

TUGAS AKHIR

STUDI EXPERIMENTAL POTENSI PENYERAPAN ENERGI MATAHARI SISTEM FOTOVOLTAIK DI WILAYAH PANTAI BUNGA KABUPATEN BATU BARA

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

Disusun Oleh:

MUHAMMAD ANWAR

1607230072



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Anwar
NPM : 1607230072
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Studi Experimental Potensi Penyerapan Energi Matahari
Sistem Fotovoltaik Di Wilayah Pantai Bunga Kabupaten
Batu Bara
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian Tugas Akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 November 2020

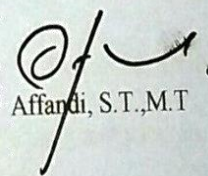
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji



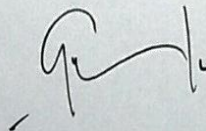
Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji



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 : Muhammad Anwar
Tempat / Tanggal Lahir : Sibolga / 06 Januari 1998
NPM : 1607230072
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 PANTAI BUNGA KABUPATEN BATU BARA”

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

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

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

Medan, November 2020



Saya yang menyatakan,

Muhammad Anwar

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 dihasilkan atau dipancarkan dari sumber cahaya. Seperti diketahui matahari merupakan sumber dari energi penerangan yang paling besar di dunia 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 di terima oleh panel surya . Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh panel surya dapat di maksimalkan dengan cara memasang panel surya, dengan sudut kemiringan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyerapan panel surya diwilayah Pantai Bunga 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 di wilayah Pantai Bunga dengan sudut kemiringan 40° . Pengujian ini dilakukan selama tujuh hari berturut-turut, Tegangan rata-rata tertinggi di hasilkan pada pengujian yaitu 13,93Volt, sedangkan arus rata-rata tertinggi di hasilkan pada pengujian yaitu 8,52 Ampere, dan daya rata-rata tertinggi juga pada pengujian yaitu 117,49Watt. Maka, Berdasarkan hasil dari penelitian efisiensi yang dihasilkan panel surya di wilayah Pantai Bunga dengan ketinggian 14 MDPL yaitu 8,042 %..

Kata kunci: Energi Matahari, Efisiensi, 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 produced or emitted from a light source. As is known, the sun is the largest source of lighting energy in the world, sometimes this energy is also referred to as solar energy. because actually the source of lighting comes from solar or solar power. This technology is very applicable to be applied in Indonesia which has a tropical climate, but the main problem of this system is the instability of the current voltage and the power it produces is very dependent on the intensity of the sun received by the solar panels. The intensity of solar radiation received by the panel can be maximized by installing solar panels, with a tilt angle. The purpose of this research is to get out of the solar panel in the area of Pantai Bunga 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 output of the solar panels including the voltage, current and power generated from the solar test panel in the Pantai Bunga area with a 40° tilt angle. This test was carried out for seven consecutive days, the highest average voltage was produced in the test, namely 13.93Volts, while the highest average current was produced in the test, namely 8.52 Amperes, and the highest average power was also on the testers, namely 117.49Watt. So, based on the results of the research that produced solar panels in the Pantai Bunga area with a height of 14 MDPL, namely 8,042%.

Keywords: Solar Energy, Efficiency, 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 Pantai Bunga Kabupaten Batu Bara” 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 dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada 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 Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan 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: Suwarman dan Atun Nikmah, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.

7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Sahabat-sahabat penulis: Rifki Ramadani, Iqbal Zhafran, Fahmi Sinaga, Aditya Dwi Pradana dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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

Medan, 13 November 2020

Muhammad Anwar

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Letak Geografis	3
2.2. Landasan Teori	4
2.3. Energi Matahari	4
2.4. Sejarah Panel Surya	5
2.5. Panel Surya	6
2.6. Sel Surya	7
2.6.1. Prinsip Kerja Sel Surya	8
2.6.2. Proses Konversi Solar Cell	10
2.6.3. Jenis Panel Surya	13
2.6.4. Karakteristik Solar Cell	15
2.7. Faktor Pengoprasian Sel Surya	15
2.8. Radiasi Harian Matahari Pada Permukaan Bumi	17
2.9. Arus dan Tegangan	18
2.10. Charger Controller	19
2.11. Baterai	20
2.12. Inverter	21
2.13. Deklinasi	21
2.14. Efisiensi Sel Surya	22
2.15. Road Map Penelitian	23
BAB 3 METODOLOGI	24
3.1 Tempat dan Waktu	24
3.1.1. Tempat	24
3.1.2. Waktu	24
3.2 Bahan dan Alat	25
3.2.1. Bahan	25
3.2.2. Alat-Alat	29
3.3 Bagan Alir Penelitian	34

3.4	Rancangan Alat Penelitian	35
3.5	Prosedur Penelitian	36
3.5.1.	Langkah-Langkah Pemasangan Alat	36
3.5.2.	Langkah-Langkah Pengujian	39
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1	Hasil Maksimal Tegangan, Arus Dan Daya	41
4.2	Hasil Pengujian Untuk Mengetahui Seberapa Optimal Kerja Panel Surya Terhadap Perbedaan Wilayah	46
4.3	Perhitungan Sudut Deklinasi Selama 7 Hari Pengujian.	51
4.4	Intensitas Radiasi Matahari Pada Permukaan Datar	52
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran	54
	DAFTAR PUSTAKA	55
	LAMPIRAN	
	LEMBAR ASISTENSI	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Road Map Penelitian	23
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	24
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pada Tanggal 10 Agustus 2020	42
Tabel 4.2 Hubungan Antara Tegangan (Volt) Dengan Hari	46
Tabel 4.3 Hubungan Antara Arus (Ampere) Dengan Hari	47
Tabel 4.4 Hubungan Antara Daya (Watt) Dengan Hari	49
Tabel 4.5 Nilai n Pada Hari Berdasarkan Bulan	51
Tabel 4.6 Sudut Deklinasi selama 7 hari	52
Tabel 4.7 Faktor koreksi iklim	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta Wilayah Desa Bandar Rahmat	3
Gambar 2.2	Cara Kerja Sel Surya Dengan Prinsip P-N Junction	6
Gambar 2.3	Proses Pengubahan Energy Matahari Menjadi Listrik Pada Sel Surya	7
Gambar 2.4	Ilustrasi Pembuatan Silicon Jenis P Dan N	8
Gambar 2.5	Prinsip Kerja Sel Surya	9
Gambar 2.6	Semikonduktor Jenis P Dan N	10
Gambar 2.7	Semikonduktor Setelah Disambung	10
Gambar 2.8	Daerah Deplesi	11
Gambar 2.9	Timbulnya Medan Listrik	11
Gambar 2.10	Proses Konversi	12
Gambar 2.11	Proses Konversi Cahaya Matahari	12
Gambar 2.12	Kabel Dari Sambungan Semikonduktor Dihubungkan Ke Lampu	13
Gambar 2.13	Panel Surya Monokristalin	14
Gambar 2.14	Panel Surya Polikristalin	14
Gambar 2.15	Panel Surya Gallium Arsenide	15
Gambar 2.16	Radiasi Sorotan Dan Radiasi Sebaran Yang Mengenai Permukaan Bumi	17
Gambar 2.17	Grafik Besar Radiasi Harian Matahari Yang Mengenai Permukaan Bumi	18
Gambar 2.18	Charge Controller	19
Gambar 2.19	Baterai	20
Gambar 2.20	Inverter	21
Gambar 3.1	Panel Surya	25
Gambar 3.2	Charge Controller	26
Gambar 3.3	Baterai	26
Gambar 3.4	Inverter	27
Gambar 3.5	Lampu	28
Gambar 3.6	Kabel	28
Gambar 3.7	Besi	28
Gambar 3.8	Multimeter	29
Gambar 3.9	Infrared Thermometer	30
Gambar 3.10	Digital Lux Meter	31
Gambar 3.11	Mesin Las	32
Gambar 3.12	Mesin Grinda	32
Gambar 3.13	Mesin Bor	32
Gambar 3.14	Meteran	33
Gambar 3.15	Obeng	33
Gambar 3.16	Kunci Ring Pas	33
Gambar 3.17	Bagan Alir Penelitian	34
Gambar 3.18	Pandangan Depan	35
Gambar 3.19	Pandangan Samping	35
Gambar 3.20	Pandangan Atas	36
Gambar 3.21	Rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya	36
Gambar 3.22	Memasang Triplek	37
Gambar 3.23	Memasang Tiang Panel	37

Gambar 3.24	Memasang Charger Controller	37
Gambar 3.25	Memasang Inverter	38
Gambar 3.26	Memasang Panel	38
Gambar 3.27	Memasang Baterai	38
Gambar 3.28	Pengujian Panel Di Tempat Terbuka	39
Gambar 3.29	Mengukur Intensitas Matahari	39
Gambar 3.30	Mengukur Temperatur	39
Gambar 3.31	Mengukur Tegangan	40
Gambar 4.1	Letak Dan Posisi Alat Pengujian Panel Surya Di Pesisir Pantai	41
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Antara Lux Dengan Tegangan	43
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Antara Lux Dengan Arus	44
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Antara Lux Dengan Daya	45
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Antara Rata- Rata Lux Dengan Rata-Rata Tegangan	47
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Antara Rata-Rata Lux Dengan Rata-Rata Arus	48
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Antara Rata-Rata Lux Dengan Rata-Rata Daya	50

DAFTAR NOTASI

Simbol	Besaran	Satuan
P_{in}	Daya Input	Watt
G	Radiasi Matahari	Watt/m ²
A	Luas Permukaan	m ²
V_{max}	Tegangan Maksimum	Volt
I_{max}	Arus Maksimum	Ampere
P	Daya	Watt
I	Arus	Ampere
V	Tegangan	Volt
δ	Sudut Deklinasi	°
η	Efisiensi Sel Surya	%
G_{on}	Radiasi yang diterima	Watt/m ²
G_{cnb}	Radiasi Batang	Watt/m ²

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan dasar bagi manusia, yang terus meningkat sejalan dengan tingkat kehidupannya. Energy yang dihasilkan dari bahan bakar minyak, gas, batu bara, air dan panas bumi memegang posisi yang sangat dominan dalam pemenuhan kebutuhan energy sekarang ini. Pemanfaatan energy baru seperti energi matahari sekarang ini masih banyak menjadi topik penelitian sebagai sumber energy alternative untuk menghasilkan energi listrik sebagai kebutuhan yang sangat penting. Pemanfaatan energi matahari di Indonesia khususnya di Sumatera Utara seharusnya di terapkan karena memiliki iklim tropis dan suhu yang cukup untuk penggunaan panel surya sebagai pembangkit listrik.

Matahari merupakan sumber energi yang potensial bagi kebutuhan manusia, dimana energi tersebut bisa didapat dari panas yang merambat sampai permukaan bumi, Dari beberapa penelitian menyatakan bahwa dengan mengubah cahaya matahari terutama intensitas matahari dengan solar cell dapat membuat sumber energy listrik untuk kebutuhan manusia.

Panel Surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Sel surya merupakan lapisan semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkaian dioda. Untuk meningkatkan kinerja dari sel surya, maka sel surya harus selalu mengarah ke pancaran matahari. Energi surya merupakan energi ramah terhadap lingkungan tidak berpolusi, aman dan tidak ada batasan selama matahari terbit bahkan dalam keadaan mendung pun masih dapat menghasilkan energy, sehingga tidak mengherankan apabila energi ini dikategorikan sebagai energi masa depan.

Sumatera Utara merupakan lingkungan yang terdiri dari dataran tinggi yaitu daerah pegunungan yang mencapai lebih dari 200 m dpl, dan dataran rendah yang tidak lebih dari 200 m dpl yaitu 0 sampai 200 m dpl. Kinerja panel surya ini juga dapat di tinjau dari beberapa factor yang sangat mempengaruhi hambatan yang di serap oleh panel surya seperti Suhu Udara Sel surya agar dapat beroperasi secara maksimal. Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariasi

dan sangat tergantung dengan keadaan spektrum matahari ke bumi. Letak suatu daerah akan mempengaruhi keadaan iklim pada wilayah tersebut. Jadi penggunaan panel surya dengan system fotovoltaik sebagai alternative untuk penghematan daya listrik ini dapat bekerja secara optimal.

Atas dasar itu, peneliti ingin berperan dalam hal pengembangan dan pemanfaatan energy panel surya. Panel surya ini akan di teliti seberapa maksimal keluaran daya yang dihasilkan pada panel surya ini jika diletakkan di wilayah yang relatif lebih rendah seperti wilayah Pantai Bunga yang dataran nya 0 sampai 14 m dpl.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan bisa dirumuskan suatu masalah tentang seberapa maksimal keluaran tegangan, arus dan daya yang dihasilkan dari panel surya jika ditempatkan di wilayah Pantai Bunga yang datarannya relatif rendah.

1.3 Ruang Lingkup

Dalam penelitian ini untuk mengetahui seberapa maksimal tegangan, arus dan daya yang dihasilkan pada sistem kerja panel surya di wilayah pesisir Pantai Bunga.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menganalisa seberapa maksimal daya yang dihasilkan
2. Untuk menganalisa seberapa maksimal arus yang dihasilkan.
3. Untuk menganalisa seberapa maksimal tegangan yang dihasilkan.
4. Untuk menganalisa efisiensi dari panel surya di wilayah Pantai Bunga.

1.5 Manfaat

Dari hasil penelitian ini maka akan memberikan informasi kepada masyarakat, institusi terkait potensi yang maksimal dari penyerapan radiasi matahari dengan system fotovoltaik khususnya di wilayah dataran rendah pesisir Pantai Bunga.

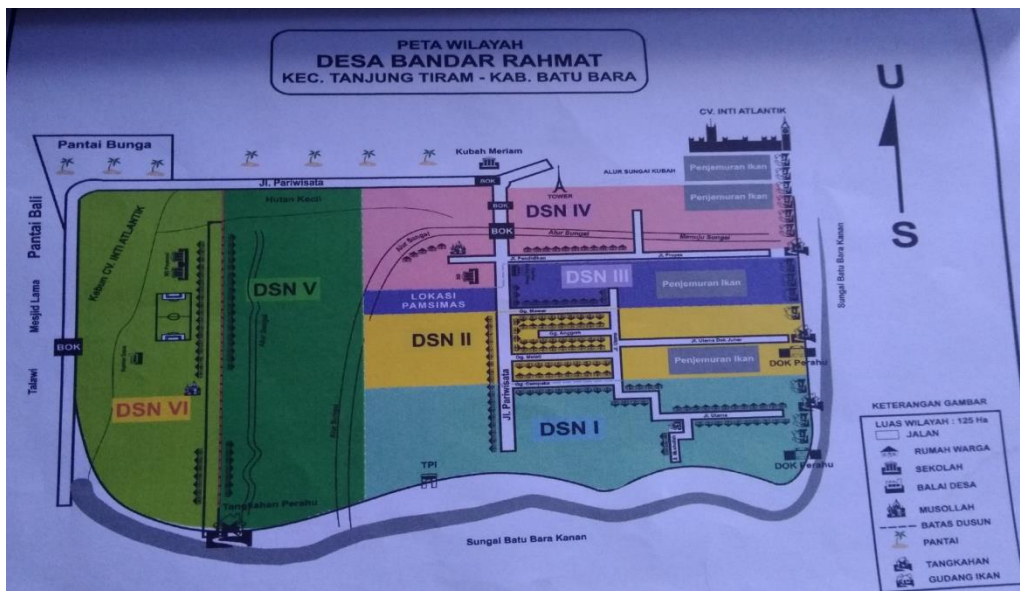
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Letak Geografis

Wilayah Pantai Bunga terletak di Desa Bandar Rahmat Kecamatan Tanjung Tiram Kabupaten Batu Bara, yang merupakan wilayah bertopografi datar dengan ketinggian 14 m dpl. Adapun topografi dengan bentang wilayah datar, curah hujan 2000/3000 mm, jumlah bulan hujan 5 bulan, suhu rata-rata 30 - 35 derajat Celsius. Luas wilayah Desa Bandar Rahmat terdiri dari pemukiman 54 ha, tanah hutan lindung 14 ha, lahan tambak 55 ha tanah lainnya 2 ha, yang terdiri dari 6 dusun. Adapun letak dari Pantai Bunga yaitu di dusun 6 pariwisata dengan luas $\pm 27.000 m^2$ seperti dilihat pada Gambar 2.1.

Batas-Batas Desa

- Sebelah Utara : Selat Malaka
- Sebelah Timur : Desa Masjid Lama
- Sebelah Barat : Kelurahan Bagan Arya
- Sebelah Selatan : Sungai Kanan Batu Bara



Gambar 2.1 Peta Wilayah Desa Bandar Rahmat (Profil Desa Bandar Rahmat, 2019)

2.2 Landasan Teori

Salah satu upaya yang dilakukan dalam pemanfaatan energi matahari adalah dengan menggunakan teknologi sel surya atau panel surya. Teknologi sel surya merupakan sebuah teknologi yang mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Penelitian ini membahas tentang simulasi sel surya dengan menggunakan Solar Emulator, sel surya jenis *monocrystalline* dengan daya keluaran maksimal 50 Watt. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan hasil yang optimal dari variasi kemiringan sudut panel surya yaitu (0° , 40° , 60°) dengan cara mengetahui tegangan, daya dan arus optimal berdasarkan data intensitas radiasi matahari dari tanggal 1 Mei sampai 9 Mei 2019. Variasi yang digunakan adalah variasi sudut sel surya yaitu (0° , 40° , 60°). Metode penelitian yaitu memasang komponen-komponen panel surya, mengatur posisi sudut kemiringan (0° , 40° , 60°), pengujian dilakukan dimulai dari pukul 07:30 WIB sampai 17:00 WIB. Selama pengujian berlangsung data yang dihasilkan di ambil setiap 30 menit, data yang di ambil yaitu suhu dari panel dengan menggunakan infrared thermometer, intensitas cahaya matahari dengan menggunakan lux meter. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa sudut panel surya yang efisien berdasarkan data yang diperoleh adalah pada sudut panel 40° dibandingkan dengan sudut panel 0° dan 60° . Daya yang paling optimal di hasilkan pada sudut kemiringan 40° sebesar 48,594 Watt sedangkan daya yang di hasilkan sudut 0° sebesar 26,520 Watt. Dan daya yang di hasilkan sudut 60° sebesar 29,606 Watt. Tegangan yang paling optimal di hasilkan pada sudut kemiringan 60° sebesar 16,432 Volt sedangkan tegangan yang di hasilkan sudut 0° sebesar 15,409 Volt. Dan tegangan yang dihasilkan sudut 40° sebesar 16,418 Volt. Arus yang paling optimal dihasilkan pada sudut kemiringan 40° sebesar 2,79 Ampere sedangkan arus yang dihasilkan sudut 0° sebesar 1,72 Ampere Dan arus yang di hasilkan sudut 60° sebesar 1,68 Ampere. Sudut kemiringan panel yang efektif pada 40° . (Pradona Yoga, 2019).

2.3 Energi Matahari

Matahari menghasilkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi disebut insolation (incoming solar radiation) yang mengalami penyerapan (absorpsi), pemantulan, hamburan, dan pemancaran kembali atau reradiasi. Radiasi tersebut hanya sekitar 50% yang

dapat diserap oleh bumi. Matahari sebenarnya mempunyai posisi yang tetap dalam sistem tata surya, namun terlihat bergerak melintasi langit ketika diamati dari permukaan bumi. Pergerakan matahari ini terlihat nyata sebagai pengaruh dari rotasi bumi. Sebagai konsekuensi pergerakan ini, sudut dimana sinar matahari jatuh secara langsung ke koordinat pengamat berubah secara kontinu. Posisi matahari dapat diketahui dengan pengetahuan pengamat mengenai garis lintang (latitude) dan garis bujur (longitude), disamping waktu dan tanggal pengamatan. Perbedaan garis lintang dan bujur suatu daerah akan mempengaruhi potensi energi matahari di daerah tersebut, oleh karena itu untuk mendapatkan energi matahari yang optimal ada dua hal yang harus dipertimbangkan, yaitu sudut elevasi dan sudut azimuth. (Alfanz DKK 2015).

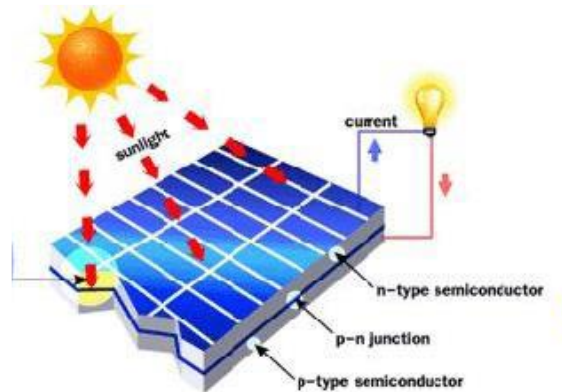
2.4 Sejarah Panel Surya

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

Bahan yang digunakan adalah silikon dan mampu menghasilkan efisiensi sebesar 4%. Era sel surya modern baru dimulai setelah penemuan fenomena photovoltaik pertama pada tahun 1954, yakni ketika tiga peneliti *Bell Laboratories* di Amerika Serikat (Chapin, Fullr, dan Pearson) secara tidak sengaja menemukan bahwa sambungan dioda p-n dari silikon mampu membangkitkan tenaga listrik ketika lampu laboratorium dinyalakan. Pada tahun yang sama, usaha mereka telah berhasil membuat sel surya pertama dengan efisiensi sebesar 6%. Pada akhirnya, penelitian sel surya yang berkembang hingga saat ini memiliki banyak jenis dan variasi teknologi pembuatannya. (Pradona Yoga, 2019).

2.5 Panel Surya

Panel Surya adalah alat konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Untuk memanfaatkan potensi energi surya ada dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu energi surya fotovoltaik dan energi surya termal seperti dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction (Julisman, 2017)

Dari ilustrasi pada Gambar 2.2 menunjukkan cara kerja panel surya dengan prinsip p-n junction. Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan proton (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan proton tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor. Ilustrasi diatas menggambarkan junction semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Peran dari p-n junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan proton bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan proton ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susuna p-n junction ini

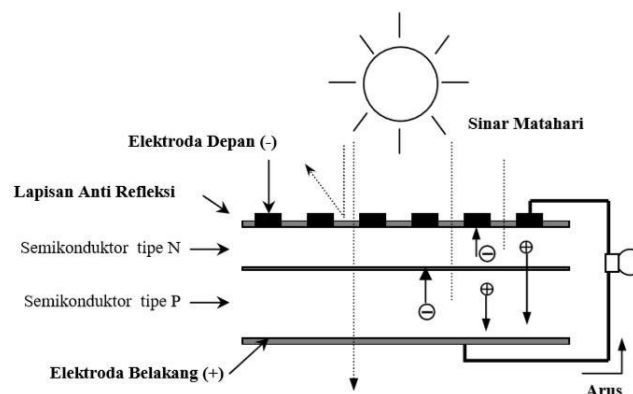
maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada Gambar 2.2. (Julisman, Sara DKK, 2017).

2.6 Sel Surya

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atau matahari atau "sol" karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai "cahaya listrik". Sel surya bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi.

Sel Surya (*Photovoltaic*) adalah sejumlah sel surya yang dirangkai secara seri maupun paralel ,untuk meningkatkan tegangan maupun arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya beban. Untuk mendapatkan keluaran energi listrik yang maksimum maka permukaan modul surya harus selalu mengarah ke matahari.*Solar cell* terdiri dari silikon, silikon mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan, mendung) energi listrik yang dihasilkan juga akan berkurang.

Pada umumnya, *solar cell* merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap *photon* dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Daya listrik yang dihasilkan *photovoltaic* berupa daya listrik DC yang kemudian akan dikonversikan menjadi daya listrik AC seperti dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses Pengubahan Energi Matahari Menjadi Energi Listrik Pada Sel Surya (Budi Yuwono, 2015)

Daya listrik sering diartikan sebagai laju hantaran energi listrik pada sirkuit listrik. Satuan standar internasional daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir dalam satuan waktu (joule/detik). (Ariyanti D, 2012)

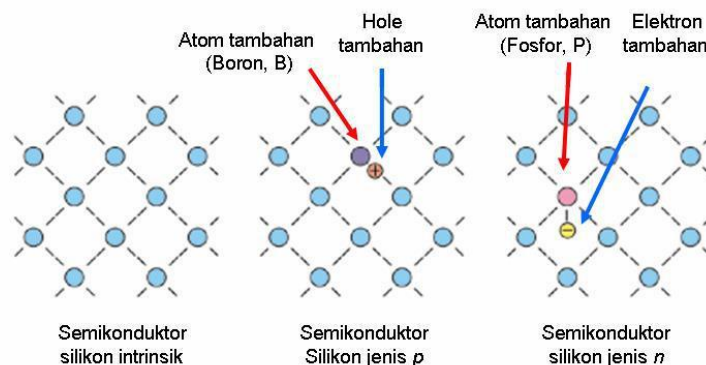
Sebelum mengetahui berapa nilai daya sesaat yang dihasilkan kita harus mengetahui daya yang diterima (Input), dimana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas PV module dengan persamaan 2.1 :

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

2.6.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Struktur sel surya yaitu berupa dioda sambungan (*juntion*) antara dua lapisan yang terbuat dari semikonduktor yang masing-masing di ketahui sebagai semikonduktor jenis *p* (positif) dan semi konduktor jenis *n* (negatif). Semikonduktor jenis *n* merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan muatan negatif. Sedangkan semikonduktor jenis *p* memiliki kelebihan *hole*, sehingga kelebihan muatan positif.

Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini karena divais sel surya memiliki struktur dioda, yaitu tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis *n* dan jenis *p*. cara nya dengan menambahkan unsur lain ke dalam semikonduktor, maka dapat mengontrol jenis semikonduktor tersebut, seperti Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Ilustrasi Pembuatan Silikon Jenis *p* dan *n* (Anggara Bayu, 2019)

Di dalam semikonduktor alami (semikonduktor intrinsik) ini, electron maupun *hole* memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau *hole* dapat

meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor. Pengkonversian sinar matahari menjadi listrik dengan panel *photovoltaic* kebanyakan menggunakan Polycrystalline Silicon sebagai material semikonduktor. Pada Gambar 2.5 mengilustrasikan prinsip kerja photovoltaik panel. (Anggara Bayu, 2019).



Gambar 2.5 Prinsip Kerja Sel Surya (Anggara Bayu, 2019)

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

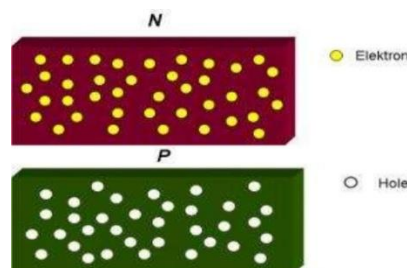
- Foton dari cahaya matahari menumbuk panel surya kemudian diserap oleh material semikonduktor seperti silikon.
- Elektron (muatan negatif) terlempar keluar dari atomnya, sehingga mengalir melalui material semikonduktor untuk menghasilkan listrik. Muatan positif yang disebut hole (lubang) mengalir dengan 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 di gunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik. (Sirajudin, 2017)

2.6.2 Proses Konversi Solar Cell

Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis n dan jenis p. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, ($n = \text{negatif}$). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p ($p = \text{positif}$) karena kelebihan muatan positif.

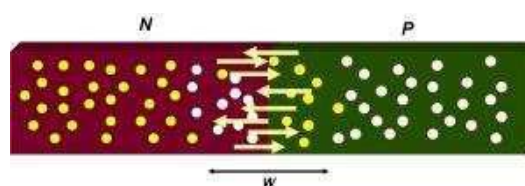
Pada awalnya, pembuatan dua jenis semikonduktor ini dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami ini, elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau proton dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor. Dua jenis semikonduktor n dan p ini jika disatukan akan membentuk sambungan p-n atau dioda p-n. Istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi (*metallurgical junction*) yang terdapat pada Gambar 2.6 sebagai berikut:

- a. Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



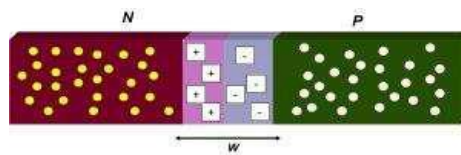
Gambar 2.6 Semikonduktor Jenis P dan N (Alifyanti F.D, 2014)

- b. Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan *hole* dari semikonduktor p menuju semikonduktor n seperti dilihat pada Gambar 2.7..



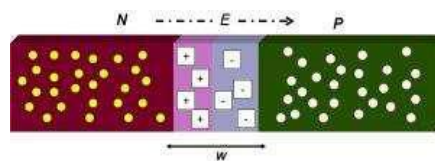
Gambar 2.7 Semikonduktor Setelah diSambung (Alifyanti F.D, 2014)

- c. Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan proton pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah proton pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif seperti dilihat pada Gambar 2.8..



Gambar 2.8 Daerah Depleksi (Alifyanti F.D, 2014)

- d. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah depleksi (depletion region) ditandai dengan huruf W.
- e. Baik elektron maupun hole yang ada pada daerah depleksi disebut dengan pembawa muatan minoritas (minority charge carriers) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda.
- f. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah depleksi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali proton ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan proton maupun elektron pada awal terjadinya daerah depleksi seperti dilihat pada Gambar 2.9.

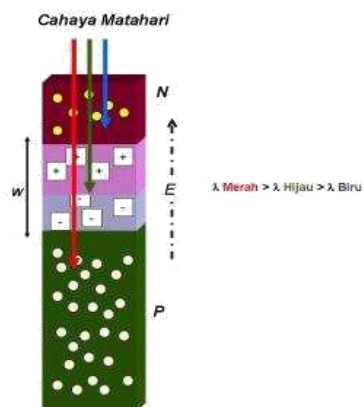


Gambar 2.9 Timbulnya Medan Listrik (Alifyanti F.D, 2014)

- g. Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah proton yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah proton yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E. Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, dikompensasi

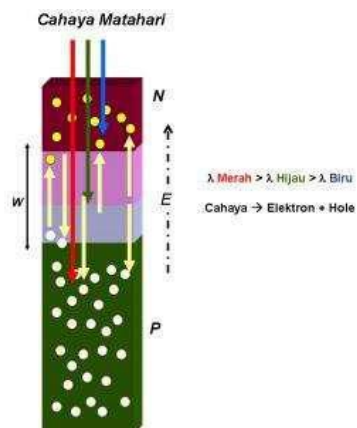
dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E.

Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p seperti dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Proses Konversi (Alifyanti F.D, 2014)

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan proton pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi electron hole yakni, terbentuknya pasangan elektron dan proton akibat cahaya matahari seperti dilihat pada Gambar 2.11.

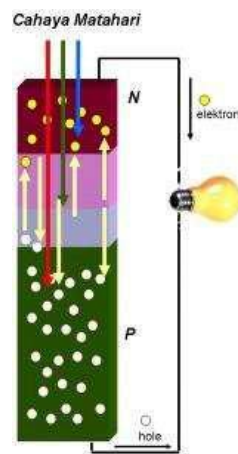


Gambar 2.11 Proses Konversi Cahaya Matahari (Alifyanti F.D, 2014)

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lamda” sebagian di gambar atas) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n.

Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan p-n terdapat medan listrik E, elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan proton yang tertarik ke arah semikonduktor p.

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron seperti dilihat pada Gambar 2.12. (Alifyanti dan Tambunan, 2014)



Gambar 2.12 Kabel Dari Sambungan Semikonduktor Dihubungkan Ke Lampu
(Alifyanti F.D, 2014)

2.6.3 Jenis Panel Surya

Panel surya terdiri dari *photovoltaic* yang menghasilkan listrik dari intensitas cahaya, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, mendung, hujan) arus listrik yang dihasilkan juga berkurang. Pada umumnya jenis-jenis panel surya yang digunakan adalah sebagai berikut.

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. Jenis monokristalin ini yang terbaik dan yang terbanyak digunakan masyarakat saat ini seperti dilihat pada Gambar 2.13. (Mintorogo D S, 2000).



Gambar 2.13 Panel Surya Monokristalin (Mintorogo Danny Santoso, 2000)

2) Polikristal (*Poly-crystalline*)

Jenis polikristalin atau multi kristalin, yang terbuat dari kristal silikon dengan tingkat efisiensi antara 10 sampai 12%. 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 seperti dilihat pada Gambar 2.14. (Mintorogo D S, 2000).



Gambar 2.14 Panel Surya Polikristalin (Mintorogo Danny Santoso, 2000)

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% seperti dilihat pada Gambar 2.15. (Mintorogo D S, 2000 : 130).



Gambar 2.15 Panel Surya Gallium Arsenide (Mintorogo Danny Santoso, 2000)

2.6.4 Karakteristik Solar Cell

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 irradiansi terhadap sel surya dapat diukur. (Pradona Yoga, 2019)

2.7 Faktor Pengoprasian Sel Surya

Pada pengoprasian sel surya pastinya terdapat komponen yang menjadi pengoprasian sel surya dapat beroperasi secara maksimal, Faktor dari pengoperasian Sel surya agar didapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung pada :

a) Suhu Udara

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 (Voc). 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 10°C. (Yuliananda DKK, 2015)

b) Kecepatan Angin

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi larik sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca larik sel surya. (Yuliananda DKK, 2015)

c) Orientasi Panel

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 panel / deretan sel surya, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum. (Yuliananda DKK, 2015)

d) Atmosfir Bumi

Keadaan atmosfir bumi Keadaan atmosfir bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan sel surya. (Yuliananda Dkk, 2015)

e) Radiasi Matahari

Radiasi matahari Radiasi matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Berikut ini adalah Persamaan 2.2 untuk mencari radiasi. (Yuliananda DKK, 2015)

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

$$\tau_b = (a_0 \times r_0) + (a_1 \times r_1) \times (k / \cos \theta_z) \quad (2.2)$$

Dimana :

$$a_0 = 0.4237 - 0.00821(6 - A)^2$$

$$a_1 = 0.5055 + 0.00595(6.5 - A)^2$$

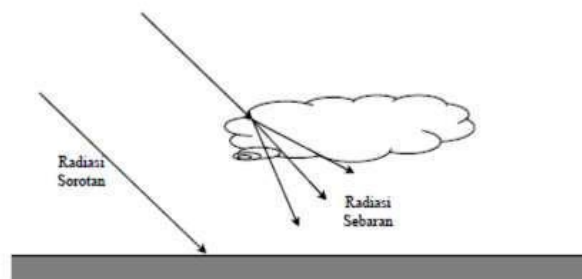
$$k = 0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2$$

f) Posisi Panel Surya

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.(Yuliananda DKK, 2015)

2.8 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi

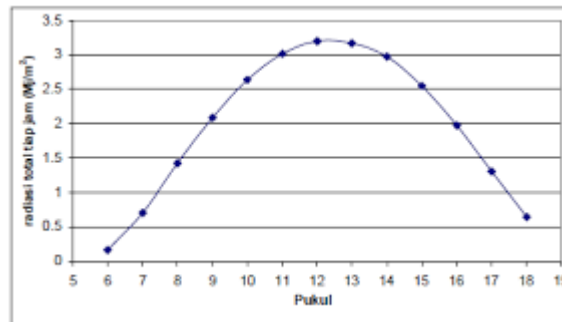
Konstanta radiasi matahari sebesar 1353 W/m^2 dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet) sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran seperti dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi
(Pradona Yoga, 2019)

Besarnya radiasi harian yang diterima permukaan bumi ditunjukkan pada grafik Gambar 2.17. Pada waktu pagi dan sore radiasi yang sampai permukaan bumi intensitasnya kecil. Hal ini disebabkan arah sinar matahari tidak tegak lurus

dengan permukaan bumi (membentuk sudut tertentu) sehingga sinar matahari mengalami peristiwa difusi oleh atmosfer bumi. (Pradona Yoga, 2019)



Gambar 2.17 Grafik besar radiasi harian matahari yang mengenai permukaan bumi (Pradona Yoga, 2019)

2.9 Arus dan Tegangan

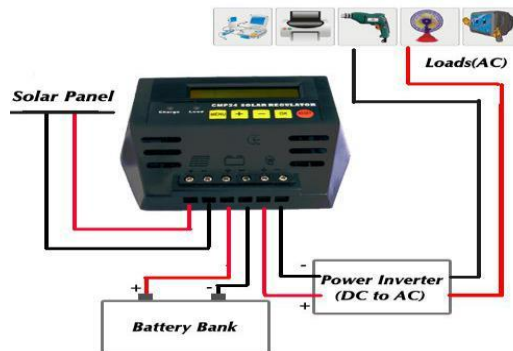
Arus dan Tegangan Atom adalah partikel terkecil penyusun materi, atom terdiri dari partikel-partikel sub-atom yang tersusun atas elektron, proton, dan neutron dalam berbagai gabungan. Elektron adalah muatan listrik negatif (-) yang paling mendasar. Elektron dalam cangkang terluar suatu atom disebut elektron 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 menggerakkan 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 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. Berikut ini adalah persamaan 2.3 rumus yang digunakan untuk mencari daya. (Yuliananda DKK, 2015).

$$P = V \cdot I \quad (2.3)$$

2.10 Charge Controller

Controller atau sering dikenal dengan *charge controller* adalah perangkat elektronik yang digunakan dalam sistem PLTS untuk mengatur pengisian arus searah dari panel surya ke baterai dan mengatur penyaluran arus dari baterai ke peralatan listrik (beban). Alat ini juga mempunyai kemampuan untuk mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah terisi penuh dengan cadangan energi listrik maka penyaluran energi listrik dari panel akan dapat diberhentikan secara otomatis. Cara alat ini mendeteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. Charge controller menerapkan teknologi pulse width modulation (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Beberapa fungsinya seperti mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari overcharging, overvoltage dan monitoring temperatur baterai seperti dilihat pada Gambar 2.18. (Anggara Bayu, 2019)

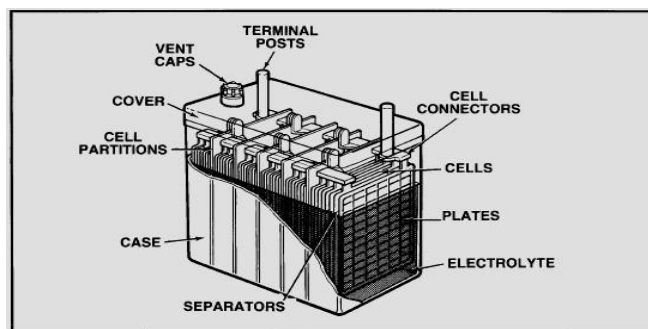


Gambar 2.18 Charge Controller (Anggara Bayu, 2019)

2.11 Baterai

Komponen yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan dari penyerapan sinar matahari oleh panel surya adalah baterai. Energi listrik yang disimpan di dalam baterai dapat berguna untuk tetap menyediakan energi listrik saat cahaya matahari tidak terpancarkan secara maksimal seperti saat langit mendung atau hujan dan di malam hari. Baterai yang digunakan untuk PLTS mengalami proses siklus pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama ada sinar matahari maka panel surya akan menghasilkan energi listrik. Apabila energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya melebihi kebutuhan energi listrik maka kelebihan energi listrik itu akan disimpan dalam baterai. Sebaliknya, saat kebutuhan energi listrik melebihi dari energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya maka cadangan energi dari baterai dapat diberikan untuk memenuhi kekurangan energi listrik.

Ada dua jenis baterai isi ulang yang bisa digunakan dalam sistem PLTS yaitu baterai asam timbal (*lead acid*) dan baterai *nickel-cadmium*. Baterai jenis *nickel-cadmium* ini lebih sedikit digunakan dalam sistem PLTS karena baterai jenis ini memiliki efisiensi yang rendah dan biaya yang lebih tinggi. Sedangkan untuk baterai jenis asam timbal lebih banyak digunakan dalam sistem PLTS karena memiliki efisiensi tinggi dan biayanya lebih murah dibandingkan jenis baterai *nickel-cadmium*. Umumnya kapasitas baterai itu dinyatakan dalam Ampere-hour (Ah). Nilai Ah pada baterai menunjukkan arus yang dapat dilepaskan dikalikan dengan nilai waktu untuk pelepasan arus tersebut seperti dilihat pada Gambar 2.19. (Anggara Bayu, 2019 : 17)

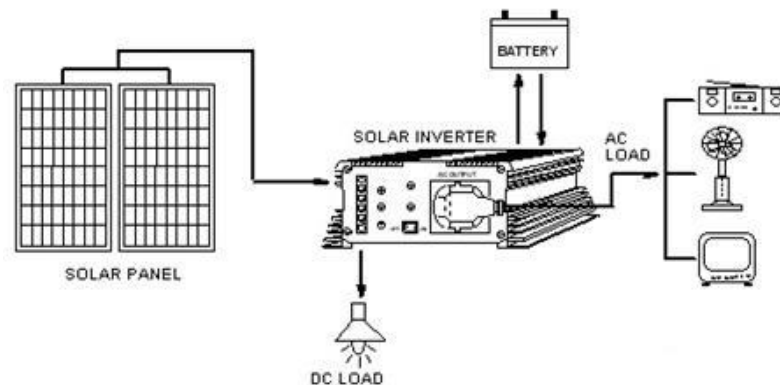


Gambar 2.19 Baterai (Anggara Bayu, 2019)

2.12 Inverter

Inverter adalah komponen elektronika pendukung panel PV untuk mengubah arus searah (direct current, DC) menjadi arus bolak-balik (*alternating current*, AC) yang umumnya peralatan listrik butuhkan. Pemilihan *inverter* yang tepat untuk aplikasi tertentu tergantung pada kebutuhan beban dan juga kepada sistem itu sendiri; apakah sistem yang terhubung ke jaringan listrik (*grid connected*) atau sistem yang berdiri sendiri (*stand alone system*). Efisiensi inverter pada saat pengoperasian adalah sekitar 90%.

Ada tiga kategori *inverter*, yaitu: *grid-tied*, *grid-tied* dengan baterai cadangan, dan *stand-alone*. Kedua jenis *inverter* yang pertama adalah *inverter line-tied*, yang digunakan dengan sistem panel surya *utility-connected*. Jenis yang ketiga adalah *stand-alone* atau inverter *off-grid*, diciptakan untuk berdiri sendiri seperti dilihat pada Gambar 2.20. (Anggara Bayu, 2019)



Gambar 2.20 Inverter (Anggara Bayu, 2019)

2.13 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 diprojektasikan 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 persamaan 2.4 berikut.

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (N - 81) \right] \quad (2.4)$$

2.14 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 2.5 berikut.

$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{G} \times A \times 100\% \quad (2.5)$$

Sel 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)

2.15 Road Map Penelitian

Road map penelitian panel surya di Pantai Bunga Kabupaten Batu Bara

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
4	Analisis pemanfaatan panel surya dalam penghematan daya listrik di gedung D Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Bayu Anggara	1507230163
5	Studi Experimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem Fotovoltaik di Wilayah Pantai Bunga Kabupaten Batu Bara.	Muhammad Anwar	1607230072
6	Studi Experimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem Fotovoltaik di Wilayah Pegunungan Sibolangit.	Rifki Ramadani	1607230073
7	Studi 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 laksanakannya kegiatan penelitian ini yaitu di halaman terbuka Pesisir Pantai Bunga Desa Bandar Rahmat Kecamatan Tanjung Tiram, Kabupaten Batu Bara, Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

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

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Waktu					
		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	Pengolahan Data						
9	Penyelesaian penulisan						
10	Sidang						

3.2 Bahan dan Alat

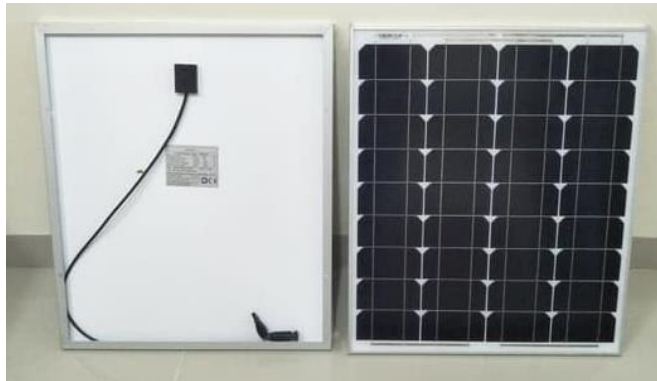
3.2.1 Bahan

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 dilihat 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 type PWM (*pulse width modulation*) dengan nilai tegangan 12V/24V dan maksimal input arus surya 30A. Seperti dilihat pada Gambar 3.2 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Model : PWM

- 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 gs astra type gs hybrid 36B20L NS40ZL seperti dilihat pada Gambar 3.3 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Kapasitas : 35 Ah (Ampere Hour)
- Tegangan : 12 V (Volt)
- Panjang : 197 mm
- Lebar : 129 mm
- Tinggi : 203 mm



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*).type (Suoer SDA-500) seperti dilihat pada Gambar 3.4 dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Model : SDA-500
- Tegangan masuk : 12 V (Volt)
- Tegangan keluar : 220 V – 240 V
- Nilai daya : 500 Watt
- Efisiensi : 50%
- Ukuran : 17,8 × 13,5 × 5,5 cm
- Berat : 0,8 kg



Gambar 3.4 Inverter

5. Lampu

Lampu digunakan sebagai hasil output yang dihasilkan dari baterai setelah proses charging dari panel surya seperti dilihat pada Gambar 3.5 dengan spesifikasi lampu sebagai berikut :

- Merk : Philips
- Type : Siawet 40W
- Model : Bohlam pijar
- Tegangan : 220 – 240V (Volt)
- Daya : 40 Watt



Gambar 3.5 Lampu

6. Kabel

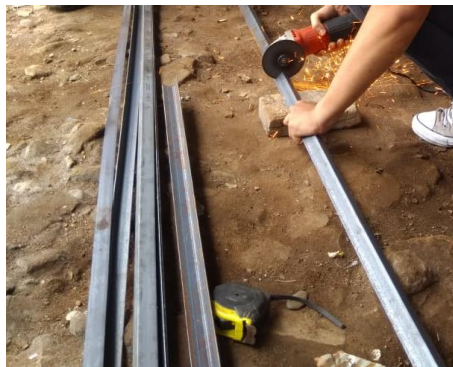
Kabel digunakan untuk menghubungkan arus yang dihasilkan dari panel surya menuju charger controller lalu menuju ke baterai untuk di simpan arus tersebut seperti dilihat pada Gambar 3.6. Kabel yang di gunakan pada penelitian jenis kabel nyyhy (2x2,5mm).



Gambar 3.6 Kabel

7. Besi Plat

Besi plat digunakan untuk rangka panel surya dan komponen lainnya. Besi yang digunakan untuk rangka panel surya yaitu besi siku (30x30mm), besi hollow (25x25mm), dan besi plat lidah (4x2,5mm) seperti dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Besi

3.2.2. Alat-alat

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

1. Multimeter

Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya pada saat pengujian. Multimeter yang di gunakan adalah Digital Multimeter DT830B seperti dilihat pada Gambar 3.8 dengan spesifikasi 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 3.8 Multimeter

2. Infrared Thermometer

Infrared Thermometer adalah alat ukur digunakan untuk mengukur temperatur pada panel surya pada saat pengujian dilakukan. Thermometer yang digunakan adalah Thermometer Infra Merah Laser OC-305C seperti dilihat pada Gambar 3.9 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Temperatur Min-Max : $-32^{\circ}\text{C} - 380^{\circ}\text{C}$
- Rasio : 12 : 1
- Emesivitas : 0,10 – 1,00
- Akurasi : $\pm 1,5\%$
- Temperatur $^{\circ}\text{C} / ^{\circ}\text{F}$: Yes
- Tombol power on / off : Yes
- Display hold : Yes
- Min / Max : Yes
- Back Light : Yes
- Adjustable emmisivity : Yes



Gambar 3.9 Infrared Thermometer

3. Digital Lux Meter

Digital Lux Meter digunakan untuk mengetahui intensitas radiasi matahari yang dihasilkan dari pancaran sinar matahari pada saat pengujian dilakukan.

Digital lux meter yang di gunakan adalah tipe YH611 digital lux meter seperti dilihat pada Gambar 3.10 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Jarak pengukuran : 0 – 200000 Lux / 0 – 20000 FC
- Akurasi : + 3%
- Resolusi : 0,01 Lux / 0,01 FC
- Indikasi Bar Analog : Yes
- Jangkauan Otomatis : Yes
- Rentang Manual : Yes
- Mati Otomatis : Yes
- Fungsi MAX / MIN : Yes
- Pengukuran Puncak : Yes
- Pemilihan Unit FC / Lux : Yes
- Data Tahan : Yes
- Indikasi Baterai Rendah : Yes



Gambar 3.10 Digital Lux Meter

4. Mesin Las

Mesin las digunakan untuk menyambung besi menjadi satu rangkaian untuk rangka panel surya dan komponen lainnya. Mesin las yang di gunakan pada pembuatan alat adalah Mesin Trafo Las MMA tipe Falcon 120 seperti dilihat pada Gambar 3.11 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 3.11 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 dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 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 dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Mesin Bor

7. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur besi dalam pembuatan rangka rangka panel dan komponen lainnya seperti dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Meteran

8. Obeng

Obeng digunakan untuk memasang baut dan komponen lainnya pada saat perakitan alat seperti dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Obeng

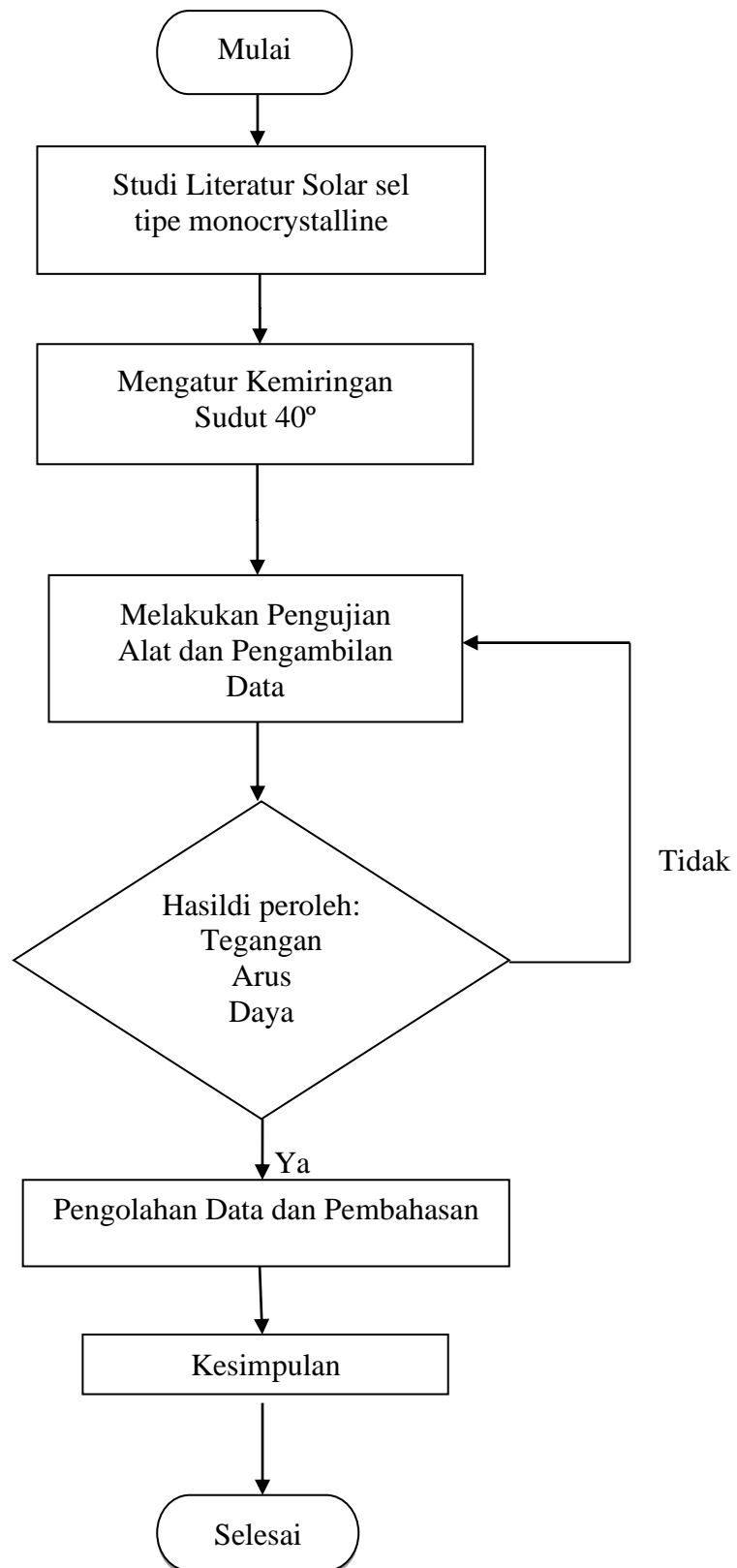
9. Kunci Ring Pas

Kunci pas ring digunakan untuk memasang baut pada kerangka panel dan komponen lainnya seperti dilihat pada Gambar 3.16.



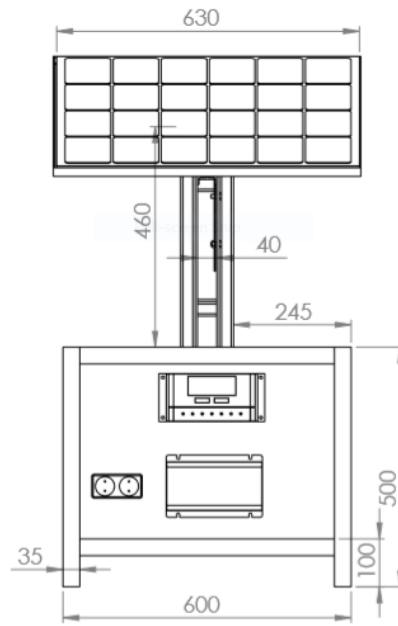
Gambar 3.16 Kunci Ring Pas

3.3. Bagan Alir Penelitian

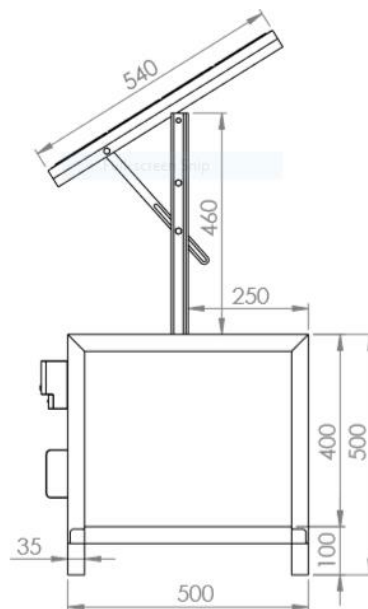


Gambar 3.17 Bagan Alir Penelitian

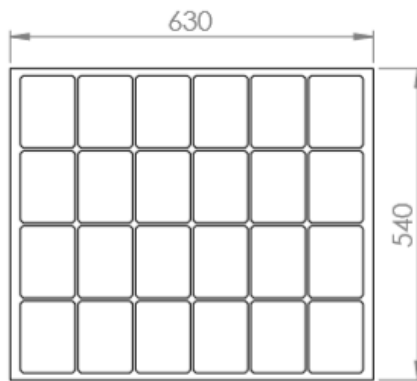
3.4. Rancangan Alat Penelitian



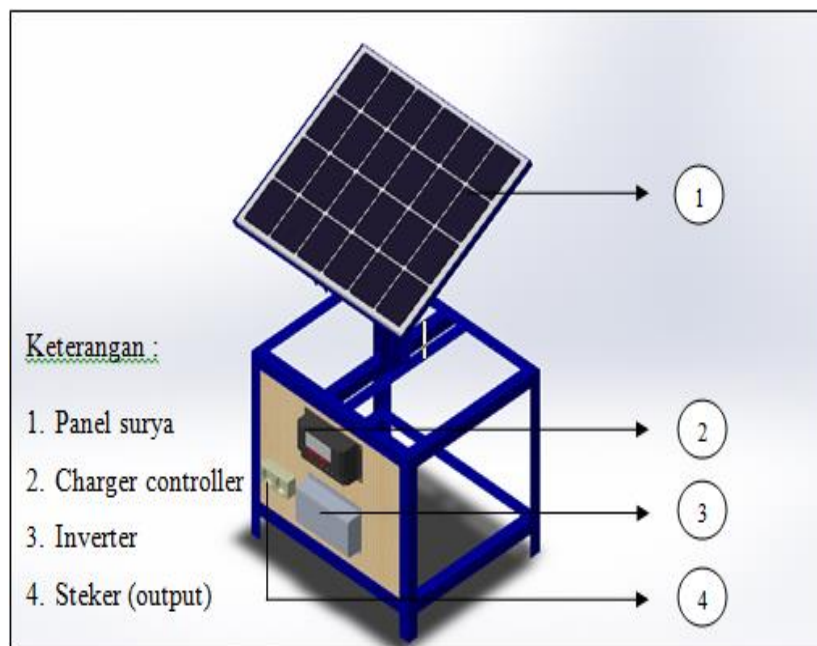
Gambar 3.18 Pandangan Depan



Gambar 3.19 Pandangan Samping



Gambar 3.20 Pandangan Atas



Gambar 3.21 Rancangan 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 3.22.



Gambar 3.22 Memasang Triplek

2. Memasang tiang peyangga dudukan panel surya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Memasang Tiang Panel

3. Memasang charger controller ke triplek yang sudah terpasang di kerangka seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.24.



Gambar 3.24 Memasang Charger Controller

4. Memasang inverter ke triplek yang sudah terpasang di kerangka seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25 Memasang Inverter

5. Memasang panel surya ke tiang dukudandan mengatur sudut kemiringan yang terpasang di kerangka yang ditunjukkan pada Gambar 3.26.



Gambar 3.26 Memasang Panel

6. Memasang baterai dan kabel penghubung keseluruhan komponen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.27.



Gambar 3.27 Memasang Baterai

3.5.2. Langkah-Langkah Pengujian

Adapun langkah-langkah pengujian PLTS adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengujian panel surya di tempat terbuka yang mendapat sinar matahari, pengujian dilakukan dari jam 08.00 wib hingga 17.00 wib seperti dilihat pada Gambar 3.28.



Gambar 3.28 Pengujian Panel di Tempat Terbuka

2. Mengukur intensitas radiasi matahari yang di hasilkan pancaran sinar matahari seperti di tunjukan pada Gambar 3.29.



Gambar 3.29 Mengukur Intensitas Matahari

3. Mengukur temperatur pada panel surya seperti di tunjukan pada Gambar 3.30.



Gambar 3.30 Mengukur Temperatur

4. Mengukur tegangan yang dihasilkan dari keluaran panel surya seperti ditunjukkan pada Gambar 3.31.



Gambar 3.31 Mengukur Tegangan

5. Melihat besar arus dengan cara menekan tombol pada charger controler, maka besar arus dapat terlihat pada layar LCD charger controler
6. Mencatat hasil pengujian panel surya dengan sudut 40° dari jam 08.00 wib hingga 17.00 wib.
7. Setelah pengujian selesai dilakukan, merapikan kembali alat-alat yang digunakan

BAB 4

Hasil Dan Pembahasan

4.1 Hasil Maksimal Tegangan, Arus Dan Daya

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa maksimal kerja dari panel surya jika diletakkan di wilayah pesisir Pantai Bunga yang mempunyai dataran setinggi 14 meter diatas permukaan laut (MDPL). Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui hasil yang maksimal tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Letak alat pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Letak Dan Posisi Alat Pengujian Panel Surya Dipesisir Pantai

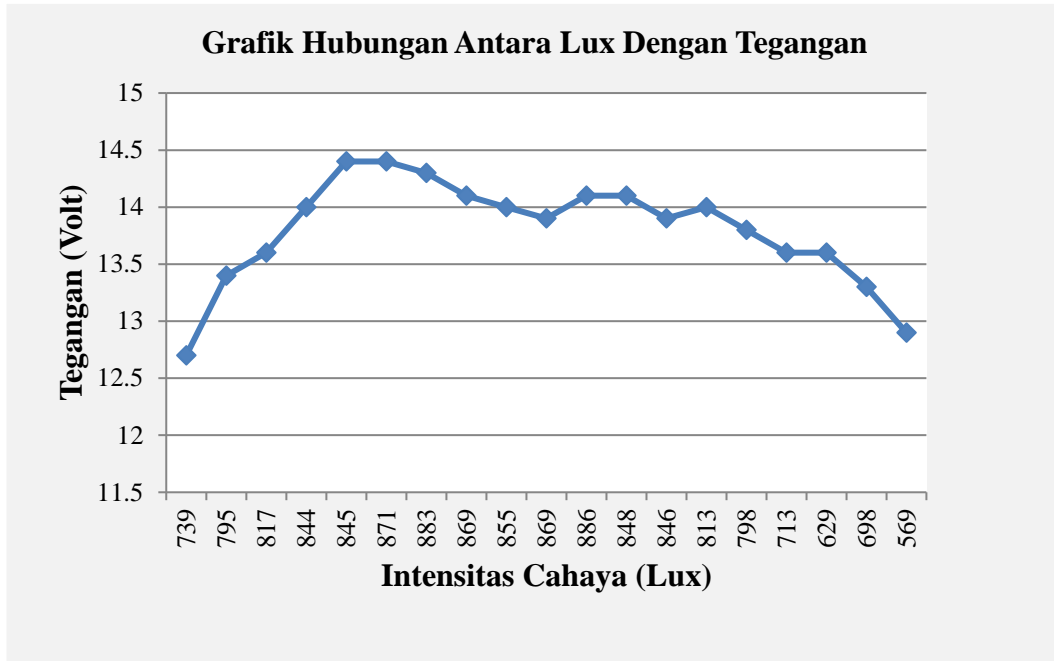
Pengujian yang sama juga dilakukan di daerah pegunungan Brastagi yang mempunyai ketinggian lebih dari 100 meter diatas permukaan laut (MDPL). Pengujian ini dilakukan diwaktu dan hari yang sama, yaitu mulai dari tanggal 5 agustus 2020 sampai 11 agustus 2020 pada pukul 08:00 WIB sampai 17:00 WIB. Hasil dari pengujian ini nantinya untuk mengetahui seberapa maksimal daya, arus dan tegangan yang dihasilkan dari panel surya dan letak dari panel terhadap keluaran sel surya dengan iklim dan ketinggian yang berbeda.

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1 di wilayah Pantai Bunga di mulai dari pukul 08:00 sampai dengan 17:00

Tabel 4.1 Hasil pengujian pada tanggal 10 Agustus 2020

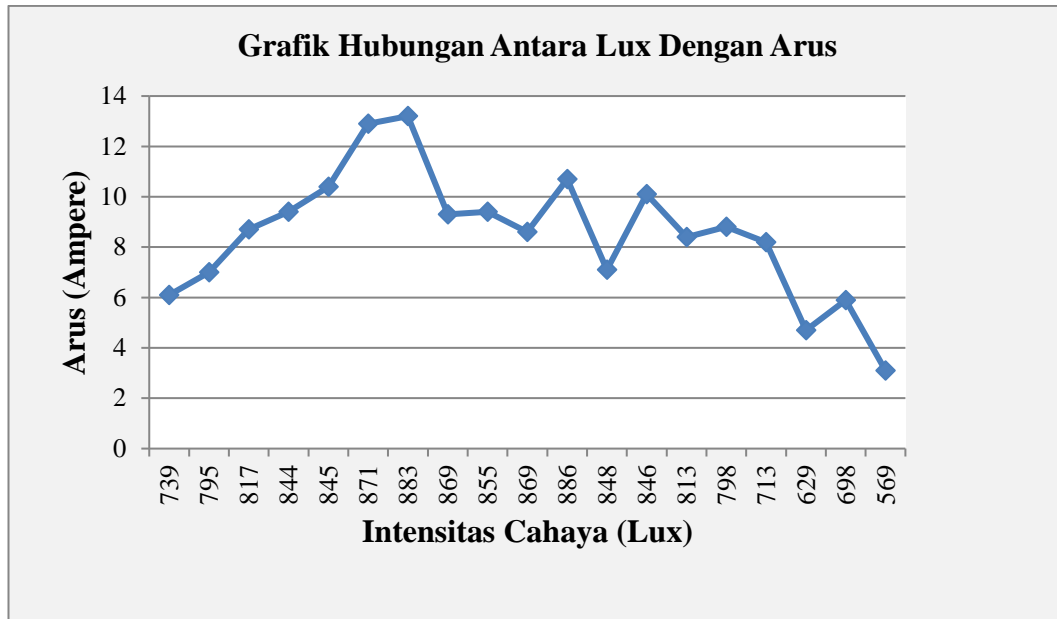
Posisi Sudut Panel 40°							
No	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	T	739	42,0	12,7	06,1	77,47
2	08.30	T	795	44,6	13,4	07,0	93,8
3	09.00	T	817	51,4	13,6	08,7	118,32
4	09.30	T	844	56,3	14,0	09,4	131,6
5	10.00	T	845	62,5	14,4	10,4	149,76
6	10.30	T	871	60,8	14,4	12,9	185,76
7	11.00	T	883	60,8	14,3	13,2	188,76
8	11.30	T	869	57,3	14,1	09,3	131,13
9	12.00	T	855	58,2	14,0	09,4	131,6
10	12.30	T	869	54,2	13,9	08,6	119,54
11	13.00	B	886	54,9	14,1	10,7	150,87
12	13.30	B	848	53,4	14,1	07,1	100,11
13	14.00	B	846	57,7	13,9	10,1	140,39
14	14.30	B	813	57,0	14,0	08,4	117,6
15	15.00	B	798	57,2	13,8	08,8	121,44
16	15.30	B	713	54,3	13,6	08,2	111,52
17	16.00	B	629	45,4	13,6	04,7	63,92
18	16.30	B	698	48,5	13,3	05,9	78,47
19	17.00	B	569	40,9	12,9	03,1	39,99
	Total		15187	1017,4	262,1	162	2252,05
	Rata-Rata		799,31	53,54	13,79	8,52	118,52

Tabel 4.1 merupakan hasil dari pengujian untuk mengetahui perbandingan arus, tegangan dan daya yang dihasilkan di wilayah Pantai Bunga. Hasil dari table 4.1 diambil di hari ke 6 pada tanggal 10 agustus 2020 dan dimulai dari pukul 08:00 WIB sampai dengan 17:00 WIB. Untuk melihat hasil dari keluaran arus, tegangan dan daya yang dihasilkan oleh panel surya di wilayah Pantai Bungadapat dilihat pada Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 berikut:



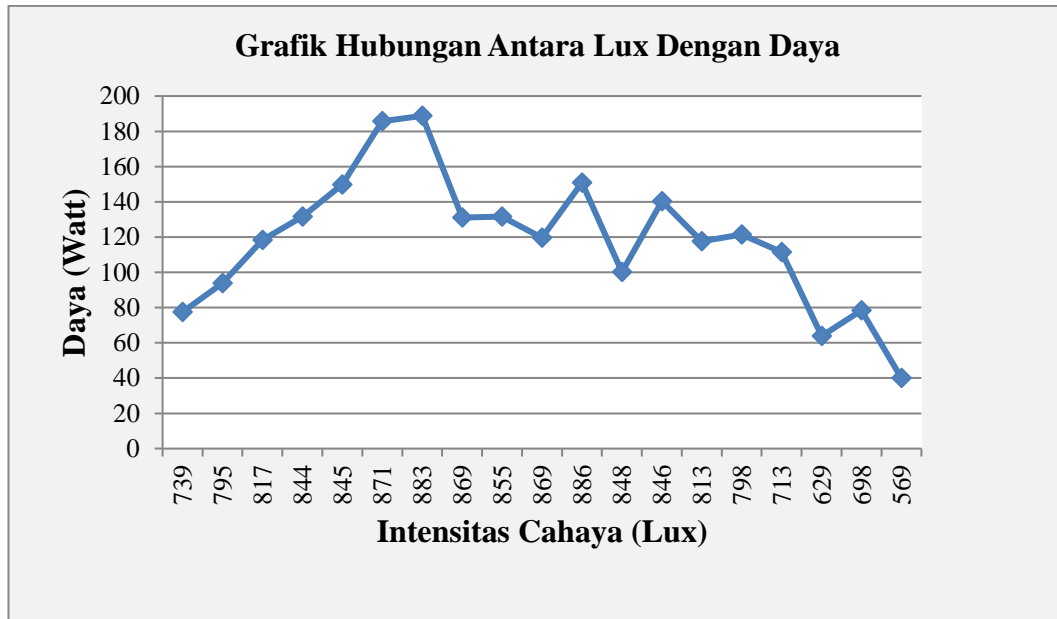
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Lux Dengan Tegangan

Dari Tabel 4.1 data pengujian dapat diperoleh dan dapat membuat grafik hubungan antara Lux dengan tegangan pada tanggal 10 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 739 Lux sampai dengan pukul 10:00 WIB dengan intensitas cahaya 845 Lux di wilayah Pantai Bunga terus mengalami kenaikan tegangan mulai dari 12,7 Volt sampai dengan 14,4 Volt dan mengalami penurunan yang tidak terlalu banyak yaitu pada pukul 10:30 WIB dengan intensitas cahaya 871 sampai dengan pukul 12:30 WIB dengan intensitas cahaya 869 Lux dengan tegangan 14,4 Volt sampai dengan 13,9 Volt. Pada pukul 13:00 dengan intensitas cahaya 886 Lux arah dari panel surya di ubah menjadi menghadap ke arah barat dan tegangan konstan di dapat mulai dari pukul 13:00 WIB sampai dengan pukul 13:30 WIB dengan intensitas cahaya 848 Lux yaitu 14,1 Volt. Tegangan tertinggi yang dihasilkan di wilayah Pantai Bunga yaitu 14,4 Volt pada pukul 10.00 WIB dengan intensitas cahaya 845 Lux sampai dengan 10:30 dengan intensitas cahaya 871 Lux, sedangkan tegangan terendah yaitu 12,7 Volt dan terjadi pada awal pukul 08:00 dengan intensitas cahaya 739 Lux.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Lux Dengan Arus

Dari Tabel 4.1 data pengujian dapat diperoleh dan dapat membuat grafik hubungan antara Lux dengan arus yaitu pada tanggal 10 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 dengan intensitas cahaya 739 Lux sampai dengan pukul 11:00 WIB dengan intensitas cahaya 883 Lux mengalami kenaikan arus mulai dari 6,1 Ampere sampai dengan 13,2 Ampere, dan pada pukul 11:30 WIB dengan intensitas cahaya 869 Lux mengalami penurunan arus menjadi 9,3 Ampere. Pada pukul 13:00 WIB arah dari panel surya di ubah menjadi menghadap ke arah barat pada saat pukul 13:00 WIB dengan intensitas cahaya 886 Lux arusnya yaitu sebesar 10,7 Ampere dan mengalami arus yang naik turun sampai pada pukul 15:30 WIB dengan intensitas cahaya 713 Lux dengan arus 8,2 Ampere dan arus kembali turun pada pukul 16:00 WIB dengan intensitas cahaya 629 Lux yaitu 4,7 Ampere, dan naik kembali menjadi 5,9 Ampere pada pukul 16:30 WIB dengan intensitas cahaya 698 Lux. Pada pukul 17:00 WIB dengan intensitas cahaya 569 Lux menjadi arus terendah yaitu sebesar 3,1 Ampere. Sedangkan arus tertinggi terjadi pada pukul 11:00 WIB dengan intensitas cahaya 883 Lux yaitu sebesar 13,2 Ampere di wilayah Pantai Bunga.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Lux Dengan Daya

Dari Tabel 4.1 data pengujian dapat diperoleh dan dapat membuat grafik hubungan antara Lux dengan Daya yaitu pada tanggal 10 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 waktu dapat terlihat, yaitu pada pukul 08:00 WIB dengan intensitas cahaya 739 Lux sampai dengan pukul 11:00 WIB dengan intensitas cahaya 883 Lux memperlihatkan peningkatan daya mulai dari 77,47 Watt sampai dengan 188,76 Watt. Pada pukul 11:30 WIB dengan intensitas cahaya 869 Lux mengalami penurunan daya yaitu 131,13 sampai dengan pukul 12:30 WIB dengan intensitas cahaya 869 Lux dengan daya 119,54 Watt. Pada pukul 13:00 WIB dengan intensitas cahaya 886 Lux arah dari panel surya di ubah menjadi menghadap ke arah barat dan daya mengalami kenaikan sebesar 150,87 Watt dan mengalami daya naik turun pada pukul 13:30 WIB dengan intensitas cahaya 848 Lux sampai dengan pukul 15:30 WIB dengan intensitas cahaya 713 Lux yaitu mulai dari daya 100,11 Watt sampai dengan daya sebesar 111,52 Watt, Namun pada pukul 16:00 WIB dengan intensitas cahaya 629 Lux mengalami penurunan yang cukup jauh hingga daya 63,92 Watt dan mengalami kenaikan daya kembali

sebesar 78,47 Watt pada pukul 16:30 WIB dengan intensitas cahaya 698 Lux. Pada pukul 17:00 WIB dengan intensitas cahaya 569 Lux mengalami penurunan daya kembali sampai dengan 39,99 watt dan menjadikan daya terendah, Sedangkan daya tertinggi yaitu sebesar 188,76 Watt pada pukul 11:00 WIB dengan intensitas cahaya 883 Lux yang didapat di wilayah Pantai bunga pada tanggal 10 Agustus 2020 dimulai dari pukul 08:00 WIB sampai dengan 17:00 WIB.

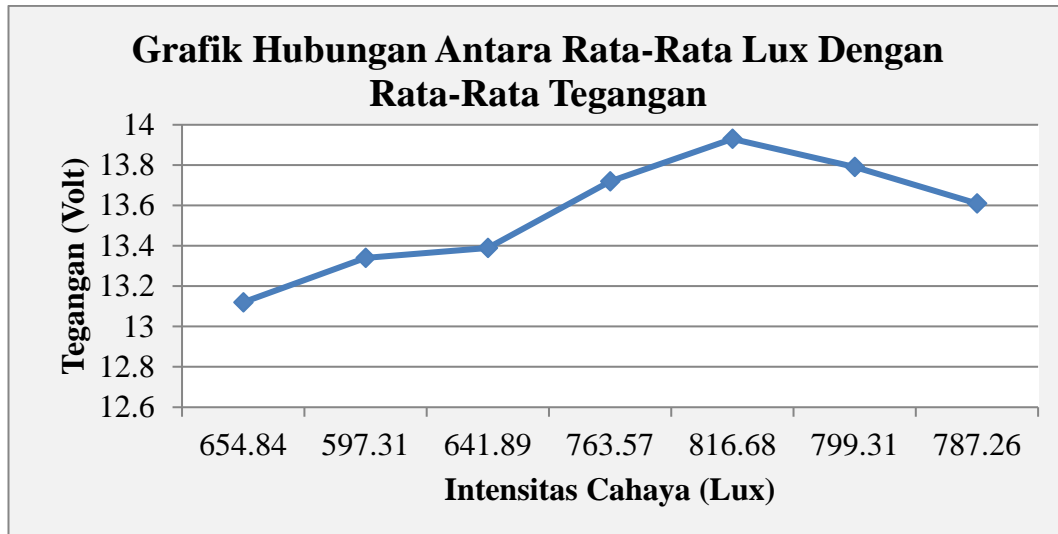
4.2 Hasil Pengujian Untuk Mengetahui Seberapa Maksimal Kerja Dari Panel Surya

Untuk mengetahui wilayah yang paling efektif untuk penempatan panel surya, agar kerja dari panel surya dapat optimal serta 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 Pantai bunga.

Tabel 4.2 Hubungan Antara Rata-Rata Lux Dengan Rata-Rata Tegangan (Volt) Pantai Bunga

Hari	Pantai Bunga		
	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)
1	654,84	41,57	13,12
2	597,31	41,44	13,34
3	641,89	43,86	13,39
4	763,57	49,18	13,72
5	816,68	49,54	13,93
6	799,31	53,54	13,79
7	787,26	51,15	13,61

Tabel 4.2 menjelaskan tentang hubungan antara rata-rata intensitas cahaya (Lux) dengan rata-rata tegangan (Volt) yang diambil dari hasil proses pengujian selama 7 hari dimulai dari pukul 08:00 WIB sampai dengan 17:00 WIB dan diambil dari nilai rata-rata yang dihasilkan perhariseperti dilihat pada gambar 4.5, 4.6 dan 4.7.



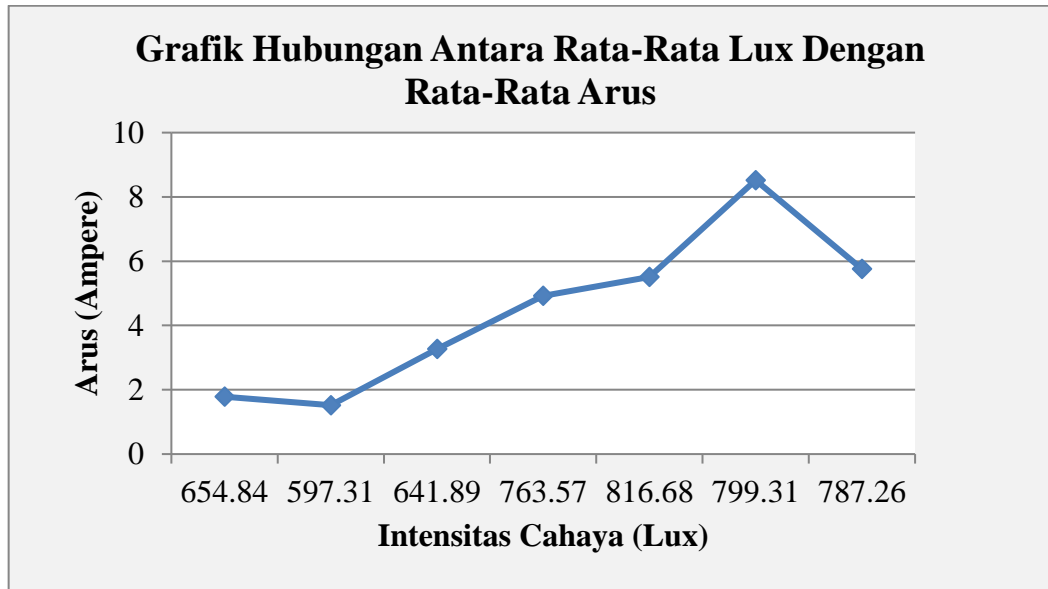
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Rata-Rata Lux Dengan Rata-Rata Tegangan

Gambar 4.5 menunjukkan grafik dari hasil pengujian rata-rata Lux Dengan rata-rata tegangan perharinya yang dihasilkan di wilayah Pantai Bunga 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 654,84 Lux sampai dengan hari ke 5 dengan intensitas cahaya 816,68 Lux mengalami kenaikan tegangan yaitu mulai dari 13,12 sampai dengan tegangan sebesar 13,93 Volt. Terjadi penurunan tegangan yang tidak terlalu jauh pada hari ke 6 dengan intensitas cahaya 799,31 Lux yaitu 13,79 Volt dan pada hari ke 7 dengan intensitas cahaya 787,26 Lux yaitu 13,61 Volt. Tegangan rata-rata tertinggi di hasilkan pada hari ke 5 dengan intensitas cahaya 816,68 Lux yaitu sebesar 13,93 Volt. Sedangkan tegangan rata-rata terkecil terjadi pada hari pertamadengan intensitas cahaya 654,84 yaitu sebesar 13,12 Volt.

Tabel 4.3 Hubungan Antara Rata-Rata Lux Dengan Rata-Rata Arus

Hari	Pantai Bunga		
	Lux	Temperatur (°C)	Arus (Ampere)
1	654,84	41,57	1,78
2	597,31	41,44	1,52
3	641,89	43,86	3,27
4	763,57	49,18	4,92
5	816,68	49,54	5,51
6	799,31	53,54	8,52
7	787,26	51,15	5,76

Tabel 4.3 menjelaskan tentang hubungan antara rata-rata Lux dengan rata-rata arus yang diambil dari hasil proses pengujian selama 7 hari dimulai dari pukul 08:00 WIB sampai dengan 17:00 WIB dan diambil dari nilai rata-rata yang dihasilkan perhari.



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 Pantai Bunga 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 654,84 Lux rata-rata arus yang dihasilkan di wilayah Pantai Bunga ialah sebesar 1,78 Ampere, dan pada hari kedua dengan rata-rata intensitas cahaya 597,31 Lux mengalami penurunan yang tidak terlalu jauh dibandingkan dengan hari pertama yaitu sampai 1,52 Ampere. Pada hari ke 3 dengan rata-rata intensitas cahaya 641,89 Lux mengalami kenaikan arus sebesar 3,27 Ampere, dan peningkatan ini terus terjadi dari hari ke hari nya hingga sampai pada hari ke 6 dengan rata-rata intensitas cahaya 799,31 Lux arus rata-ratanya mencapai 8,52 Ampere. Namun pada hari ke 7 dengan rata-rata intensitas cahaya 787,26 Lux mengalami penurunan arus sampai dengan 5,76 Ampere. Setelah dilakukannya pengujian selama 7 hari, dimulai dari pukul 08:00 sampai dengan 17:00 di wilayah Pantai Bunga mendapatkan hasil tertinggi rata-ratanya yaitu terjadi pada

hari ke 6 dengan rata-rata intensitas cahaya 799,31 Lux dengan arus sebesar 8,52 Ampere. Sedangkan hasil terendahnya diperoleh pada hari ke 2 dengan rata-rata intensitas cahaya 597,31 Lux yaitu dengan arus sebesar 1,52 Ampere.

Untuk mengetahui daya yang dihasilkan pada panel surya di wilayah Pantai Bunga selama 7 hari dapat dihitung dengan sebagai berikut :

➤ Hari pertama

$$\text{Dik : Rata-rata } V = 13,12$$

$$I = 1,78$$

$$P = 13,12 \times 1,78 = 23,35 \text{ Watt (rata-rata perhari)}$$

Maka hari pertama pengujian dapat menghasilkan daya sebesar 23,3536Watt

➤ Hari kedua

$$\text{Dik : Rata-rata } V = 13,34$$

$$I = 1,52$$

$$P = 13,34 \times 1,52 = 20,27 \text{ Watt. (rata-rata perhari)}$$

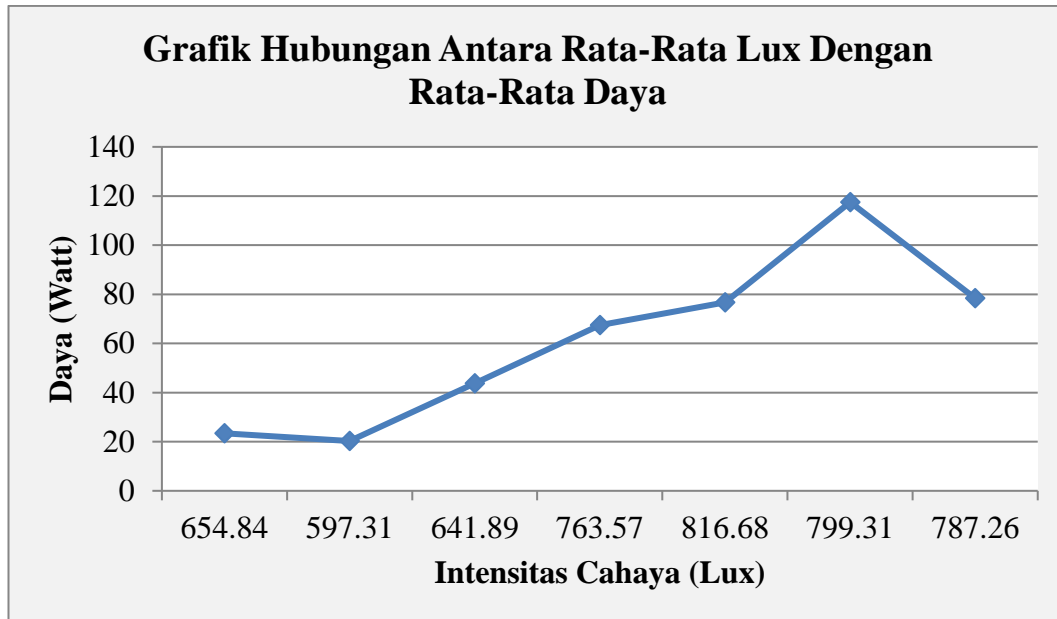
Maka hari pertama pengujian dapat menghasilkan daya sebesar 20,2768 Watt

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

Hari	Pantai Bunga				
	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (P)
1	654,84	41,57	13,12	1,78	23,35
2	597,31	41,44	13,34	1,52	20,27
3	641,89	43,86	13,39	3,27	43,78
4	763,57	49,18	13,72	4,92	67,50
5	816,68	49,54	13,93	5,51	76,75
6	799,31	53,54	13,79	8,52	117,49
7	787,26	51,15	13,61	5,76	78,39

Tabel 4.4 menjelaskan tentang hubungan antara rata-rata Lux dengan rata-rata daya yang diambil dari hasil proses pengujian selama 7 hari dimulai dari pukul 08:00 WIB sampai dengan 17:00 WIB dan diambil dari nilai rata-rata yang dihasilkan perhari..



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 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 654,84 Lux pengujian daya yang didapat sebesar 23,35 Watt dan pada hari kedua dengan rata-rata intensitas cahaya 597,31 Lux mengalami penurunan daya hingga 20,27 Watt. Pada hari ke 3 dengan rata-rata intensitas cahaya 641,89 Lux mengalami kenaikan daya sampai 43,78 Watt peningkatan daya terus terjadi sampai hari berikutnya dan terus mengalami peningkatan dari hari ke hari nya hingga sampai pada hari ke 6 dengan rata-rata intensitas cahaya 799,31 Lux daya mencapai 117,49 Watt. Namun pada hari ke 7 dengan rata-rata intensitas cahaya 787,26 Lux mengalami penurunan hingga 78,39 Watt. Setelah dilakukannya pengujian selama 7 hari, dimulai dari pukul 08:00 sampai dengan 17:00 di wilayah Pantai Bunga mendapatkan hasil tertinggi rata-ratanya yaitu terjadi pada hari ke 6 dengan rata-rata intensitas cahaya 799,31 Lux dengan daya sebesar 117,49 Watt. Sedangkan hasil terendahnya diperoleh pada hari ke 2 dengan rata-rata intensitas cahaya 597,31 Lux yaitu dengan rata-rata daya sebesar 20,27 Watt.

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
Desaember	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 $16,831^\circ$

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 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 Pantai Bunga

Radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi. Pada kondisi langit cerah dapat dihitung dengan metode yang diajukan oleh Hottel (1976) dan faktor koreksi untuk jenis iklim ditunjukkan pada Tabel 4.7.

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

Pada ketinggian dari Pantai Bunga ialah $A = 0,014$ Km. Diperoleh sebagai berikut:

$$a_0 = 0,4237 - 0,00821 (6 - 0,014)^2 = 0,129$$

$$a_1 = 0,5055 + 0,00595 (6,5 - 0,014)^2 = 0,755$$

$$k = 0,2711 + 0,01858 (2,5 - 0,014)^2 = 0,385$$

Lokasi yang sedang dihitung ini dikategorikan Tropical, Maka dengan menggunakan koreksi pada Tabel 4.6 akan didapatkan radiasi yang diteruskan ke bumi:

$$\tau_b = (0,129 \times 0,95) + (0,755 \times 0,98) \times \left(0,385 \frac{1,02}{0,766} \right) = 0,501$$

Radiasi 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 :

$$G_{cnb} = 1339 \times 0,501 = 670,83 \text{ W/m}^2$$

Dan komponennya pada bidang horizontal dihitung dengan persamaan :

$$G_{cb} = 670,83 \times 0,766 = 513,85 \text{ W/m}^2$$

Radiasi difusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$G_d = 1339 \times 0,766 \times (0,271 - 0,294) \times 0,501 = -11,81$$

Maka radiasi total adalah = $513,85 + (-11,81) = 502,04 \text{ W/m}^2$

Daya input yang dihasilkan dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} P_{in} &= 502,04 \times 0,3402 \\ &= 170,79 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Efisiensi sel surya dapat dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{13,93 \times 8,52}{502,04} \times 0,3402 \times 100 \% \\ &= 8,042 \% \end{aligned}$$

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang di peroleh dapat di simpulkan sebagai berikut

1. Daya yang paling maksimal di hasilkan di wilayah Pantai Bunga dengan daya rata-rata sebesar 117,49 Watt dihasilkan pada hari ke enam dengan rata-rata intensitas cahaya 799,31 Lux.
2. Arus yang paling maksimal di hasilkan di wilayah Pantai Bunga dengan arus rata-rata sebesar 8,52 Ampere dihasilkan pada hari ke enam dengan rata-rata intensitas cahaya 799,31 Lux.
3. Tegangan yang paling maksimal di hasilkan di wilayah Pantai Bunga dengan tegangan rata-rata sebesar 13,93 Volt dihasilkan pada hari ke lima dengan rata-rata intensitas cahaya 816,68 Lux.
4. Efisiensi yang dihasilkan panel surya di wilayah Pantai Bunga dengan ketinggian 14 MDPL yaitu 8,042 %.

5.2 Saran

1. Untuk pengujian selanjutnya dilakukan dengan waktu yang lebih lama lagi.
2. Harus memperhatikan posisi dan letak dari panel surya .
3. Merancang ulang alat agar bisa mengambil data secara otomatis.

Daftar Pustaka

- Alfanz Rocky, Maulana Fadjar Dkk. (2015) *Rancangan Bangun Penyediaan Energy Listrik Tenaga Hibrida (Plts-Pltb-Pln) Untuk Membantu Pasokan Listrik Rumah Tinggal*.Jurnal, Banten : Jurusan Teknik Elektro , Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Alifyanti F.D Dan Tambunan M.J. (2014) *Pengaturan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) 1000 Watt*. Jurnal Kajian Teknik Elektro, Jakarta : Jurusan Teknik Elektro, STT PLN Jakarta.
- Anggara Bayu. (2019)*Analisis Pemanfaatan Panel Surya Dalam Penghematan Daya Listrik Di Gedung D Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*. Laporan Tugas Akhir, Medan: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Ariyanti, D. dan NA, Handayani.(2012) *Potency of Solar Energy Applications inIndonesia*.Int. Journal of Renewable Energy Development, Semarang:Faculty of Engineering, Diponegoro.
- Budi Yuwono. (2015) *Optimalisasi Panel Sel Surya Dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler At89c51*.Skripsi, Surakarta:Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret.
- Iskandar H Rusiana (2020) *“Praktis Belajar Pembangkit Listrik Tenaga Surya”* Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jendral Achmad Yani
- Julisman Andi, Sari Devi Dkk. (2017) *Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomasi Atap Stadion Bola*. Jurnal, Banda Aceh : Jurusan Teknik Elektro Dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syah Kuala.
- Mintorogo, D S. (2000) *Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) Pada Perumahan Dan Bangunan Komersial*. Jurnal, Surabaya: Staf Pengajar Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Jurusan Arsitektur, Universitas Kristen Petra.
- Mohd Rizwan Sirajuddin Shaikh, dkk. (2017) *A Review Paper on Electricity Generation from Solar Energy*. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), Pune: Department of Electrical Engineering, Savitribai Phule Pune University

- Pradona Yoga. (2019) *Variasi Kemiringan Sudut Terhadap Efektivitas Kinerja Panel Surya*. Laporan Tugas Akhir, Medan: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Sugiyatno. (2000) *Estimation Of Global Solar Radiation In The Indonesian Climatic Region*. Research And Development Centre For Applied Physics, Indonesia : LIPI, Bandung.
- Tarigan A.D Dan Hamdani.(2020) *Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Sebagai Peningkatan Kinerja Panel Surya*. Jurnal, Medan : Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Panca Budi Medan.
- Wiwin Andi, DKK. (2018) *Studi Potensi Radiasi Matahari Untuk Pemanfaatan Energi Surya Di Kota Kendari*. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin, Kendari : Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo
- Yulianda S, Surya G Dan Retno RA. (2015) *Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya*.Jurnal, Surabaya : Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.

LAMPIRAN

Tanggal : 05 Agustus 2020 (Hari Ke-1)

Posisi Sudut Panel 40°							
NO	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	708	41,8	12,2	02,2	26,84
2	08.30	Timur	829	43,6	12,5	02,5	31,25
3	09.00	Timur	884	44,6	13,8	02,7	37,26
4	09.30	Timur	769	43,7	13,5	02,2	29,7
5	10.00	Timur	545	41,3	13,3	01,5	19,95
6	10.30	Timur	665	45,3	13,4	01,5	20,1
7	11.00	Timur	603	46,5	13,4	01,8	24,12
8	11.30	Timur	713	47,6	13,3	02,4	31,92
9	12.00	Timur	816	44,6	13,5	02,3	31,05
10	12.30	Timur	885	47,5	13,3	02,4	31,92
11	13.00	Barat	756	44,5	13,4	02,3	30,82
12	13.30	Barat	683	40,8	13,1	01,6	20,96
13	14.00	Barat	665	38,9	13,0	01,3	16,9
14	14.30	Barat	577	39,8	13,2	01,5	19,8
15	15.00	Barat	495	38,0	12,8	01,0	12,8
16	15.30	Barat	450	36,5	12,8	01,0	12,8
17	16.00	Barat	462	35,0	12,9	01,0	12,9
18	16.30	Barat	506	35,3	13,0	01,5	19,5
19	17.00	Barat	431	34,6	13,0	01,2	15,6
Total			12442	789,9	249,4	33,9	446,19
Rata-Rata			654,84	41,57	13,12	1,78	23,35

Tanggal : 06 Agustus 2020 (Hari Ke-2)

Posisi Sudut Panel 40°							
No	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	366	33,8	12,9	01,0	12,9
2	08.30	Timur	371	35,2	13,1	01,0	13,1
3	09.00	Timur	503	39,3	13,4	01,2	16,08
4	09.30	Timur	607	42,6	13,4	01,5	20,1
5	10.00	Timur	572	41,0	13,5	01,8	24,3
6	10.30	Timur	699	43,1	13,4	01,9	25,46
7	11.00	Timur	946	49,8	13,4	03,0	40,2
8	11.30	Timur	901	48,7	13,8	02,3	37,74
9	12.00	Timur	523	41,8	13,4	01,0	13,4
10	12.30	Timur	680	42,9	13,0	01,4	18,2
11	13.00	Barat	567	45,0	13,6	01,4	19,04
12	13.30	Barat	341	38,5	13,0	00,6	7,8
13	14.00	Barat	515	38,8	13,5	01,2	16,2
14	14.30	Barat	505	36,9	13,4	01,0	13,4
15	15.00	Barat	803	44,3	13,7	01,9	26,03
16	15.30	Barat	715	46,0	13,6	01,9	25,84
17	16.00	Barat	740	45,0	13,2	02,0	26,4
18	16.30	Barat	672	40,0	13,2	01,5	19,8
19	17.00	Barat	323	34,8	13,1	01,4	18,34
Total			11349	787,5	240,2	29	394,33
Rata-Rata			597,31	41,44	13,34	1,52	20,27

Tanggal : 07 Agustus 2020 (Hari Ke-3)

Posisi Sudut Panel 40°

No	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	261	31,0	12,6	00,2	2,52
2	08.30	Timur	461	34,2	12,6	00,5	6,3
3	09.00	Timur	505	37,1	12,8	00,6	7,68
4	09.30	Timur	521	40,7	13,0	00,9	11,7
5	10.00	Timur	872	44,5	13,3	02,0	26,6
6	10.30	Timur	585	44,8	13,4	01,1	14,74
7	11.00	Timur	550	47,3	13,1	02,0	26,2
8	11.30	Timur	596	48,5	13,1	05,5	72,05
9	12.00	Timur	486	40,5	13,2	02,7	35,64
10	12.30	Timur	591	41,6	13,5	02,7	36,45
11	13.00	Barat	574	39,2	13,6	03,8	51,68
12	13.30	Barat	836	39,7	13,9	04,1	56,99
13	14.00	Barat	872	52,5	13,9	05,2	72,28
14	14.30	Barat	484	50,3	13,4	02,2	29,48
15	15.00	Barat	856	51,8	13,7	05,2	71,24
16	15.30	Barat	862	48,9	13,9	07,2	100,08
17	16.00	Barat	803	47,4	13,8	08,8	121,44
18	16.30	Barat	754	47,1	13,8	04,4	60,72
19	17.00	Barat	727	46,3	13,9	03,2	44,48
Total			12196	833,4	254,5	62,3	848,27
Rata-Rata			641,89	43,86	13,39	3,27	43,78

Tanggal : 08 Agustus 2020 (Hari Ke-4)

No	Posisi Sudut Panel 40°						
	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	320	38,1	13,0	02,3	29,9
2	08.30	Timur	761	44,2	13,7	04,5	61,65
3	09.00	Timur	836	46,5	14,0	05,1	71,4
4	09.30	Timur	730	47,0	13,8	07,0	96,6
5	10.00	Timur	812	52,2	13,9	08,1	112,59
6	10.30	Timur	893	55,5	13,9	09,7	134,83
7	11.00	Timur	901	54,3	13,9	06,4	88,96
8	11.30	Timur	824	50,9	13,7	04,2	57,54
9	12.00	Timur	890	53,8	13,9	05,1	70,89
10	12.30	Timur	824	52,3	13,8	04,1	56,58
11	13.00	Barat	837	53,3	13,9	04,8	66,72
12	13.30	Barat	886	57,5	14,0	06,4	89,6
13	14.00	Barat	829	54,3	14,0	06,2	86,8
14	14.30	Barat	812	49,2	13,7	04,3	58,91
15	15.00	Barat	820	51,6	14,0	04,9	68,6
16	15.30	Barat	790	48,3	14,0	04,2	58,8
17	16.00	Barat	509	46,2	13,2	02,7	35,64
18	16.30	Barat	733	39,0	13,1	01,6	20,96
19	17.00	Barat	501	40,3	13,2	01,9	25,08
	Total		14508	934,5	260,7	93,5	1292,05
	Rata-Rata		763,57	49,18	13,72	4,92	67,50

Tanggal : 09 Agustus 2020 (Hari Ke-5)

Posisi Sudut Panel 40°

No	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	709	44,6	13,5	03,1	41,85
2	08.30	Timur	789	46,7	13,8	06,5	89,7
3	09.00	Timur	819	48,4	13,8	05,4	74,52
4	09.30	Timur	810	48,9	14,0	05,6	78,4
5	10.00	Timur	870	52,8	14,4	06,4	92,16
6	10.30	Timur	878	58,3	14,3	06,6	94,38
7	11.00	Timur	880	58,1	14,3	07,0	100,1
8	11.30	Timur	877	54,1	14,1	06,4	90,24
9	12.00	Timur	876	53,0	14,0	06,6	92,4
10	12.30	Timur	874	51,3	13,9	05,8	80,62
11	13.00	Barat	856	51,0	14,0	07,1	99,4
12	13.30	Barat	875	50,0	14,1	06,8	95,88
13	14.00	Barat	871	51,1	14,2	06,9	97,98
14	14.30	Barat	853	51,0	14,1	06,8	95,88
15	15.00	Barat	830	49,9	14,1	05,9	83,19
16	15.30	Barat	798	47,0	14,0	06,5	91
17	16.00	Barat	745	45,2	13,5	02,0	27
18	16.30	Barat	669	40,0	13,4	01,9	25,46
19	17.00	Barat	638	40,0	13,2	01,5	19,8
Total			15517	941,4	264,7	104,8	1469,96
Rata-Rata			816,68	49,54	13,93	5,51	76,75

Tanggal : 10 Agustus 2020 (Hari Ke-6)

Posisi Sudut Panel 40°

No	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	739	42,0	12,7	06,1	77,47
2	08.30	Timur	795	44,6	13,4	07,0	93,8
3	09.00	Timur	817	51,4	13,6	08,7	118,32
4	09.30	Timur	844	56,3	14,0	09,4	131,6
5	10.00	Timur	845	62,5	14,4	10,4	149,76
6	10.30	Timur	871	60,8	14,4	12,9	185,76
7	11.00	Timur	883	60,8	14,3	13,2	188,76
8	11.30	Timur	869	57,3	14,1	09,3	131,13
9	12.00	Timur	855	58,2	14,0	09,4	131,6
10	12.30	Timur	869	54,2	13,9	08,6	119,54
11	13.00	Barat	886	54,9	14,1	10,7	150,87
12	13.30	Barat	848	53,4	14,1	07,1	100,11
13	14.00	Barat	846	57,7	13,9	10,1	140,39
14	14.30	Barat	813	57,0	14,0	08,4	117,6
15	15.00	Barat	798	57,2	13,8	08,8	121,44
16	15.30	Barat	713	54,3	13,6	08,2	111,52
17	16.00	Barat	629	45,4	13,6	04,7	63,92
18	16.30	Barat	698	48,5	13,3	05,9	78,47
19	17.00	Barat	569	40,9	12,9	03,1	39,99
Total			15187	1017,4	262,1	162	2252,05
Rata-Rata			799,31	53,54	13,79	8,52	117,49

Tanggal : 11 Agustus 2020 (Hari Ke-7)

Posisi Sudut Panel 40°

No	Jam	Arah	Lux	Temperatur (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	Timur	639	37,1	12,2	02,2	26,84
2	08.30	Timur	680	40,1	12,5	03,4	42,5
3	09.00	Timur	730	44,2	12,9	03,8	49,02
4	09.30	Timur	798	49,9	13,4	04,5	60,3
5	10.00	Timur	808	53,0	13,4	04,9	65,66
6	10.30	Timur	889	55,6	13,8	06,9	95,22
7	11.00	Timur	886	54,9	14,0	07,8	109,2
8	11.30	Timur	903	60,6	14,2	09,5	134,9
9	12.00	Timur	869	58,7	14,0	07,1	99,4
10	12.30	Timur	850	57,2	14,0	04,5	63
11	13.00	Barat	881	60,1	14,1	08,8	124,08
12	13.30	Barat	749	45,8	14,0	05,1	71,4
13	14.00	Barat	798	50,1	13,9	06,8	94,52
14	14.30	Barat	846	56,2	14,1	09,9	139,59
15	15.00	Barat	808	54,1	13,9	05,1	70,89
16	15.30	Barat	839	55,6	14,0	06,5	95
17	16.00	Barat	705	49,0	13,8	04,7	64,86
18	16.30	Barat	660	47,9	13,5	04,1	55,35
19	17.00	Barat	620	41,9	13,0	04,0	52
Total			14958	972	258,7	109,6	1513,73
Rata-Rata			787,26	51,15	13,61	5,76	78,39

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

Peserta seminar

Nama : Muhammad Anwar
 NPM : 1607230072
 Judul Tugas Akhir : Studi Eksperimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem –
 Fotovoltaik Di Wilayah Pantai Bunga Kabupaten Batu Bara.

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN	
Pembimbing – i	: Chandra A Siregar.S.T.M.T <i>[Signature]</i>	
Pembanding – I	: Khairul Umurani.S.T.M.T <i>[Signature]</i>	
Pembanding – II	: Affandi.S.T.M.T <i>[Signature]</i>	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1607230237	Ahmad Fahmi	<i>[Signature]</i>
2	1607230073	ZIFKI RAMADANI	<i>[Signature]</i>
3	1607230126	Iqbal ZHafwan	<i>[Signature]</i>
4	1607230062	Aldi Trisna rawan	<i>[Signature]</i>
5	1607230075	Muhammad Luqman Hafidani	<i>[Signature]</i>
6			
7			
8			
9			
10			

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

Ketua Prodi. T.Mesin

[Signature]
Affandi, S.T.M.T



DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Muhammad Anwar
NPM : 1607230072
Judul T.Akhir : Studi Eksperimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem -
Fotovoltaik Di wilayah Pantai Bunga Kabupaten Batu Bara.

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 (colloquium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (colloquium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

- Perbaiki Metode, Grafik Intanitas
Vs V, I, P serta Vs V, I, P

3. Harus mengikuti seminar kembali
- Perbaikan :
-
-
-
-

Medan 21 Rab. Awa 1442H
07 Nopember 2020M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin

Affandi.S.T.M.T



Dosen Pembanding- I

Khairul Umurani.S.T.M.T

Khairul Umurani.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Muhammad Anwar
NPM : 1607230072
Judul T.Akhir : Studi Eksperimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem –
Fotovoltaik Di wilayah Pantai Bunga Kabupaten Batu Bara.

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

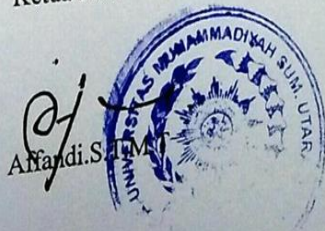
1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

limit buku dan catatan

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 21 Rab.Awa 1442H
07 Nopember 2020M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pembanding- II

[Signature]
Affandi.S.T.M.T



UMSU

Cerdas | Terpercaya

Agar surat ini agar disebutkan 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 : 1764/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 : **MUHAMMAD ANWAR**
NPM : 1607230072
Program Studi : **TEKNIK MESIN**
Semester : **VII (TUJUH)**
Judul Tugas Akhir : **STUDI EXPERIMENTAL POTENSI PENYERAPAN ENERGI MATAHARI
SISTEM FOTOVOLTAIK DI WILAYAH KABUPATEN BATUBARA**

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

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Studi Experimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem Fotovoltaik Di Wilayah Pantai Bunga Kabupaten Batu Bara

Nama : Muhammad Anwar
NPM : 1607230072

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

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	23-11-2019	Perbaiki format	f
2.	14-12-2019	Perbaiki Bab I	f
3.	28-12-2019	Tambahkan Bab II letak Geografis daerah	f f
4.	20-07-2020	Tambahkan Bab III	f
5.	24-08-2020	Perbaiki Bab III	f
6.	08-09-2020	Perbaiki penjelasan Grafik	f
7.	14-10-2020	Tambahkan Perhitungan Radiasi	f
8.	17-10-2020	Perbaiki Perhitungan	f
9.	20-10-2020	Ace sesuai hasil	f

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Muhammad Anwar
NPM : 1607230072
Tempat/Tanggal Lahir : Sibolga, 06-01-1998
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Alamat : Perkebunan Sei Balai
 Kecamatan : Meranti
 Kabupaten : Asahan
 Provinsi : Sumatra Utara
Nomor Hp : 0822 7399 5998
E-mail : mhdanwarjr11@gmail.com
Nama Orang Tua
 Ayah : Suwarman
 Ibu : Atun Nikmah

PENDIDIKAN FORMAL

2004-2010 : SDN 010065 Perkebunan Sei Balai
2010-2013 : MTS Manba'ul Hidayah Kisaran
2013-2016 : SMK Negeri 2 KISARAN
2016-2020 : S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara