

**ANALISIS PENGARUH *EFFECT SHADING* TERHADAP
DAYA *OUTPUT* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA**

*Diajukan untuk memenuhi syarat memperoleh
Gelar Sarjana teknik elektro pada fakultas teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun oleh :

AGUNG HERIANSYAH

1807220023



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : AGUNG HERIANSYAH

NPM : 1807220023

Program Studi : Teknik Elektro

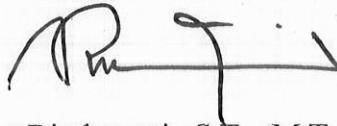
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh *Effect Shading* Terhadap Daya Output
Pembangkit Listrik Tenaga Surya

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

Medan, 5 Juni 2024

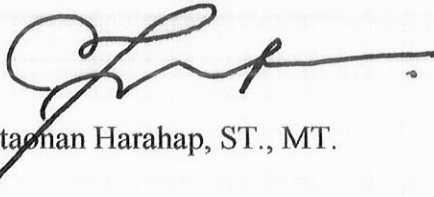
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



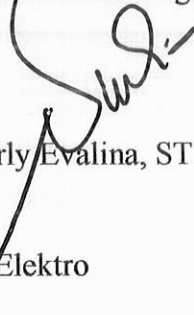
Rimbawati, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing I / Penguji



Partaon Harahap, ST., MT.

Dosen Pembimbing II / Penguji



Noorly Evalina, ST., MT.

Program Studi Teknik Elektro



Faisol Ibrahim, ST., MT.

LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa skripsi yang berjudul di bawah ini:

“Analisis Pengaruh *Efect Shading* Terhadap Daya Output Pembangkit Listrik Tenaga Surya”

Ditulis oleh Mahasiswa/i yang bernama:

Agung Heriansyah

(NPM: 1807220023)

untuk kemudian disebut sebagai Pihak ke-1,

adalah benar merupakan sebagian hasil dari penelitian Dosen yang melibatkan Mahasiswa/i (Pihak ke-1) di bawah ini:

Judul penelitian : Analisis Pengaruh *Efect Shading* Terhadap Daya Output Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Nama dosen : Rinbawati, S.T., M.T

Jenis penelitian :

Nomor kontrak :

untuk kemudian disebut sebagai Pihak ke-2.

Untuk itu Pihak ke-2 berhak mempublikasikan isi Skripsi seluruhnya tanpa harus meminta izin dari Pihak ke-1. Sedangkan Pihak ke-1 wajib meminta izin terlebih dahulu kepada Pihak ke-2 bila ingin mempublikasikan isi Skripsi ini.

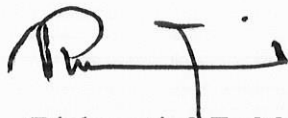
Demikian Surat Pernyataan dan Persetujuan ini dibuat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Medan, 11 Juni 2024

Yang membuat pernyataan dan persetujuan:

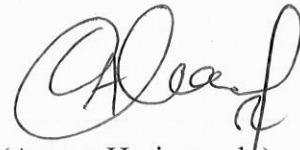
Pihak ke-2 (Dosen)

Pihak ke-1 (Mahasiswa/i)



(Rinbawati, S.T., M.T)

NIDN: 0123097203



(Agung Heriansyah)

NPM: 1807220023



Diketahui oleh:

Ketua Program Studi Teknik Elektro

(Faisalla Esbki Sasaribu, S.T., M.T)

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Agung Heriansyah
Tempat / Tanggal Lahir : Belawan / 16 Oktober 2000
NPM : 1807220023
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“Analisis Pengaruh *Effect Shading* Terhadap Daya Output Pembangkit Listrik Tenaga Surya.”,

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

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

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

Medan, 11 Juni 2024

Saya yang menyatakan,

BDALX200575344. Agung Heriansyah

The image shows a 20,000 Rupiah Indonesian postage stamp (METERAL TEMPEL) with a Garuda emblem and a QR code. The stamp is partially obscured by the signature and the name of the declarant.

ABSTRAK

Pada penggunaan PLTS tentu saja terdapat berbagai halangan yang dapat menyebabkan kuantitas dari daya yang dihasilkan menjadi berkurang. Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan berkurangnya daya keluaran dari pembangkit listrik tenaga surya tersebut, yang pertama adalah faktor cuaca. Cuaca sangat mempengaruhi daya keluaran yang dapat dihasilkan pada PLTS, karena apabila cuaca cerah maka intensitas cahaya matahari yang didapat juga maksimal dan daya keluaran yang dihasilkan juga dapat maksimal, begitu pula sebaliknya. Namun pada cuaca cerah PLTS juga dapat menghasilkan daya keluaran yang tidak maksimal yang disebabkan oleh faktor bayangan. Hasil penelitian nilai arus pada saat panel surya tanpa *shading* dengan cahaya matahari lebih besar dibandingkan dengan panel surya terdampak *shading* pada permukaan, persentase drop arus mencapai 82,79 % sehingga nilai arus yang drop juga mempengaruhi daya keluaran panel surya. Semakin rendah arus yang dihasilkan maka semakin rendah pula daya keluaran oleh panel surya. Pada saat tidak terkena dampak *shading* PLTS mampu menangkap radiasi dengan rata – rata 341 W/m² (hasil pengambilan data tertinggi yaitu hari ke-3) sedangkan ketika panel surya terkena dampak *shading* radiasi yang diterima menurun secara signifikan ke angka 61,5 (pengambilan data hari ke-2 *shading*). Hal ini dapat dilihat akibat dari dampak *shading* intensitas radiasi yang diterima panel menurun hingga 81,96%.

Kata Kunci : Renewable Energy, Solar Power, *Shading*, Losses

ABSTRACT

When using PLTS, of course there are various obstacles that can cause the quantity of power produced to decrease. There are several factors that can cause a reduction in the output power of a solar power plant, the first is the weather factor. Weather greatly influences the output power that can be produced from PLTS, because if the weather is sunny then the intensity of sunlight obtained is also maximum and the output power produced can also be maximum, and vice versa. However, in sunny weather PLTS can also produce less than optimal output power due to shadow factors. The research results show that the current value when the solar panel is exposed to sunlight without shading is greater than when the solar panel is affected by shading on the surface, the percentage decrease in current reaches 82.79% so that the current value drop also affects the output power of the solar panel. The lower the current produced, the lower the power output by the solar panel. When it is not affected by shading, PLTS is able to capture radiation with an average of 341 W/m² (the highest data collection result is day 3) whereas when the solar panels are affected by shading, the radiation received decreases significantly to 61.5 (data collection 2nd day of shade). This can be seen due to the impact of shading, the radiation intensity received by the panel decreased by 81.96%.

Keywords: Renewable Energy, Solar Power, Shading, Losses

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 “Analisis Pengaruh *Effect Shading* terhadap Daya *Output* Pembangkit Listrik Tenaga Surya” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, 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. Orang tua saya yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menuliskan studi tugas akhir ini.
2. Ibunda Rimbawati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir serta selaku mentor yang memberikan segala solusi terbaik dalam menyelesaikan beberapa masalah..
3. Bapak Munawar Alfansury Siregarr, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T.,M,T. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik elektroan kepada penulis.

7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2018

Proposal 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 Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-elektroan.

Medan.....

Penulis

Agung Heriansyah

1807220023

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Ruang Lingkup	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Metode Penelitian	3
1.7. Sistem Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tjauan Pustaka Relevan	8
2.2. Landasan Teori	8
2.2.1. Energi Matahari	8
2.2.2. Panel Surya	9
2.2.3. Jenis – Jenis Panel Surya	16
2.2.4. Komponen Panel Surya	18
2.2.5. Efek Bayangan	25
2.2.6. Kemiringan Panel	27
2.2.7. Pengaruh Irradiance Terhadap PV	27
2.2.6. Arus Hubung Singkat (Isc) Pada PV	29
BAB 3 PERANCANGAN ALAT	48
3.1 Tempat dan Waktu	48
3.1.1. Tempat	48
3.1.2. Waktu	48
3.2 Alat dan Bahan	49

3.3 Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya	50
3.4 Spesifikasi Panel Surya	51
3.5 Prosedur Penelitian	52
BAB 4 ANALISA DATA	53
4.1 Pengujian PLTS Direct	53
4.2 Pengujian PLTS Pada Saat <i>Shading</i>	60
4.3 Pembahasan	64
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran Energi Antara Matahari, Atmosfer dan Tanah.....	9
Gambar 2.2 Panel surya Monocrystallin.....	10
Gambar 2.3 Semikonduktor	11
Gambar 2.4 Semikonduktor Sebelum Tersambung	12
Gambar 2.5 Elektron – Elektron Berpindah.....	12
Gambar 2.6 Elektron Menyatu	13
Gambar 2.7 Medan Listrik Internal.....	13
Gambar 2.8 Proses Konversi.....	14
Gambar 2.9 Sambungan Elektron Terkna Cahaya Matahari	15
Gambar 2.10 Arus Listrik Timbul.....	16
Gambar 2.11 <i>Solar charger Controller</i> jenis PWM.....	23
Gambar 2.12 <i>Solar charger Controller</i> jenis MPPT.....	23
Gambar 2.13 Proses pengosongan dan pengisian baterai	23
Gambar 2.14 Gelombang DC dan AC	23
Gambar 2.15 Prinsip Kerja Inverter	24
Gambar 2.16 Cara kerja saklar pada inverter.....	24
Gambar 2.17 Efek Bayangan	26
Gambar 2.18 Orientasi Menentukan Arah	27
Gambar 2.19 Arus Hubung	29
Gambar 3.1 Safeting Energi Sistem PLTS.....	31
Gambar 3.2 Panel Surya Mono Crystalline.....	32
Gambar 3.3 Diagram Alir	34
Gambar 4.1 Pengambilan Data PLTS 1000 WP	35
Gambar 4.1 Grafik Data Hari Ke-1.....	37
Gambar 4.1 Grafik Data Hari Ke-2.....	38
Gambar 4.1 Grafik Data Hari Ke-3.....	40
Gambar 4.1 Pengambilan Data saat <i>shading</i>	41
Gambar 4.1 Grafik Data <i>Shading</i> Hari Ke-1.....	42
Gambar 4.1 Grafik Data <i>Shading</i> Hari Ke-2.....	43
Gambar 4.1 Grafik Data <i>Shading</i> Hari Ke-3.....	44

Gambar 4.1 Perbandingan Arus Direct dan <i>Shading</i>	45
Gambar 4.1 Perbandingan Tegangan Tanpa <i>Shading</i> dan <i>Shading</i>	46
Gambar 4.1 Perbandingan Radiasi Matahari yang diterima panel Surya	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persentase Pengaruh <i>Shading</i>	25
Tabel 3.1 Spesifikasi Panel Surya.....	32
Tabel 4.1 Data Hari Ke-1	36
Tabel 4.2 Data Hari Ke-2.....	37
Tabel 4.3 Data Hari Ke-3	39
Tabel 4.4 Data <i>Shading</i> Hari Ke-1	41
Tabel 4.5 Data <i>Shading</i> Hari Ke-2.....	42
Tabel 4.6 Data <i>Shading</i> Hari Ke-3.....	43
Tabel 4.7 Hasil Pengambilan Data.....	44

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Data konsumsi energi mengalami peningkatan setiap tahunnya, peningkatan ini sejalan dengan pertumbuhan ekonomi nasional. Terkhusus di Indonesia, peningkatan konsumsi energi ini akan menjadi suatu masalah apabila kebutuhan tidak mencukupi dari yang dibutuhkan. Kebijakan-kebijakan yang diambil oleh PLN (Perusahaan Milik Negara) sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN) untuk menyediakan energi telah menunjukkan bahwa ketersediaan listrik yang ada sudah tidak mampu lagi memenuhi kebutuhan listrik nasional. Apabila permasalahan kebutuhan listrik ini tidak diatasi maka pertumbuhan perekonomian nasional akan terganggu, mengingat segala aspek dalam lingkup masyarakat Indonesia bergantung pada energi listrik.

Berbagai upaya telah dilakukan pemerintah dan para peneliti untuk memecahkan masalah kebutuhan energi listrik. Salah satu upaya yang dilakukan adalah mencari energy alternative dan bersifat terbarukan. Pada hal ini energi alternatif yang terbarukan adalah cahaya matahari. Mengingat bahwa Indonesia adalah Negara tropis yang dilewati oleh garis katulistiwa, hal itu menyebabkan energi matahari yang diterima di Indonesia lebih efektif untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif terbarukan.

Upaya yang telah dikembangkan untuk memanfaatkan cahaya matahari adalah PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). PLTS atau lebih dikenal dengan sel surya akan lebih diminati jika dapat digunakan untuk keperluan yang relevan terkhusus

dirumah-rumah ibadah. Energi yang dihasilkan PLTS sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari pada suatu tempat.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan energi matahari sebagai sumber terbarukan dan mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Untuk memaksimalkan intensitas matahari yang diterima oleh panel surya maka pada perancangan sistem dibutuhkan sudut kemiringan panel yang paling tepat untuk menerima radiasi matahari yang paling tinggi (Dody Purwanto, 2020).

Adapun beberapa parameter lingkungan yang dapat mempengaruhi kinerja dari sel surya, diantaranya perubahan temperatur, intensitas radiasi matahari, tertutupnya sebagian permukaan sel surya (*effect shading*). Tertutupnya sebagian permukaan sel surya biasanya disebabkan karena adanya bangunan atau pohon-pohon yang lebih tinggi. Karena menyebabkan tertutupnya sel surya maka kinerja dari sel surya pun tidak akan maksimal, sehingga dapat sangat berpengaruh pada penurunan nilai daya *output* dan juga arus yang dihasilkan. (A. Mansur, 2019)

Pada penggunaan PLTS tentu saja terdapat berbagai halangan yang dapat menyebabkan kuantitas dari daya yang dihasilkan menjadi berkurang. Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan berkurangnya daya keluaran dari pembangkit listrik tenaga surya tersebut, yang pertama adalah faktor cuaca. Cuaca sangat mempengaruhi daya keluaran yang dapat dihasilkan pada PLTS, karna apabila cuaca cerah maka intensitas cahaya matahari yang didapat juga maksimal dan daya keluaran yang dihasilkan juga dapat maksimal, begitu pula sebaliknya. Namun pada cuaca cerah PLTS juga dapat menghasilkan daya keluaran yang tidak maksimal yang disebabkan oleh faktor bayangan.

Berdasarkan latar belakang di atas penelitian ini akan membahas tentang “Analisis Pengaruh *Effect Shading* Terhadap Daya *Output* Pembangkit Listrik Tenaga Surya.”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasar latar belakang masalah di atas, maka perumusan masalah yang akan dibahas di skripsi ini adalah :

1. Bagaimanakah Pengaruh yang ditimbulkan *effect shading* terhadap daya keluaran PV?
2. Bagaimana pengaruh *effect shading* terhadap kinerja PV?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari latar belakang yang telah dijelaskan diatas maka tujuan yang ingin dicapai diantaranya :

1. Untuk mengetahui *effect shading* terhadap daya *ouput* PV.
2. Mengetahui pengaruh *effect shading* terhadap kinerja PV.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian tugas akhir ini terarah tanpa mengurangi maksud dan tujuan, maka ditetapkan ruang lingkup dalam penelitian sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi *effect shading* terhadap pengeluaran daya *output*.
2. Melakukan analisis pengaruh yang dihasilkan *effect shading* terhadap kinerja PV.
3. Mengidentifikasi faktor suhu terhadap pengeluaran daya *output*.
4. Mengidentifikasi faktor yang mempengaruhi kinerja PV.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Sebagai pijakan dan referensi untuk mengetahui *effect shading* pada daya *output* PV
2. Mengetahui pengaruh *effect shading* pada PV terhadap daya *output* energi listrik.
3. Mengetahui pengaruh faktor suhu terhadap pengeluaran daya *output*.
4. Mengetahui faktor yang mempengaruhi kinerja PV.

1.6 Metode Penelitian

Dalam penulisan penelitian ini penulis melakukan penelitian terhadap system yang diterapkan. Adapun langkah – langkah penelitian adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur, yaitu metode yang digunakan dalam Analisis Pengaruh *Effect Shading* Terhadap Daya *Output* Pembangkit Listrik Tenaga Surya ini menggunakan kajian pustaka agar mendapat tingkat keakuratan data yang baik menjadi pertimbangan dalam diri penulis, diperlukan teori penunjang yang memadai, maupun teknik penulisan. Teori penunjang ini dapat diperoleh dari buku pengangan; jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional, serta media online. Teori ditekankan pada Analisis Pengaruh *Effect Shading* Terhadap Daya *Output* Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Energi Terbarukan.

2. Pengujian dan analisis, Pengujian merupakan metode untuk memperoleh data dari beberapa percobaan, sehingga dapat diketahui hasil dan melakukan analisis pada setiap percobaan yang dilakukan.
3. Hasil, yaitu hasil akhir penelitian.
4. Kesimpulan, yaitu kesimpulan dari seluruh proses percobaan.

1.7 Sistematis Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODE PENELITIAN

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

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

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

BAB V PENUTUP

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Kebutuhan energi listrik dunia terus meningkat seiring dengan meningkatnya kemajuan peradaban manusia. Pemanfaatan sumber energi listrik seperti batu bara, bahan bakar minyak, gas alam menghadapi kendala yang semakin besar kendala tersebut adalah sumbernya yang semakin berkurang dan yang lebih penting lagi munculnya persoalan polusi lingkungan hidup yang membahayakan bagi kehidupan umat manusia. Pengembangan sumber tenaga alternative yang terbarukan dan bebas polusi menjadi kebutuhan mendesak bagi seluruh umat manusia. Sumber tenaga terbarukan tersebut seperti tenaga surya, tenaga angin, tenaga air, tenaga gelombang air laut dan lain – lain.

Energi pilihan tersebut adalah energi surya yang memanfaatkan energi dari matahari. Sumber energi terbarukan mempunyai sifat terbarukan serta berkesinambungan dan pemanfaatan sumber energi terbarukan merupakan alternatif yang perlu terus dikembangkan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan energi matahari sebagai sumber terbarukan dan mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Untuk memaksimalkan intensitas matahari yang diterima oleh panel surya maka pada perancangan sistem dibutuhkan sudut kemiringan panel yang paling tepat untuk menerima radiasi matahari yang paling tinggi.

Shading adalah dimana salah satu atau lebih sel silikon dari solar cell panel tertutup dari pancaran sinar matahari. *Shading*/teduh/bayangan PLTS biasanya dihasilkan dari susunan Array yang terdiri atas beberapa panel surya yang dihubungkan secara seri dan/atau parallel untuk menghasilkan daya yang diinginkan. effect *shading* pada posisi vertikal, yakni searah dengan susunan sel PV yang terhubung seri, mempunyai pengaruh paling besar terhadap keluaran listrik array PV dibandingkan dengan posisi horizontal dan diagonal. Pada *shading* dengan luasan sekitar $\frac{1}{4}$ dari luas modul PV dalam 1 unit array PV dapat mengurangi keluaran daya listrik sekitar 78% pada posisi

vertikal, 22% posisi diagonal dan 9% posisi horizontal. Besarnya prosentase pengurangan daya keluaran listrik pada array PV akan semakin besar dengan semakin besarnya luasan *shading*. (Purwanto, Fikri, Christiono, 2020)

Pada penelitian yang dilakukan oleh samsurizal untuk mengetahui peningkatan arus keluaran terhadap perubahan sudut kemiringan pada photovoltaic, dengan menggunakan *regretion quadratic method*. Hasil yang diperoleh pengukuran sudut kemiringan PV dengan arus keluaran menggunakan metode regresi kuadratik sudut optimum peletakan panel sel surya dalam menerima paparan radiasi sinar matahari pada sudut $36,7^\circ$ dengan nilai arus keluaran 1,99 Ampere. Ternyata hasil pengukuran real dibandingkan dengan menggunakan metode regresi kuadratik diperoleh hasil nilai RMSE (root mean square error) 0.2747 (Samsurizal, Makkulau, 2020).

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Andrian Mansur untuk melihat dampak bayangan pada modul dengan menganalisis output per array PLTS, selanjutnya sumber bayangan dihilangkan. Dari hasil analisa menunjukkan terdapat kenaikan output pada Pkl 06.00-12.00 pada array 2 sebesar 48% diatas kenaikan output rata-rata yang hanya berkisar sebesar 24%, demikian pula pada langgam output yang tidak terpaut jauh dari Array lainnya dengan deviasi yang tersisa hanya sebesar 1%. Pada pukul 12.00-18.00 perubahan output juga dapat diamati pada Array 4 sebesar 46 % diatas rata-rata kenaikan yang hanya sebesar 39%, demikian pula dengan langgam output dengan deviasi dari 21% menjadi 1% (A. Mansur, 2019).

Berikutnya penelitian yang dilakukan oleh Bandiyah Sri Aprillia bertujuan untuk investigasi efek dari variabilitas radiasi matahari akibat partial *shading* terhadap daya keluaran sel surya 1 Wp. Berdasarkan hasil observasi pada pengujian pukul 10.00 – 14.00, tegangan terbuka dan arus hubung singkat pada sel surya mengalami penurunan seiring kenaikan intensitas partial *shading*. Semakin besar partial *shading* pada sel surya maka daya keluaran yang dihasilkan semakin rendah. Efek setengah partial *shading* dari total area sel surya mengakibatkan penurunan daya sebesar 88.2%. Seperempat *shading* mengakibatkan penurunan daya keluaran sel surya sebesar 75.6%

dibandingkan daya pada kondisi normal. Selain itu Kenaikan suhu sel surya mengakibatkan penurunan tegangan terbuka yang cukup berarti (B.S Aprilia, 2019).

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Andhika Giyantara untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari partial *shading* terhadap panel surya dan keluaran daya panel surya. Penentuan pengaruh partial *shading* dilakukan dengan melakukan simulasi komputasi dan juga mengambil data secara langsung. Solar panel yang digunakan dalam percobaan ini ialah solar panel 250 WP. Total daya yang didapatkan pada setiap percobaan pada keadaan normal tanpa partial *shading* ialah 290 W, 300 W dan 286 W, sementara data yang didapatkan saat partial *shading* yaitu 260 W, 258 W, 256 W. Berdasarkan data tersebut dapat dilihat partial *shading* dapat mengurangi besaran keluaran dari panel surya sebesar 10% hingga 14 (A.Giyantara, 2021).

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Adrian Mansur bertujuan untuk menganalisa kinerja PLTS dengan membandingkan antara energi riil dengan hasil simulasi menggunakan software PVSyst. Dari hasil simulasi diperoleh perbedaan energi riil sebesar 15.53 % dibandingkan hasil simulasi PVSyst Meteororm 7.3 dengan data *shading* pada tools Solmetric, sementara selisih dengan hasil simulasi PVSyst NASA-SSE sebesar 7.51% dibandingkan energi riil. Pada kedua simulasi data, diperoleh langgam output yang identik dengan kondisi riil dimana nilai output terendah pada Inverter 2 yang disebabkan oleh efek bayangan. Selain itu pada penelitian ini diperoleh penurunan output disebabkan oleh perbedaan antara orientasi dan tilt PLTS dibandingkan dengan hasil optimasi azimuth dan tilt pada simulasi PVSyst (A.Giyantara, 2021).

Berikutnya penelitian yang dilakukan oleh M. Iklilul Malahin pada penelitian ini, algoritma FFA dan P&O digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran sel surya selama kondisi *shading* dengan cara menaikkan dan menurunkan nilai *duty cycle* untuk mendapatkan daya yang maksimal. Pada penggunaan algoritma FFA dan P&O pada skema uniform yang terbukti dalam implementasinya didapatkan efisiensi sebesar 97,4% sedangkan pada skema naungan 25% terbukti implementasinya efisien 97,7% (Malahin ,2018).

Berikutnya penelitian yang dilakukan oleh Muhannad Alshareef bertujuan untuk menunjukkan bahwa metode MPPT yang diusulkan efektif dalam hal keadaan yang tinggi, respon dinamis yang cepat, dan akurasi yang tinggi dalam melacak MPPT global (Alshareef, Lin, Cao, 2019)

Berdasarkan beberapa penelitian diatas, metode yang akan diambil oleh penulis ialah panel surya tidak dapat bekerja secara maksimal jika terjadi efek bayangan. Pada penelitian ini, peneliti akan merumuskan serta menganalisis bagaimana dampak bayangan terhadap terhadap nilai daya keluaran dari photovoltaic.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Cahaya

Menurut Pamungkas, Dkk (2015) cahaya adalah gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat dengan mata. Suatu sumber cahaya memancarkan energi, sebagian energi ini diubah menjadi cahaya tampak (visible light). Perambatan cahaya di ruang bebas dilakukan oleh gelombang elektromagnetik. Menurut Suharyanto, dkk (2009) Panjang gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat manusia yaitu 380-750 nm. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambat. Intensitas cahaya dengan satuan lux (1 lm/m^2), dimana lm adalah lumens atau lux cahaya. Sifat-sifat cahaya sebagai berikut :

1. Cahaya dapat merambat lurus
2. Cahaya dapat dipantulkan
3. Cahaya dapat menembus benda bening
4. Cahaya dapat dibiaskan
5. Cahaya dapat diuraikan

Menurut Lasmi (2008) pemantulan cahaya dibedakan menjadi 2 sebagai berikut :

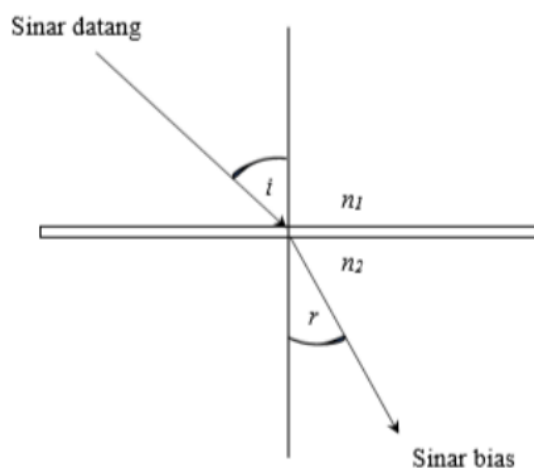
1. Pemantulan difus atau pemantulan baur, merupakan pemantulan ke segala arah yang terjadi karena berkas sinar datang jauh pada permukaan yang tidak rata. Pemantulan ini dapat menyilaukan mata.

2. Pemantulan teratur, merupakan pemantulan yang terjadi sinar datang jatuh pada permukaan halus atau rata. Cahaya yang dipantulkan ke satu arah dan pemantulan ini menyejukkan mata.

Jarak terdekat cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia normal yaitu 25 cm dan jarak terjauh yang dapat dilihat bernilai tak terhingga. Pada saat ini cahaya yang digunakan untuk penerangan adalah cahaya matahari dan energi listrik.

Hukum Snellius tentang pembiasan :

1. Sudut datang, garis normal, dan sinar pantul terletak pada satu bidang datar.
2. Sudut datang sama dengan sudut pantul ($i = r$)



Gambar 2.1 Pembiasan Cahaya (Lasmi (2008))

Dimana, i = sudut datang dan r = sudut bias n_1 dan n_2 = indeks bias medium 1 dan 2

Menurut Tim Edukasi HTS (2013) interferensi cahaya merupakan gabungan dua gelombang lebih. Semakin tinggi nilai interferensi cahaya maka semakin tinggi nilai intensitas cahaya yang dihasilkan. Maka dari itu untuk mengamati sebuah nilai intensitas cahaya dari sebuah cahaya perlu dilakukan di tempat yang gelap. Menurut Kep Men Kes No. 1405 tahun 2002 tentang persyaratan kesehatan lingkungan kerja perkantoran dan industri menjelaskan bahwa “pencahayaan adalah jumlah penyinaran pada suatu bidang kerja yang diperlukan untuk melaksanakan kegiatan secara efektif.” Aturan penggunaan lampu utama pada sepeda motor dijelaskan dalam pasal 24 PP No.55 Tahun 2012, poin No.2 dan No.3 yaitu: (2) “Untuk sepeda motor harus dilengkapi dengan lampu utama dekat dan lampu utama jauh paling

banyak dua buah dan dapat memancarkan cahaya paling sedikit 40 (empat puluh) meter ke arah depan untuk lampu utama dekat dan 100 (seratus) meter ke arah depan untuk lampu jauh”. (3) “Apabila sebuah sepeda motor dilengkapi dengan jumlah lampu utama lebih dari 1 (satu) maka lampu utama jarak dekat dan jarak jauh harus dipasang berdekatan”. Tata cara pengaturan pencahayaan agar memenuhi persyaratan kesehatan perlu dilakukan tindakan sebagai berikut: (Kep Men Kes No.1405 tahun 2002)

1. Pencahayaan dari alam atau dibuat oleh manusia diusahakan agar tidak menimbulkan kesilauan juga memiliki intensitas cahaya yang sesuai dengan penggunaannya.
2. Kontras cahaya harus sesuai dengan kebutuhan, hindari untuk mengakibatkan kesilauan atau bayangan.
3. Ruang kerja yang menggunakan peralatan berputar dianjurkan untuk tidak menggunakan lampu neon.
4. Penempatan bola lampu dapat menghasilkan penyinaran yang optimum dan bola lampu sering dibersihkan.
5. Bola lampu yang mulai tidak berfungsi dengan baik segera diganti.

Menurut penelitian yang dilakukan Padmanaba (2006) pencahayaan dapat dibagi menjadi dua, diantaranya :

a. Penerangan Alami

Cahaya matahari merupakan penerangan alami dengan pancaran cahaya yang sangat kuat namun tergantung dengan musim, tempat dan jam. Penerangan ini memiliki kelebihan yaitu dapat membunuh bakteri dan juga sangat efisien. Untuk memperoleh pancaran cahaya secara maksimal pada suatu ruangan maka diperlukan jendela atau kaca dengan ukuran minimal $\frac{1}{6}$ dari ruangan. Penerangan ini kurang cukup efektif dibandingkan penerangan buatan dikarenakan pancaran matahari ini dapat berubah-ubah.

b. Penerangan Buatan

Cahaya yang dihasilkan dari penerangan ini berasal dari elemen buatan manusia. Kualitas dan kuantitas yang dikeluarkan sangat bervariasi tergantung jenis. Penerangan ini dibutuhkan apabila suatu tempat sangat

minim penerangan dari pancaran cahaya matahari atau saat menggunakan cahaya matahari belum mencukupi.

Apabila suatu cahaya memiliki nilai intensitas cahaya yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kelelahan pada mata, Menurut Nugroho (2009) berikut beberapa faktornya antara lain:

1. Faktor Usia

Seiring dengan penambahan usia, hal ini menyebabkan lensa pada mata lambat laun akan mengalami penurunan elastisitas. Sehingga akan mengalami gangguan penglihatan pada jarak dekat dan jarak jauh. Gangguan ini dapat mengakibatkan ketidaknyamanan ketika melihat dan melakukan suatu kegiatan. Faktor ini biasanya terjadi pada rentang umur 40 tahun.

2. Faktor Silau

Silau merupakan respons mata yang berlebihan yang diakibatkan sinar berlebihan yang ditangkap oleh retina.

3. Ukuran Pupil

Ukuran pupil diatur oleh otot mata iris, sesuai dengan jumlah sinar yang diterima oleh retina. Pada saat mata memfokuskan suatu objek yang dekat maka ukuran lubang pupil akan mengecil.

4. Riwayat penyakit

Riwayat penyakit mempunyai peranan penting dalam pengambilan langkah diagnosa untuk berbagai penyakit, tidak terkecuali mata. Faktor kronologi dan deskriptif juga diperlukan untuk diagnosa riwayat penyakit. Biasanya dilakukan proses tanya jawab kepada penderita juga agar mempercepat fase penyembuhan.

5. Jenis kegiatan

Kegiatan yang mengakibatkan kelelahan pada mata sangat bervariasi, kelelahan tersebut dapat ditimbulkan akibat suatu pekerjaan atau rutinitas keseharian karena setiap kegiatan atau pekerjaan yang dilakukan membutuhkan intensitas penerangan yang berbeda-beda.

Jenis cahaya yang merambat dapat dideteksi dengan mengamati cahaya pada kendaraan bermotor yang kita gunakan. Garis rambat cahaya ini disebut cahaya. Karena sifat cahaya ini yang merambat lurus kedepan, manusia dapat menggunakan cahaya untuk berbagai keperluan seperti senter, lampu, dll. Cahaya bias menembus benda bening

Benda transparan dapat ditransmisikan oleh cahaya. Objek transparan ini dapat diterima oleh semua cahaya yang diterimanya. Contoh benda bening adalah gelas, air bening, kaca bening, dll. Berdasarkan intrusi cahaya yang bias dipindahkan, benda dibagi menjadi tiga bagian, yaitu :

- a) Benda transparan
- b) Benda translusens (hanya sebagai cahaya yang dapat diterima)
- c) Benda buram (benda yang tidak dapat ditembus cahaya)

Cahaya adalah termasuk gelombang elektromagnetik dalam fisika. Gelombang cahaya dapat dipantulkan, refleksi cahaya terjadi ketika cahaya menyerang area pantulan.

Refleksi teratur adalah refleksi yang menghasilkan sinar paralel dari cahaya yang dipantulkan. Refleksi teratur terjadi ketika cahaya mengenai benda dengan permukaan datar atau mengkilap. Cermin adalah objek yang dapat memantulkan cahaya dengan sempurna. Objek yang dibuat dengan refleksi biasa sangat bagus dan sesuai dengan objek aslinya.

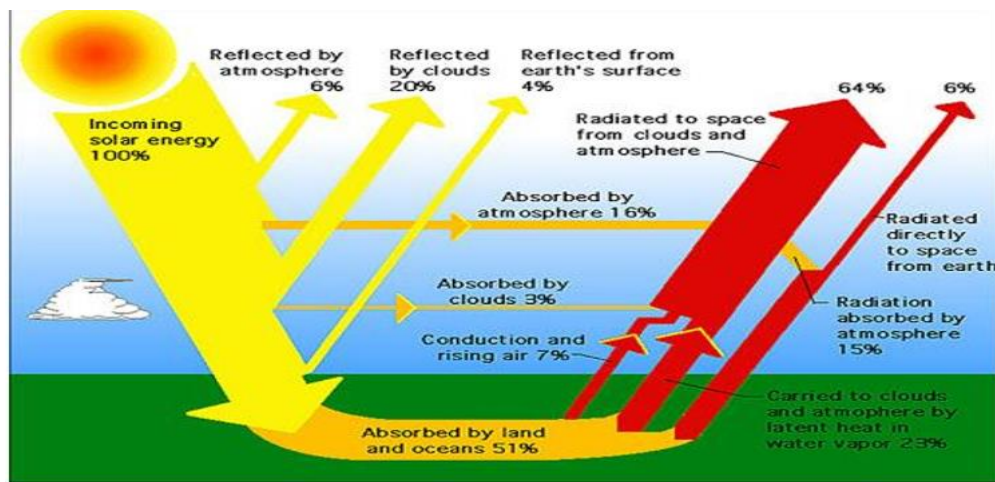
Refleksi menyebar adalah refleksi yang menciptakan sinar cahaya ke segala arah dan tidak teratur. Refleksi menyebar biasanya terjadi ketika cahaya menyerang objek yang dipantulkan dengan permukaan yang tidak rata, bergelombang dan kasar.

Contoh reflektifitas difus atau menyebar adalah cahaya yang dipantulkan oleh gelombang air dan membentuk objek yang tidak terlihat seperti aslinya.

2.2.2. Energi Matahari

Dalam inti surya terjadi reaksi fusi termonuklir tanpa henti pada jutaan derajat; mereka mengeluarkan besar jumlah energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Sebagian dari energi ini mencapai daerah terluar atmosfer bumi dengan radiasi rata-rata (matahari konstan) sekitar $1,367 \text{ W / m}^2 \pm 3\%$, nilai yang

bervariasi sebagai fungsi dari jarak Bumi ke Matahari. Dengan radiasi matahari yang kami maksud adalah intensitas dari matahari insiden radiasi elektromagnetik pada permukaan 1 meter persegi [kW / m^2]. Intensitas seperti itu sama dengan integral dari daya yang terkait dengan setiap nilai frekuensi spektrum radiasi matahari. Saat melewati atmosfer, radiasi matahari berkurang intensitasnya karena sebagian tercermin dan diserap (terutama oleh uap air dan oleh gas atmosfer lainnya). Radiasi yang lewat sebagian disebarkan oleh udara



Gambar 2.1 Aliran Energi Antara Matahari, Atmosfer dan Tanah

Sumber : <https://www.researchgate.net/>

Untuk mengetahui potensi energy listrik yang didapat dari matahari digunakan rumus sebagai berikut (V R Kossi, 2018) :

$$P_{\text{Wattpeak}} = \text{Luas PV} \times \text{PSI} \times \eta \text{ PV} \quad (2.1)$$

Keterangan :

Luas PV : Luas area panel surya (m^2)

PSI : Peak Solar Instalation adalah $1.000 \text{ W}/\text{m}^2$

η PV : Efisiensi Panel Surya

2.2.3. Panel Surya

Seperti diketahui bahwa sel surya merupakan energi alternative yang paling menjanjikan jika dilihat dari ketersediaannya di semua tempat / wilayah. Sel surya sebagai pembangkit listrik alternative di beberapa daerah di Indonesia

menunjukkan trend yang cukup positif. (Rimbawati, Siregar, Yusri, Alqamari, 2021)

Suatu alat yang dapat mengkonversi / mengubah energi matahari menjadi energy listrik. Jenis sel surya yang dipakai adalah *Monocrystalline*. Sel surya silicon monocrystalline lapisan ini cenderung mahal karena mereka di potong silinderigot (mirip bundar/lingkaran), ciri – ciri fisik solar cell ini adalah bentuknya yang segidelapan cenderung bulat dan warnanya yang agak gelap dan mencapai efisiensi 17%. (Faisal, Rimbawati, 2021).



Gambar 2.2 Panel surya Monocrystallin

Sumber : (Faisal, Rimbawati, 2021)

Panel surya adalah suatu perangkat yang dapat mengubah energy cahaya menjadi energy listrik, prinsip yang diikuti adalah photovoltaic, adanya energy dari cahaya (foton) pada panjang gelombang tertentu akan mengeksitasi sebagian selektron pada suatu material ke pita energy , hal ini ditemukan oleh Alexandre Edmond Bacquerel (Belgia) Pada tahun 1894.

Ada dua pita energy yaitu konduksi dan valensi, kedua pita nergi ini berturut – turut dari yang berenergi lebih renda adalah pita valensi dan pita konduksi, sedangkan keadaan tanpa electron disebut dengan celah pita. Celah pita ini besarnya berbeda – beda untuk setiap material semikonduktor, tapi disyaratkan tidak melebihi 3 atau 4 Ev. (E.Yusmiati, 204)

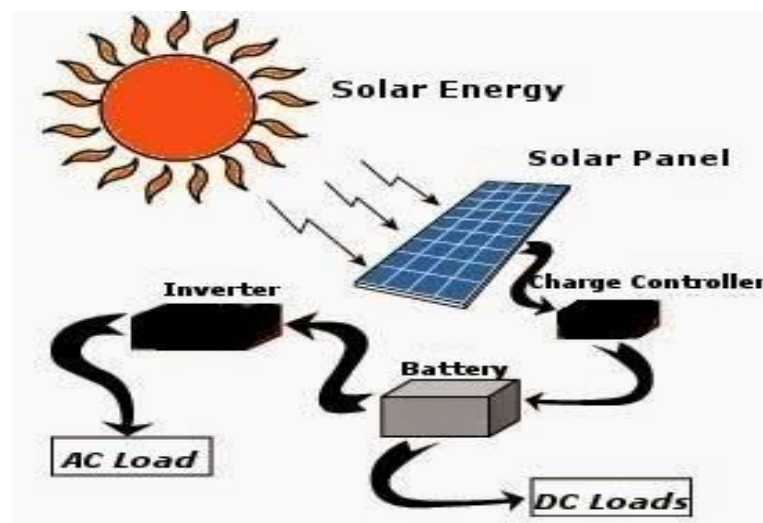
Pembangkit listrik tenaga surya konsepnya sederhana, yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak

digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan. Bandingkan dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik. Suaranya bising, selain itu gas yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (*green house gas*) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita.

Sistem sel surya yang dapat digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (*charge controller*), dan aki (baterai) 12 volt yang *maintenance free*. Panel sel surya merupakan modul yang terdiri dari beberapa sel surya yang dihubungkan seri dan paralel tergantung ukuran dari kapasitas yang diperlukan. Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya. Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt. Bila tegangan turun sampai 10.8 volt berarti sisa tegangan pada aki 2.2 volt, maka kontroler akan mengisi aki dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Tentu saja proses pengisian itu akan terjadi bila berlangsung pada saat ada cahaya matahari. Jika penurunan tegangan terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutuskan pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki itu akan naik bila tegangan aki itu mencapai 12 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu. Rangkaian kontroler pengisian aki sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri. Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dipasaran. Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit sendiri. Kebanyakan sistem sel surya itu hanya dijual dalam bentuk paket lengkap itu jelas lebih murah dibandingkan dengan bila merakit sendiri. Biasanya panel surya itu diletakkan dengan posisi lurus menghadap matahari. Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari, agar dapat terserap secara maksimum sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya.

Sebuah solar cells menghasilkan kurang lebih tegangan 0.5 Volt. Jadi sebuah panel surya 12 Volt terdiri dari kurang lebih 36 sel (untuk menghasilkan 17

Volt tegangan maksimum).(Diantari Aita Retno, Erlina 2018) Bahan sel surya sendiri terdiri dari kaca pelindung dan material *adhensive* transparan yang melindungi bahan sel surya dari keadaan lingkungan kemudian material anti-refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan, semikonduktor P-type dan N-type (terbuat dari campuran silikon) untuk menghasilkan medan listrik, saluran awal dan saluran akhir (terbuat dari logam tipis) untuk mengirim elektron ke perabot listrik. Cara kerja sel surya sendiri sebenarnya identik dengan piranti semikonduktor dioda. Ketika cahaya bersentuhan dengan sel surya dan diserap oleh bahan semi-konduktor, terjadi pelepasan elektron. Apabila elektron tersebut bisa menempuh perjalanan menuju bahan semi-konduktor pada lapisan yang berbeda, terjadi perubahan sigma gaya-gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semi-konduktor, menyebabkan aliran medan magnet listrik. Dan menyebabkan elektron dapat disalurkan ke saluran awal dan akhir untuk digunakan pada perabot listrik



Gambar 2.3 Sistem Instalasi Menggunakan PLTS
(Stefanie and Bangsa 2021)

Sinar Matahari terdiri dari partikel sangat kecil yang disebut dengan Foton. Ketika terkena sinar Matahari, Foton yang merupakan partikel sinar Matahari tersebut menghantam atom semikonduktor silikon Sel Surya sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan Negatif (-) tersebut akan bebas bergerak pada

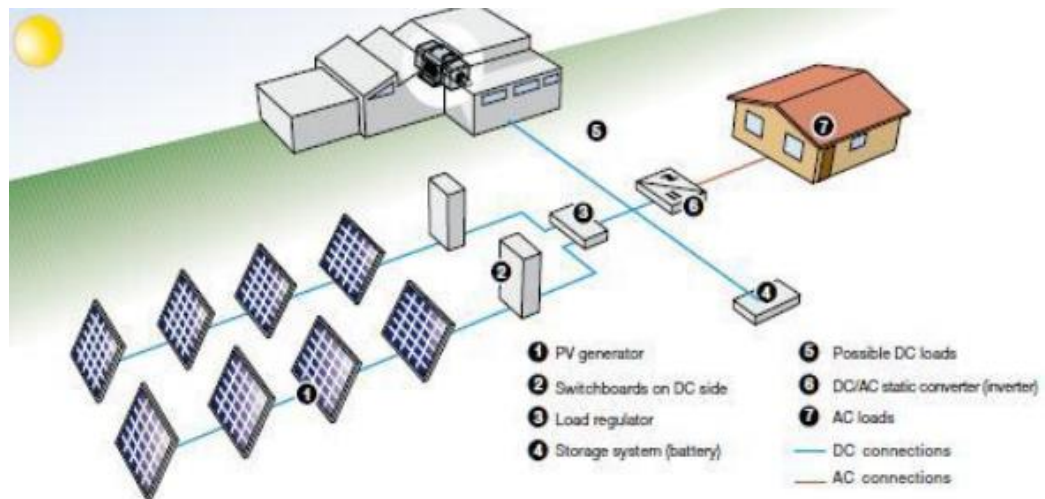
daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan Elektron tersebut akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan dengan “hole” dengan muatan Positif (+) . (Stefanie and Bangsa 2021)

Prinsip kerja dari panel surya adalah jika cahaya matahari mengenai panel surya, maka elektron-elektron yang ada pada sel surya akan bergerak dari N ke P, sehingga pada terminal keluaran dari panel surya akan menghasilkan energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya berbeda-beda tergantung dari jumlah sel surya yang dikombinasikan didalam panel surya tersebut. Keluaran dari panel surya ini adalah berupa listrik arus searah (DC) yang besar tegangan keluarannya tergantung dengan jumlah sel surya yang dipasang didalam panel surya dan banyaknya sinar matahari yang menyinari panel surya tersebut. (Ramadhan, Diniardi, and Mukti 2016).

Daerah Semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif dan bertindak sebagai pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebut dengan semikonduktor tipe N (N-type). Sedangkan daerah semikonduktor dengan hole bersifat positif dan bertindak sebagai penerima (*Acceptor*) elektron yang dinamakan dengan Semikonduktor tipe P (P-type). Di persimpangan daerah positif dan negatif (PN Junction), akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkan hole akan bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya dipersimpangan positif dan negatif (PN Junction) ini, maka akan menimbulkan arus listrik.

A. PLTS Terpusat (Offgrid)

Stand alone PV system atau Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (PLTS Terpusat) merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah-daerah terpencil/pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN. Sistem PLTS terpusat disebut juga Stand Alone PV System yaitu sistem pembangkit yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian photovoltaic module untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan. Secara umum konfigurasi PLTS sistem terpusat dapat dilihat seperti gambar



Gambar 2.4 PLTS Offgrid

(Lasmi (2008))

Prinsip kerja PLTS sistem terpusat dapat diuraikan sebagai berikut:

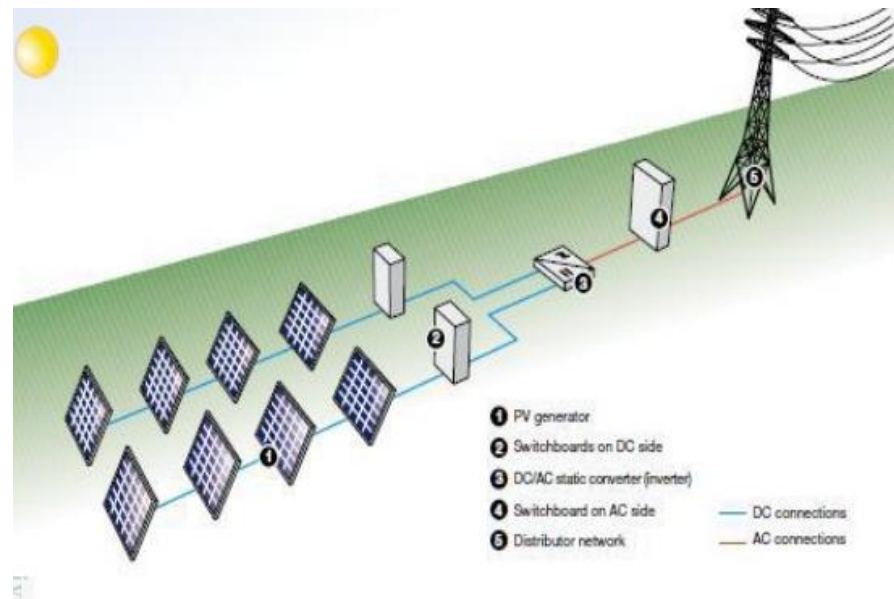
- a. Sumber energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya (PV) pada siang hari akan disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi listrik dari PV ke baterai diatur oleh Solar Charge Controller agar tidak terjadi over charge. Besar energi yang dihasilkan oleh PV sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh PV dan efisiensi cell. Intensitas matahari maksimum mencapai 1000 W/m^2 , dengan efisiensi cell 14% maka daya yang dapat dihasilkan oleh PV adalah sebesar 140 W/m^2 .
- b. Selanjutnya energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai beban melalui inverter saat dibutuhkan. Inverter mengubah tegangan DC pada sisi baterai menjadi tegangan AC pada sisi beban

B. PLTS Terinterkoneksi (Ongrid)

Grid Connected PV System atau PLTS terinterkoneksi merupakan solusi Green Energi bagi penduduk perkotaan baik perumahan ataupun perkantoran. Sistem ini menggunakan modul surya (photovoltaic module) untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya. Sesuai namanya, grid connected

PV, maka sistem ini akan tetap berhubungan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi PV untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin (ABB, 2010). Berdasarkan pola operasi sistem tenaga listrik ini dibagi menjadi dua yaitu, sistem dengan penyimpanan (storage) atau disebut Grid-connected PV with a battery back up, menggunakan baterai sebagai cadangan dan penyimpanan tenaga listrik dan tanpa baterai atau disebut Grid-connected PV without a battery back up. Baterai pada PLTS On-grid berfungsi sebagai suplai tenaga listrik untuk beban listrik apabila jaringan mengalami kegagalan untuk periode tertentu dan sebagai suplai tenaga listrik ke jaringan listrik negara (PLN) apabila ada kelebihan daya listrik (exces power) yang dibangkitkan PLTS. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, Grid-connected distributed PV dan Grid-connected centralized PV. Prinsip kerja PLTS sistem on-grid dapat diuraikan sebagai berikut:

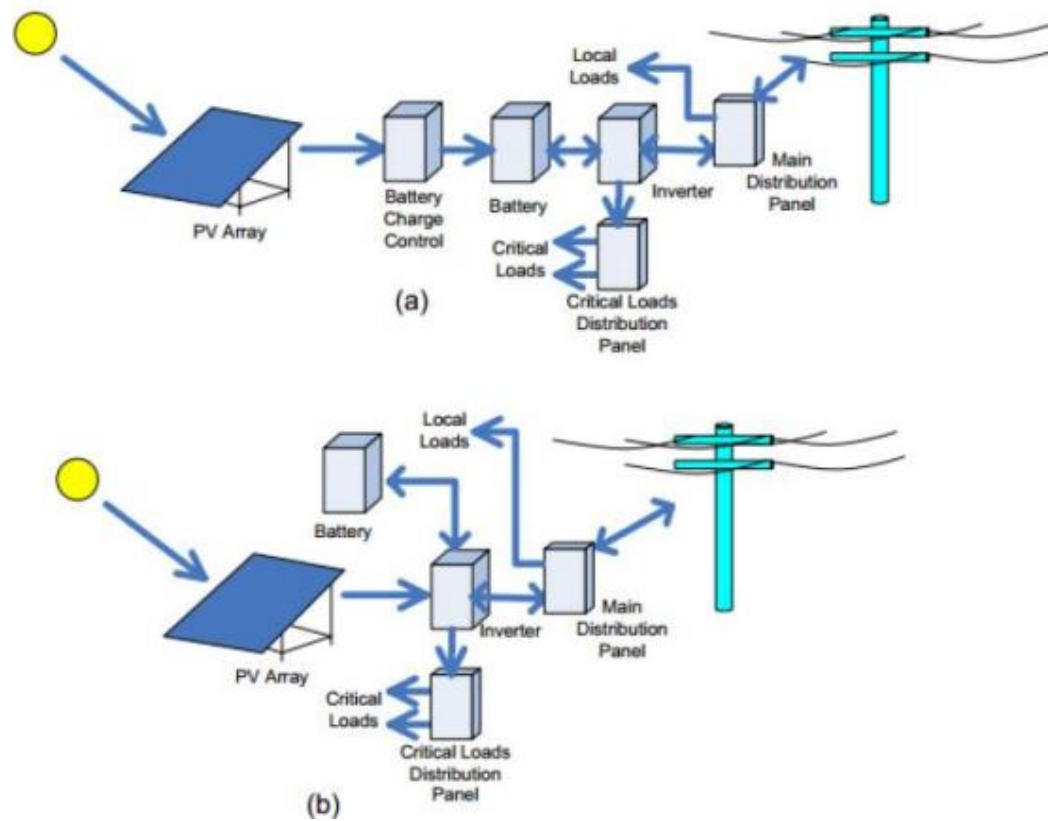
1. Pada siang hari, modul surya yang terpasang akan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Selanjutnya sebuah komponen yang II-6 disebut grid inverter merubah listrik arus DC tersebut dari PV menjadi listrik arus bolak-balik (AC) yang kemudian dapat digunakan untuk mensuplai berbagai peralatan rumah tangga. Jadi pada siang hari, kebutuhan energi listrik berbagai peralatan disuplai langsung oleh modul surya. Jika pada kondisi ini terdapat kelebihan energi dari PV maka kelebihan energi ini dapat dijual ke PLN sesuai kebijakan.
2. Pada malam hari atau jika kondisi cuaca mendung maka peralatan akan disuplai oleh jaringan PLN. Hal ini dimungkinkan karena sistem ini tetap terkoneksi dengan jaringan PLN.



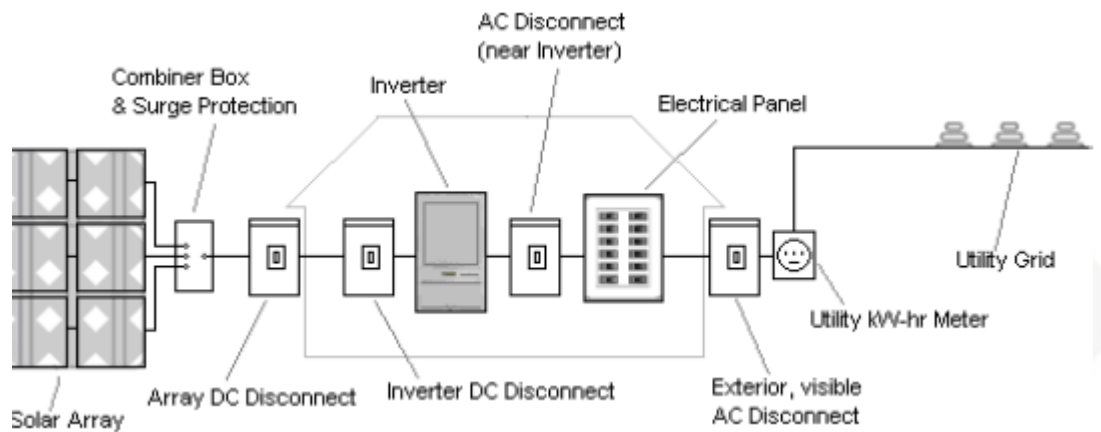
Gambar 2.5 PLTS On Grid

(Lasmi (2008))

Selain itu sistem PLTS on-grid ini dapat menggunakan baterai sebagai cadangan atau backup energi. Sistem ini disebut sebagai grid connected PV system with battery backup. Sistem ini berfungsi sebagai backup energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik. Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN (pemadaman listrik) maka peralatan-peralatan elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan.



Gambar 2.6 Sistem PLTS Grid Connection
(Lasmi (2008))



Gambar 2.7 Konfigurasi Grid Sistem
(Rachmad, 2008)

Dengan baterai back-up memiliki keunggulan dalam pemenuhan kebutuhan listrik. Namun, menambahkan baterai ke sistem dilengkapi dengan beberapa kelemahan yang harus di pertimbangkan terhadap keuntungannya. Kerugian

ini antara lain:

- a. Baterai mengkonsumsi energi selama pengisian dan pemakaian, mengurangi
- b. Efisiensi dan output dari sistem PV sekitar 10 persen untuk baterai timbalasam.
- c. Baterai meningkatkan kompleksitas sistem. Kedua biaya pertama dan instalasi
- d. Biaya meningkat.
- e. Kebanyakan baterai biaya yang lebih rendah membutuhkan perawatan.
- f. Baterai biasanya akan perlu diganti sebelum bagian lain dari sistem dan di biaya yang cukup besar

2.2.3.1. Semikonduktor dan Panel Surya

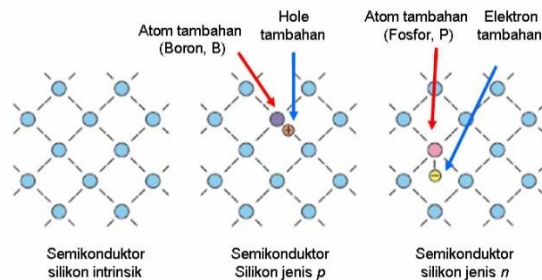
Panel surya adalah suatu perangkat yang dapat mengubah energy cahaya menjadi energy listrik, prinsip yang diikuti adalah photovoltaic, adanya energy dari cahaya (foton) pada panjang gelombang tertentu akan mengeksitasi sebagian selektron pada suatu material ke pita energy , hal ini ditemukan oleh Alexandre Edmond Bacquerel (Belgia) Pada tahun 1894.

Ada dua pita energy yaitu konduksi dan valensi, kedua pita nergi ini berturut – turut dari yang berenergi lebih renda adalah pita valensi dan pita konduksi, sedangkan keadaan tanpa electron disebut dengan celah pita. Celah pita ini besarnya berbeda – beda untuk setiap material semikonduktor, tapi disyaratkan tidak melebihi 3 atau 4 Ev. (E.Yusmiati, 204)

2.2.3.2. Proses konversi solar cell (Rachmad, 2008)

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, ($n =$ negatif). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut

dengan p ($p =$ positif) karena kelebihan muatan positif. Caranya, dengan menambahkan unsur lain ke dalam semikonduktor, maka kita dapat mengontrol jenis semikonduktor tersebut, sebagaimana diilustrasikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.8. Semikonduktor

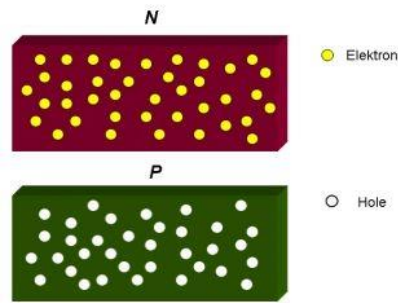
(Rachmad, 2008)

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 (disebut dengan semikonduktor intrinsik) ini, elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau hole dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor.

Misal semikonduktor intrinsik yang dimaksud ialah silikon (Si). Semikonduktor jenis p , biasanya dibuat dengan menambahkan unsur boron (B), aluminium (Al), gallium (Ga) atau Indium (In) ke dalam Si. Unsur-unsur tambahan ini akan menambah jumlah hole. Sedangkan semikonduktor jenis n dibuat dengan menambahkan nitrogen (N), fosfor (P) atau arsen (As) ke dalam Si. Dari sini, tambahan elektron dapat diperoleh. Sedangkan, Si intrinsik sendiri tidak mengandung unsur tambahan. Usaha menambahkan unsur tambahan ini disebut dengan *doping* yang jumlahnya tidak lebih dari 1 % dibandingkan dengan berat Si yang hendak di-*doping*.

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 dapat digambarkan sebagai berikut.

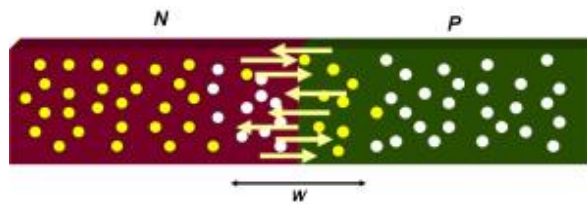
- a) Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



Gambar 2.9. Semikonduktor Sebelum Tersambung

(Rachmad, 2008)

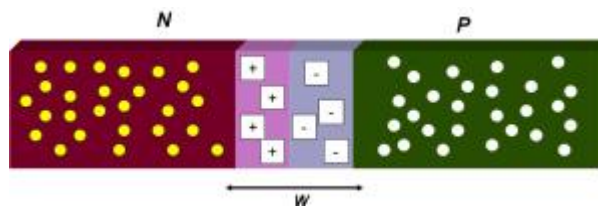
- b) Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p , dan perpindahan hole dari semikonduktor p menuju semikonduktor n . Perpindahan elektron maupun hole ini hanya sampai pada jarak tertentu dari batas sambungan awal.



Gambar 2.10. Elektron – Elektron Berpindah

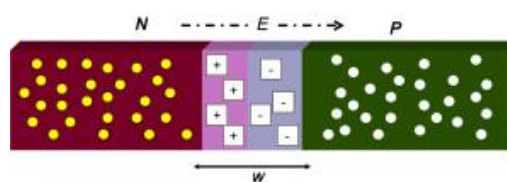
(Rachmad, 2008)

- c) Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah hole pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan positif. 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.



Gambar 2.11. Elektron Menyatu
(Rachmad, 2008)

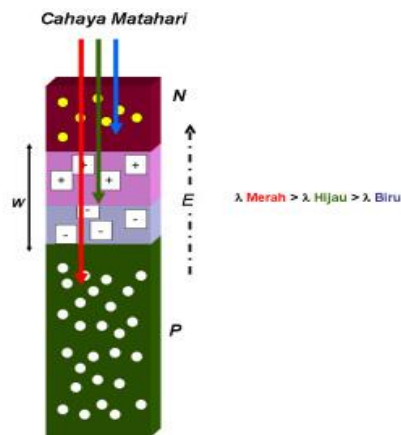
- d) Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*) ditandai dengan huruf W.
- e) Baik elektron maupun hole yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda.
- f) Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali hole ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n . Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan hole maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi (nomor 1 di atas).



Gambar 2.12. Medan Listrik Internal
(Rachmad, 2008)

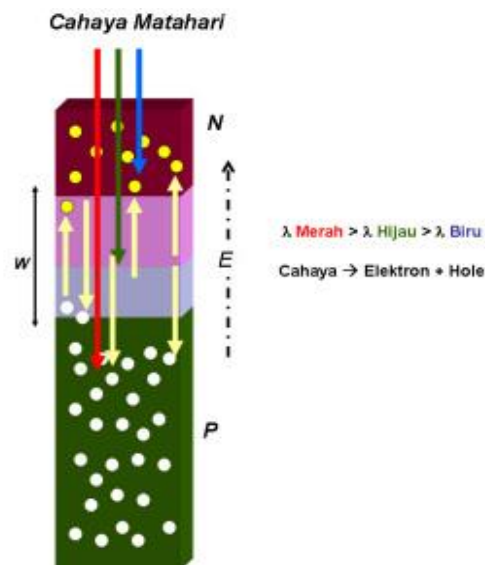
- g) Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada *titik setimbang*, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E . Begitu pula dengan jumlah

elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p , dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E . Dengan kata lain, medan listrik E mencegah seluruh elektron dan hole berpindah dari semikonduktor yang satu ke semikonduktor yang lain. Pada sambungan $p-n$ inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan $p-n$ 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 .



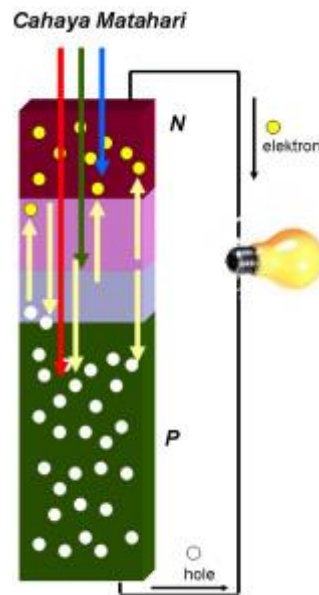
Gambar 2.13. Proses Konversi
(Rachmad, 2008)

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 hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole (*electron-hole photogeneration*) yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.



Gambar 2.14. Sambungan Elektron Terkena Cahaya Matahari
(Rachmad, 2008)

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lambda” sbgn 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 pn terdapat medan listrik E , elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n , begitu pula dengan hole 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.



Gambari 2.15. Arus Listrik Timbul
(Rachmad, 2008)

2.2.4. Jenis – jenis panel surya

Jenis panel surya dikelompokkan berdasarkan material sel surya yang menyusunnya. Terdapat perbedaan jenis – jenis panel surya yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat. Secara umum ada tiga jenis panel surya yang dapat dengan mudah ditemukan dipasaran saat ini, yaitu : (Janaloka, 2017)

1. *Crystalline Silicon* (c-Si)

Panel surya jenis ini memanfaatkan material silicon sebagai bahan utama penyusun sel surya. Tipe crystalline merupakan generasi pertama dari sel surya dan memiliki 3 jenis panel utama. Tipe panel surya ini mendominasi pasar dan banyak digunakan untuk PLTS didunia saat ini. Tipe panel ini yaitu :

a. *Monocrystalline Silicon* (Mono-SI)

Panel Surya jenis ini menggunakan sel surya jenis crystalline tunggal dan memiliki efisiensi paling tinggi dikelasnya. Secara fisik, panel surya Mmonocrystalline dapat diketahui dari warna sel hitam gelap dengan model terpotong pada tiap sudutnya.

b. *Multicrystalline Silicone* (Multi-SI)

Panel surya jenis ini menggunakan sel surya jenis multi crystalline, atau dikenal dengan polysilicon (p-Si) dan multi-crystalline silicon (mc-Si). Secara fisik, panel surya ini dapat diketahui dari warna sel yang cenderung biru dengan bentuk persegi.

c. *Ribbon Silicon (Ribbon-SI)*

String Ribbon solar panels merupakan salah satu panel surya yang menggunakan sel surya polycrystalline, namun menggunakan proses yang berbeda. Jenis panel surya ini tidak memiliki pasar yang cukup baik, terutama setelah produsen terbesarnya mengalami kebangkrutan.

2. *Thin-film solar cell*

Panel surya thin film menggunakan banyak lapisan material sebagai bahan material penyusun. Panel surya ini merupakan panel generasi kedua. Ketebalan materialnya mula dari nanometers (nm) hingga micrometers. Beberapa tipe panel surya thin film yang ada dipasaran berdasarkan material penyusunnya, yaitu :

a. *Cadmium telluride (CDTE)*

Panel surya CdTe merupakan jenis panel surya yang memiliki tingkat efisiensi paling baik dikelasnya, yaitu 9-11%. First solar berhasil mengembangkan panel surya dengan efisiensi pada 14.4%.

b. *Copper Indium Gallium Diselenide (CIGS)*

Panel surya dari bahan material CIGS ini memiliki efisiensi 10-12% dengan efisiensi tertinggi yang pernah diproduksi dalam skala lab adalah 21.7%.

c. *Amorphous Thin-film Silicon (A-SI, TF-SI)*

Panel surya ini memiliki efisiensi terendah yaitu 6-8% dan mengandung bahan tidak aman dalam materialnya. Ada beberapa tipe panel amorphous yaitu *Amorphous Silicon Cells*, *Tandem-cell using a-Si/ uc-Si*, *Tandem-cell using a-Si/ pc-Si*, dan *Polycrystalline silicon on glass*.

d. *Gallium Arsenide (GAAS)*

Tipe panel dengan sel GaAs memiliki harga yang cukup mahal, dan hanya digunakan untuk industri tertentu dan luar angkasa. Rekor efisiensi tertinggi pada panel ini adalah 28.8%.

3. Material Lainnya

Panel surya pada generasi ketika tersusun atas lebih banyak variasi material untuk masing – masing panel surya. Beberapa diantara jenis – jenis panel surya tersebut yaitu *Copper zinc tin sulfide solar cell (CZTS)*, *Dye-sensitized solar cell*, *Organic Solar cell*, *Perovskite solar cell*, *Polymer solar cel*, *Quantum dot solar cell*, dan *Building-Integrated Photovoltaics (BIPV)*

2.2.5. Komponen Panel Surya

2.2.5.1. Solar Charger Controller

Solar charger controller (SCC) merupakan bagian yang cukup penting dalam rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Dimana peran utama dari SCC adalah melindungi dan melakukan otomasi pada pengisian baterai. Hal ini bertujuan untuk mengoptimalkan system serta menjaga agar baterai dapat digunakan untuk jangka panjang. (Janaloka,2017)

Solar charger control yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila barerai sudah penuh terisi maka secara otomatis oengisian arus dari panel surya berhenti. Cara deteksi pada SCC melalui monitor level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan turun maka baterai akan kembali mengisi. (Armand, 2011)

Ada dua jenis teknologi yang umum digunakan oleh solar charger controller :

1. PWM (*Pulse Wide Modulation*), seperti namanya PWM menggunakan lebar pulse dari on dan off elektrik.



Gambar 2.16 Solar charger controller jenis PWM

2. MPPT (*Maximum Power Point Tracker*), yang lebih efisien konversi DC to DC.



Gambar2.17 Solar charger controller tipe MPPT

MPPT dapat digunakan oleh beban kedalam baterai, dan apabila daya yang dibutuhkan beban lebih besar dari daya yang dihasilkan oleh PV, maka daya dapat diambil dari baterai. (PanelSurya, 2015)

Ada beberapa kondisi yang dapat dilakukan oleh solar Solar Charger Controller (SCC) pada system panel surya :

1. Mengendalikan tegangan panel surya

Tanpa fungsi control pengendali Antara panel surya dan baterai, panel akan melakukan pengisian melebihi tegangan daya yang dapat ditampung baterai sehingga dapat merusak ser yang terdapat didalam baterai. Mengisi baterai secara berlebihan dapat mengakibatkan baterai meledak. (Janaloka, 2017)

2. Mengawasi tegangan baterai

SCC dapat mendeteksi saat tegangan baterai terlalu rendah. Bila tegangan baterai turun dibawah tingkat tegangan tertentu, SCC akan memutus beban baterai agar

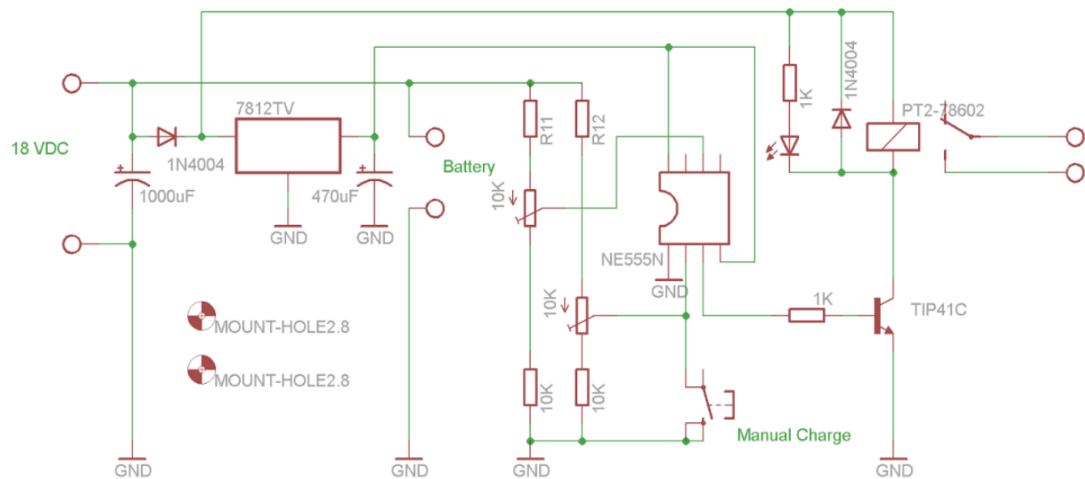
daya baterai tidak habis. Penggunaan baterai dengan kapasitas daya yang habis akan merusak baterai bahkan baterai dapat menjadi tidak dapat digunakan kembali. (Janaloka, 2017)

3. Menghentikan arus terbalik saat malam hari

Pada malam hari, panel surya tidak menghasilkan arus, karena tidak terdapat lagi sumber energi, yaitu matahari. Alih-alih arus berhenti mengalir, arus yang terdapat dalam baterai dapat mengalir terbalik ke panel surya, dan hal ini dapat merusak sistem panel surya anda. SCC berfungsi untuk menghentikan kondisi arus terbalik ini. (Janaloka, 2017)

SCC berfungsi mengatur arus dari beban saat beban tersambung ke SCC. Terminal beban pada SCC dapat digunakan untuk koneksi langsung beban ke SCC, namun SCC masih bisa beroperasi seperti biasa jika tidak ada beban yang terhubung langsung dengannya. (Janaloka, 2017)

Regulator tegangan variabel IC LM 317 untuk mengatur tegangan output stabil sekitar 16 volt, Resistor variabel VR mengontrol tegangan output, ketika panelsurya menghasilkan arus pada D1 bias maju dan IC regulator akan mendapat input arus pada saat itu. Tegangan output tergantung pada pengaturan VR dan arus output dikendalikan oleh R1. Arus ini melewati D2 dan R3, ketika tegangan output berada di atas 16 volt (seperti yang ditetapkan oleh VR), dioda zener ZD2 bekerja dan memberikan tegangan stabil sebesar 15 volt untuk pengisian baterai 12 V. Arus pengisian tergantung pada R1 dan R3, sekitar 250 s/d 300 mili ampere akan tersedia untuk pengisian baterai 12 V. LED hijau mengindikasikan status pengisian daya dan ketika baterai mencapai tegangan penuh sekitar 13 volt, dioda zener ZD1 bekerja dan T1 dalam bias maju. Hal ini menguras arus output dari IC regulator melalui T1 dan proses pengisian akan berhenti. Ketika tegangan baterai berkurang di bawah 12 volt, ZD1 mati dan pengisian baterai dimulai lagi. (Teguh Firmansyah, dkk 2016)



Gambar 2.18 Rangkaian SCC (Teguh Firmansyah,dkk 2016)

2.2.5.2. Baterai

Baterai adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran/discharge energi kimia diubah menjadi energi listrik. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai atau akumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia *reversibel* adalah didalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewatkan arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel. Baterai terdiri dari dua jenis yaitu, baterai primer dan baterai sekunder. (Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016)

Fungsi baterai sangat beragam dalam kehidupan sehari – hari, namun fungsi baterai memiliki inti yang sama yaitu sebagai sumber energi. Hampir pada semua alat elektronik yang sifatnya mobile juga menggunakan baterai sebagai sumber energi. Seperti contoh yaitu senter, power bank, drine, remote dan lain sebagainya. Semua alat – alat tersebut membutuhkan baterai agar bias bekerja (Ibeng, 2020).

Ada beberapa jenis baterai yaitu :

a. Baterai Asam

Baterai asam yang bahan elektrolitnya (*sulfuric acid* = H_2SO_4). Didalam baterai asal, elektroda – elektrodanya terdiri dari plat – plat timah peroksida PbO_2 sebagai anoda (kutub positive) dan timah murni Pb sebagai katoda (kutub negatif).

b. Baterai Alkali

Baterai alkali bahan elektrolitnya adalah larutan alkali yang terdiri dari :

1. *Nickel iron alkaline battery Ni-Fe Battery*
2. *Nickel cadmium alkaline battery Ni Cd*

Baterai pada umumnya yang paling banyak digunakan adalah baterai alkali. besarnya kapasitas baterai tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negative yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap – tiap sel, ukuran, dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah), misalkan kapasitas baterai 100 Ah 12 volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam pemakaian. Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (discharging) selama waktu tertentu. Pada saat baterai diisi (charging), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (Ampere hour) (Hamid,2016). Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$N \text{ (Ah)} = I \text{ (ampere)} \times t \text{ (hours)} \quad (2.1)$$

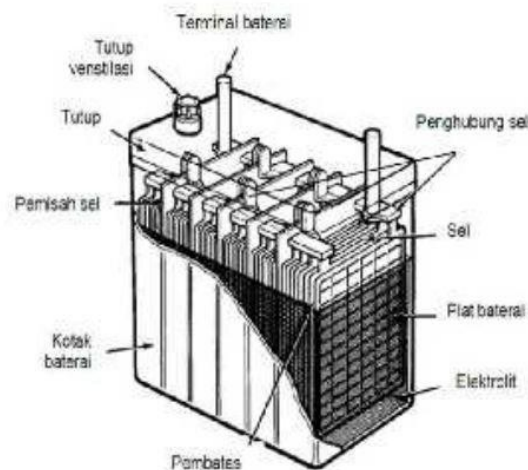
Dimana :

N = kapasitas baterai aki

I = kuat arus (*ampere*)

t = waktu (jam/*sekon*)

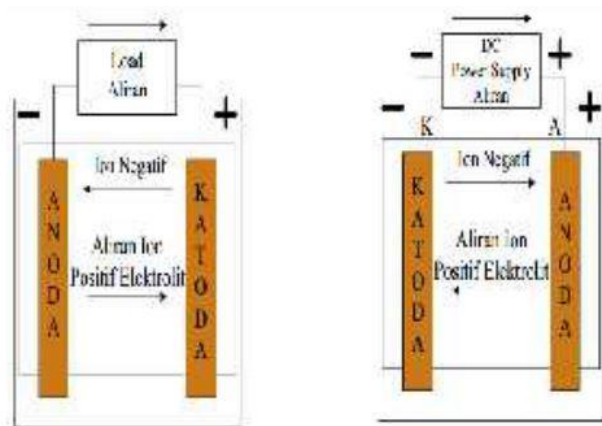
Komponen – komponen baterai terdiri atas yaitu, Kotak baterai, Elektrolit baterai, Sumbat Ventilasi, Plat positif dan plat negative, Separator, Lapisan serat gelas (*Fiber Glass*), dan Sel baterai.



Gambar 2.19. Kontruksi Baterai

Baterai merupakan perangkat yang mampu menghasilkan tegangan DC, yaitu dengan cara mengubah energi kimia yang terkandung didalamnya menjadi energi listrik melalui reaksi elektro kimia, Redoks (Reduksi-Oksidasi). Baterai terdiri dari beberapa sel listrik, sel listrik tersebut menjadi penyimpan energi listrik dalam bentuk energy kimia. Sel baterai tersebut terdiri dari elektroda negative dan elektroda positif. Elektroda negatif disebut katoda, yang berfungsi sebagai pemberi electron. Elektro positif yang disebut anoda berfungsi sebagai penerima electron. Antara anoda dan katoda akan mengalir arus yaitu dari kutub positif ke kutub negatif. Sedangkan elektron akan mengalir dari kutub negatif ke kutub positif.

1. Proses pengosongan pada sel berlangsung menurut gambar 2.12. Jika sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban katoda, kemudia ion – ion negatif mengalir ke anoda dan ion – ion positif akan mengalir ke katoda.
2. Pada proses pengisian menurut gambar 2.12. dibawah ini adalah bila sel dihubungkan dengan *power supply* maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut :

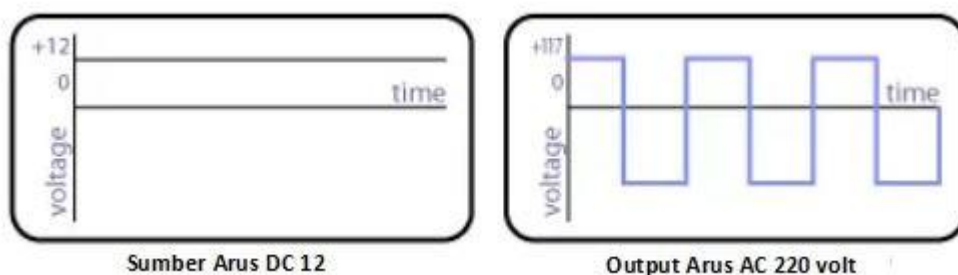


Gambar 2.20. Proses pengosongan dan pengisian baterai

- Aliran elektron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui *power supply* ke katoda
- Ion – ion negatif mengalir dari katoda ke anoda
- Ion – ion positif mengalir dari anoda ke katoda jadi, reaksi kimia pada saat pengisian adalah kebalikan dari saat pengosongan.

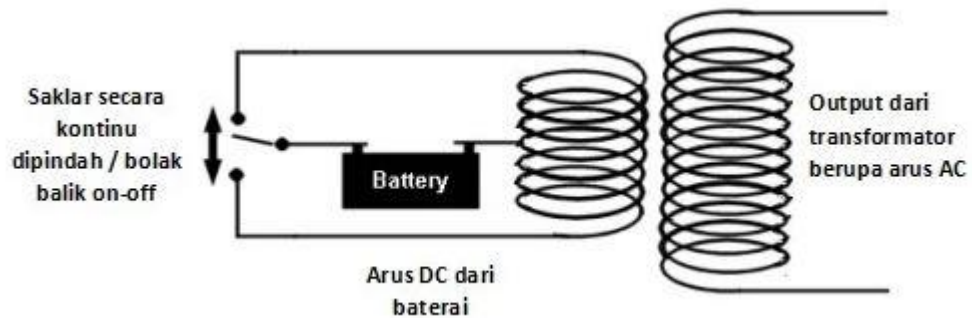
2.2.5.3. Inverter

Menurut (Yustinus,Ahmad dan Abdul, 2017) Inverter merupakan suatu alat elektronika yang berfungsi mengubah dari sumber tegangan arus searah (DC) menjadi arus bolak – balik (AC) dengan besaran tegangan dan frekuensi yang diatur.



Gambar 2.21. Gelombang DC dan AC
(Yustinus,Ahmad dan Abdul, 2017)

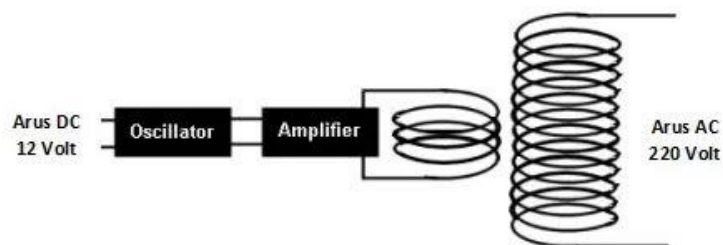
Prinsip kerja inverter dapat dilihat pada gambar 2.15 yang merupakan ilustrasi dari prinsip kerja inverter.



Gambar 2.22. Prinsip Kerja Inverter
(Teknisi, 2017)

Jika sebuah baterai yang salah satu kutub nya dihubungkan ke sebuah transformator pada kaki CT (*Center tap*) secara tepat dan terus menerus saklar pada gambar diatas dipindahkan posisinya. Maka pada coil sekunder transformator akan muncul arus listrik berupa AC. Secara teori tegangan pada sekunder bisa diatur sedemikian rupa hanya dengan menambah jumlah lilitan kumparan trafo saja yang akan melipatgandakan tegangan yang dihasilkan.

Hal ini bisa terjadi karena adanya induksi yang dihasilkan dari baterai.inverter dapat menimbulkan efek seperti saklar yang dipindah bolak balik dengan cara menggunakan sebuah rangkaian astable multivibrator dari sepasang transistor atau lebih baik lagi dengan menggunakan mosfet yang tentunya lebih efisien dalam hal daya. Ilustrasinya dapat dilihat pada gambar 2.16 berikut :



Gambar 2.23. Cara kerja saklar pada inverter
(Teknisi, 2017)

2.2.6. Radiasi Matahari

Matahari merupakan kendali cuaca serta iklim yang sangat penting dan sebagai sumber energi utama di bumi yang menggerakkan udara dan arus laut. Energi matahari diradiasikan ke segala arah, sebagian hilang ke alam semesta, dan hanya sebagian kecil saja yang dapat diterima bumi. Bumi berevolusi mengelilingi matahari pada jarak rata-rata 93 juta mil. Orbit bumi berbentuk elips dengan eksentrisitas sangat kecil (0,017), ini berarti orbit bumi hampir berbentuk lingkaran. Jarak matahari-bumi yang terdekat disebut perihelion, terjadi pada tanggal 4 Januari dengan jarak 91,5 juta mil, dan jarak matahari-bumi yang terjauh disebut aphelion terjadi pada tanggal 5 Juli dengan jarak 94,5 juta mil.

Radiasi adalah suatu bentuk energi yang dipancarkan oleh setiap benda yang mempunyai suhu di atas nol mutlak dan merupakan satu-satunya bentuk energi yang dapat menjalar di dalam vakum angkasa luar. Radiasi matahari merupakan gelombang elektromagnetik yang terdiri atas medan listrik dan medan magnet. Matahari setiap menit memancarkan energi sebesar 56×10^{26} kalori. Dari energi ini bumi menerima $2,55 \times 10^{18}$ kalori atau hanya $\frac{1}{2} \times 10^9$ nya.

Radiasi matahari yang jatuh ke bumi disebut insolasi. Insolasi adalah penerimaan energi matahari oleh permukaan bumi, bentuknya adalah sinar-sinar gelombang pendek yang menerobos atmosfer. Radiasi matahari menjalar di dalam angkasa luar tanpa kehilangan energi, intensitasnya berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari matahari. Jumlah energi matahari rata-rata yang jatuh pada puncak atmosfer tiap satuan luas (1 cm²) tegak lurus pada sinar matahari tiap menit, yaitu 2,0 kalori.

Radiasi yang dipancarkan matahari diterima permukaan bumi sangat kecil, tetapi bagi bumi, radiasi matahari merupakan energi utama proses-proses fisika atmosfer. Lama penyinaran matahari dalam periode harian adalah variasi dari bulan ke bulan berikutnya, hal ini juga banyak mempengaruhi intensitas total radiasi matahari seperti yang diketahui bahwa radiasi matahari yang dipancarkan adalah berbentuk energi, dan energi ini digunakan untuk memanaskan bumi, oleh karena itu ukuran panas bumi merupakan ukuran besarnya energi matahari yang diterima permukaan bumi.

Radiasi matahari yang diterima permukaan bumi sangat bervariasi menurut tempat dan waktu. Perbedaan menurut waktu, terjadi disebabkan oleh perbedaan lintang serta keadaan atmosfer terutama awan. Perbedaan menurut waktu, terjadi karena radiasi dalam sehari (dari pagi sampai sore) maupun secara musiman (dari hari ke hari). Faktor-faktor yang mempengaruhi penerimaan radiasi matahari di permukaan bumi adalah :

a. Jarak Antara Matahari dan Bumi

Bumi mengelilingi matahari (berevolusi) dengan lintasan yang berbentuk elips. Bumi berada pada apheliumnya pada tanggal 5 Juli dan berada pada periheliumnya pada tanggal 3-5 Januari, selama mengelilingi matahari sumbu bumi miring $23,5^{\circ}$ dari garis tegak lurus pada eliptika (bidang edar bumi mengelilingi matahari). Revolusi bumi berakibat terjadinya kemiringan sumbu bumi yang selalu searah sehingga menyebabkan adanya pergantian musim dan perubahan lamanya siang dan malam.

Posisi matahari yang paling utara dicapai pada tanggal 21 Juni yaitu pada garis $23,5^{\circ}$ Lintang Utara. Garis $23,5^{\circ}$ Lintang Utara ini disebut garis balik utara, karena setelah tiba di garis ini matahari balik ke arah selatan. Pada tanggal 23 September baik kutub utara maupun kutub selatan bumi berada sama jauhnya dari matahari yang berada pada katulistiwa. Posisi matahari yang paling selatan dicapai pada tanggal 22 Desember yaitu $23,5^{\circ}$ Lintang Selatan. Garis ini disebut garis balik selatan, karena setelah tiba di garis ini matahari balik ke arah utara. Pada tanggal 21 Maret matahari berada di katulistiwa lagi, hanya letak bumi berseberangan pada orbitnya dengan kedudukannya pada 23 September. Revolusi bumi memerlukan waktu satu tahun (365 hari), namun karena matahari juga bergerak mengelilingi bintang yang lebih besar, bumi tidak kembali ke titik awalnya setelah mengelilingi matahari selama satu tahun. Setiap empat tahun diadakan penyesuaian waktu atau 28 hari menjadi 29 hari pada bulan Februari yang dikenal tahun kabisat

b. Panjang Hari dan Sudut Datang

Radiasi matahari yang di terima permukaan bumi pada suatu waktu tertentu di sebabkan oleh sudut datang matahari. Perbedaan tempat menurut lintang dapat menyebabkan perbedaan periode penerimaannya yang disebut panjang hari. Sudut

datang sinar matahari selalu berubah setiap saat. Perbedaan sudut datang sinar matahari menyebabkan :

1. perbedaan luas permukaan horizontal yang mendapat sinar, makin besar sudut datang sinar matahari, sinar tersebut akan membenteng pada permukaan horizontal yang lebih sempit sehingga energi matahari yang diterima oleh setiap kesatuan luas lebih besar,
2. perbedaan panjang atmosfer yang dilalui oleh sinar matahari, makin besar sudut datang sinar matahari makin pendek atmosfer yang dilalui sinar.

Berdasarkan kedua faktor tersebut maka makin besar sudut datang sinar

Setiap tanggal 21 Juni adalah titik balik matahari musim panas dan akan berganti menjadi musim gugur sampai tanggal 23 September dan selanjutnya musim dingin sampai tanggal 22 Desember yang merupakan titik balik musim 12 dingin, kemudian berganti menjadi musim semi sampai 21 Maret yang akan berubah menjadi musim panas sampai 21 Juni lagi

c. Panjang Hari dan Sudut Datang

Pada waktu radiasi matahari memasuki atmosfer menuju permukaan bumi (daratan dan lautan), radiasi tersebut akan dipengaruhi oleh gas-gas aerosol serta awan yang ada di atmosfer, sebagian akan dipantulkan kembali ke luar angkasa, sebagian akan diserap dan sisanya akan diteruskan ke permukaan bumi berupa radiasi langsung maupun radiasi baur (diffuse). Sumber-sumber aerosol atmosfer yaitu partikel-partikel padat yang mengapung di atmosfer. Sumber aerosol antara lain :

1. pembakaran : kebakaran hutan, pembakaran dalam industri, misalnya partikel yang berbentuk garam, karbon, atau jelaga,
2. reaksi gas fasa, misalnya pembentukan sulfat dan nitrat,
3. dispersi partikel padat, reaksi kimia di dalam tanah yang diikuti oleh erosi air dan erosi angin yang dapat menyebabkan pemasukan partikel dari batubatuan mineral ke dalam udara, misalnya garam natrium (Na), kalsium, kalium, silikat, dan sebagainya,
4. dispersi larutan; pecahan (percikan) gelembung kecil di laut menyebabkan masuknya partikel ke dalam udara. Gelombang laut yang pecah ini menguap, yang mengandung partikel garam laut,

5. sumber lainnya adalah gunung berapi.

Radiasi langsung adalah radiasi yang tidak mengalami proses pembauran oleh molekul-molekul udara, uap dan butir air serta debu di atmosfer seperti yang terjadi pada radiasi baur.

Jumlah radiasi matahari total yang diterima pada suatu tempat dipengaruhi juga oleh lamanya siang hari. Panjang siang hari beragam dengan garis lintang dan musim, di sekitar katulistiwa, siang dan malam sepanjang tahun hampir sama. Panjang siang hari bertambah atau berkurang sesuai dengan bertambahnya derajat lintang, tergantung musim. Musim panas di belahan bumi utara, panjang siang hari bertambah dari katulistiwa menuju kutub utara dan berkurang menuju kutub utara. Lingkaran kutub selatan dan kutub utara siang hari berlangsung 24 jam, sedangkan pada daerah lintang yang sama di belahan bumi selatan, malam hari lamanya 24 jam.

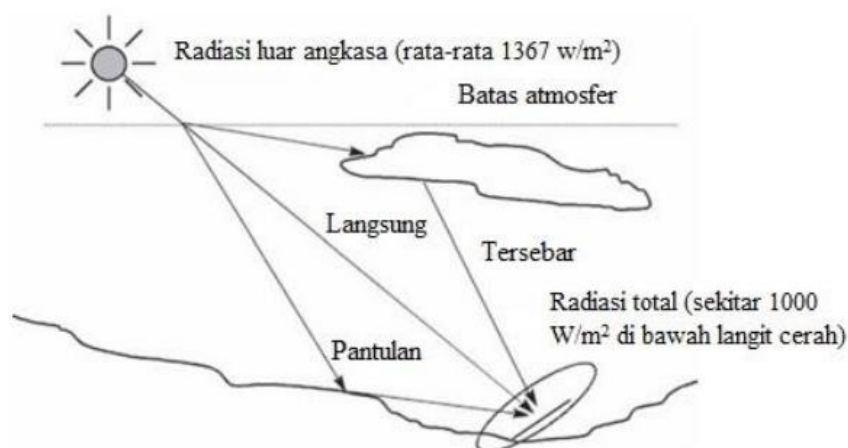
Jumlah radiasi yang dipantulkan kembali ke angkasa luar oleh permukaan bumi dan atmosfer sekitar 30 %, sebesar 20% diserap oleh gas-gas atmosfer dan awan, sisanya sebesar 50 % diteruskan ke permukaan bumi dan diserap oleh permukaan daratan dan lautan. Energi yang diserap permukaan daratan dan lautan ini selanjutnya akan digunakan untuk pemanasan udara, laut dan tanah untuk penguapan serta sebagian kecil untuk proses fotosintesis (kurang dari 5% radiasi datang). Awan juga merupakan komponen penting dalam mempengaruhi penerimaan radiasi matahari oleh permukaan bumi. Lama matahari bersinar cerah (jam) selama sehari disebut lama penyinaran yang ditentukan oleh ada atau tidaknya penutupan awan.

Matahari memiliki peran penting bagi seluruh makhluk hidup di bumi khususnya manusia, karena energi yang diberikannya yaitu cahaya dan panas memberikan manfaat yang dapat mendukung kelangsungan hidup. Tanpa kehadiran matahari di sistem tata surya yang energinya sampai ke bumi melalui beberapa lapisan di ruang angkasa, mungkin tidak akan terjadi proses kehidupan flora dan fauna di planet ini. Sumber energi alternatif lainnya seperti energi angin, proses terjadinya juga bermula dari matahari. Pembakaran bahan bakar fosil merupakan proses pelepasan energi surya yang tersimpan di dalam tanaman jutaan tahun silam. Energi surya dengan jumlahnya yang sangat besar ketika sampai ke bumi energi

yang dapat diterima hanya sedikit. Energi yang dikeluarkan matahari sangatlah besar setiap detiknya dan juga mengandung massa sehingga berat matahari akan berkurang ketika terjadi pelepasan energi.

Salah satu energi alternatif yang melimpah jumlahnya dan sangat melimpah serta ramah lingkungan yaitu energi matahari. Energi matahari diterima dengan jumlah 3×10 pangkat 24 Joule pertahunnya energi ini setara dengan 2×10^{17} Watt. Jumlah energi tersebut setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Dengan kata lain, dengan menutup 0.1% saja permukaan bumi dengan perangkat solar sel yang memiliki efisiensi 10% sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia.

Jumlah energi dari matahari sebesar 1.4% dari total sumber energi terbarukan pada tahun 2011. Jumlah tertinggi yaitu pada sumber energi dari air (hidro) sebesar 78%. Matahari menghasilkan energi dalam bentuk radiasi. Energi dihasilkan dalam inti matahari melalui proses perpaduan antara atom hidrogen dan helium. Ada beberapa jenis radiasi matahari yaitu radiasi langsung (*direct radiation*), radiasi tersebar (*diffuse radiation*), radiasi pantulan (*albedo*), dan radiasi total (*total radiation*).



Gambar 2.24 Komponen Radiasi Matahari

Pada saat cuaca yang baik di tengah hari, tingkat intensitas radiasi matahari dapat mencapai 1000 W/m^2 pada permukaan bumi. Nilai tersebut tergantung pada lokasi. Tingkat intensitas radiasi matahari maksimum terjadi pada saat cuaca

berawan dan hari yang cerah. Radiasi matahari secara langsung dapat diukur menggunakan *Pyranometer*.

2.2.7. Efek Bayangan

bayangan atau *shading* adalah dimana salah satu atau lebih sel silikon dari solar cell panel tertutup dari pancaran sinar matahari. Tabel di bawah ini menunjukkan efek yang sangat ekstrim oleh effect *shading* pada satu sel dari modul panel surya single crystalline yang tidak memiliki internal bypass diodes. Untuk mengatasi hal tersebut solar cell panel dipasang bypass diode, bypass diode untuk arus mengalir ke satu arah, mencegah arus ke silikon yang kena bayangan.

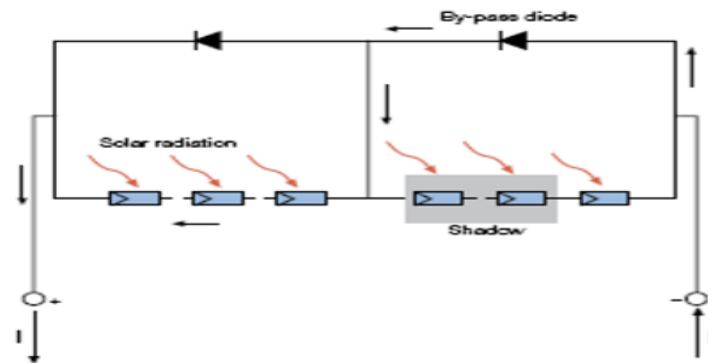
Tabel 2.1 Persentase Pengaruh *Shading*

Persentase dari bayangan pada satu sel	Persentase dari loss solar panel modul
0%	0%
25%	55%
50%	50%
75%	66%
100%	75%
3 sel terkena bayangan	93

(Dody Purwanto, 2020)

Bayangan pada array yang terjadi disiang hari akan mempengaruhi daya keluaran. Analisa rinci pada setiap terjadinya bayangan pada array diharapkan dapat dilakukan untuk menghindari terjadinya bayangan pada array. Efek bayangan dapat mengurangi radiasi matahari dan berakibat pada penurunan energi yang dihasilkan oleh sistem. Namun, ketika bayangan hanya terjadi di sebagian array, maka akan ada pengurangan tegangan maksimum. Sehingga, pengurangan pada energi maksimum akan terjadi pada array. Mempertimbangkan area yang ditempati oleh modul tanaman PV, bagian dari mereka (satu atau lebih sel) dapat ditutupi oleh pohon, daun tumbang, cerobong asap, awan atau oleh panel PV diinstal di dekatnya. Dalam kasus bayangan, sel PV terdiri dari persimpangan P-N berhenti

menghasilkan energi dan menjadi pasif beban. Sel ini berperilaku sebagai dioda yang memblokir saat ini diproduksi oleh sel-sel lain yang terhubung secara seri dengan demikian membahayakan seluruh produksi modul. Apalagi dioda tunduk pada tegangan yang lain Sel-sel yang dapat menyebabkan perforasi persimpangan karena terlalu panas lokal (*hot spot*) dan kerusakan pada modul. Untuk menghindari itu satu atau lebih sel yang diarsir menggagalkan produksi seluruh string, beberapa dioda yang *by-pass* bagian modul yang teduh atau rusak dimasukkan pada tingkat modul. Dengan demikian fungsi modul adalah dijamin walaupun dengan efisiensi berkurang. Secara teori itu akan diperlukan untuk memasukkan dioda *by-pass* secara paralel untuk setiap sel tunggal, tetapi ini akan terlalu berat untuk rasio biaya / manfaat (Dody Purwanto, 2020)..



Gambar 2.25 Efek Bayangan

(Dody Purwanto, 2020)

Untuk mendapatkan luasan panel surya yang terpancar oleh sinar matahari digunakan rumus sebagai berikut :

$$A_p = \frac{P_{out}}{P_{max}} \times 100 \quad (2.2)$$

Dimana :

A_p = Persentase luasan panel surya yang terpancar oleh sinar matahari (%)

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

P_{max} = M_{pp}

Dan untuk mendapatkan besar *shading* nya digunakan rumus sebagai berikut :

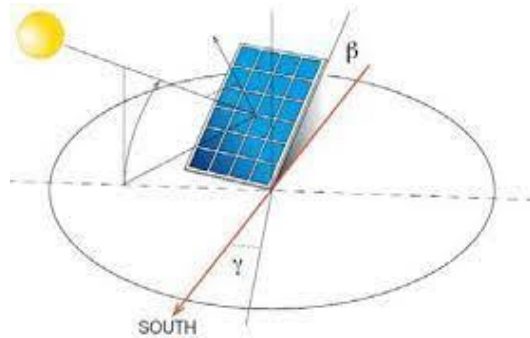
$$Effect\ Shading\ (\%) = 100\% - A_p \quad (2.3)$$

Dimana :

A_p = persentase luasan panel surya yang terpancar oleh sinar

2.2.8. Kemiringan Panel

Sudut kemiringan panel surya yang paling tepat agar mendapatkan radiasi matahari yang paling tinggi untuk setiap bulan dalam satu tahun besarnya bervariasi. Pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi matahari yang diterima oleh panel surya per bulan cenderung tidak linear dan tidak konstan. Hal ini karena besarnya radiasi matahari yang diterima oleh panel surya tidak hanya bergantung pada besar sudut kemiringan panel tetapi juga diakibatkan beberapa faktor lain seperti gerak semu harian dan tahunan matahari serta indeks kecerahan per bulan.



Gambar 2.26 Orientasi Menentukan Arah

(Vidhia Kumara, 2018)

Orientasi sebuah modul surya juga berpengaruh terhadap hasil produksi energinya. Seperti yang diketahui jika sudut kemiringan tepat atau optimum maka daya output dari modul juga akan optimum sehingga sudut kemiringan modul juga mempengaruhi produksi dari sebuah PLTS.

2.2.9. Pengaruh *Irradiance* Terhadap PV

Semua objek dengan temperatur di atas nol derajat, mutlak memancarkan energi (radiasi) ke lingkungan sekitar. Energi tersebut dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Sedangkan Intensitas radiasi yang dipancarkan

permukaan matahari dapat dihitung dengan menggunakan Hukum Stefan-Boltzmann, sebagai berikut (Syukri dan Kunci, 2010) :

$$I = e \sigma T^4 \quad (2.4)$$

Dimana:

I = Intesitas Radiasi (Wm^{-2})

e = Emisivitas (untuk benda mengkilap $e = 0$, sedangkan untuk *blackbody* $e = 1$)

σ = Konstanta Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$)

T = Temperatur absolut (K)

Peak sun hour didefinisikan sebagai jumlah jam per hari dengan irradiance $1000 W/m^2$, yang memberikan energi yang sama mulai matahari terbit sampai terbenam. Enam *peak sun hour* berarti energi yang diterima oleh permukaan bumi, disaat matahari bersinar selama enam jam dengan irradiance $1000 W/m^2$ (Syukri dan Kunci, 2010)

Intensitas radiasi matahari bervariasi mulai dari inti sampai permukaannya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak, fenomena ini dikenal dengan nama Inverse Square Law. Pengukuran mengindikasikan bahwa intensitas radiasi matahari yang diterima di luar atmosfer bumi (extraterrestrial radiation) relatif konstan.

Hal tersebut dikenal dengan nama solar constant, yaitu sebesar $1367 W/m^2$. Jarak bumi - matahari yang tidak konstan, mengakibatkan nilai solar constant sedikit bervariasi pada sekitar ($1300 W/m^2 < solar constant < 1390 W/m^2$). Besaran - besaran penting untuk mengukurnya adalah (Suryana, 2016) :

- a) Spectral irradiance I_λ - Daya yang diterima oleh satu unit area dalam bentuk differensial panjang gelombang $d\lambda$, satuan : $W/cm^2 \mu m$
- b) Irradiance - Integral dari spectral irradiance untuk keseluruhan panjang gelombang, satuan : W/m^2 .
- c) Radiansi - Integral waktu dari irradiance untuk jangka waktu tertentu. Oleh sebab itu, satuannya sama dengan satuan energi, yaitu J/m^2 - hari, J/cm^2 - bulanan atau J/m^2 - tahun.

Di antara ketiga besaran tersebut, yang akan digunakan dalam analisa adalah W/m^2 karena satuan ini yang biasa dipakai dalam datasheet, sedangkan besaran radiansi biasanya digunakan untuk menghitung estimasi daya keluaran pada instalasi sistem.

2.2.10. Arus Hubung Singkat (Isc) pada PV

Isc adalah arus yang mengalir pada saat tegangan photovoltaic sama dengan diatas. Pada kondisi ideal tanpa rugi daya, Isc sama dengan IL. Isc bergantung linear terhadap irradiance dan dipengaruhi beberapa hal lain, yaitu luas area cell, spektrum cahaya dan parameter optik lain. Densitas Isc terhadap luas area cell (A) dirumuskan dengan persamaan :

$$I_{sc} = A \times J_{sc} \quad (2.5)$$

$$I_0 = A \times J_0 \quad (2.6)$$

Dimana :

A = Luas Area Cell (m^2)

J_{sc} = Arus Hubung Singkat PerSatuan Luas (A/m^2)

J_0 = Arus Saturasi Dioda Per Satuan Luas (A/m^2)

BAB 3

METODOLOGI PERCOBAAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan pengambilan data langsung pada Irradiasi, Arus, Tegangan dan Suhu panel surya yang ada di Dusun Kuta Bintang Asi, Desa Rumah Sumbul, Kecamatan Sinembah Tanjung Muda Hulu, Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

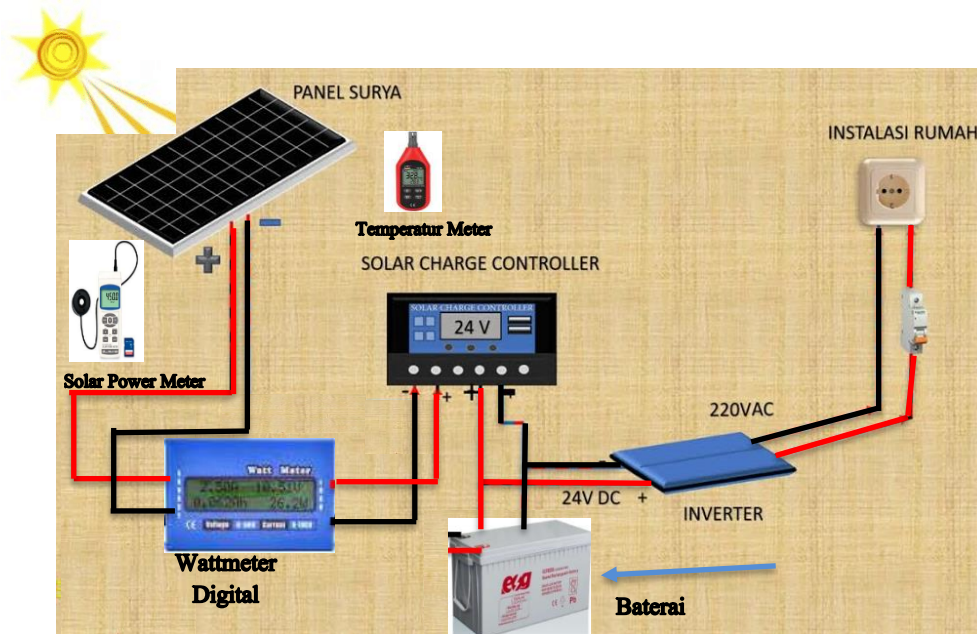
Waktu pelaksanaan penelitian tugas akhir ini berlangsung dimulai dari tanggal 20 Februari 2022 sampai 03 September 2022.

3.2 Alat dan Bahan

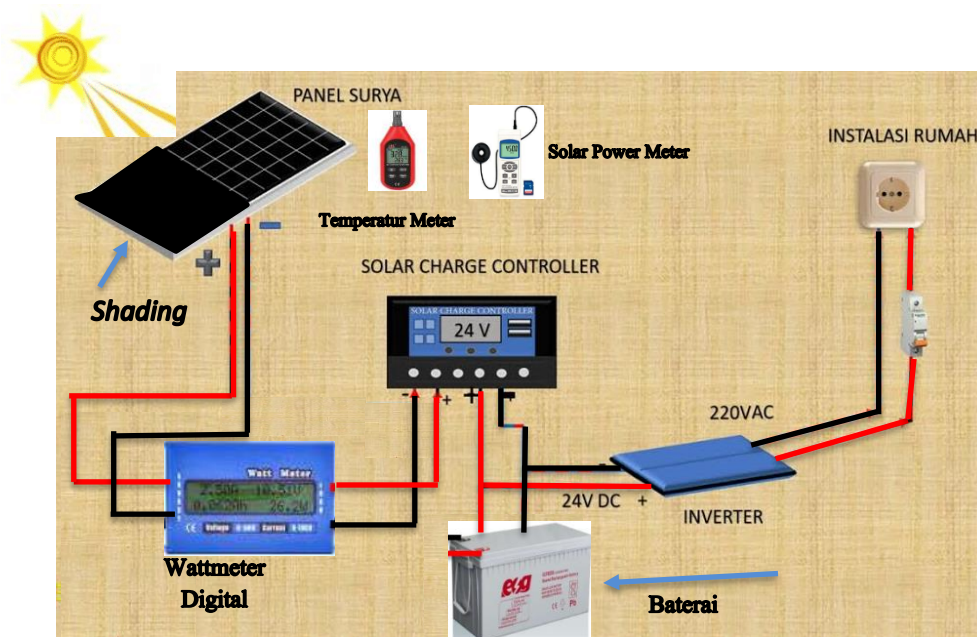
Pada penelitian ini alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan analisa dan pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. 2 Buah Panel Surya 50 WP
2. 2 Buah Baterai 12 Volt
3. 2 Buah Solar Charge Control (SCC) 10 Ampere
4. Solar Power Meter
5. 2 Buah Avo Meter
6. Temperatur Meter
7. Kabel Penghubung Hitam dan Merah 2,5 mm²
8. Kendaraan Bermotor

3.3 Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Gambar 3.1 Pengukuran Tanpa *shading* pada Energi sistem PLTS

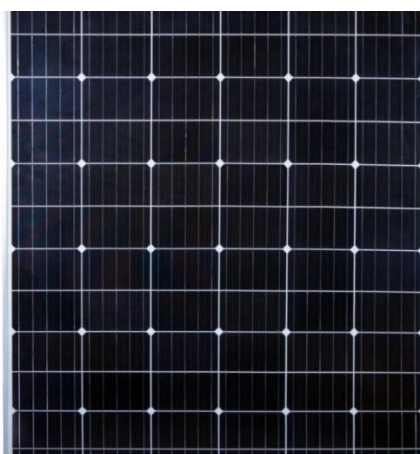


Gambar 3.2 Pengukuran Dengan *shading* pada Energi sistem PLTS

Pada Gambar 3.1 dan gambar 3.2 adalah Dimana perancangan system safeting energi langsung tanpa melalui baterai penyimpanan aki, perancangan ini

dari Pembangkit listrik tenaga surya lalu terhubung ke MPPT lalu langsung ke inverter pengubah arus DC menjadi AC lalu ke beban AC. Dan membedakannya adalah gambar 3.1 tidak terkena penghalang *shading* pada matahari sedangkan gambar 3.2 yang terkena penghalang *shading* pada matahari.

3.4. Spesifikasi Panel Surya



Gambar 3.2 Panel Surya Mono Crystalline

Panel surya yang digunakan dalam penelitian adalah panel surya *Mono Crystalline* yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi Panel Surya

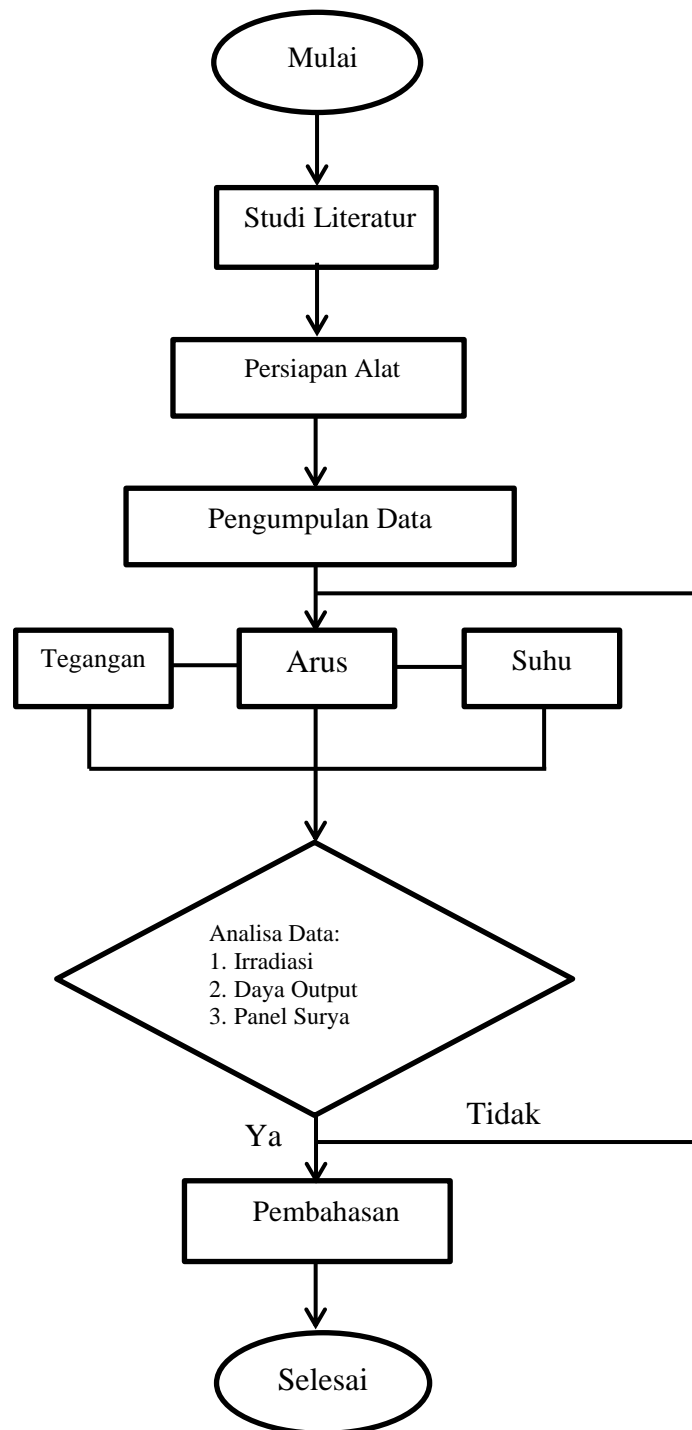
Jenis Panel Surya	<i>Monocrystalline</i>
<i>Life time</i>	25 Tahun
<i>Max. Voltage</i> (V_{mp})	38,5 V
<i>Max. Current</i> (I_{mp})	8,59 A
Open Circuit Voltage (V_{oc})	47.3 V
<i>Maximum Power</i> (P_{max})	330 WP
Dimensi	1956 x 992 x 40 mm
<i>Temperatur Range</i>	45 ⁰ - 80 ⁰ C

3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian dan pengambilan data direncanakan akan dilakukan pada bulan Februari sampai September 2022 bertempat di Dusun Bintang Asih, Desa Rumah Sumbul, Kec. Sinembah Tanjung Muda Hulu, Kab. Deli Serdang. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dan diketahui dalam pelaksanaan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Menentukan lokasi pengujian dengan sinar matahari yang tidak terhalang matahari dan terhalang matahari
2. Menyiapkan alat dan bahan penelitian.
3. Melakukan perancangan duduk panel yang terhalang matahari dan panel tidak terhalang matahari.
4. Melakukan pembuatan dan perakitan alat sesuai dengan wiring rangkaian yang sudah di tentukan.
5. Pastikan semua alat ukur sudah dikalibrasi
6. Melakukan pengukuran pada jam setiap jam 09.00 sd 17.00 WIB .
7. Melakukan analisis data pada data hasil percobaan sesuai dengan persentase *shading* dan tanpa *Shading* pada panel surya
8. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan
9. Selesai.

Untuk selanjutnya proses jalannya penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.3 berikut ini



Gambar 3.3 Diagram Alir

BAB 4

ANALISA DATA

Pengujian pada penelitian ini dilakukan selama 3 hari, dimana hari yang dilakukan penelitian adalah kondisi hari yang cerah atau tidak mendung dan tidak hujan. Hal ini dilakukan agar mendapat data dari PLTS dengan daya maksimal yang dapat dihasilkan dengan intensitas cahaya matahari yang terik.

Adapun PLTS atau pembangkit listrik yang digunakan dengan berkapasitas panel surya yaitu 50 Watt Peak (WP). Dimana pengujian dilakukan selama 10 Jam setiap pengujiannya

4.1 Pengujian PLTS Direct

Pada pengujian PLTS direct adalah dimana kondisi PLTS dengan kapasitas 1000 WP terkena langsung sinar matahari, dimana PLTS tidak ada penghalang yang menyebabkan *shading* ataupun bayangan yang menutupi PLTS.



Gambar 4.1 Pengambilan Data PLTS 50 WP

Dalam kondisi PLTS direct ini terjadi selama 8 Jam mulai pukul 08.00 s/d 18.00. pengujian dilakukan selama 3 hari berturut – turut. Adapun hasil dari pengujian adalah sebagai berikut :

4.1.1 Pengambilan Data Hari Ke-1

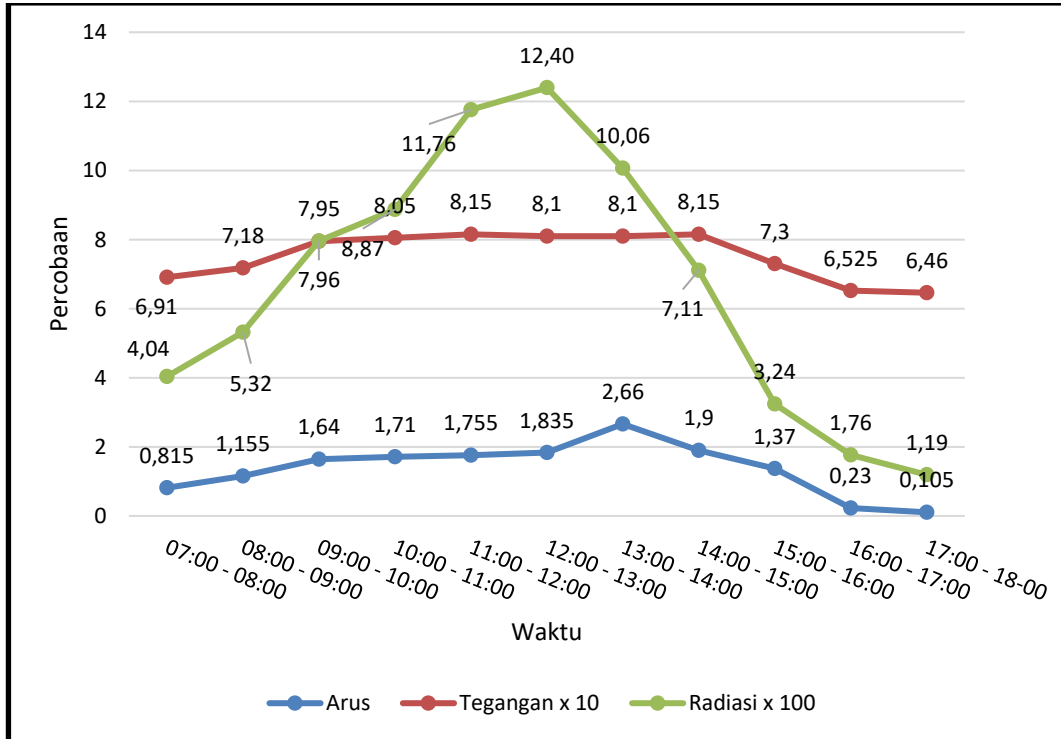
Pada hari Ke-1 penelitian dilakukan pada tanggal 20 Juni, pada hari ini cuaca terlihat cerah dan matahari terlihat sedikit berawan. Hal ini memungkinkan pengambilan data PLTS kurang maksimal.

Tabel 4.1 Data Hari Ke-1

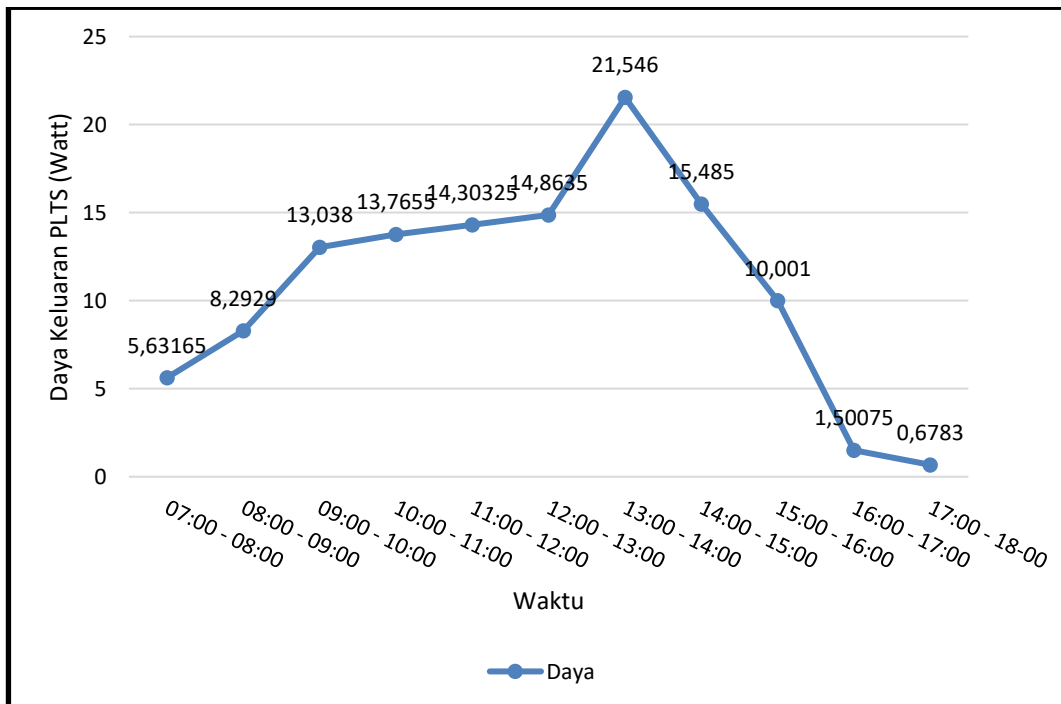
Berawan

Waktu	Radiasi Matahari (Watt/m ²)	Tegangan Keluaran (V)	Arus Panel Surya (I)	Daya Keluaran PLTS (Watt)
07:00 - 08:00	403,848	6,91	0,815	5,63
08:00 - 09:00	531,986	7,18	1,155	8,29
09:00 - 10:00	795,53	7,95	1,64	13,04
10:00 - 11:00	887,17	8,05	1,71	13,77
11:00 - 12:00	1175,52	8,15	1,755	14,30
12:00 - 13:00	1239,51	8,1	1,835	14,86
13:00 - 14:00	1006,46	8,1	2,66	21,55
14:00 - 15:00	711,158	8,15	1,9	15,49
15:00 - 16:00	324,216	7,3	1,37	10,00
16:00 - 17:00	176,486	6,525	0,23	1,50
17:00 - 18:00	119,211	6,46	0,105	0,68
Rata - Rata	670,10	7,53	1,38	10,83

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat rata – rata arus keluaran pada saat PLTS 50 WP direct dengan cahaya matahari adalah sebesar 1,38 Ampere, tegangan rata – rata sebesar 7,53 Volt serta Intensitas Radiasi Matahari yang diterima PLTS adalah dengan nilai rata – rata 670,10 Watt/m². Dari hasil tabel data hari ke-1 dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik Data Hari Ke-1



Gambar 4.3 Grafik Daya Keluaran Data Hari Ke-1

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat arus dan tegangan yang dihasilkan pada PLTS direct relatif tinggi dengan daya keluaran rata – rata sebesar 10,83 Watt. Hal ini disebabkan oleh cahaya matahari yang bersinar terkena langsung pada permukaan PLTS sehingga menghasilkan tingkat radiasi matahari pada PLTS juga relatif tinggi.

4.1.2 Pengambilan Data Hari Ke-2

Pada hari Ke-2 penelitian dilakukan pada tanggal (Isi tanggal dan bulan), pada hari ini cuaca juga terlihat cerah dan matahari terlihat terik. Hal ini memungkinkan pengambilan data PLTS juga maksimal. Adapun hasil pengambilan data pada hari Ke-2 adalah sebagai berikut :

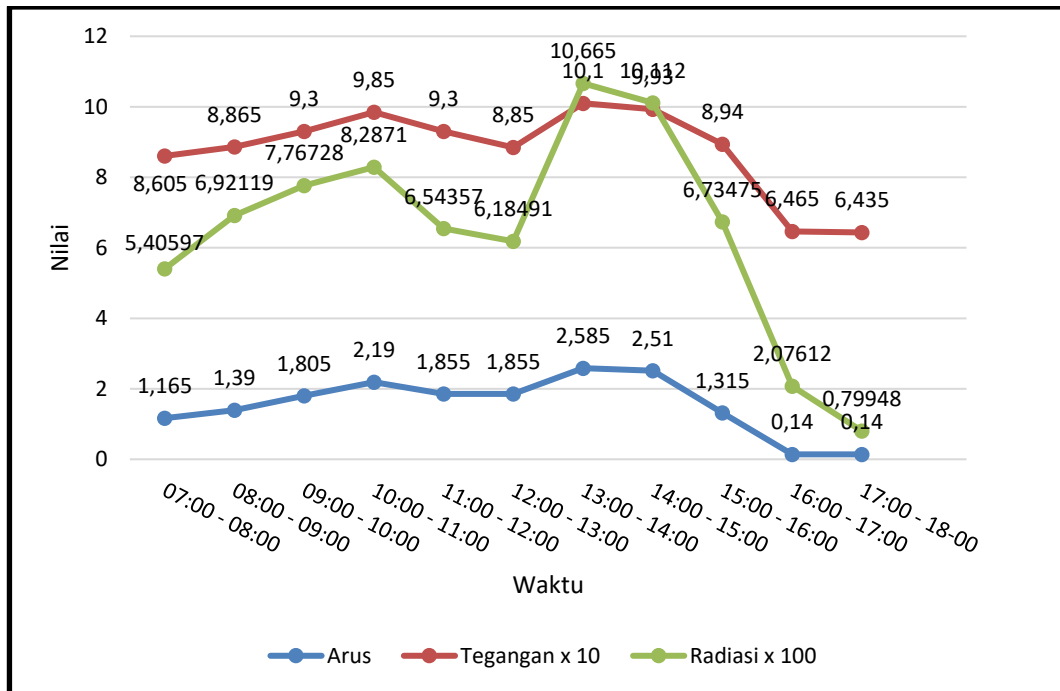
Tabel 4.2 Data Hari Ke-2

Cerah

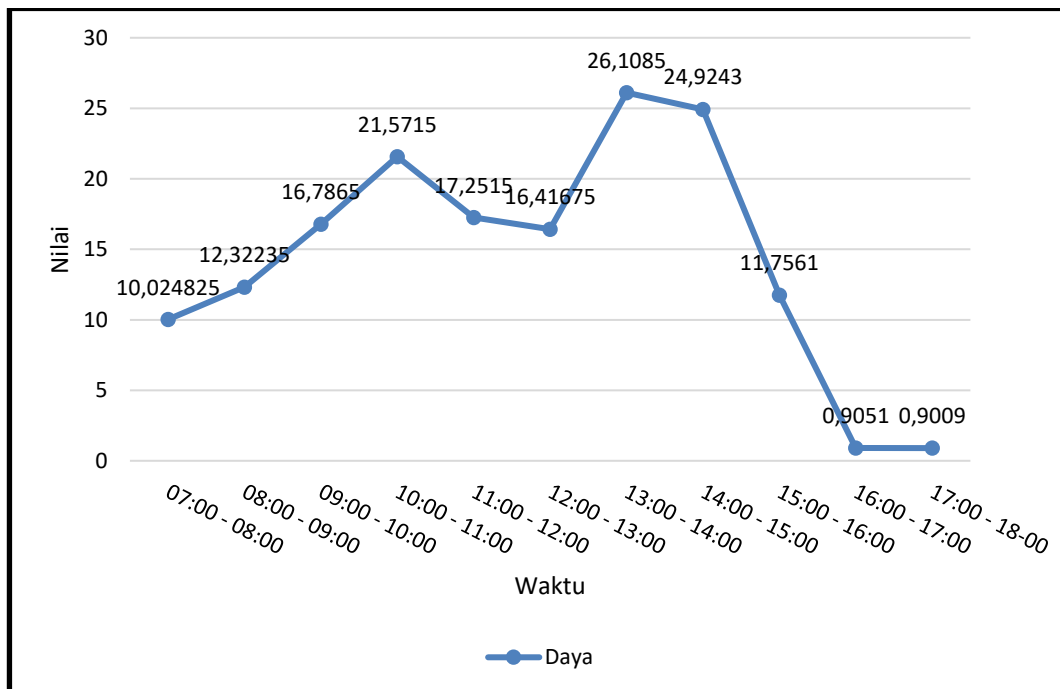
Waktu	Radiasi Matahari (Watt/m ²)	Tegangan Keluaran (V)	Arus Panel Surya (I)	Daya Keluaran PLTS (Watt)
07:00 - 08:00	540,597	8,605	1,165	10,02
08:00 - 09:00	692,119	8,865	1,39	12,32
09:00 - 10:00	776,728	9,3	1,805	16,79
10:00 - 11:00	828,71	9,85	2,19	21,57
11:00 - 12:00	654,357	9,3	1,855	17,25
12:00 - 13:00	618,491	8,85	1,855	16,42
13:00 - 14:00	1066,5	10,1	2,585	26,11
14:00 - 15:00	1011,2	9,93	2,51	24,92
15:00 - 16:00	673,475	8,94	1,315	11,76
16:00 - 17:00	207,612	6,465	0,14	0,91
17:00 - 18:00	79,948	6,435	0,14	0,90
Rata - Rata	649,98	8,79	1,54	14,45

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat rata – rata arus keluaran pada saat PLTS 50 WP direct dengan cahaya matahari adalah sebesar 1,54 Ampere, tegangan rata – rata sebesar 8,79 Volt serta Intensitas Radiasi Matahari yang diterima PLTS adalah

dengan nilai rata – rata 649,98 Watt/m². Dari hasil tabel data hari ke-2 dapat dilihat grafik sebagai berikut :



Gamabr 4.4 Grafik Data Hari Ke-2



Gamabr 4.5 Grafik Daya Data Hari Ke-2

Berdasarkan Gambar diatas dapat dilihat arus dan tegangan yang dihasilkan pada PLTS direct relatif tinggi dengan daya keluaran rata – rata sebesar 14,45 Watt. Hal ini disebabkan oleh cahaya matahari yang bersinar terkena langsung pada permukaan PLTS sehingga menghasilkan tingkat radiasi matahari pada PLTS juga relatif tinggi.

4.1.3 Pengambilan Data Hari Ke-3

Pada hari Ke-2 penelitian dilakukan pada tanggal (Isi tanggal dan bulan), pada hari ini cuaca juga terlihat cerah dan matahari terlihat terik. Hal ini memungkinkan pengambilan data PLTS juga maksimal. Adapun hasil pengambilan data pada hari Ke-2 adalah sebagai berikut :

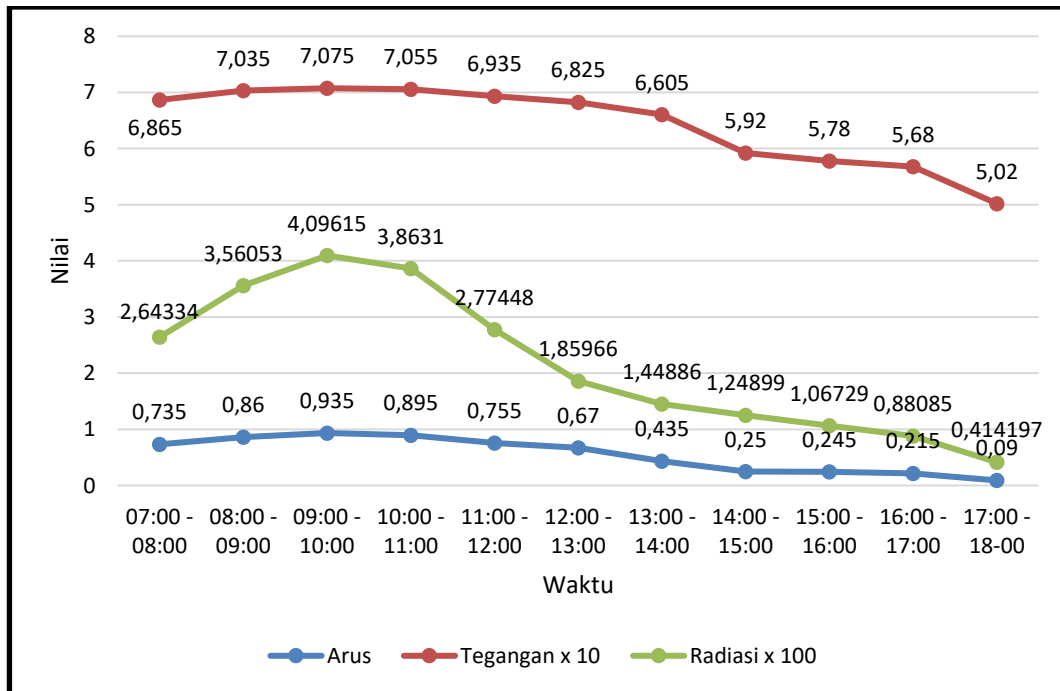
Tabel 4.3 Data Hari Ke-3

Mendung

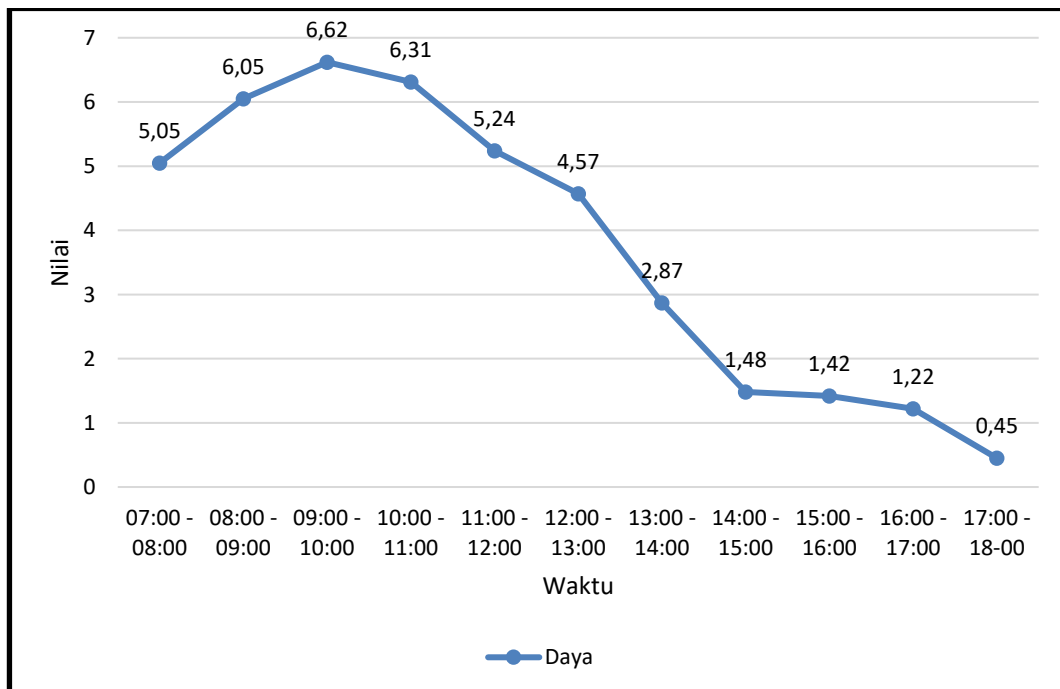
Waktu	Radiasi Matahari (Watt/m ²)	Tegangan Keluaran (V)	Arus Panel Surya (I)	Daya Keluaran PLTS (Watt)
07:00 - 08:00	264,334	6,865	0,735	5,05
08:00 - 09:00	356,053	7,035	0,86	6,05
09:00 - 10:00	409,615	7,075	0,935	6,62
10:00 - 11:00	386,31	7,055	0,895	6,31
11:00 - 12:00	277,448	6,935	0,755	5,24
12:00 - 13:00	185,966	6,825	0,67	4,57
13:00 - 14:00	144,886	6,605	0,435	2,87
14:00 - 15:00	124,899	5,92	0,25	1,48
15:00 - 16:00	106,729	5,78	0,245	1,42
16:00 - 17:00	88,085	5,68	0,215	1,22
17:00 - 18:00	41,4197	5,02	0,09	0,45
Rata - Rata	216,89	6,44	0,55	3,75

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat rata – rata arus keluaran pada saat PLTS 50 WP direct dengan cahaya matahari adalah sebesar 0,55 Ampere, tegangan rata – rata sebesar 6,44 Volt serta Intensitas Radiasi Matahari yang diterima PLTS adalah

dengan nilai rata – rata 216,89 Watt/m². Dari hasil tabel data hari ke-2 dapat dilihat grafik sebagai berikut :



Gamabr 4.4 Grafik Data Hari Ke-2



Gamabr 4.5 Grafik Daya Data Hari Ke-2

Berdasarkan Gambar diatas dapat dilihat arus dan tegangan yang dihasilkan pada PLTS direct relatif tinggi dengan daya keluaran rata – rata sebesar 3,75 Watt. Hal ini disebabkan oleh cahaya matahari yang bersinar terkena langsung pada permukaan PLTS sehingga menghasilkan tingkat radiasi matahari pada PLTS juga relatif tinggi.

4.2 Pengujian PLTS Pada Saat *Shading*

Pada kondisi *shading* ataupun PLTS terhalang bayangan diambil data bersamaan dengan direct sehingga pada penelitian ini dapat diketahui perbedaan daya keluaran antara keduanya. Pengambilan data dilakukan juga selama 10 jam yaitu dari pukul 08.00 – 18.00.



Gambar 4.6 Pengambilan Data saat *shading*

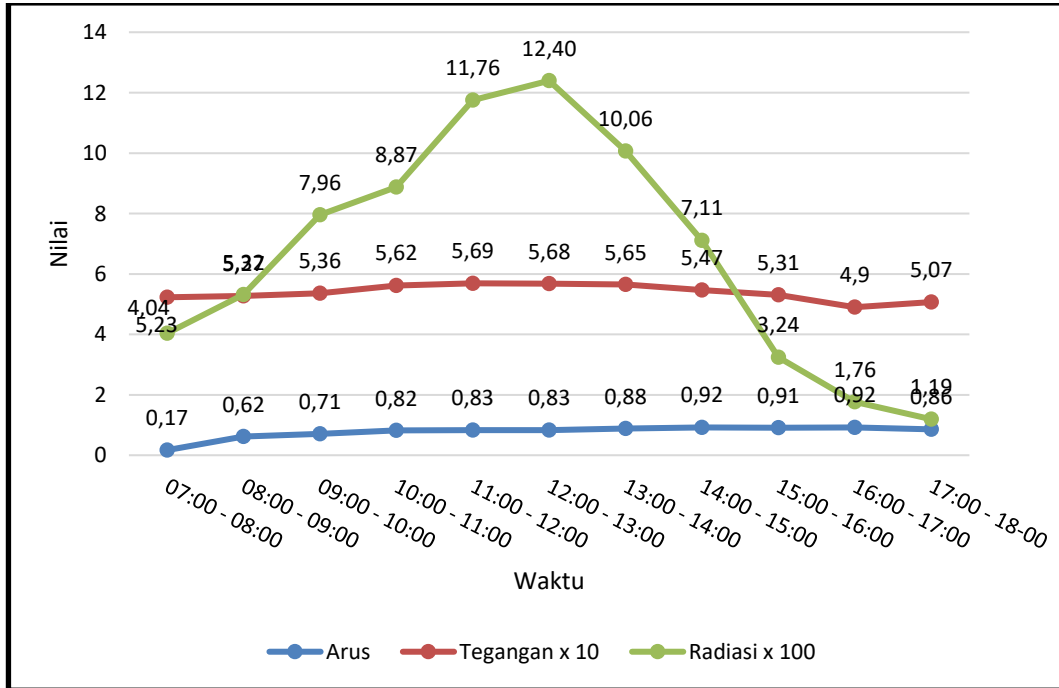
4.2.1 Pengambilan Data *Shading* Hari Ke-1

Adapun hasil pengambilan data ketika PLTS 50 WP terhalang *shading* bangunan ataupun tertutup pohon adalah sebagai berikut :

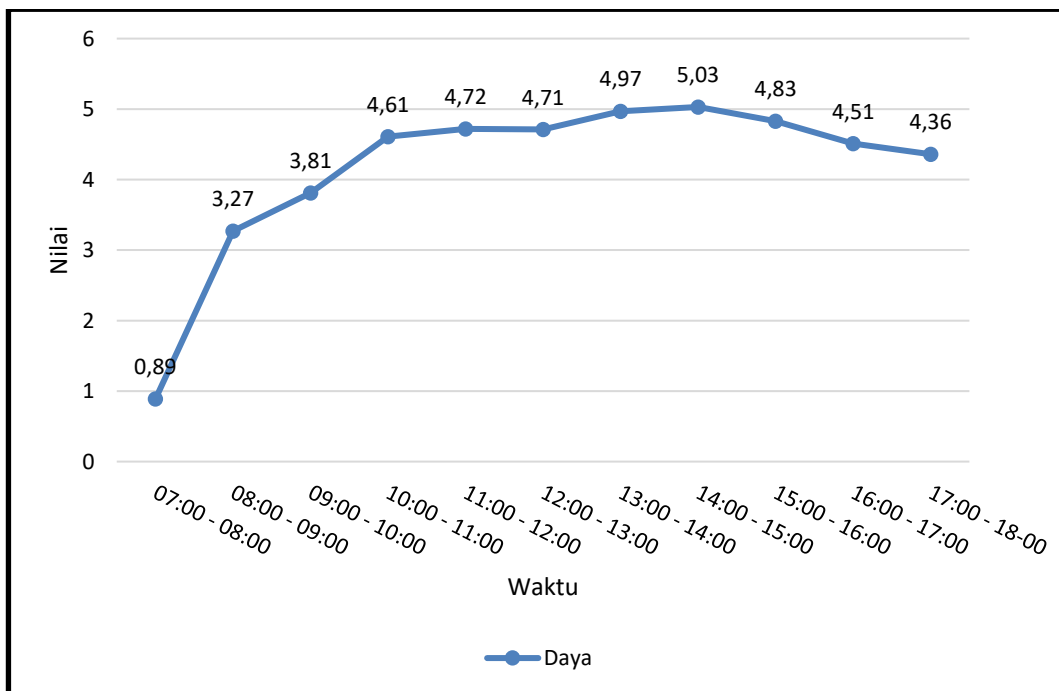
Tabel 4.4 Data *Shading* Hari Ke-1

Waktu	Radiasi Matahari (Watt/m ²)	Tegangan Keluaran (V)	Arus Panel Surya (I)	Daya Keluaran PLTS (Watt)
07:00 - 08:00	403,848	5,23	0,17	0,89
08:00 - 09:00	531,986	5,27	0,62	3,27
09:00 - 10:00	795,53	5,36	0,71	3,81
10:00 - 11:00	887,17	5,62	0,82	4,61
11:00 - 12:00	1175,52	5,69	0,83	4,72
12:00 - 13:00	1239,51	5,68	0,83	4,71
13:00 - 14:00	1006,46	5,65	0,88	4,97
14:00 - 15:00	711,158	5,47	0,92	5,03
15:00 - 16:00	324,216	5,31	0,91	4,83
16:00 - 17:00	176,486	4,9	0,92	4,51
17:00 - 18:00	119,211	5,07	0,86	4,36
Rata - Rata	670,10	5,39	0,77	4,16

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat rata – rata arus keluaran pada saat PLTS 50 WP terkena *shading* dengan cahaya matahari adalah sebesar 0,77 Ampere, tegangan rata – rata sebesar 5,07 Volt serta Intensitas Radiasi Matahari yang diterima PLTS adalah dengan nilai rata – rata 670,10 Watt/m². Dari hasil tabel data hari ke-1 dapat dilihat grafik sebagai berikut :



Gamabr 4.7 Grafik Data Pengujian Shading Hari ke-1



Gamabr 4.8 Grafik Daya Pengujian Shading Hari ke-1

Berdasarkan Gambar diatas dapat dilihat arus dan tegangan yang dihasilkan pada PLTS direct relatif kecil dengan daya keluaran rata – rata sebesar 67,7 Watt. Hal ini disebabkan oleh cahaya matahari yang bersinar terkena tidak langsung pada permukaan PLTS atau terkena efek bayangan sehingga menghasilkan tingkat radiasi matahari yang masuk pada PLTS juga relatif rendah.

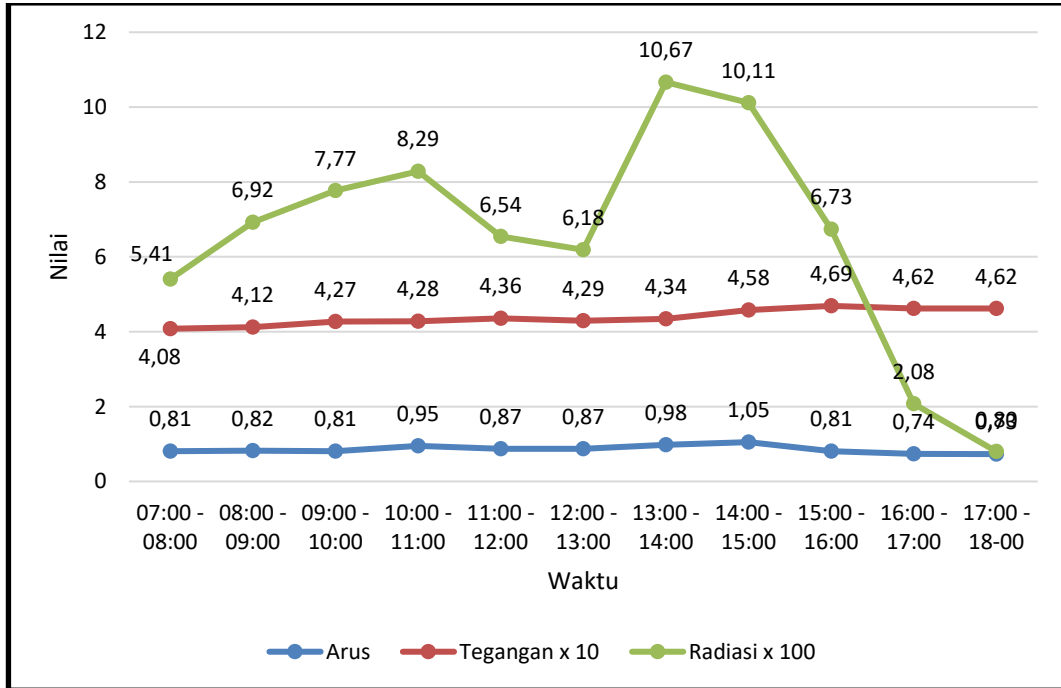
4.2.2 Pengambilan Data *Shading* Hari Ke-2

Adapun hasil pengambilan data ketika PLTS 50 WP terhalang *shading* bangunan ataupun tertutup pohon adalah sebagai berikut :

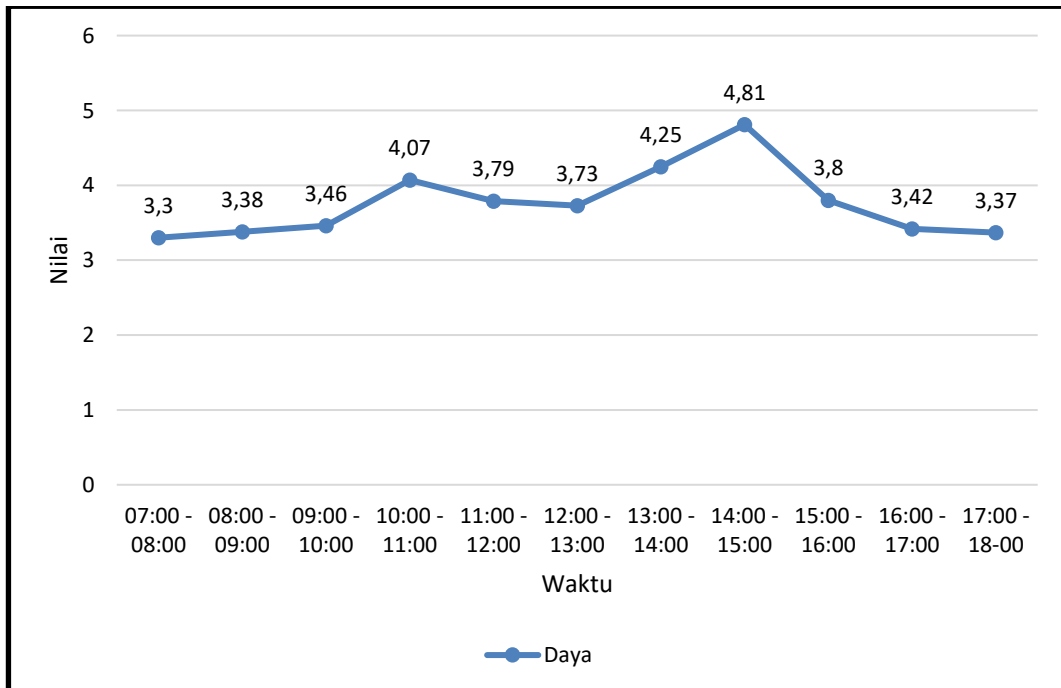
Tabel 4.4 Data *Shading* Hari Ke-2

Waktu	Radiasi Matahari (Watt/m ²)	Tegangan Keluaran (V)	Arus Panel Surya (I)	Daya Keluaran PLTS (Watt)
07:00 - 08:00	540,597	4,08	0,81	3,30
08:00 - 09:00	692,119	4,12	0,82	3,38
09:00 - 10:00	776,728	4,27	0,81	3,46
10:00 - 11:00	828,71	4,28	0,95	4,07
11:00 - 12:00	654,357	4,36	0,87	3,79
12:00 - 13:00	618,491	4,29	0,87	3,73
13:00 - 14:00	1066,5	4,34	0,98	4,25
14:00 - 15:00	1011,2	4,58	1,05	4,81
15:00 - 16:00	673,475	4,69	0,81	3,80
16:00 - 17:00	207,612	4,62	0,74	3,42
17:00 - 18:00	79,948	4,62	0,73	3,37
Rata - Rata	649,98	4,39	0,86	3,76

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat rata – rata arus keluaran pada saat PLTS 50 WP terkena *shading* dengan cahaya matahari adalah sebesar 0,73 Ampere, tegangan rata – rata sebesar 4,62 Volt serta Intensitas Radiasi Matahari yang diterima PLTS adalah dengan nilai rata – rata 649,98 Watt/m². Dari hasil tabel data hari ke-2 dapat dilihat grafik sebagai berikut :



Gamabr 4.7 Grafik Data Pengujian Shading Hari ke-2



Gamabr 4.8 Grafik Daya Pengujian Shading Hari ke-2

Berdasarkan Gambar diatas dapat dilihat arus dan tegangan yang dihasilkan pada PLTS direct relatif kecil dengan daya keluaran rata – rata sebesar 3,76 Watt. Hal ini disebabkan oleh cahaya matahari yang bersinar terkena tidak langsung pada permukaan PLTS atau terkena efek bayangan sehingga menghasilkan tingkat radiasi matahari yang masuk pada PLTS juga relatif rendah.

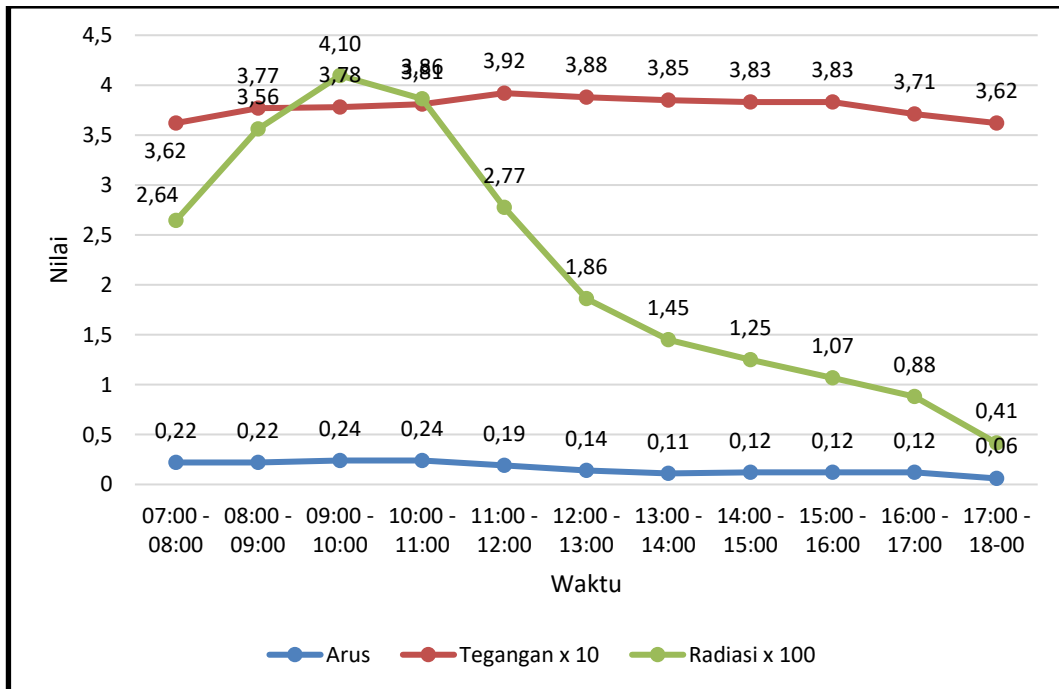
4.2.3 Pengambilan Data *Shading* Hari Ke-3

Adapun hasil pengambilan data ketika PLTS 50 WP terhalang *shading* bangunan ataupun tertutup pohon adalah sebagai berikut :

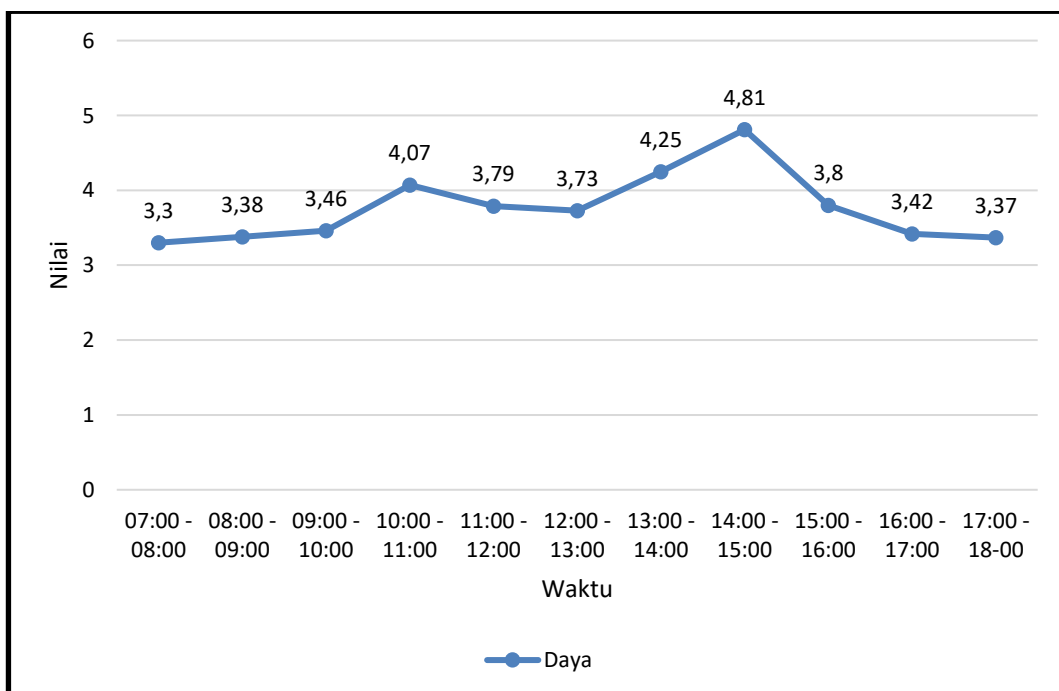
Tabel 4.4 Data *Shading* Hari Ke-3

Waktu	Radiasi Matahari (Watt/m ²)	Tegangan Keluaran (V)	Arus Panel Surya (I)	Daya Keluaran PLTS (Watt)
07:00 - 08:00	264,334	3,62	0,22	0,80
08:00 - 09:00	356,053	3,77	0,22	0,83
09:00 - 10:00	409,615	3,78	0,24	0,91
10:00 - 11:00	386,31	3,81	0,24	0,91
11:00 - 12:00	277,448	3,92	0,19	0,74
12:00 - 13:00	185,966	3,88	0,14	0,54
13:00 - 14:00	144,886	3,85	0,11	0,42
14:00 - 15:00	124,899	3,83	0,12	0,46
15:00 - 16:00	106,729	3,83	0,12	0,46
16:00 - 17:00	88,085	3,71	0,12	0,45
17:00 - 18:00	41,4197	3,62	0,06	0,22
Rata - Rata	216,89	3,78	0,16	0,61

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat rata – rata arus keluaran pada saat PLTS 50 WP terkena *shading* dengan cahaya matahari adalah sebesar 0,16 Ampere, tegangan rata – rata sebesar 3,62 Volt serta Intensitas Radiasi Matahari yang diterima PLTS adalah dengan nilai rata – rata 216,89 Watt/m². Dari hasil tabel data hari ke-2 dapat dilihat grafik sebagai berikut :



Gamabr 4.7 Grafik Data Pengujian Shading Hari ke-3



Gamabr 4.8 Grafik Daya Pengujian Shading Hari ke-3

Berdasarkan Gambar diatas dapat dilihat arus dan tegangan yang dihasilkan pada PLTS direct relatif kecil dengan daya keluaran rata – rata sebesar 0,61 Watt. Hal ini disebabkan oleh cahaya matahari yang bersinar terkena tidak langsung pada permukaan PLTS atau terkena efek bayangan sehingga menghasilkan tingkat radiasi matahari yang masuk pada PLTS juga relatif rendah.

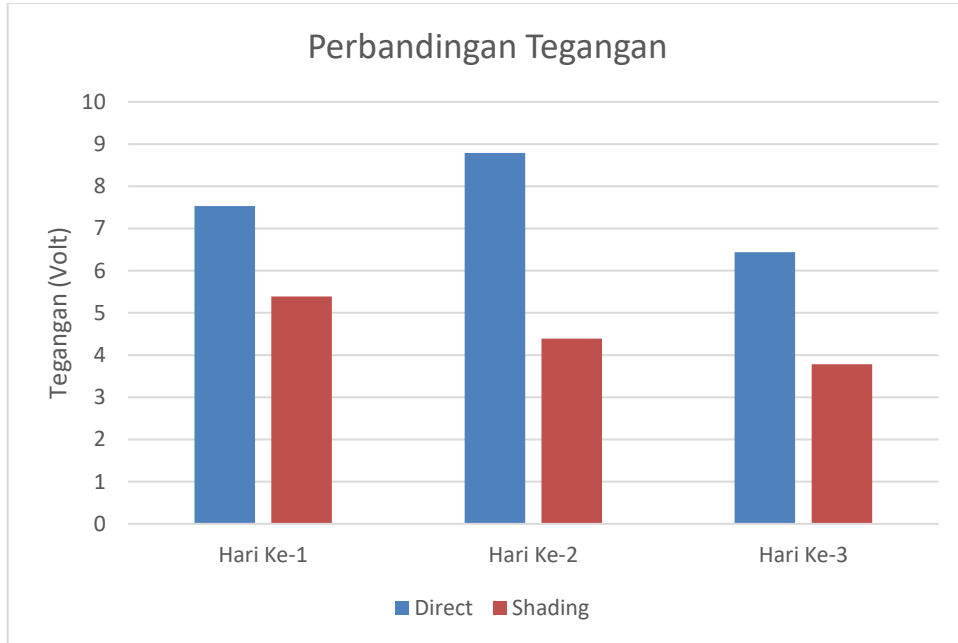
4.3 Pembahasan

Adapun rata – rata tegangan, arus dan daya keluaran pada percobaan non bayangan dan tertutup bayangan bangunan adalah sebagai berikut :

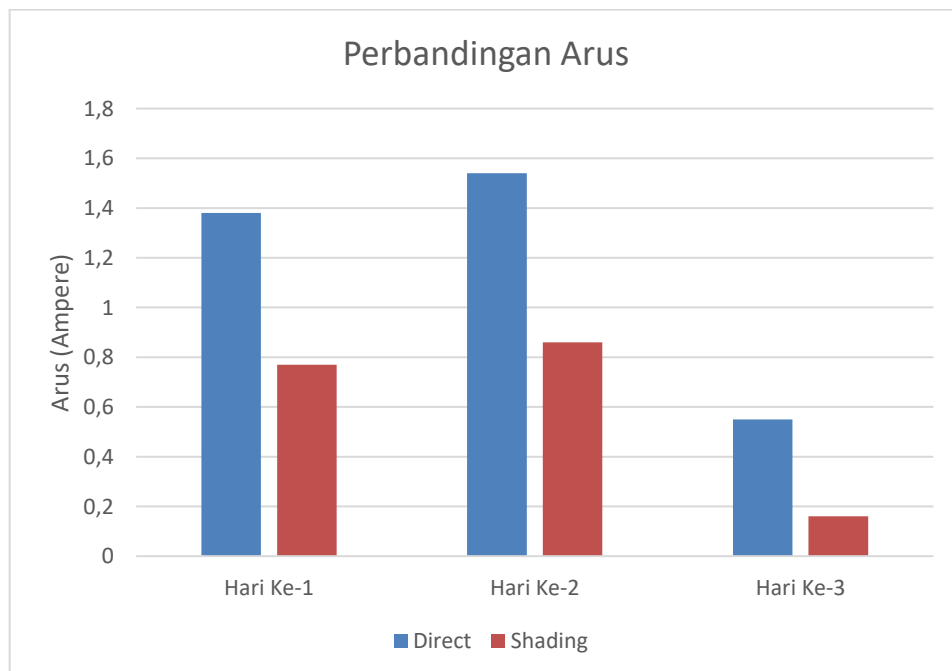
Tabel 4.9 Rata – Rata Tegangan, Arus dan Daya

No	Percobaan	Direct			Shading		
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (V*I) Watt	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (V*I) Watt
1	Hari Ke-1	7,53	1,38	10,83	5,39	0,77	4,16
2	Hari Ke-2	8,79	1,54	14,45	4,39	0,86	3,76
3	Hari Ke-3	6,44	0,55	3,75	3,78	0,16	0,61

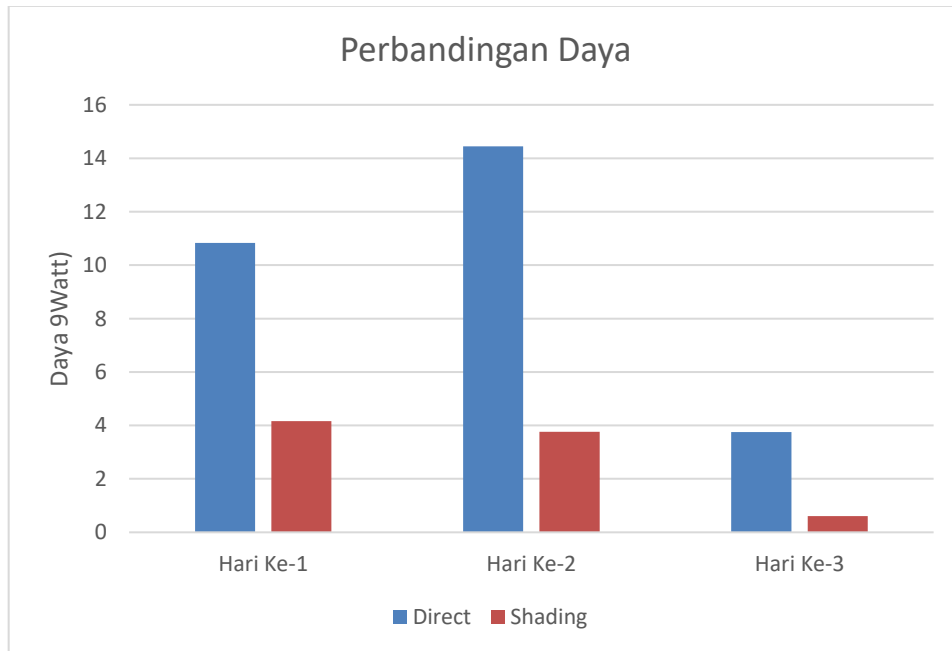
Dari tabel diatas maka dapat dihasilkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Tegangan Pada Percobaan



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Arus Pada Percobaan



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Daya Pada Percobaan

Dari grafik kita dapat melihat bahwa, nilai arus dan tegangan ketika PLTS direct dengan sinar matahari relatif jauh lebih tinggi dibandingkan ketika PLTS terkena atau tertutup bayangan. Hal ini disebabkan oleh tingkat radiasi yang ada pada sinar matahari tidak sepenuhnya diserap oleh PLTS dikarenakan tertutup benda atau objek yang berada disekitar PLTS. Sehingga dampaknya adalah daya keluaran yang dihasilkan juga relatif menurun dan penggunaan PLTS menjadi tidak maksimal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan akhir dari penelitian antara non-bayangan dan tertutup bayangan pada solar cell ini adalah sebagai berikut :

1. Pengambilan data direct dapat menghasilkan tegangan dan arus keluaran PLTS yang relatif tinggi. Hal ini disebabkan oleh radiasi matahari yang masuk dan diserap oleh PLTS adalah direct atau langsung. Sehingga daya yang dikeluarkan oleh PLTS relatif maksimal yaitu dengan rata – rata 144 Watt yaitu pengujian pada hari ke-1
2. Hasil penelitian nilai arus pada saat panel surya tanpa *shading* dengan cahaya matahari lebih besar dibandingkan dengan panel surya terdampak *shading* pada permukaan, penurunan arus dan tegangan yang disebabkan oleh efek *shading* juga relatif tinggi sehingga penggunaan PLTS menjadi tidak efektif dan efisien dikarenakan daya keluaran yang dihasilkan menjadi tidak maksimal

5.1. Saran

1. Agar penelitian selanjutnya dapat menggunakan berbagai macam jenis panel surya agar mendapatkan hasil atau daya keluaran yang terbaik.
2. Melakukan penelitian dengan intensitas percobaan lebih banyak dan lebih lama demi mendapatkan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Giyantara and R. B. Rizqullah, "PENGARUH PARTIAL *SHADING* TERHADAP DAYA KELUARAN PADA," 2021.
- A. Mansur, "Analisa Dampak Bayangan Modul Terhadap Output PLTS," *Energi & Kelistrikan*, vol. 11, no. 2, pp. 160–169, 2019, doi: 10.33322/energi.v11i2.746.
- B. S. Aprillia, M. Rafiqy, and A. Rizal, "Investigasi Efek Partial *Shading* Terhadap Daya Keluaran Sel Surya," *Politek. Caltex Riau*, vol. 5, no. 2, pp. 9–17, 2019.
- D. Suryana, "Pengaruh Temperatur/Suhu Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin (Studi Kasus: Baristand Industri Faisal Lubis; Rimbawati, "Perancangan Sistem Filtrasi Air Siap Minum Berbasis Tenaga Surya Di Bintang Asih," *MARTABE J. Pengabd. Masy. J. Pengabd. Masy.*, vol. 4, pp. 805–813, 2021.
- I. Giriantari, "nnnnnn nnnnn," no. January, 2017.
- K. Vidhia Kumara, I. N. Satya Kumara, and W. G. Ariastina, "Tinjauan Terhadap Plts 24 Kw Atap Gedung Pt Indonesia Power Pesanggaran Bali," *J. SPEKTRUM*, vol. 5, no. 2, p. 26, 2018, doi: 10.24843/spektrum.2018.v05.i02.p04.
- M. I. Malahin, "Implementasi Maximum Power Point Tracking (Mppt) Pada Topology Pv Array Menggunakan Algoritma Kombinasi Firefly Dan Perturb and Observe (P & O) Saat Kondisi *Shading*," *Umm*, 2018.
- M. Alshareef, Z. Lin, M. Ma, and W. Cao, "Accelerated particle swarm optimization for photovoltaic maximum power point tracking under partial *shading* conditions," *Energies*, vol. 12, no. 4, 2019, doi: 10.3390/en12040623.
- M. Y. Puriza, W. Yandi, and A. Asmar, "Perbandingan Efisiensi Konversi Energi Panel Surya Tipe Polycrystalline dengan Panel Surya Monocrystalline Berbasis Arduino di Kota Pangkalpinang," *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 47–52, 2021, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v8i1.2034.
- M. Syukri and K. Kunci, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 9, no. 2, pp. 77–80, 2010.
- R. Rimbawati, Z. Siregar, M. Yusri, and M. Al Qamari, "Penerapan Pembangkit Tenaga Surya Pada Objek Wisata Kampung Sawah Guna Mengurangi Biaya Pembelian Energi Listrik," *Martabe J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 1, p. 145, 2021, doi: 10.31604/jpm.v4i1.145-151.
- Surabaya)," *J. Teknol. Proses dan Inov. Ind.*, vol. 1, no. 2, pp. 5–8, 2016, doi: 10.36048/jtpii.v1i2.1791.
- S. Dody Purwanto, S. Samsurizal, and N. Kurniasih, "Studi Pengaruh *Shading* Terhadap Photovoltaic Jenis Polycrystalline," 2020
- S., S. D. Purwanto, M. Fikri, and C. Christiono, "Dampak Bayangan Pada Panel Surya Terhadap Daya Keluaran Photovoltaic," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 50–62, 2020,

doi: 10.36055/setrum.v9i2.9202.

- S. Samsurizal, A. Makkulau, and C. Christiono, “Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Arus Keluaran Pada Photovoltaic Dengan Menggunakan Regretion Quadratic Method,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 137–144, 2019, doi: 10.33322/energi.v10i2.286.
- V. R. Kossi, “Perencanaan PLTS Terpusat (Off-Grid) Di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah,” *J. SI Tek. Elektro UNTAN*, 2018.

Lampiran



Gambar 1. Solar Panel tanpa *Shading*



Gambar 1. Solar Panel dengan *Shading*



Gambar 3. Pengukuran suhu sekitar panel surya



Gambar 4. Pengukuran Arus dan Tegangan Output









Gambar 5. Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisis Pengaruh *Effect Shading* Terhadap Daya Output
Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Nama : Agung Heriansyah

NPM : 1807220023

No	Hari / Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	21 / 03 / 2022	Revisi BAB I.	
2	25 / 03 / 2022	Revisi BAB II.	
3	01 / 04 / 2022	Revisi BAB III	
4	07 / 04 / 2022	Revisi BAB I & II	
5	08 / 04 / 2022	_____	
		UCC sempro	

Dosen Pembimbing







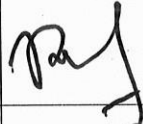

Rimbawati, S.T., M.T

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisis Pengaruh *Effect Shading* Terhadap Daya Output
Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Nama : Agung Heriansyah

NPM : 1807220023

No	Hari / Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	22 / 05 / 2023	Revisi BAB <u>III</u>	
2	31 / 05 / 2023	Revisi Kerangka ^{Pusa}	
3	13 / 06 / 2023	Revisi Tujuan ^{Penelitian}	
4	08 / 07 / 2023	Revisi BAB <u>IV</u>	
5	28 / 07 / 2023	Revisi BAB <u>V</u>	
		UCC sembras	







Dosen Pembimbing



Rimbawati, S.T., M.T

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisis Pengaruh *Effect Shading* Terhadap Daya Output
Pembangkit Listrik Tenaga Surya
Nama : Agung Heriansyah
NPM : 1807220023

No	Hari / Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	28 / 03 / 2024	Revisi BAB I.	
2	07 / 04 / 2024	Revisi BAB II.	
3	12 / 04 / 2024	Revisi BAB IV.	
4	15 / 04 / 2024	Revisi BAB I & IV	
5	20 April 2024	Diskusi Persiapan ^{Serangan}	
		Ura Sidang 23 / 4 2024	

Dosen Pembimbing



Rimbawati, S.T., M.T

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama : Agung Heriansyah
 Tempat, Tgl Lahir : Belawan, 16 Oktober 2000
 Jenis Kelamin : Laki - Laki
 Umur : 23
 Agama : Islam
 Status : Belum Menikah
 Tinggi / Berat Badan : 155 cm / 55 kg
 Kewarganegaraan : Indonesia
 Status : Belum Menikah
 Alamat : Jl. Dondong LK X BLW Bahagia
 Kesehatan : Sangat Baik
 No. HP : 0813 – 9647 – 8157
 Email : agngagung7@gmail.com

Data Orang Tua

Nama ayah : Zulhairi
 Agama : Islam
 Kewarganegaraan : Indonesia
 Nama Ibu : Syahmaida Br. Damanik
 Agama : Islam
 Kewarga negara : Indonesia

Latar Belaknag Pendidikan

2006 – 2012 : SD NEGERI 060967 MEDAN
 2012 – 2015 : SMP NEGERI 05 MEDAN
 2015 – 2018 : SMK NEGERI 05 MEDAN
 2018 – 2024 : Mahasiswa Program Teknik Elektro Fakultas Teknik
 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara