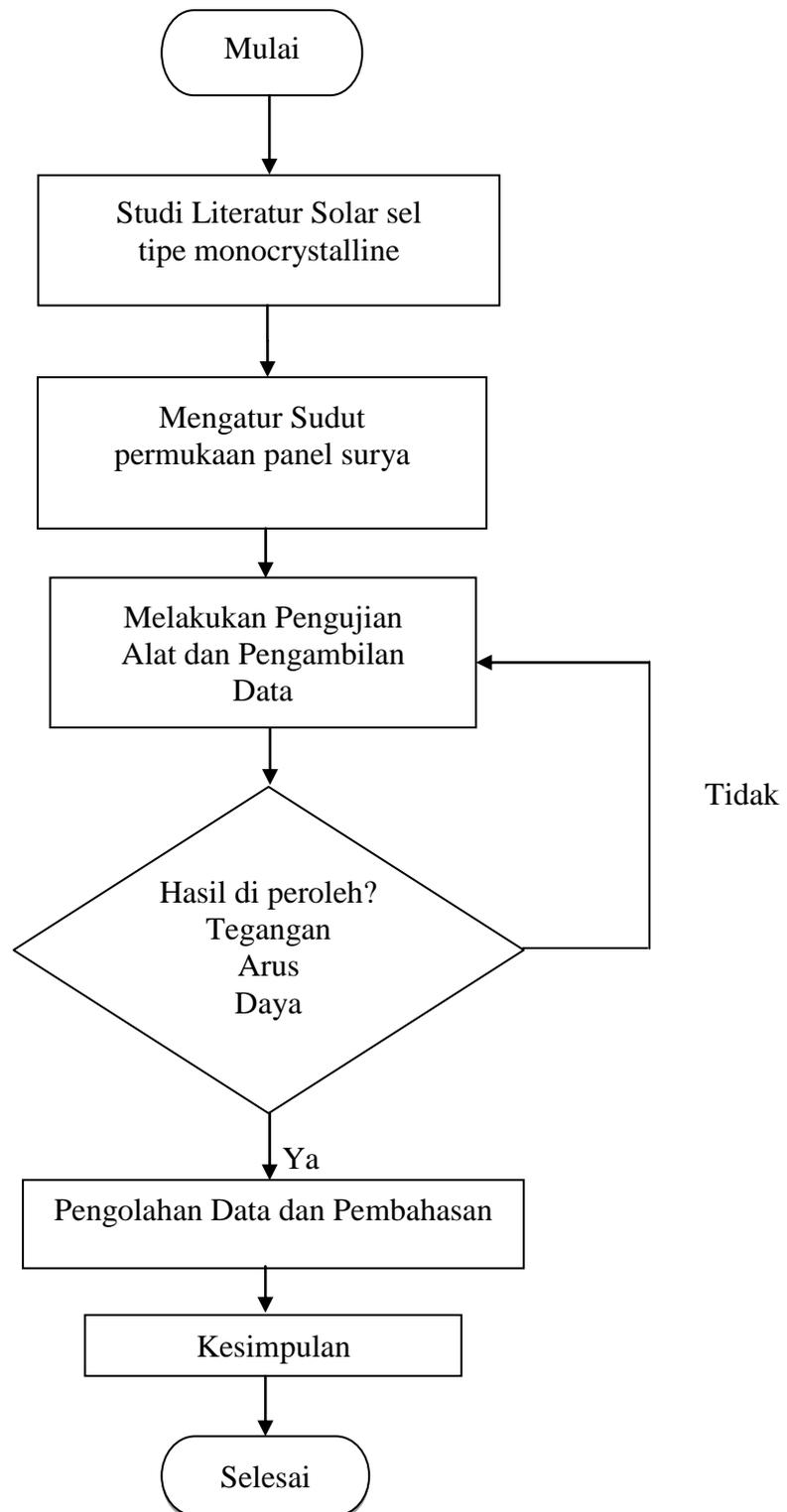
9. Kunci Ring Pas

Kunci pas ring digunakan untuk memasang baut pada kerangka panel dan komponen lainnya. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.17 dibawah ini.



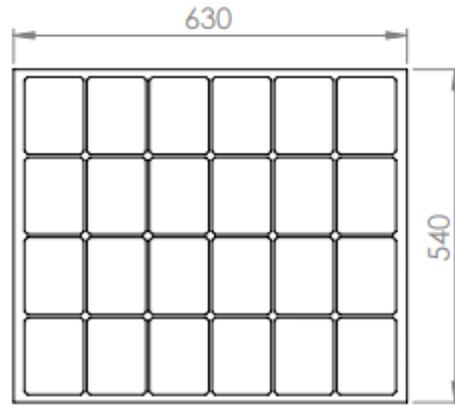
Gambar 3.17 Kunci Ring Pas

3.3. Bagan Alir Penelitian



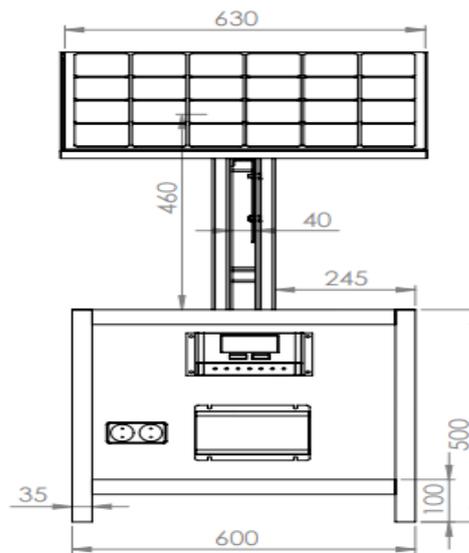
Gambar 3.18 Bagan Alir Penelitian

3.4. Rancangan Alat Penelitian



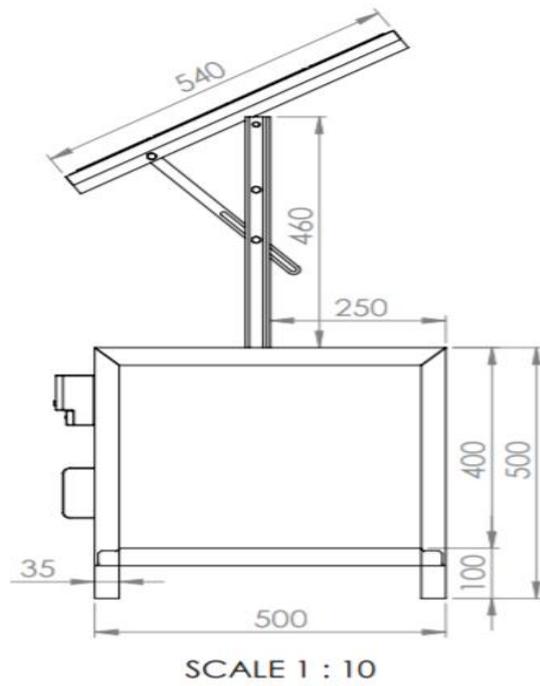
SCALE 1 : 10

Gambar 3.19 Pandangan Atas

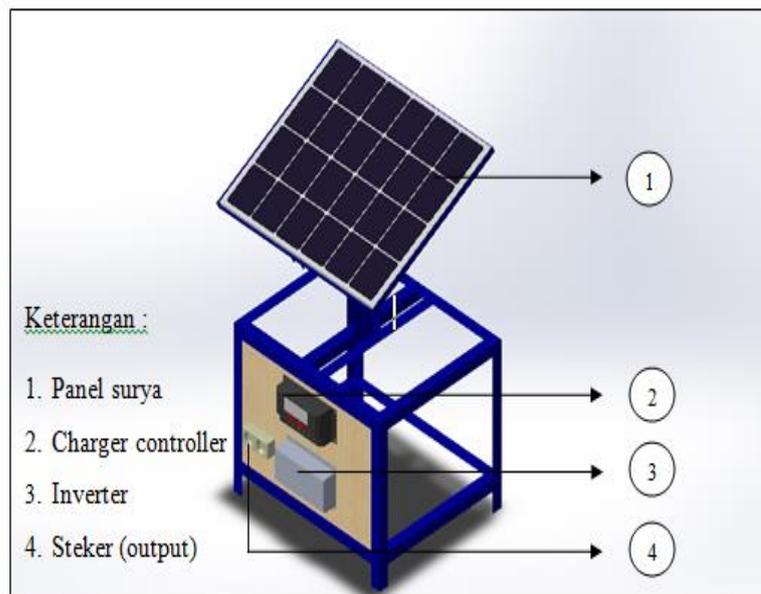


SCALE 1 : 10

Gambar 3.20 Pandangan Depan



Gambar 3.21 Pandangan Samping



Gambar 3.22 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

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 3.23 dibawah ini.



Gambar 3.23 Memasang Triplek

2. Memasang tiang penyangga dudukan panel surya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.24 dibawah ini.



Gambar 3.24 Memasang Tiang penyangga Panel

3. Memasangan panel surya ke tiang dudukan yang terpasang di kerangka yang ditunjukkan pada Gambar 3.25 dibawah ini.



Gambar 3.25 Memasang Panel

4. Memasang charger controller ke triplek yang sudah terpasang di kerangka seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.26 dibawah ini.



Gambar 3.26 Memasang Charger Controller

5. Memasang inverter ke triplek yang sudah terpasang di kerangka seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.27 dibawah ini.



Gambar 3.27 Memasang Inverter

6. Memasang baterai dan kabel penghubung keseluruhan komponen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.28 dibawah ini.



Gambar 3.28 Memasang Baterai

7. Mengatur sudut kemiringan panel dengan sudut 40° sebelum dilakukan pengujian

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 seperti ditunjukkan pada Gambar 3.29 dibawah ini, pengujian dilakukan dari jam 08.00 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 3.30 dibawah ini.



Gambar 3.30 Mengukur Intensitas Matahari

3. Mengukur temperatur pada panel surya seperti di tunjukan pada Gambar 3.31 dibawah ini.



Gambar 3.31 Mengukur Temperatur

4. Mengukur Tegangan yang dihasilkan dari keluaran panel surya seperti ditunjukkan pada Gambar 3.32 dibawah ini.



Gambar 3.32 Mengukur Tegangan.

5. Melihat besar arus dengan cara menekan tombol yang terdapat pada charger controller lalu besaran arus akan terlihat pada LCD charger controller.
6. Mencatat hasil pengujian panel surya dengan sudut 40° dari jam 08.00 wib hingga 17.00 wib.
7. Setelah pengujian dilakukan 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.



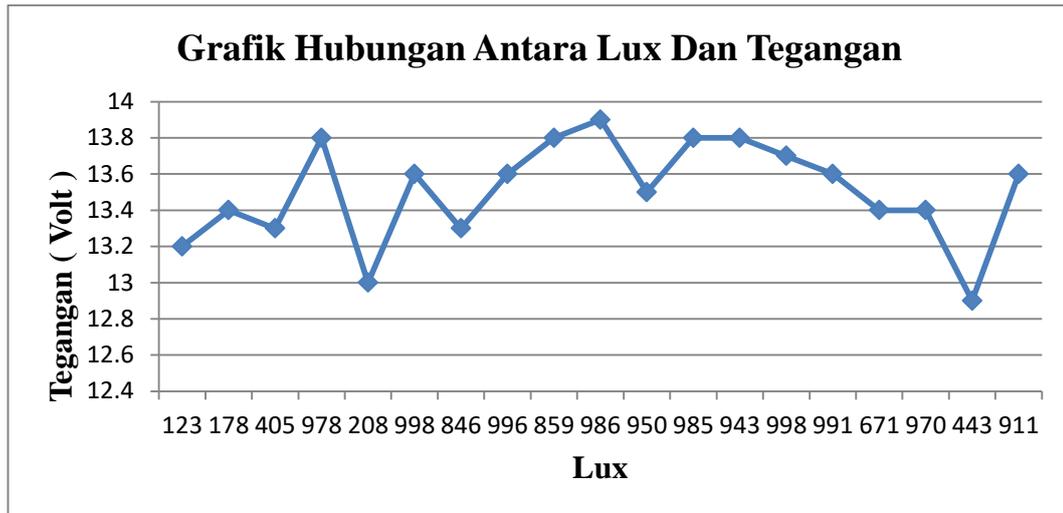
Gambar 4.1 Pengujian pengaruh arah sudut matahari terhadap keluaran sel surya arah sinar membentuk sudut 40 derajat.

Pemasangan sebuah panel sel surya pada posisi kemiringan 40°, 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 08.00 hingga pukul 17.00. Hasil dari pengujian ini nantinya untuk mengetahui seberapa optimal kerja dan letak dari panel terhadap keluaran sel surya dengan iklim dan ketinggian yang berbeda. Hasil pengujian pada wilayah Pegunungan Berastagi dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian pada Tanggal 09 Agustus 2020

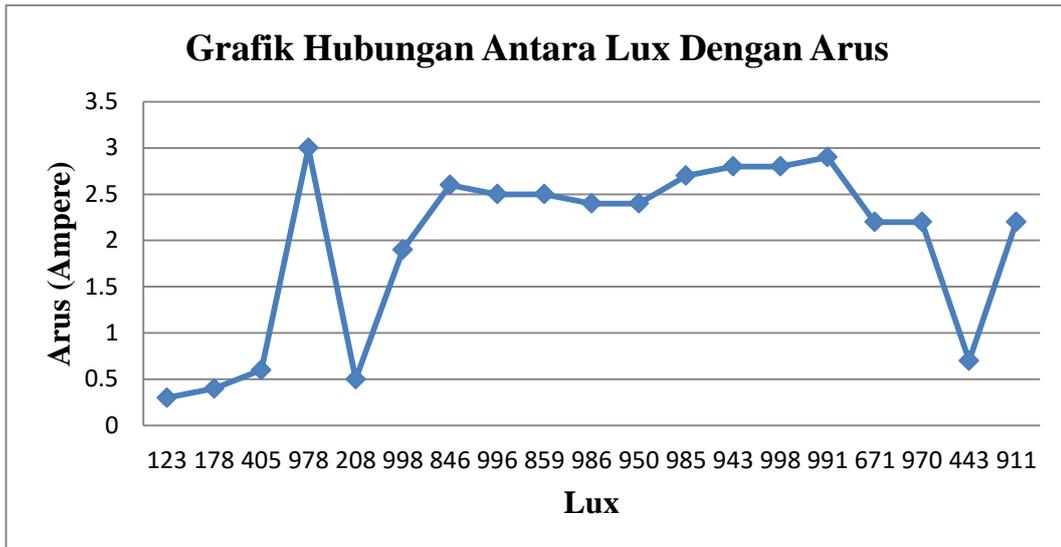
No	Posisi sudut kemiringan panel 40°						
	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)
1	08.00	Timur	123	20,2	13,2	0,3	3,96
2	08.30	Timur	178	22,8	13,4	0,4	5,36
3	09.00	Timur	405	28,9	13,3	0,6	7,98
4	09.30	Timur	978	44,6	13,8	3	41,4
5	10.00	Timur	208	26,7	13	0,5	6,5
6	10.30	Timur	998	32,2	13,6	1,9	25,84
7	11.00	Timur	846	24,7	13,3	2,6	34,58
8	11.30	Timur	996	44,8	13,6	2,5	34
9	12.00	Timur	859	50	13,8	2,5	34,5
10	12.30	Timur	986	44,8	13,9	2,4	33,36
11	13.00	Barat	950	41,1	13,5	2,4	32,4
12	13.30	Barat	985	45,8	13,8	2,7	37,26
13	14.00	Barat	943	48	13,8	2,8	38,64
14	14.30	Barat	998	41,3	13,7	2,8	38,36
15	15.00	Barat	991	51,2	13,6	2,9	39,44
16	15.30	Barat	671	39,8	13,4	2,2	29,48
17	16.00	Barat	970	38	13,4	2,2	29,48
18	16.30	Barat	443	32,2	12,9	0,7	9,03
19	17.00	Barat	911	37,4	13,6	2,2	29,92
Total			14439	714,5	256,6	37,6	511,49
Rata-rata			759,94	37,605	13,50	1,97	26,920

Tabel 4.1 merupakan hasil dari pengujian untuk mengetahui perbandingan arus, tegangan dan daya yang dihasilkan dari wilayah penguangan Berastagi. Hasil dari tabel 4.1 diambil dari hari ke 5 pada tanggal 09 Agustus 2020 dan mulai dari pukul 08.00 WIB sampai dengan 17.00 WIB. Untuk melihat hasil dari perbandingan arus, tegangan dan daya dapat dilihat pada gambar grafik berikut:



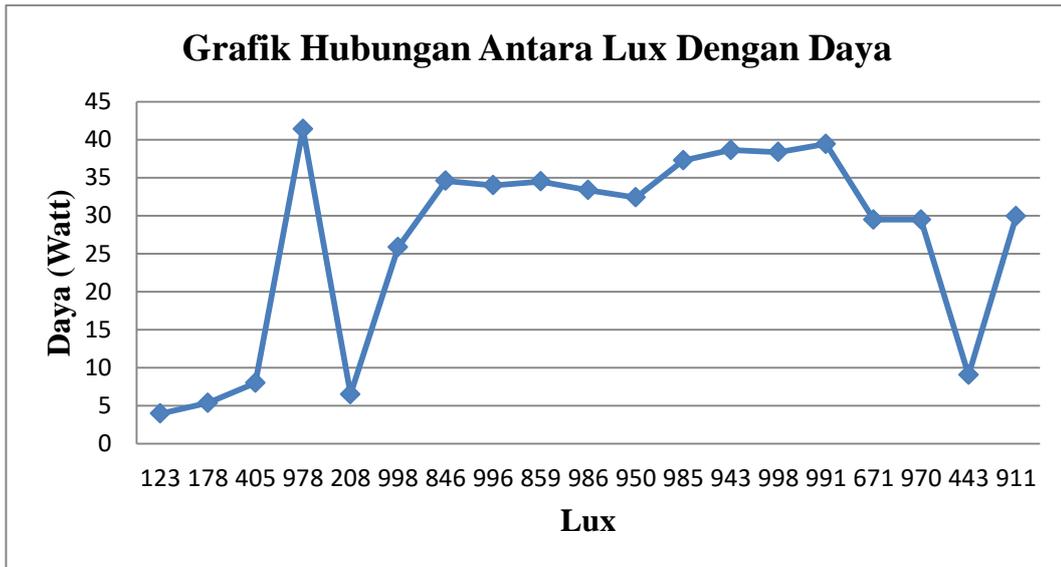
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara Lux dengan Tegangan.

Dari tabel 4.1 data pengujian dapat diperoleh dan dapat membuat grafik hubungan antara Lux dengan tegangan pada tanggal 09 agustus 2020 mulai pukul 08.00 WIB sampai dengan 17.00 WIB dan hasilnya diambil setiap 30 menit seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.2. Pada pukul 08.00 WIB dengan intensitas cahaya 123 Lux dan menghasilkan tegangan sebesar 13,2 V. Kemudian pada pukul 09.30 WIB mengalami kenaikan intensitas yang sangat tinggi yaitu 978 Lux dan menghasilkan tegangan sebesar 13,8 V. pada pukul 10.00 WIB intensitas matahari kembali menurun dikarenakan matahari tertutup awan menjadi 208 Lux dan tegangan yang diperoleh yaitu 13 V. Dari mulai pukul 11.00 sampai 12.30 WIB intensitas mengalami kenaikan terus menerus dari 846 Lux sampai 986 Lux sehingga tegangan yang dihasilkan juga meningkat dari 13,3 V sampai 13,9 V dan menjadi tegangan tertinggi. Pada pukul 13.00 WIB Posisi panel di ubah menjadi menghadap ke arah barat dan tegangan. Mulai pukul 13.30 WIB sampai 16.30 WIB intensitas mengalami penurunan sedikit demi sedikit dari 985 Lux sampai 443 Lux sehingga tegangan yang dihasilkan juga menurun yaitu dari 13,5 V sampai 12,9 V. Dan kembali naik pada pukul 05.00 WIB dikarenakan matahari pada sore hari sangat terik dengan intensitas 911 Lux dan tegangan yang diperoleh 13,6 V.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Lux Dengan Arus.

Dari gambar 4.3 data pengujian dapat diperoleh dan dapat membuat grafik hubungan antara Lux dengan arus yaitu pada tanggal 09 agustus 2020 mulai pukul 08.00 WIB sampai dengan 17.00 WIB dan diambil hasilnya setiap 30 menit, seperti yang dijelaskan pada gambar 4.3. Pada pukul 08.00 WIB sampai pukul 09.30 mengalami kenaikan intensitas matahari dari 123 Lux sampai 978 Lux yang dikarenakan terik nya sinar matahari dan arus yang diperoleh juga meningkat dari 0,3 A sampai 3 A. Dan kembali menurun pada pukul 10.00 WIB yang diakibatkan perubahan cuaca dan matahari tertutup awan yaitu dengan intensitas matahari 208 dan arus yang diperoleh 0,5 A. Dari mulai Pukul 10.30 WIB sampai 15.00 WIB mengalami peningkatan intensitas matahari dari 998 Lux sampai 991 Lux dengan arus yang dihasilkan juga meningkat yaitu 1,9 A sampai 2,9 A. pada pukul 13.00 WIB Posisi panel surya di ubah menjadi menghadap ke arah barat. Pada pukul 15.30 WIB sampai pukul 16.30 WIB mengalami penurunan intensitas dari 671 Lux sampai 443 Lux dengan arus yang diperoleh dari 2,2 A sampai 0,7 A. Lalu kembali naik pada pukul 05.00 WIB dikarenakan matahari pada sore hari sangat terik dengan intensitas sebesar 911 menghasilkan arus sebesar 2,2 A.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Lux Dengan Daya.

Dari gambar 4.4 data pengujian dapat diperoleh dan dapat membuat grafik hubungan antara Lux dan daya yaitu pada tanggal 09 agustus 2020 mulai pukul 08.00 WIB sampai dengan 17.00 WIB. Dari gambar 4.4 memperlihatkan grafik hubungan antara Lux dengan daya, hasil dari daya yang didapat melalui hasil perkalian dari tegangan (V) dengan kuat arus (I) di setiap 30 menit, dimulai dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 17.00. Pada grafik hubungan antara daya dengan Lux dapat terlihat, yaitu pada pukul 08.00 WIB dengan intensitas cahaya 123 Lux sampai dengan pukul 09.30 WIB dengan intensitas cahaya 978 Lux memperlihatkan peningkatan daya yang tinggi dikarenakan teriknya matahari mulai dari 3,96 Watt sampai dengan 41,4 Watt. Pada pukul 10.00 WIB intensitas cahaya mengalami penurunan karena matahari tertutup awan yaitu 208 Lux dan daya yang diperoleh yaitu 6,5 watt. Dari pukul 10.30 WIB sampai dengan pukul 15.00 WIB Mengalami peningkatan intensitas dari 998 Lux sampai 991 Lux dengan daya 25,84 Watt sampai 39,44 watt. Pada pukul 13:00 WIB posisi panel surya di ubah menjadi menghadap ke arah barat. Kemudian mengalami penurunan pada pukul 15.30 WIB sampai pukul 16.30 Wib dengan daya yang diperoleh dari 29,48 watt sampai 9,03 watt. Lalu pada pukul 17.00 WIB kembali naik menjadi 911 Lux karena pada sore hari matahari sangat terik dan daya yang didapat sebesar 29,92 watt.

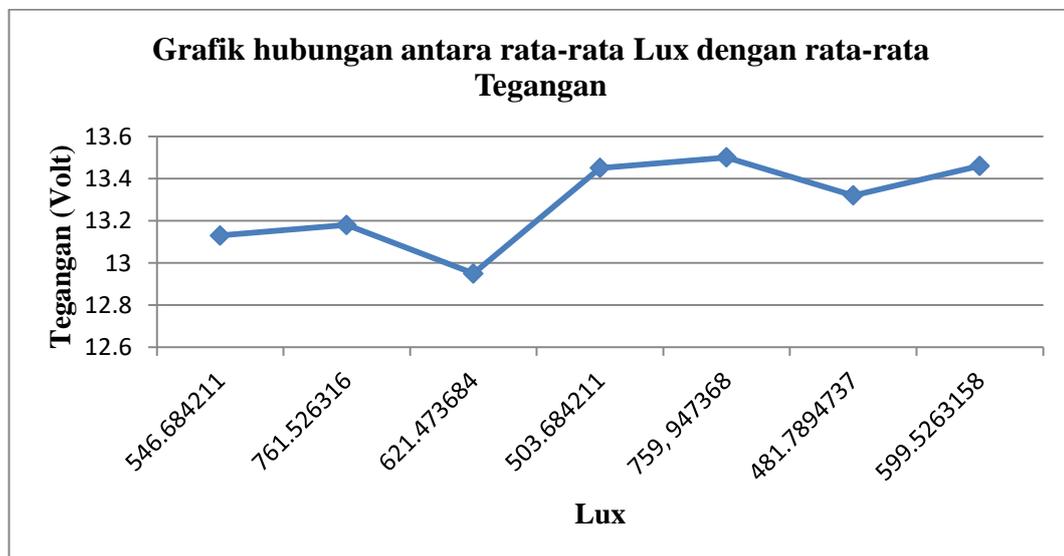
4.2 Hasil Pengujian Untuk Mengetahui Seberapa Optimal Kerja Panel Surya selama 7 hari.

Untuk mengetahui kerja dari panel surya secara optimal dan maksimal dengan memasukan hasil dari rata-rata pengujian pada tegangan, arus dan daya selama 7 hari, dimulai dari pukul 08.00 WIB sampai dengan 17.00 WIB, yaitu di daerah Pegunungan Berastagi.

Tabel 4.2 Hubungan Antara rata-rata Lux dengan rata-rata Tegangan (Volt)

Hari	Lux	Tegangan (Volt)
1	546,68	13,13
2	761,52	13,18
3	621,47	12,95
4	503,68	13,45
5	759,94	13,50
6	481,78	13,32
7	599,52	13,46

Tabel 4.2 menjelaskan tentang hubungan antara rata-rata Lux dengan rata-rata Tegangan yang diambil dari hasil proses pengujian selama 7 hari di wilayah pegunungan Berastagi. Dan diambil dari nilai rata-rata yang dihasilkan selama perhari.



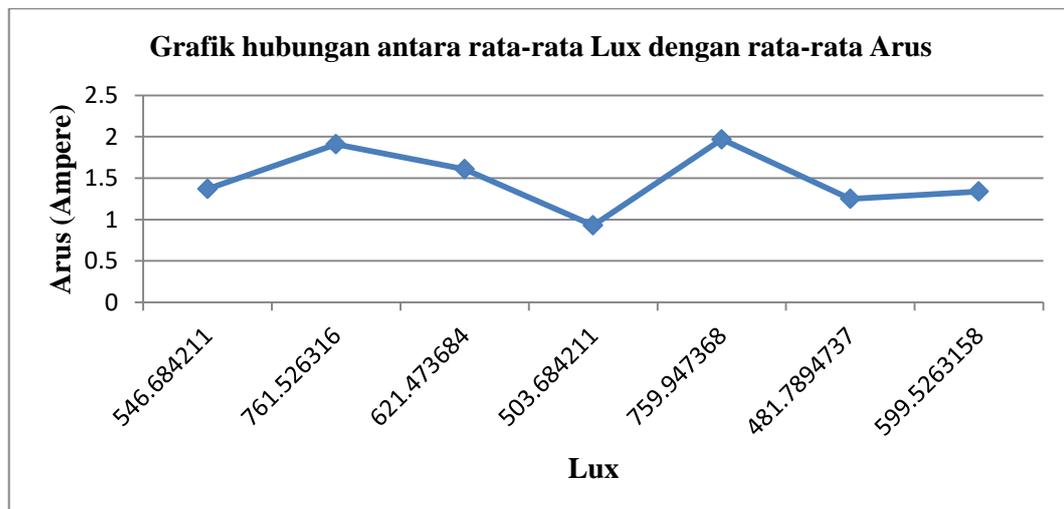
Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara rata-rata Lux dengan rata-rata Tegangan. Gambar 4.5 menunjukkan grafik dari hasil pengujian rata-rata Lux dengan rata-rata tegangan perharinya yang dihasilkan di wilayah pegunungan berastagi selama 7 hari di mulai pada tanggal 05 agustus 2020 sampai dengan 11 agustus 2020.

Seperti dijelaskan pada grafik hubungan antara tegangan dengan lux, yaitu pada hari pertama dengan intensitas cahaya 546,68 Lux sampai dengan hari ke 5 dengan intensitas cahaya 759,94 Lux mengalami kenaikan tegangan yaitu mulai dari 13,13 V sampai dengan tegangan sebesar 13,50 Volt. Terjadi penurunan tegangan pada hari ke 6 dengan intensitas cahaya 481,78 Lux yaitu 13,32 V. dan pada hari ke 7 dengan intensitas cahaya 599,52 Lux yaitu 13,46 V. Tegangan rata-rata tertinggi di hasilkan pada hari ke 5 dengan intensitas cahaya 759,94 Lux yaitu sebesar 13,50 V. Sedangkan tegangan rata-rata terkecil intensitas cahaya terjadi pada hari keenam yaitu 481,78 Lux dan tegangan yang dihasilkan sebesar 13,32 V.

Tabel 4.3 Hubungan antara rata-rata Lux dengan rata-rata Arus (Ampere)

Hari	Lux	Arus (Ampere)
1	546,68	1,37
2	761,52	1,91
3	621,47	1,61
4	503,68	0,93
5	759,94	1,97
6	481,78	1,25
7	599,52	1,34

Tabel 4.3 menjelaskan tentang hasil hubungan antara Lux dengan Arus, yang kemudian diambil dari hasil rata-rata perharinya, dengan pengujian selama 7 hari dimulai dari pukul 08.00 WIB sampai dengan 17.00 WIB di wilayah pegunungan Berastagi.



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara rata-rata Lux dengan rata-rata Arus.

Gambar 4.6 menjelaskan grafik antara rata-rata Lux dengan rata-rata Arus yang dimana hasil dari pengujian diambil dari rata-rata arus yang dihasilkan perharinya di wilayah Pegunungan berastagi selama 7 hari di mulai pada tanggal 05 agustus 2020 sampai dengan 11 agustus 2020. Seperti yang dijelaskan di dalam grafik hubungan antara arus dengan Lux, yaitu pada hari pertama dengan rata-rata intensitas cahaya 546,68 Lux rata-rata arus yang dihasilkan 1,37 A, dan pada hari kedua dengan rata-rata intensitas cahaya 761,52 Lux mengalami kenaikan yaitu 1,91 Ampere. Pada hari ke 4 dengan rata-rata intensitas cahaya 503,68 Lux mengalami penurunan arus sebesar 0,93 A, dan pada hari keempat ini merupakan rata-rata arus terendah yang diperoleh selama tujuh hari penelitian. Dan rata-rata tertinggi yang diperoleh yaitu pada hari kelima dengan intensitas 759,94 Lux dengan arus sebesar 1,97 A.

Untuk mengetahui daya yang dihasilkan pada panel surya di wilayah Pegunungan Berastagi dapat dihitung, yaitu :

➤ Hari pertama wilayah Berastagi

$$\text{Dik : } V = 12,4$$

$$I = 0,3$$

$$P = 12,4 \times 0,3 = 3,72 \text{ Watt.}$$

Maka dari sudut 40° dapat menghasilkan daya sebesar 3,72 Watt.

➤ Hari Kedua wilayah Berastagi

$$\text{Dik : } V = 12,4$$

$$I = 0,5$$

$$P = 12,4 \times 0,5 = 6,2 \text{ Watt.}$$

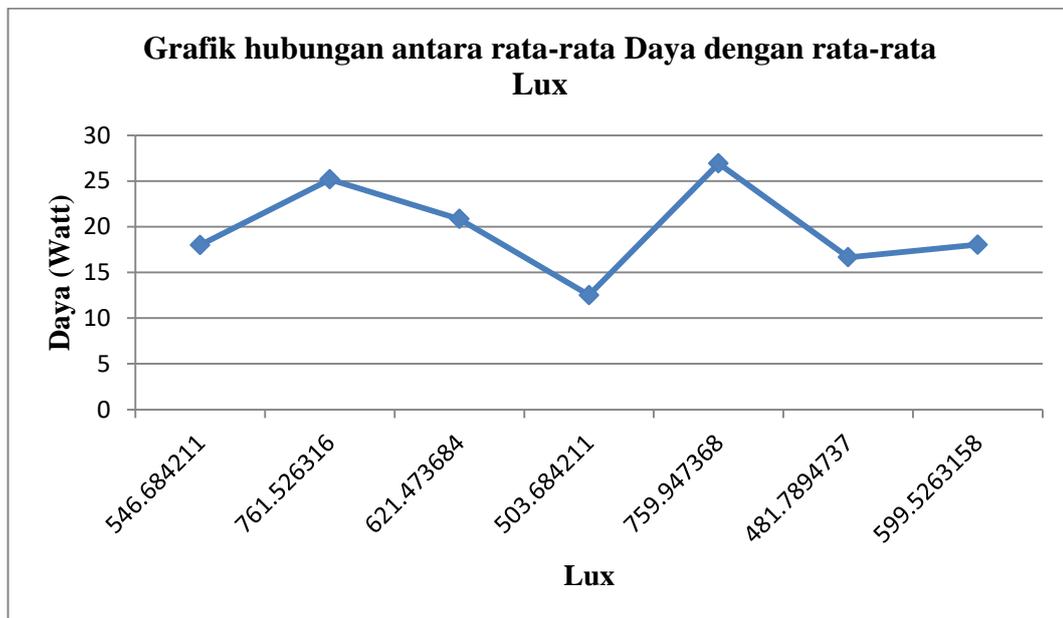
Maka dari sudut 40° dapat menghasilkan daya sebesar 6,2 Watt

Dengan metode perhitungan mencari daya yang sama seperti di atas. Maka hasil daya dari pengujian selama 7 hari dapat secara lengkap di tampilkan pada tabel 4.4 di bawah ini sebagai berikut:

Tabel 4.4 Hubungan antara rata-rata Lux dengan rata-rata Daya (Watt)

Hari	Lux	Daya (watt)
1	546,68	17,988
2	761,52	25,173
3	621,47	20,849
4	503,68	12,508
5	759,94	26,92
6	481,78	16,65
7	599,52	18,036

Tabel 4.4 menjelaskan tentang hasil hubungan antara rata-rata Lux dengan rata-rata Daya, yang kemudian diambil dari hasil rata-rata perharinya, dengan pengujian selama 7 hari dimulai dari pukul 08.00 WIB sampai dengan 17.00 WIB di wilayah pegunungan Berastagi.



Gambar 4.7 Grafik hubungan antara rata-rata Lux dengan rata-rata Daya.

Gambar 4.7 menjelaskan grafik antara rata-rata Lux dengan rata-rata Daya yang dimana hasil dari pengujian diambil dari rata-rata arus yang dihasilkan perharinya di wilayah Pantai Bunga yang dilakukan selama 7 hari dimulai dari pukul 08.00 sampai 17.00. Seperti dijelaskan oleh gambar 4.7 pada hari pertama dengan rata-rata intensitas cahaya 546,68 Lux daya yang didapat sebesar 17,988 Watt dan pada hari kedua dengan rata-rata intensitas cahaya 761.52 Lux mengalami kenaikan daya hingga 25,173 Watt. Pada hari ke 3 dengan rata-rata intensitas cahaya 621,47 Lux mengalami penurunan daya sampai 20,849 Watt. peningkatan daya terjadi pada hari ke 5 dengan rata-rata intensitas cahaya 759,94

Lux daya mencapai 26,92 Watt dan menjadi rata-rata daya tertinggi yang didapat selama penelitian.. Namun pada hari ke 4 dengan rata-rata intensitas cahaya 503,68 Lux dan daya 12,508 Watt menjadi rata-rata daya terendah selama penelitian.

4.3 Perhitungan sudut deklinasi selama 7 hari pengujian.

Untuk mencari nilai sudut deklinasi menggunakan rumus cooper, n adalah urutan hari pada suatu tahun. Berdasarkan bulan yang diketahui ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Nilai n Pada Hari Berdasarkan Bulan (Duffie, 1991)

Bulan	Nilai n pada hari yang ke-i
Januari	i
Februari	31+i
Maret	59+i
April	90+i
Mei	120+i
Juni	151+i
July	181+i
Agustus	212+i
September	243+i
Oktober	273+i
November	304+i
Desember	334+i

➤ Pengujian pada Tanggal 05 Agustus 2019

$$\begin{aligned} \text{Maka } n &= 212 + 5 \\ &= 217 \end{aligned}$$

Maka menggunakan rumus cooper II

$$\begin{aligned} \delta &= 23,45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (n - 81) \right] \\ &= 23,45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (217 - 81) \right] \\ &= 23,45^\circ \sin(134,13) \\ &= 16,831^\circ \end{aligned}$$

Maka pada pengujian pertama letak posisi sudut deklinasi yaitu 16,831°

Dengan metode perhitungan mencari letak sudut deklinasi yang sama seperti di atas. Maka hasil dari pengujian selama 7 hari dapat secara lengkap di tampilkan pada tabel 4.6 di bawah ini sebagai berikut.

Tabel 4.6 Sudut Deklinasi selama 7 hari

Hari	Tanggal	Jumlah hari sepanjang tahun (n)	Sudut Deklinasi (δ)
1	05 Agustus 2020	217	16,831°
2	06 Agustus 2020	218	16,546°
3	07 Agustus 2020	219	16,26°
4	08 Agustus 2020	220	15,965°
5	09 Agustus 2020	221	15,666°
6	10 Agustus 2020	222	15,366°
7	11 Agustus 2020	221	15,057°

4.4 Intensitas Radiasi Matahari Pada Permukaan Datar Pegunungan Berastagi.

Radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi. Pada kondisi langit cerah dapat dihitung dengan metode yang diajukan oleh Hottel (1976).

Tabel 4.7 Faktor koreksi iklim (Beckman, 1991)

Iklim	r_0	r_1	r_k
Tropical	0,95	0,98	1,02
Mediatude summer	0,97	0,99	1,02
Subarctic summer	0,99	0,99	1,01
Midiatude winter	1,03	1,01	1,00

Ketinggian dari Pegunungan Berastagi ialah $A = 1,3$ Km. Diperoleh sebagai berikut:

$$a_0 = 0,4237 - 0,00821 (6 - 1,3)^2 = 0,2423$$

$$a_1 = 0,5055 + 0,00595 (6,5 - 1,3)^2 = 0,6663$$

$$k = 0,2711 + 0,01858 (2,5 - 1,3)^2 = 0,2978$$

Lokasi yang sedang dihitung ini dikategorikan Tropical, Maka dengan menggunakan koreksi pada Tabel 4.6 akan didapat:

$$\begin{aligned} \tau_b &= (0,2423 \times 0,95) + (0,6663 \times 0,98) \times (0,2978 \times \frac{1,02}{0,766}) \\ &= 0,230185 + 0,652974 \times 0,396548 \\ &= 0,489 \end{aligned}$$

Radiasi sebelum memasuki atmosfer pada tempat ini dihitung dengan persamaan:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360 \times 234}{365} \right) = 1339 \text{ W/m}^2$$

Maka radiasi batang dapat dihitung dengan persamaan :

$$G_{cnb} = 1339 \times 0,489 = 654,771 \text{ W/m}^2$$

Dan komponennya pada bidang horizontal dihitung dengan persamaan :

$$G_{cb} = 654,771 \times 0,766 = 501,554 \text{ W/m}^2$$

Radiasi difusi dapat di hitung dengan menggunakan persamaan

$$G_d = 1339 \times 0,766 \times (0,271 - 0,294) \times 0,489 = -11,53$$

Maka radiasi total adalah = $501,554 + (-11,53) = 490,024 \text{ W/m}^2$.

Daya input yang dihasilkan dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} P_{in} &= 490,02 \times 0,3402 \\ &= 166,70 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Efisiensi sel surya dapat dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{13,50 \times 1,97}{490,02} \times 0,3402 \times 100 \% \\ &= 1,907 \% \end{aligned}$$

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tegangan maksimal yang dihasilkan di wilayah Pegunungan Berastagi sebesar 13,50 Volt. Di ambil dari rata-rata tegangan pada hari kelima dengan rata-rata intensitas cahaya 759,94 Lux dan rata-rata temperature 37,605.
2. Arus maksimal yang dihasilkan di wilayah Pegunungan Berastagi sebesar 1,97 Ampere. Di ambil dari rata-rata tegangan pada hari kelima dengan rata-rata intensitas cahaya 759,94 Lux dan rata-rata temperature 37,605.
3. Daya maksimal yang dihasilkan di wilayah Pegunungan Berastagi sebesar 26,92 Watt. Di ambil dari rata-rata tegangan pada hari kelima dengan rata-rata intensitas cahaya 759,94 Lux dan rata-rata temperature 37,605.
4. Efisiensi yang didapat dari panel surya di wilayah pegunungan berastagi dengan ketinggian 1300 Mdpl sebesar 1,907 %

5.2 Saran

1. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dilakukan dengan selang waktu yang lebih lama.
2. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan perangkat tambahan yang dapat mengikuti pergerakan matahari.

DAFTAR PUSTAKA

- Beckman William A. (2015) "*Solar Engineering Of Thermal Processes*". University Of Wisconsin Madison.
- Dzulfikar Dafi, Wisnu Broto. (2016) "*Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga*". E-Journal SNF2016, Jakarta: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Pancasila Jakarta.
- Diniardi Ery, Ramadhan A Ilmar, Sony Hari Mukti. (2019). "*Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP*". Jakarta: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Halawa E.E.H. (2000) "*Estimation Of Global Solar Radiation In The Indonesian Climatic Region*". Research And Development Centre For Applied Physics, LIPI-Bandung.
- Iskandar H Rusiana (2020) "*Praktis Belajar Pembangkit Listrik Tenaga Surya*". Jurusan Teknik Electro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani.
- Karo BPS Kabupaten. (2020-2021) "*Data Statistik Kabupaten Karo*". Sumatera Utara Kabupaten Karo.
- Pradona Yoga. (2019) "*Variasi Kemiringan Sudut Terhadap Efektivitas Kinerja Panel Surya*". Medan: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Pahlevi R. (2015) "*Pengujian Karakteristik Panel Surya Berdasarkan Intensitas Tenaga Surya*". Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Purwoto BH, Jatmiko. (2018) "*Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif*". Surakarta: Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Ramadhani Ing. Bagus. (2018) "*Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya*". Menteng, Jakarta Pusat.
- Rusman.(2015) "*Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell Dengan Kapasitas 50 WP*". Jurnal, Lampung: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Metro.

- Ramadhan A Ilmar, Ery Diniardi, Sony Hari Mukti. (2016). *“Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP”*. Jakarta: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Rif’an M, Sholeh HP, Rudy Yuwono. (2012) *“Optimasi Pemanfaatan Energy Listrik Tenaga Mataharidi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya”*. Malang: Teknik Eectro, Universitas Brawijaya.
- Subekti Yuliananda, Gede Surya, RA Retno Hastijanti. (2015) *Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya* Jurnal Pengabdian LPPM, Surabaya: Fakultas Teknik, UNTAG.
- 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.

LAMPIRAN

Tanggal : 5 Agustus 2020 (Hari Ke-1)

Posisi Sudut Kemiringan Panel 40°

No	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	119	17,9	12,4	00,3	3,72
2	08.30	Timur	233	20,6	12,4	00,5	6,2
3	09.00	Timur	587	27,7	12,8	01,4	17,92
4	09.30	Timur	422	29,9	12,6	00,9	11,34
5	10.00	Timur	483	28,2	12,6	01,2	15,12
6	10.30	Timur	890	37,6	13,7	02,8	38,36
7	11.00	Timur	981	39,5	14,0	02,1	29,4
8	11.30	Timur	818	47,2	13,5	02,4	32,4
9	12.00	Timur	916	37,5	14,1	02,2	31,02
10	12.30	Timur	473	30,9	13,0	00,9	11,7
11	13.00	Barat	941	36,3	13,8	02,1	28,98
12	13.30	Barat	982	43,9	13,8	03,2	44,16
13	14.00	Barat	975	47,3	13,6	02,4	32,64
14	14.30	Barat	647	41,7	13,7	01,6	21,92
15	15.00	Barat	301	32,9	13,0	00,8	10,4
16	15.30	Barat	277	30,9	12,8	00,6	7,68
17	16.00	Barat	109	24,7	12,7	00,2	2,54
18	16.30	Barat	105	23,8	12,5	00,2	2,5
19	17.00	Barat	128	23,3	12,6	00,3	3,78
Total			10387	621,8	249,6	26,1	420,9
Rata-Rata			546,68 4211	32,72632	13,1	1,373684	18,51474

Tanggal : 06 Agustus 2020 (Hari Ke-2)

No	Posisi Sudut Kemiringan Panel 40°						
	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	121	21,8	12,8	0,2	2,56
2	08.30	Timur	144	22,5	13	0,3	3,9
3	09.00	Timur	264	25,5	13,2	0,6	7,92
4	09.30	Timur	867	35,2	13,5	1,3	17,55
5	10.00	Timur	943	42,9	13,9	2,6	36,14
6	10.30	Timur	988	43,6	13,7	2,2	30,14
7	11.00	Timur	998	47,9	13,2	2,1	27,72
8	11.30	Timur	998	45,9	13,5	2,5	33,75
9	12.00	Timur	995	52,4	13,2	2,5	33
10	12.30	Timur	983	52,8	13,1	2,4	31,44
11	13.00	Barat	990	46,8	13	2,5	32,5
12	13.30	Barat	939	50,5	13	2,6	33,8
13	14.00	Barat	991	46	13,1	2,7	35,37
14	14.30	Barat	904	51,1	13,3	2,8	37,24
15	15.00	Barat	977	52,5	13,3	2,8	37,24
16	15.30	Barat	894	52,1	13,2	2,7	35,64
17	16.00	Barat	962	48,3	13,1	2,4	31,44
18	16.30	Barat	342	35,5	12,8	0,7	8,96
19	17.00	Barat	169	26	12,7	0,4	5,08
Total			14469	799,3	250,6	36,3	481,39
Rata-Rata			761,52 6316	42,06842	13,18947	1,910526	25,33632

Tanggal : 07 Agustus 2020 (Hari Ke-3)

Posisi Sudut Kemiringan Panel 40°							
No	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	114	19,7	12,7	0,2	2,54
2	08.30	Timur	211	23,2	12,9	0,5	6,45
3	09.00	Timur	611	36,9	13	1,3	16,9
4	09.30	Timur	755	38,1	12,5	1,4	17,5
5	10.00	Timur	831	41,9	13,1	2,5	32,75
6	10.30	Timur	853	44,8	12,8	1,5	19,2
7	11.00	Timur	610	31,3	12,9	1,5	19,35
8	11.30	Timur	422	33,4	12,9	1,2	15,48
9	12.00	Timur	973	39,8	13,5	1,1	14,85
10	12.30	Timur	392	35,2	12,8	1,3	16,64
11	13.00	Barat	862	38,2	13,1	2,9	37,99
12	13.30	Barat	901	43,3	13	2,6	33,8
13	14.00	Barat	928	43,9	13	2,4	31,2
14	14.30	Barat	890	48	13	2,8	36,4
15	15.00	Barat	849	36,3	13,2	3	39,6
16	15.30	Barat	387	29,4	12,9	0,7	9,03
17	16.00	Barat	328	25,3	12,7	0,5	6,35
18	16.30	Barat	164	22	12,9	0,8	10,32
19	17.00	Barat	727	28,8	13,3	2,4	31,92
Total			11808	659,5	246,2	30,6	398,27
Rata-Rata			621,47 3684	34,71053	12,95789	1,610526	20,96158

Tanggal : 08 Agustus 2020 (Hari Ke-4)

Posisi Sudut Kemiringan Panel 40°							
No	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	130	20,2	13	0,2	2,6
2	08.30	Timur	193	22,1	13,3	0,3	3,99
3	09.00	Timur	554	35,2	13,5	1,2	16,2
4	09.30	Timur	340	27,5	13,5	0,6	8,1
5	10.00	Timur	289	23,8	13,7	0,5	6,85
6	10.30	Timur	352	23,5	13,5	0,6	8,1
7	11.00	Timur	563	30,3	13,7	1,1	15,07
8	11.30	Timur	708	33,2	13,8	1,6	22,08
9	12.00	Timur	788	31,5	13,8	1,4	19,32
10	12.30	Timur	591	27,3	13,2	0,8	10,56
11	13.00	Barat	332	26,3	13,6	0,6	8,16
12	13.30	Barat	520	26,2	13,4	0,8	10,72
13	14.00	Barat	584	26,5	13,1	1	13,1
14	14.30	Barat	496	28	13,7	1	13,7
15	15.00	Barat	738	30,7	13,8	1,3	17,94
16	15.30	Barat	989	44,9	13,8	2,4	33,12
17	16.00	Barat	964	36,3	13,1	1,5	19,65
18	16.30	Barat	208	25,2	13	0,4	5,2
19	17.00	Barat	231	24,5	13,2	0,4	5,28
Total			9570	543,2	255,7	17,7	239,74
Rata-Rata			503,68 4211	28,58947	13,45789	0,931579	12,61789

Tanggal : 09 Agustus 2020 (Hari Ke-5)

Posisi Sudut Kemiringan Panel 40°							
No	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	123	20,2	13,2	0,3	3,96
2	08.30	Timur	178	22,8	13,4	0,4	5,36
3	09.00	Timur	405	28,9	13,3	0,6	7,98
4	09.30	Timur	978	44,6	13,8	3	41,4
5	10.00	Timur	208	26,7	13	0,5	6,5
6	10.30	Timur	998	32,2	13,6	1,9	25,84
7	11.00	Timur	846	24,7	13,3	2,6	34,58
8	11.30	Timur	996	44,8	13,6	2,5	34
9	12.00	Timur	859	50	13,8	2,5	34,5
10	12.30	Timur	986	44,8	13,9	2,4	33,36
11	13.00	Barat	950	41,1	13,5	2,4	32,4
12	13.30	Barat	985	45,8	13,8	2,7	37,26
13	14.00	Barat	943	48	13,8	2,8	38,64
14	14.30	Barat	998	41,3	13,7	2,8	38,36
15	15.00	Barat	991	51,2	13,6	2,9	39,44
16	15.30	Barat	671	39,8	13,4	2,2	29,48
17	16.00	Barat	970	38	13,4	2,2	29,48
18	16.30	Barat	443	32,2	12,9	0,7	9,03
19	17.00	Barat	911	37,4	13,6	2,2	29,92
Total			14439	714,5	256,6	37,6	511,49
Rata-Rata			759,94 7368	37,60526	13,50526	1,978947	26,92053

Tanggal : 10 Agustus 2020 (Hari Ke-6)

Posisi Sudut Kemiringan Panel 40°							
No	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	122	19	13,3	0,2	2,66
2	08.30	Timur	282	19,5	13,2	0,2	2,64
3	09.00	Timur	913	50,2	13,8	2,8	38,64
4	09.30	Timur	869	49,2	13,6	2,7	36,72
5	10.00	Timur	901	43,4	13,7	2,8	38,36
6	10.30	Timur	208	35,8	13	0,8	10,4
7	11.00	Timur	201	23,4	13	0,6	7,8
8	11.30	Timur	189	22,6	12,9	0,6	7,74
9	12.00	Timur	197	19,7	12,9	0,4	5,16
10	12.30	Timur	887	32,6	13,4	1,8	24,12
11	13.00	Barat	903	37,2	13,7	2	27,4
12	13.30	Barat	298	42,9	13,5	0,5	6,75
13	14.00	Barat	245	29,3	13,2	0,4	5,28
14	14.30	Barat	648	43	13,8	2,7	37,26
15	15.00	Barat	975	45,3	13,8	2,8	38,64
16	15.30	Barat	897	42,1	12,8	0,9	11,52
17	16.00	Barat	146	34,8	13,1	0,5	6,55
18	16.30	Barat	143	29,4	13,2	0,7	9,24
19	17.00	Barat	130	30,7	13,2	0,4	5,28
Total			9154	650,1	253,1	23,8	322,16
Rata-Rata			481,78 94737	34,21579	13,32105	1,252632	16,95579

Tanggal : 11 Agustus 2020 (Hari Ke-7)

Posisi Sudut Kemiringan Panel 40°							
No	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	161	24,3	13,7	0,5	6,85
2	08.30	Timur	253	24,7	13,7	0,5	6,85
3	09.00	Timur	834	30,2	13,8	1,7	23,46
4	09.30	Timur	470	38,1	13,6	1,1	14,96
5	10.00	Timur	393	30,1	13	0,9	11,7
6	10.30	Timur	391	29,7	13,1	0,8	10,48
7	11.00	Timur	834	32,3	13,7	1,6	21,92
8	11.30	Timur	608	33,8	13,5	1,2	16,2
9	12.00	Timur	503	33,2	13,1	1,1	14,41
10	12.30	Timur	677	33,9	13,4	1,3	17,42
11	13.00	Barat	570	34,2	13,6	1,5	20,4
12	13.30	Barat	828	43,4	13,3	1,3	17,29
13	14.00	Barat	530	45,7	13,5	1,5	20,25
14	14.30	Barat	900	43,1	13,6	2,3	31,28
15	15.00	Barat	661	36,8	13,6	1,8	24,48
16	15.30	Barat	582	39,4	13,3	1,4	18,62
17	16.00	Barat	629	32,1	13,2	1,5	19,8
18	16.30	Barat	642	26,6	13,4	1,3	17,42
19	17.00	Barat	925	35,2	13,8	2,2	30,36
Total			11391	646,8	255,9	25,5	344,15
Rata-Rata			599,52 63158	34,04211	13,46842	1,342105	18,11316



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 Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website : <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail : fatek@umsu.ac.id

PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING

Nomor :1773/II.3-AU/UMSU-07/F/2018

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 06 November 2019 dengan ini Menetapkan :

Nama : **RIFKI RAMADANI**
NPM : 1607230073
Program Studi : **TEKNIK MESIN**
Semester : **VII (TUJUH)**
Judul Tugas Akhir : **STUDI EXPERIMENTAL POTENSI PENYERAPAN ENERGI MATAHARI SISTEM FOTOVOLTAIK DI WILAYAH PEGUNUNGAN SIBOLANGIT**

Pembimbing – I : **CHANDRA A SIREGAR, S.T, M.T**

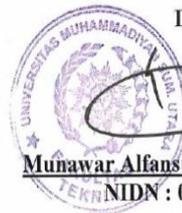
Dengan demikian diizinkan untuk menulis Tugas Akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Penulisan 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, 09 Rabi Al-Awwal 1441 H
07 November 2019 M

Dekan



Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T
NIDN : 0101017202

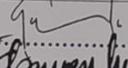
Cc. File

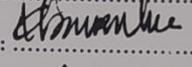
DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UMSU
TAHUN AKADEMIK 2020 - 2021

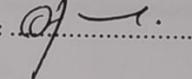
Peserta seminar
Nama : Rifki Ramadani
NPM : 1607230073
Judul Tugas Akhir : Studi Eksperimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem Fotovoltaik Di Wilayah Pegunungan Berastagi.

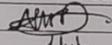
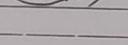
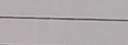
DAFTAR HADIR

TANDA TANGAN

Pembimbing - I : Chandra A Siregar S.T.M.T : 

Pembanding - I : Khairui Umurani.S.T.M.T : 

Pembanding - II : Affandi.S.T.M.T : 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1507230237	Ahmad fahmi	
2	1607230062	Aldi Trisna Irawan	
3	1607230126	Iqbal zhafran	
4	1607230072	MUHAMMAD ANWAR	
5	1607230075	M. KAMALUDIN WAHIDANI	
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 21 Rab. Awal 1442 H
07 Nopember 2020 M



DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Rifki Ramadani
NPM : 1607230073
Judul T.Akhir : Studi Eksperimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem
Fotovoltaik Di Wilayah Pegunungan Berastagi.

Dosen Pembimbing - I : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Affandi.S.T.M.T

KEPUTUSAN

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

Lihat Catatan buku Tugan
ahlin

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 21 Rab.Awa 1442H
07 Nopember 2020M



Dosen Pembanding- I
Khairul Umurani
Khairul Umurani.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Rifki Ramadani
NPM : 1607230073
Judul T.Akhir : Studi Eksperimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem
Fotovoltaik Di Wilayah Pegunungan Berastagi.

Dosen Pembimbing - I : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Affandi.S.T.M.T

KEPUTUSAN

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

.....*Lihat buku & catan.*.....
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Medan 21 Rab.Awa 1442H
07 Nopember 2020M



Dosen Pembanding- II

Affandi
Affandi.S.T.M.T

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Studi Experimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem Fotovoltaik Di Wilayah Pegunungan Berastagi

Nama : RIFKI RAMADANI
NPM : 1607230073

Dosen Pembimbing 1 : Chandra A Siregar, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	23-11-2019	perbaiki format	¶
2.	14-12-2019	perbaiki Bab I	¶
3.	28-12-2019	Tambahkan Bab II Letak Geografis daerah	¶ ¶
4.	20-07-2020	Tambahkan Bab IV	¶
5.	24-08-2020	perbaiki Bab IV	¶
6.	08-09-2020	perbaiki Penjelasan Grafik	¶
7.	14-10-2020	Tambahkan perhitungan Radiasi	¶
8.	17-10-2020	perbaiki perhitungan	¶
A	All Seminar	hanti	¶

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Rifki Ramadani
NPM : 1607230073
Tempat/Tanggal Lahir : Gunung Sari, 15-01-1998
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Alamat : Dusun VI Gunung Sari Atas, Piasa Ulu
 Kecamatan : Tinggi Raja
 Kabupaten : Asahan
 Provinsi : Sumatra Utara
Nomor Hp : 085360376626
E-mail : ramadhanir836@gmail.com
Nama Orang Tua
 Ayah : Matno
 Ibu : Yatini

PENDIDIKAN FORMAL

2004-2010 : SD 015901 Piasa Ulu
2010-2013 : SMP Negeri 3 Air Batu Satu Atap
2013-2016 : SMK Negeri 2 Kisaran
2016-2020 : S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara