

**ANALISIS PENGARUH BAYANGAN TERHADAP DAYA
KELUARAN YANG DIHASILKAN OLEH PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA SURYA**

TESIS

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik
Dalam Bidang Teknik Elektro*

Oleh :

IHSANURRIZOIE INDRA SIREGAR
NPM : 2020080009



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

PENGESAHAN PEMBIMBING

Nama : Ihsanurrizqie Indra Siregar
NPM : 2020080009
Prodi/Konsentrasi : Magister Teknik Elektro/Managemen Energi Listrik
Judul Thesis : Analisis Pengaruh Bayangan Terhadap Daya Keluaran Yang
Dihasilkan Oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pengesahan Tesis

Medan, 7 Agustus 2023

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II


Assoc. Prof. Dr. M Fitra Zambak, M.Sc


Rohana, S.T, M.T

Diketahui :

Direktur

Ketua Program Studi


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

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

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH BAYANGAN TERHADAP DAYA KELUARAN YANG DIHASILKAN OLEH PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

“Tesis ini Telah Dipertahankan Dihadapan Panitia Penguji”

Yang Dibentuk Oleh Magister Teknik Elektro PPs. UMSU dan Dinyatakan Lulus
Dalam Ujian,

Pada Hari Kamis, 16 Maret 2023

PANITIA PENGUJI

1. Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno, M.T
Ketua

1.

2. Dr. Josef Hadi Pramana, M.Sc
Sekretaris

2.

3. Ir. Surya Hardi, M.Sc., Ph.D
Anggota

3.

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

SURAT PERNYATAAN

ANALISIS PENGARUH BAYANGAN TERHADAP DAYA KELUARAN YANG DIHASILKAN OLEH PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Dengan ini peneliti menyatakan bahwa:

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

Medan, 28 November 2023

Penulis



D32AKX605709201

IHSANURRIZOIE INDRA SIREGAR

NPM : 2020080009

**ANALISIS PENGARUH BAYANGAN TERHADAP DAYA KELUARAN
YANG DIHASILKAN OLEH PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA SURYA**

**IHSANURRIZQIE INDRA SIREGAR
2020080009**

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, salah satunya adalah bayangan. Pada penelitian ini dihitung output PLTS ketika tertutup bayangan dan tidak tertutup bayangan, dimana dilakukan secara simulasi menggunakan software Helioscope. Teknik simulasi dilakukan dengan cara menutup PLTS dengan bayangan yang dihasilkan oleh gedung, dimana bayangan yang dihasilkan menutupi hingga 25%, 50% dan 75%. Beban yang digunakan secara simulasi adalah beban total yang ada pada gedung PT. KAI Cabang Medan. Adapun hasil penelitian ini menunjukkan pada saat kondisi PLTS tertutup bayangan sebesar 25%, PLTS yang efektif digunakan berkapasitas sebesar 453,4 kWp dan daya keluaran yang dihasilkan adalah sebesar 534 MWh. Pada kondisi shading 50% PLTS efektif yang dapat digunakan 300,2 kWp dengan daya keluaran 356,5 MWh dan pada saat kondisi 75% PLTS efektif hanya 176,1 kWp dan daya keluaran 481 MWh

Kata Kunci : PLTS, Shading, Rugi – Rugi, Perencanaan

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SHADING ON THE OUTPUT
POWER PRODUCED BY THE POWER PLANT
SOLAR ELECTRICITY**

**IHSANURRIZQIE INDRA SIREGAR
2020080009**

ABSTRACT

In 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 reduced power output from the solar power plant, one of which is the shadow. In this study, the PLTS output was calculated when it was covered with shadows and not covered with shadows, which was simulated using the Helioscope software. The simulation technique is carried out by covering the PLTS with the shadow produced by the building, where the resulting shadow is for shelter up to 25%, 50% and 75%. The load used in the simulation is the total load in the PT. KAI Medan Branch. The results of this study indicate that when the PLTS condition is covered by a shadow of 25%, the effective PLTS is used with a capacity of 453.4 kWp and the resulting output power is 534 MWh. In the shading condition of 50% effective PLTS that can be used is 300.2 kWp with an output power of 356.5 MWh and when conditions are 75% effective PLTS is only 176.1 kWp and an output power of 481 MWh.

Keywords: PLTS, Shading, Losses , Planning

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT, yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Selawat serta salam tak lupa penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad Rosulullah SAW beserta keluarga dan para sahabat, amin.

Dimana penelitian ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan tugas Tesis di Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Sehubungan dengan itu maka disusunlah tesis ini dengan judul **“ANALISIS PENGARUH BAYANGAN TERHADAP DAYA KELUARAN YANG DIHASILKAN OLEH PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA”**

Dengan selesainya tesis ini, Penulis mengucapkan terimah kasih secara khusus kepada kedua orang tua penulis Ikhwan Siregar dan Farihah , karena beliau berdua adalah matahari penulis dan inspirasi penulis.

Pada Kesempatan ini penulis juga mengucapkan terimah kasih yang tak terhingga kepada :

1. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Mu saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Dr. Agussani, MAP Selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara atas kesempatan serta pasilitas yang diberikan untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan program pascasarjana ini.

3. Bapak Prof. Dr. H. Triono Eddy, SH., M.Hum selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno M.T, Selaku Ketua Program studi Magister Teknik Elektro Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Assoc. Prof. Dr. M Fitra Zambak, M.Sc Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan thesis ini.
6. Ibu Rohana, S.T., M.T Selaku Sekretariat Program Studi Magister Teknik Elektro sekaligus Dosen Pembimbing II dalam penyusunan thesis ini.
7. Bapak-bapak dan Ibu Dosen Program Studi Magister Teknik Elektro serta segenap karyawan dan karyawan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Pascasarjana yang banyak memberikan bantuan dalam menyelesaikan tesis ini.
8. Kepada teman seperjuangan Program Studi Magister Teknik Elektro angkatan 2019 yang selalu memberikan dukungan, dan motivasi kepada penulis.
9. Karyawan Biro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Serta Semua Pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karna itu, Penulis mengharapkan Kritik dan saran yang membangun demi

kesempurnaan tesis ini. Semoga kehadiran tesis ini bermanfaat adanya bagi sidang pembaca.

Semua pihak yang terlibat dan telah membantu penulis sejak penulis mulai kuliah, hingga selesainya tesis ini di buat, semoga senantiasa Allah SWT limpahkan rezki, nikmat kesehatan dan iman, serta pahala, kepada Bapak, Ibu, Abang, Kakak, dan teman-teman semua yang tidak bisa penulis sebutkan satua-persatu dalam lembaran sepetah kata pengantar tesis ini.

Medan, 02 Juli 2022

IHSANURRIZQIE INDRA SIREGAR
NPM : 2020080009

DAFTAR ISI

ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Rumusan Masalah.....	4
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Landasan Teori	5
2.1.1. Radiasi Matahari.....	6
2.1.1.1 Penerimaan Radiasi Ke Bumi.....	7
2.1.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya	13
2.1.2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya	14
2.1.2.2 Panel Surya.....	18
2.1.2.3 Prinsip Kerja Panel Surya.....	26
2.1.2.4 Proses Konversi Panel Surya.....	27
2.1.3. Daya Pada PLTS.....	33
2.1.4. Shading (Bayangan) pada PLTS	35
2.1.4 Analisis Simulasi PLTS.....	38
2.1.5.1 Aplikasi Helioscope.....	38
2.2. Kajian Pustaka Relevan	40
2.3. Kerangka Berfikir	45

BAB 3	METODE PENELITIAN.....	47
	3.1 Pendekatan Penelitian.....	47
	3.2 Tempat Penelitian	47
	3.3 Definisi Operasional Variabel	47
	3.4 Teknik Pengumpulan Data	48
	3.5 Bagan Alir Penelitian.....	50
	3.6 Teknik Analisis Data	52
BAB 4	METODE PENELITIAN.....	53
	4.1 Hasil Penelitian.....	53
	4.1.1. Beban yang disuplai	55
	4.1.2. Daya PLTS tanpa Hambatan	55
	4.1.3. Daya PLTS Dengan Hambatan Bayangan	57
	4.1.3.1 Shading 25 %	59
	4.1.3.2 Shading 50 %	60
	4.1.3.3 Shading 75 %	62
	4.2 Pembahasan	64
BAB 5	PENUTUP	67
	5.1 Kesimpulan.....	67
	5.2 Saran	68

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Intensitas Cahaya Matahari Lokasi Penelitian	53
Tabel 4.2 Beban Gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan	55
Tabel 4.3 Hasil Shading 25%	60
Tabel 4.4 Hasil Shading 50%	62
Tabel 4.5 Hasil Shading 50%	64
Tabel 4.6 Hasil Simulasi Shading	65
Tabel 4.7. Kemampuan PLTS mensuplai beban	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen Radiasi Matahari	13
Gambar 2.2 Sistem PLTS [7]	15
Gambar 2.3 Mono Crystalline	23
Gambar 2.4 Poly Crystalline	24
Gambar 2.5 Thin Film	25
Gambar 2.6 Ilustrasi Alur PLTS (<i>on-grid</i>)	26
Gambar 2.7. Semikonduktor	28
Gambar 2.8. Semikonduktor Sebelum Tersambung	29
Gambar 2.9. Elektron – Elektron Berpindah 29	29
Gambar 2.10. Elektron Menyatu	30
Gambar 2.11. Medan Listrik Internal	30
Gambar 2.12. Proses Konversi	31
Gambar 2.13. Sambungan Elektron Terkena Cahaya Matahari	32
Gambar 2.14. Arus Listrik Timbul	33
Gambar 2.15 Tampilan HelioScope	39
Gambar 2.16 Kerangka Berfikir	44
Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian	50
Gambar 4.1 Tampak Samping	55
Gambar 4.2 Tampak Atas	56
Gambar 4.3 Grafik Keluaran PLTS Tanpa Hambatan	56
Gambar 4.3 Bangunan sebagai simulasi bayangan yang akan digunakan.	58
Gambar 4.4 Shading 25%	58
Gambar 4.5 Konsumsi Energi Shading 25%	58
Gambar 4.6 Rugi – Rugi pada PLTS	59
Gambar 4.7 Shading 50%	60
Gambar 4.8 Konsumsi Energi Shading 50%	61
Gambar 4.9 Rugi – Rugi pada PLTS	61

Gambar 4.10 Shading 75%	61
Gambar 4.11 Konsumsi Energi Shading 75%	63
Gambar 4.12 Rugi – Rugi pada PLTS	63
Gambar 4.13 Grafik hasil Simulasi	65

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 Listrik 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. [1]

Berbagai upaya telah dilakukan pemerintah dan para peneliti untuk memecahkan masalah kebutuhan energi listrik. Salah satu upaya yang dilakukan adalah mencari energi alternatif dan bersifat terbarukan. 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 Energi yang dihasilkan PLTS sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya

matahari pada suatu tempat. Energi yang dihasilkan PLTS sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari pada suatu tempat. [3] menurut penelitian yang dilakukan oleh M. A. Hossain tentang cahaya dan jarak intensitas cahaya matahari dapat diukur secara langsung maupun mengambil data yang sudah tersedia.[3]

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. [1]

Bayangan merupakan sesuatu yang menghalangi sinar matahari untuk masuk ke PLTS yang disebabkan oleh terhalangnya plts oleh beberapa benda seperti gedung, pepohonan dan lain lain. Hal ini juga dapat menyebabkan daya keluaran yang dihasilkan PLTS tidak maksimal. [4] Maka dari itu penulis mengangkat judul analisis pengaruh bayangan terhadap daya keluaran yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah penulis buat, identifikasi masalah pada penelitian ini meliputi :

1. Penggunaan panel surya yang dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik tenaga surya sangat berpotensi khususnya di Indonesia. Indonesia merupakan negara yang dilalui garis katulistiwa sehingga membuat Indonesia hanya memiliki 2 musim yaitu musim hujan dan panas. Karena itu banyak penelitian yang menyatakan pemasangan PLTS di Indonesia cukup efektif, dikarenakan intensitas cahaya matahari dan presentasi matahari bersinar terik cukup besar. Tetapi ada beberapa hal yang menghambat panel surya bekerja secara efektif dan efisien, salah satunya adalah apabila panel surya tertutup dengan bayangan suatu benda disekitarnya.
2. Sinar matahari yang terhalang oleh suatu objek akan menyebabkan bayangan, bayangan yang menutupi permukaan panel surya menyebabkan cahaya matahari tidak terkena langsung kepermukaan panel surya. Maka daya yang dihasilkan oleh panel surya yang tertutup bayangan kurang maksimal. Namun kita tidak mengetahui berapa banyak daya yang terbuang apabila panel surya tidak *direct* dengan sinar radiasi matahari.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Data pada penelitian diambil melalui aplikasi Helioscope, adapun data yang tersedia simulasi perencanaan PLTS pada suatu Gedung ataupun bangunan
2. Data shading diambil melalui aplikasi helioscope
3. Penelitian ini sepenuhnya dilakukan secara simulasi menggunakan aplikasi helioscope

1.4 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah :

1. Apakah daya keluaran yang dihasilkan panel surya ketika keadaan tidak ada penghalang cahaya matahari (non bayangan) pada simulasi dengan aplikasi HelioScope jauh lebih baik?
2. Apakah daya keluaran yang dihasilkan panel surya ketika tertutup bayangan dengan presentasi 25%, 50% dan 75% pada simulasi dengan aplikasi HelioScope menurun secara signifikan?

1.5 Tujuan Penelitian

1. Menghitung total beban yang ada pada lokasi penelitian.
2. Menganalisis daya keluaran yang dihasilkan panel surya ketika keadaan tidak ada penghalang cahaya matahari (non bayangan)
3. Menganalisis daya keluaran yang dihasilkan panel surya ketika tertutup bayangan dengan presentasi 25%, 50% dan 75% pada simulasi dengan aplikasi HelioScope

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan penulis adalah

1. Memberikan pengetahuan dan informasi bagi penulis tentang pengaruh bayangan terhadap daya keluaran panel surya
2. Menjadi bahan perbandingan terhadap masyarakat yang ingin menginstalasi panel surya agar memperhatikan vaktor bayangan
3. Menjadi referensi penelitian bagi peneliti dan mahasiswa pada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

BAB 2

TINAJUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Indonesia memiliki banyak potensi energi terbarukan, seperti tenaga air (termasuk minihidro), panas bumi, biomasa, angin dan surya (matahari) yang bersih dan ramah lingkungan, tetapi pemanfaatannya belum optimal. Belum optimalnya pemanfaatan energi terbarukan disebabkan biaya pembangkitan pembangkit listrik energi terbarukan, seperti tenaga surya, tidak dapat bersaing dengan biaya pembangkitan pembangkit listrik berbahan bakar energi fosil diantaranya bahan bakar minyak, gas bumi, dan batubara. [1]

Indonesia merupakan negara yang terletak di garis katulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia. Dengan berlimpahnya sumber energi surya yang belum dimanfaatkan secara optimal, sedangkan di sisi lain ada sebagian wilayah Indonesia yang belum teraliri listrik karena tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistemnya yang modular dan mudah dipindahkan merupakan salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan sebagai salah satu pembangkit listrik alternatif. Sayangnya biaya pembangkitan PLTS masih lebih mahal apabila dibandingkan dengan biaya pembangkitan pembangkit listrik tenaga konvensional, karena sampai saat ini piranti utama untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik (modul fotovoltaik) masih merupakan piranti yang didatangkan dari luar negeri. [4]

Meskipun pemanfaatan PLTS belum optimal, tetapi sudah cukup banyak dimanfaatkan pada perumahan atau sering disebut Solar Home System (SHS), pompa air, televisi, komunikasi, dan lemari pendingin di Puskesmas di beberapa wilayah Indonesia, khususnya di wilayah terpencil yang jauh dari jaringan listrik PLN. PLTS merupakan teknologi yang ramah lingkungan karena tidak melepaskan polutan seperti halnya pembangkit listrik tenaga fosil. [1]

2.1.1 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 [6].

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 [7].

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 cm^2) tegak lurus pada sinar matahari tiap menit, yaitu 2,0 kalori [8].

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.

2.1.1.1 Penerimaan Radiasi Ke 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 [9].

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 membentang 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 batuan-batuan 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 [36].

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 [10].

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 [10].

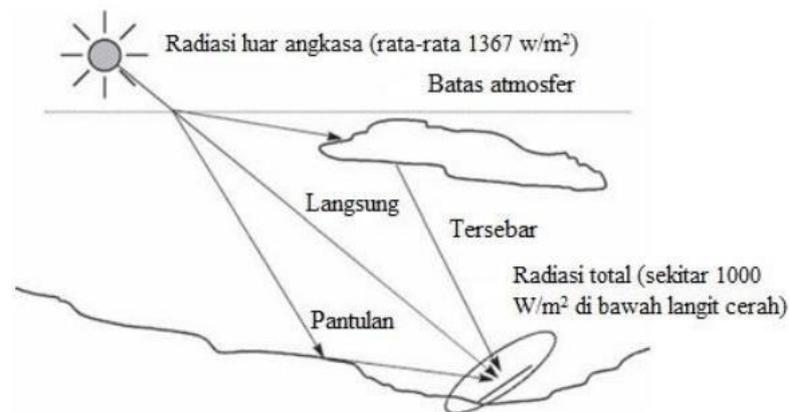
Matahari memiliki peran penting bagi seluruh makhluk hidup di bumi khususnya manusia, karena energi yang diberikannya yaitu cahaya dan panas memberikan manfaat yang dapat mendukung kelangsungan hidup. Tanpa kehadiran matahari di sistem tata surya yang energinya sampai ke bumi melalui beberapa lapisan 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 didalam tanaman jutaan tahun silam. Energi surya dengan jumlahnya yang sangat besar ketika sampai kebumi 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. [2]

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 [25] 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. [3]

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 [1]. Ada beberapa jenis radiasi matahari yaitu radiasi langsung (*direct radiation*), radiasi tersebar (*diffuse radiation*), radiasi pantulan (*albedo*), dan radiasi total (*total radiation*).



Gambar 2.1 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*. [1]

2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber energi baru terbarukan, yaitu energi surya. Pengertian dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu pembangkit mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (Direct Curent), yang dapat diubah menjadi listrik AC (Alternating Curent). PLTS pada dasarnya adalah

pencatu daya yang dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik mulai dari skala kecil maupun skala besar, baik secara mandiri maupun secara hibrida. [4]

2.1.2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya atau PLTS adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Komponen utama dari PLTS terdiri atas sel fotovoltaik. Fungsinya untuk menangkap panas matahari yang bisa diubah menjadi energi listrik. Panas yang telah ditangkap oleh fotovoltaik akan digunakan untuk memanaskan cairan yang setelahnya akan berubah menjadi uap. Uap inilah yang akan dipanaskan dan menghasilkan listrik. [12]

Kendati demikian sistem pembangkit listrik tenaga surya saat ini memiliki kelebihan dan kekurangan dalam penggunaannya. Kelebihan penggunaan pembangkit listrik tenaga surya [6] :

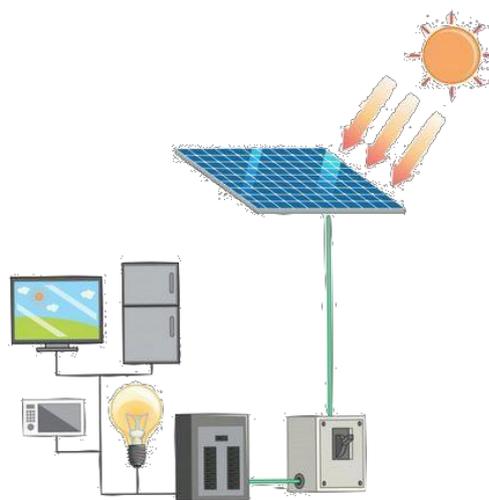
- a. Energi yang terbarukan/tidak pernah habis (berkelanjutan dan diperbaharui terus menerus).
- b. Bersih, ramah lingkungan.
- c. Tidak membutuhkan bahan bakar/energi matahari relatif mudah didapat dimana saja
- d. Umur panel surya investasi jangka panjang
- e. Praktis, tidak memerlukan perawatan.
- f. Sangat cocok untuk daerah tropis seperti Indonesia.

Sedangkan kekurangan dari penggunaan pembangkit listrik tenaga surya adalah :

- a. Harga pemasangan panel surya relatif mahal
- b. Pada malam hari atau saat radiasi matahari berkurang, panel surya sedikit tidak berfungsi
- c. Membutuhkan perangkat tambahan dalam pemakaiannya

Karena pembangkit listrik tenaga surya sangat tergantung kepada sinar matahari, maka perencanaan yang baik sangat diperlukan [7] . Perencanaan terdiri dari :

- a. Jumlah daya yang dibutuhkan dalam pemakaian sehari-hari (Watt).
- b. Berapa besar daya yang dihasilkan panel surya (dalam Watt hour), dalam hal ini memperhitungkan berapa jumlah panel surya yang harus dipasang.
- c. Berapa unit baterai yang diperlukan untuk kapasitas yang diinginkan dan pertimbangan penggunaan tanpa sinar matahari. (Ampere hour).



Gambar 2.2 Sistem PLTS [7]

Dalam Gambar 2.3 menunjukkan bahwa sistem PLTS yang dirancang beroperasi dengan menggabungkan jaringan listrik lainnya yaitu PLN dalam memenuhi kebutuhan beban listrik pada suatu tempat. Maka dibutuhkan switching untuk menghubungkan beban dengan PLTS atau memutuskannya ketika panel surya sedang tidak beroperasi atau dengan kata lain energi matahari yang dihasilkan sangat sedikit. Komponen yang paling berperan penting ialah inverter yaitu untuk mengubah arus DC yang dihasilkan panel surya yang harus disesuaikan dengan persyaratan jaringan listrik yang terhubung kepada sistem dan juga beban-beban yang dilayani.

PLTS biasanya dirangkai dengan *off-grid* atau *on-grid*. PLTS *On-Grid* merupakan model yang terdiri dari dua sumber energi yaitu solar panel dan jaringan listrik PLN. Penggunaan solar panel / PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik digunakan untuk mensuplai energi listrik di rumah tangga selama 24 jam, karena energi listrik yang disediakan oleh Grid PLN di lokasi penelitian hanya 14 jam sehari. Dengan rancangan implementasi seperti ini diharapkan dapat mengurangi pemakaian energi listrik dari jaringan listrik PLN dengan mengoptimalkan pemakaian energi terbarukan (PLTS) yang diterapkan pada rumah tangga. [15]

PLTS *Off Grid* disebut juga dengan stand-alone pv merupakan sistem pembangkit listrik yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu - satunya sumber energi utama. Untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan pada rumah tangga, maka digunakan rangkaian photovoltaic modul. Sistem ini biasanya diterapkan pada daerah yang tidak mendapat pasokan listrik PLN. [16]

Dalam merancang PLTS dibutuhkan beberapa tahap untuk mendapatkan hasil ataupun daya keluaran PLTS yang sesuai dengan apa yang direncanakan. Dalam perencanaan teknis PLTS ada beberapa tahap yang perlu diperhatikan. Adapun tahap – tahap perancangan teknis PLTS adalah sebagai berikut : [16]

1. Total Beban Harian Listrik

Total beban harian listrik sangat diperlukan dalam perencanaan teknis PLTS. Dimana beban harian ini sebagai acuan untuk kapasitas PLTS yang efektif dipasang dan digunakan.

2. Menentukan Jam Ekuivalen Matahari di Indonesia (ESH)

Jam matahari ekuivalen suatu tempat ditentukan berdasarkan peta insolasi matahari dunia yang dikeluarkan oleh Solarex. Berdasarkan 9 peta insolasi matahari dunia, diperoleh ESH untuk wilayah Indonesia Timur sebesar 4.8

3. Menentukan Jumlah Panel Surya

Rumus yang digunakan untuk menentukan jumlah panel surya sesuai dengan beban pemakaian adalah

$$\text{Jumlah PLS} = \frac{\text{Total Beban}}{\text{Kapasitas Modul PLTS} \times \text{ESH}} \quad (2.1)$$

Dimana :

ESH = Ekuivalen Matahari Di Indonesia (Konstanta 4,8)

4. Rugi – Rugi Faktor Keamanan Sistem

Untuk sistem PLTS faktor 25% harus ditambahkan ke pembebanan sebagai pengganti rugi -rugi sistem dan faktor keamanan. Oleh karena itu, total kapasitas PLTS yang ditentukan pada persamaan 2.1 dikalikan dengan 25%.

5. Menentukan Kebutuhan Baterai

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) umumnya dilengkapi dengan baterai sebagai media penyimpanan energi untuk mensuplai kebutuhan listrik beban ketika beroperasi malam hari. Kapasitas baterai dihitung dengan persamaan

$$I = \frac{L}{V} \quad (2.2)$$

Dimana :

I = Arus yang dibutuhkan (Ampere)

L = Load / beban (Watt-hour)

V = Tegangan Pada Sistem (Volt)

6. Besar Kebutuhan SCC

Untuk menghitung kebutuhan Solar Charge Controller, perlu untuk mengetahui spesifikasi dari panel surya. Dari spesifikasi panel surya, yang perlu diperhatikan adalah Isc (short circuit current)

7. Besar Kebutuhan Inverter

Besar kebutuhan inverter yang diperlukan untuk kebutuhan AC adalah minimal sama dengan total daya yang dinyalakan bersamaan.

2.1.2.2 Panel Surya

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel fotovoltaik. Sel surya atau sel PV

bergantung pada efek fotovoltaik untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. Panel surya merupakan alat yang sangat penting dalam pembangkit listrik tenaga surya, yang berfungsi untuk mengubah energi surya (matahari) menjadi energi listrik. Dalam sebuah panel surya ini ada sel surya yang mempunyai peranan penting dalam panel surya untuk memaksimalkan cahaya matahari.

Berikut adalah beberapa keunggulan dan kelemahan menggunakan panel surya yang perlu diketahui [8] :

Keunggulan Panel Surya:

- a) Panel surya ramah lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim seperti pada kasus penggunaan bahan bakar fosil karena panel surya tidak memancarkan gas rumah kaca yang berbahaya seperti karbon dioksida.
- b) Panel surya memanfaatkan energi matahari sebagai bentuk energi paling berlimpah yang tersedia di planet bumi.
- c) Panel surya mudah dipasang dan memiliki biaya pemeliharaan yang sangat rendah karena tidak ada bagian yang bergerak.
- d) Panel surya tidak memberikan kontribusi terhadap polusi suara dan bekerja dengan sangat diam.
- e) Tidak diharuskan membeli semua panel surya yang diperlukan dalam waktu yang sama, tetapi dapat dibeli secara bertahap yang berarti tidak perlu melakukan investasi besar secara instan.

- f) Panel surya tidak kehilangan banyak efisiensi dalam masa pakai mereka yang mencapai 20 tahun. Masa pakai relatif lama yakni mencapai 25-30 tahun, akan menghemat biaya energi dalam jangka panjang.

Kelemahan Panel Surya:

- a) Panel surya masih relatif mahal, bahkan meskipun setelah banyak mengalami penurunan harga.
- b) Panel surya masih perlu meningkatkan efisiensi secara signifikan karena banyak sinar matahari terbuang sia-sia dan berubah menjadi panas. Rata-rata panel surya saat ini mencapai efisiensi kurang dari 20%. Jika tidak terpasang dengan baik dapat terjadi *over heating* pada panel surya.
- c) Panel surya terbuat dari beberapa bahan yang tidak ramah lingkungan. Daur ulang panel surya yang tak terpakai lagi dapat menyebabkan kerusakan lingkungan jika tidak dilakukan dengan hati-hati.

Kendala yang dihadapi dalam pengembangan panel surya di Indonesia adalah ketersediaan teknologi untuk produksi. Indonesia masih baru memiliki industri perakitan sel surya. Bahan baku yang dibutuhkan masih impor dari negara-negara lain sehingga harga sel surya di Indonesia masih cenderung mahal. Namun melihat dari sisi sumber energi matahari yang berlimpah sebagai negara khatulistiwa, sel surya juga merupakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan tahan lama [9]. Umur sel surya yang dapat diaplikasikan saat ini berkisar di angka 25 tahun.

Selain itu, berdasarkan data penyinaran yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai

berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 6,5 kWh/m kuadrat setiap hari dengan variasi bulanan sekitar 10%, dan Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 7,1kwh/m² setiap hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Karena alasan inilah maka Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar. [9]

Komponen utama sistem surya PV adalah panel surya yang merupakan unit rakitan beberapa sel surya PV. Energi matahari itu dapat berubah menjadi arus listrik searah yaitu dengan menggunakan silikon yang tipis. Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda. Lapisan atas sel surya itu bermuatan negatif sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Sel-sel Si itu dipasang dengan posisi sejajar dan seri dalam sebuah panel yang terbuat dari aluminium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Kemudian pada tiap-tiap sambungan sel itu diberi sambungan listrik. [16]

Bila sel-sel itu terkena sinar matahari (energi foton) maka beberapa foton diserap oleh atom Si yang merupakan semikonduktor dapat membebaskan elektron dari katan atomnya sehingga akan menjadi elektron yang bergerak bebas. Pergerakan elektron itulah yang menjadikan adanya arus listrik searah (DC) dan pada sambungan akan mengalir arus listrik. Besarnya arus atau tenaga listrik itu tergantung pada jumlah energi cahaya matahari yang mencapai silikon dan luas permukaan sel tersebut. Sebuah panel surya umumnya terdiri dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel yang terdiri dari 32-40 sel surya, tergantung ukuran panel surya yang ingin dibuat. Gabungan dari panel-panel surya akan membentuk suatu array sel surya. Panel surya atau modul surya adalah

unit rangkaian lengkap yang dilapisi bahan kedap air dan tahan terhadap perubahan cuaca. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan tegangan dari arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya beban. Kemudian bila beban seperti lampu dipasang diantara terminal negatif dan terminal positif dari sel surya maka elektron akan mengalir sebagai arus listrik searah yang dapat menghidupkan lampu tersebut. Semakin besar radiasi matahari yang mengenai sel surya, maka semakin besar pula arus yang dihasilkan oleh sel surya tersebut. Oleh karenanya sel surya tidak akan pernah habis atau rusak dalam membangkitkan listrik. Biasanya kerusakan terjadi disebabkan karena sel surya tersebut pecah atau karena faktor lain, sehingga bila sel surya dilindungi dengan baik, maka usianya bisa mencapai 20 tahun. [5] adapun jenis – jenis panel surya yaitu :

a. Mono Crystalline

Jenis monocrystalline merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim. Panel surya ini memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahayanya matahari kurang (teduh). Efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan. [5]

Panel surya monocrystalline tersusun atas sel surya yang terbuat dari bahan silikon jenis crystalline tunggal yang diiris tipis dan dibentuk batangan. Jenis panel ini punya efisiensi tertinggi karena elektron yang ada didalamnya memiliki ruang lebih banyak untuk mengalirkan listrik. Tampilan panel ini bisa

dibedakan dari fisik luarnya dengan sel-sel berwarna hitam gelap dan bertekstur terpotong-potong pada sudutnya.



Gambar 2.3 Mono Crystalline [5]

Jenis ini merupakan salah satu panel surya dengan tingkat efisiensi tertinggi, sebab bahan yang digunakan bisa menyerap radiasi sinar matahari lebih baik dibanding bahan lainnya. Efisiensi konversi sinar matahari ke listrik dapat mencapai 15 – 20%, angka ini termasuk tingkat efisiensi yang tinggi jika dibandingkan bahan lain dengan ukuran yang sama.

b. Poly Crystalline

Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Jenis panel surya ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.

Panel surya polycrystalline tersusun atas sel surya atau sel photovoltaic terbuat dari bahan silikon jenis multi crystalline. Dibuat dengan melebur batangan kristal silikon sampai cair untuk kemudian dituangkan ke cetakan persegi. Jenis ini tidak terbuat dari kristal silikon semurni sel sel surya monocrystalline. Hal ini mempengaruhi tingkat efisiensi konversi (sinar matahari ke listrik) menjadi sekitar 13-16%.



Gambar 2.4 Poly Crystalline [5]

Panel surya multicrystalline bisa dikenali dari fisik sel surya yang berwarna biru, berbentuk persegi, dan bermotif pecahan kaca. Apabila disusun menjadi panel surya, tidak memperlihatkan sisa ruang kosong seperti pada monocrystalline. Proses pembuatan yang lebih mudah menjadikan harga panel jenis ini lebih murah dan banyak digunakan. Susunan sel surya pada panel jenis ini lebih rapat dan lebih rapi, selain itu terlihat seperti ada retakan-retakan didalamnya. polycrystalline juga akan menurun efisiensinya ketika diletakkan di wilayah yang sering mendung dan berawan. Selain itu, karena tingkat efisiensi yang lebih rendah maka jumlah panel surya yang dipasang harus lebih

banyak daripada jenis monocrystalline. Polycrystallin memakai dan menghasilkan limbah silikon lebih sedikit, hal ini membuat kinerja kurang efisien saat suhu tinggi.[5]

c. Thin Film

Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokristal-silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5%. Sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polykristal. Inovasi terbaru adalah *Thin Film Triple Junction Photovoltaic* (dengan tiga lapisan). Jenis panel surya ini dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang ditera setara. anel surya thin film tersusun dari lapisan sel surya dan lapisan dasar, keduanya digabungkan menjadi satu bagian yang masih tetap ringan, tipis, dan fleksibel. Sehingga, apabila diamati lebih dekat terlihat dua lapisan pada panel jenis ini.



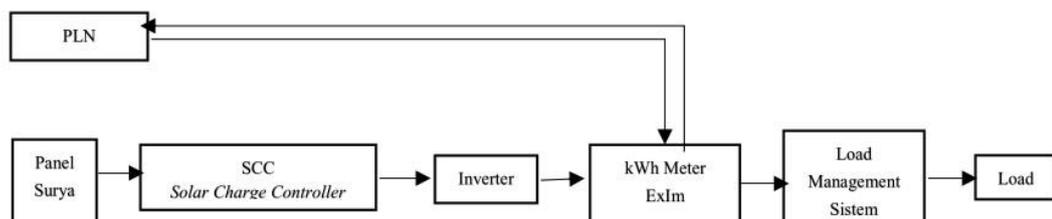
Gambar 2.5 Thin Film [6]

Bahkan ketebalan lapisannya bisa seukuran nanometer sampai micrometer, ketipisan lapisan ini menjadi keunggulan jenis panel film. Hal ini menyebabkan

panel thin film menjadi panel surya dengan harga paling terjangkau. Sayangnya harga yang lebih murah harus diimbangi dengan tingkat efisiensi yang rendah, hanya sekitar 8,5% untuk panel surya seluas ukuran monocrystalline. Jika ingin menggunakan panel semacam ini maka perlu jumlah yang lebih banyak untuk bisa mencapai jumlah energi yang diinginkan. [6]

2.1.2.3 Prinsip Kerja Panel Surya

Sel surya atau juga sering disebut fotovoltaik adalah peralatan yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Sel surya memiliki peran utama untuk memaksimalkan potensi yang sangat besar energi matahari yang sampai ke bumi, walaupun selain dipergunakan melalui radiasinya juga dapat dimaksimalkan energi panasnya melalui sistem solar termal.



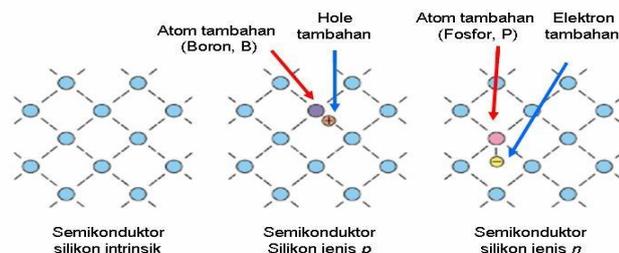
Gambar 2.6 Ilustrasi Alur PLTS (*on-grid*) [27]

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur

atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan hole tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom posfor. Ilustrasi di bawah menggambarkan junction semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Peran dari pn junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan hole bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. [27]

2.1.2.4 Proses Konversi Panel Surya

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 [37].

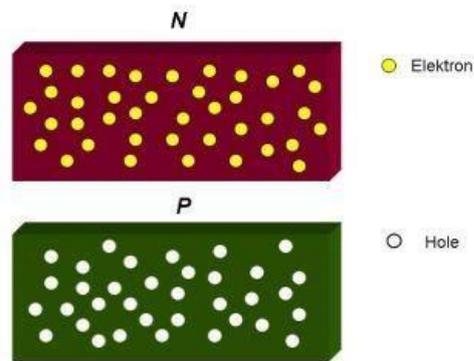


Gambar 2.7. Semikonduktor

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.

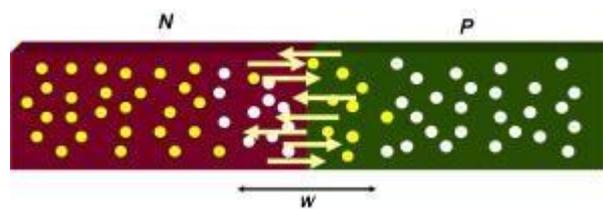
Misal semikonduktor intrinsik yang dimaksud ialah silikon (Si). Semikonduktor jenis p , biasanya dibuat dengan menambahkan unsur boron (B), aluminium (Al), gallium (Ga) atau Indium (In) ke dalam Si. Unsur-unsur tambahan ini akan menambah jumlah hole. Sedangkan semikonduktor jenis n dibuat dengan menambahkan 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 : [37]

a) Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



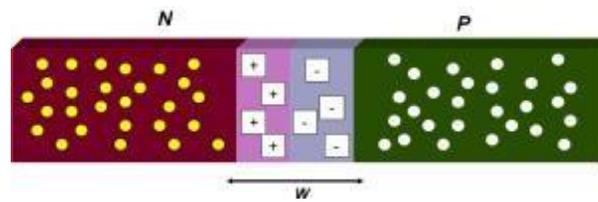
Gambar 2.8. Semikonduktor Sebelum Tersambung

- 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.



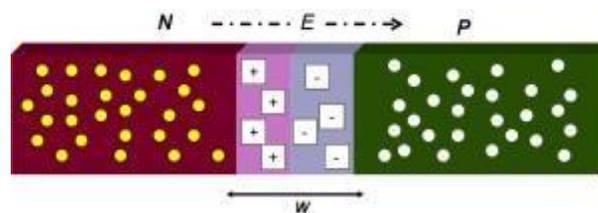
Gambar 2.9. Elektron – Elektron Berpindah

- 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 [37].



Gambar 2.10. Elektron Menyatu

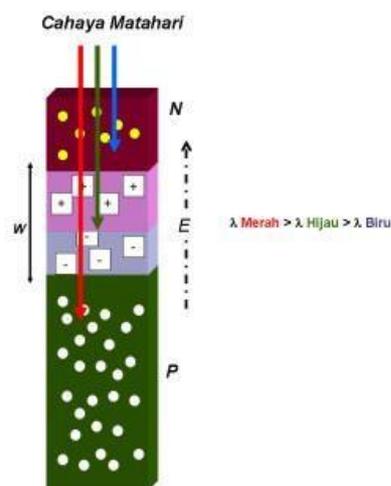
- d) Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*) ditandai dengan huruf W.
- e) Baik elektron maupun hole yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda.
- 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 2.11. Medan Listrik Internal

- g) Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada *titik setimbang*, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari

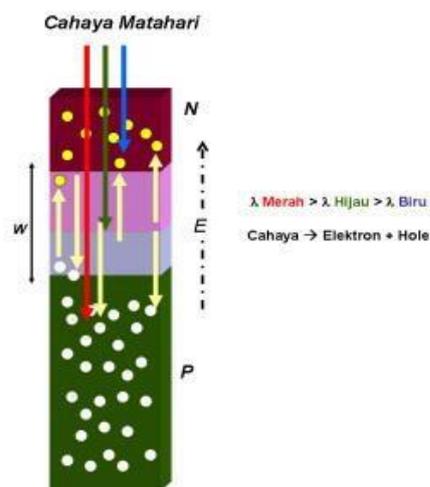
semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E . Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p , dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E . 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 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 [37].



Gambar 2.12. Proses Konversi

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

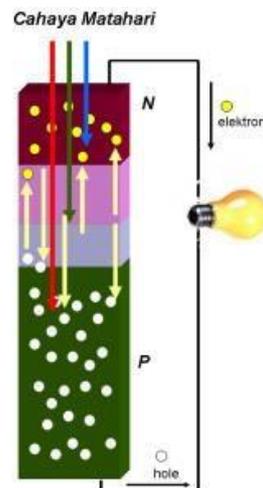
meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole (*electron-hole photogeneration*) yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.



Gambar 2.13. Sambungan Elektron Terkna Cahaya Matahari

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 2.14. Arus Listrik Timbul

2.1.3 Daya Pada PLTS

Beban merupakan jumlah permintaan minimum yang harus dipenuhi oleh suatu sistem tenaga listrik dalam jangka waktu tertentu, misalnya dalam satuan jam menit atau bahkan hari dan bulan. Beban merupakan energi listrik yang telah dikonversi ke berbagai energi seperti mekanik , panas dan yang lainnya. Untuk menentukan beban pemakaian listrik digunakan rumus : [28]

$$L = P \times t \quad (2.3)$$

Dimana :

L : Load atau Beban (Wh)

P : Daya (Watt)

t : Waktu (Jam)

Untuk menentukan nilai daya keluaran dari panel surya yang digunakan, dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = V \times I \quad (2.4)$$

Atau

$$A = p \times l \quad (2.5)$$

$$P = I_r \times A \quad (2.6)$$

Dimana :

P = Daya Pada PLTS (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

T = Waktu (Menit)

I_r = Intensitas Radiasi Matahari (Watt/m²)

A = Luas area permukaan panel (m²)

p = Panjang Sell Surya (m)

l = Lebar Sell Surya (m)

Kemudian untuk menentukan arus dan tegangan rata – rata pada setiap hari pengambilan data dengan persamaan :

$$I_{\text{rata-rata}} = I_{\text{total}} / n \quad (2.7)$$

$$V_{\text{rata-rata}} = V_{\text{total}} / n \quad (2.8)$$

Dimana :

I_{rata} = Nilai rata – rata arus keluaran PLTS (Ampere)

V_{rata} = Nilai rata – rata tegangan keluaran PLTS (Volt)

n = Jumlah pengambilan data

2.1.4 *Shading* (Bayangan) pada PLTS

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 [12]. Sehingga, pengurangan pada energi maksimum akan terjadi pada *array*. Efek bayangan dapat menimbulkan permasalahan apabila:

1. Jika terjadi bayangan pada *array*, tegangan maksimum yang akan masuk ke inverter mungkin akan menurun dan juga akan sangat mengurangi output inverter.
2. Jika menggunakan string inverter dan terdapat beberapa string modul surya, shading pada satu string dapat mempengaruhi output string lainnya. Inverter dapat melacak tegangan yang rendah untuk mendapatkan arus yang lebih tinggi.

Untuk mendapatkan luasan panel surya yang terpancang oleh sinar matahari digunakan rumus sebagai berikut : [33]

$$A_p = \frac{P_{out}}{P_{max}} \times 100 \quad (2.9)$$

Dimana :

A_p = Presentase luasan panel surya yang terpancang oleh sinar matahari (%)

P_{out} = Daya Keluaran (Watt)

P_{max} = M_{pp} dari spesifikasi Panel Surya

Untuk mendapatkan besar shading pada panel surya dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Effect Shading (\%)} = 100\% - A_p \quad (2.10)$$

Dimana :

A_p = Presentase luasan panel surya yang terpancang oleh sinar matahari (%)

Dalam kedua situasi diatas, sulit untuk memprediksi output keluaran pada array, dan sebagian inverter memiliki respon yang berbeda. Cara lain untuk menghindari masalah tersebut adalah menemukan dan memasang array pada daerah yang sedikit bahkan tidak ada bayangan pada siang hari. [17]

Sangat penting untuk memahami bayangan (shading) pada PLTS, terkhusus di daerah perkotaan di mana bangunan sekitarnya dan struktur dapat menghasilkan bayangan yang menghalangi cahaya matahari menyinari PLTS secara langsung. Bahkan sebagian kecil dari bayangan (shading) pada PLTS dapat secara signifikan mengurangi output energi yang dihasilkan. Idealnya, semua bagian atap harus tidak terdapat bayangan selama minimal 6 jam sehari antara itu 09:00-03:00. Analisis shading harus dilakukan untuk semua jam sinar matahari sepanjang tahun. Hal ini membantu dalam pemilihan lokasi terbaik untuk memasang modul surya dan memberikan estimasi yang lebih akurat dari output tahunan dari sistem PLTS. [18]

a. Efisiensi Inverter

Setiap inverter mempunyai efisiensi yang ditunjukkan pada spesifikasi dan data sheet produk. Efisiensi inverter tergantung pada input sebenarnya dari array. Untuk menghindari kurang efisiensinya maka kita harus memperhatikan

input yang masuk dari array, karena jika input berlebih maka efisiensi berkurang. Selain itu, karena efisiensi inverter secara langsung berkaitan pada suhu operasi maka, saat pemasangan inverter penting dilakukan untuk tidak memasang inverter dibawah matahari langsung. Selain itu, pada saat pemasangan inverter haruslah memiliki ventilasi yang tepat agar inverter dapat beroperasi dengan efisiensi maksimum

b. Radiasi Matahari

Ada dua sumber utama data untuk radiasi matahari di permukaan bumi yaitu pengukuran secara langsung dan perhitungan berdasarkan data satelit. Radiasi matahari adalah jumlah keseluruhan dari energi matahari yang diterima pada lokasi tertentu, biasanya dalam satuan kWh/m²/hari. Data insolasi matahari lebih digunakan untuk merancang sistem PLTS. Perhitungan radiasi matahari berdasarkan perhitungan secara global atau langsung yang diambil selama siang hari. Perhitungan biasanya menggunakan pyranometer atau pyrliometer. Dibeberapa lokasi, data ini dikumpulkan lebih dari 20 tahun. Dalam perhitungan berdasarkan data satelit yang terdapat pada meteorological database, termasuk database online yang memiliki informasi tentang radiasi matahari ini. Diantaranya adalah Photovoltaic Geographical System (PVGIS) dan database dari Surface Meteorological and Solar Energy (SMSE) dari NASA.

2.1.5 Analisis Simulasi PLTS

Untuk melakukan analisis ataupun simulasi pada PLTS dapat dilakukan beberapa cara. Dapat dilakukan dengan menggunakan *software* sebagai alat bantu

perencanaan PLTS. Dalam penelitian ini digunakan 2 jenis software yaitu Homer dan Helioscope. Adapun masing – masing dari software ini mempunyai fungsinya masing – masing dalam perencanaan PLTS.

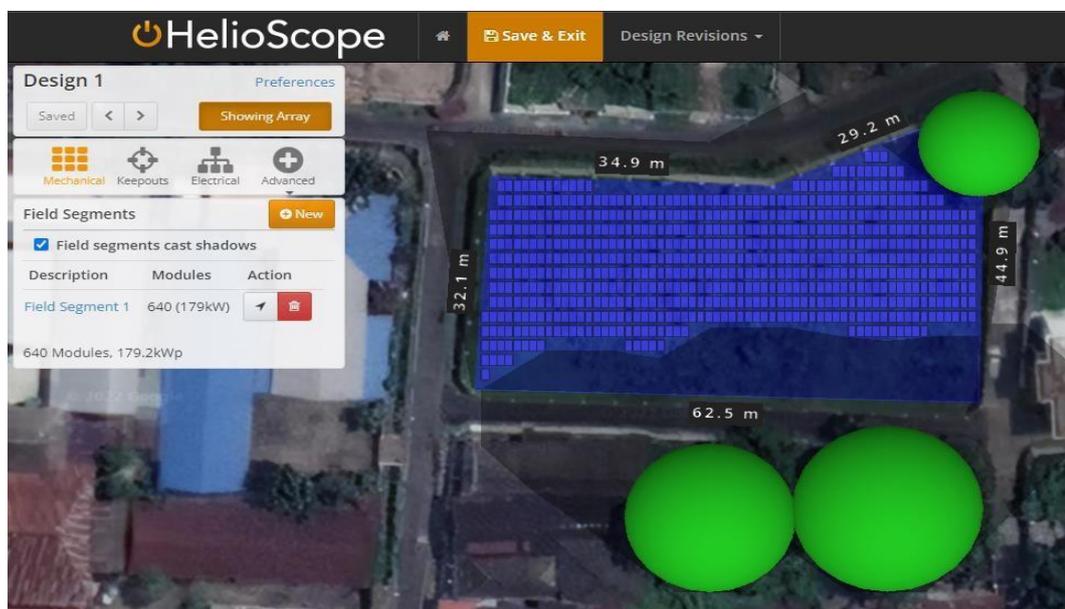
2.1.5.1 Aplikasi Helioscope

HelioScope adalah sebuah program desain berbasis web yang diperkenalkan oleh Folsom Labs yang memungkinkan para peneliti untuk melakukan simulasi lengkap perencanaan berupa tampilan 3D sehingga pengguna mampu mengetahui potensi shading ataupun performa masing-masing panel yang akan di tempatkan dari berbagai bidang posisi. Folsom Labs berdiri pada tahun 2011, dan pada saat itu belum ada aplikasi surya yang dibuat khusus yang dapat memadukan ketelitian ilmiah yang diperlukan untuk pemodelan fisika surya yang dapat diandalkan dengan pengetahuan produk teknis yang diperlukan untuk membuatnya kuat dan mudah digunakan. Folsom Labs mulai membuat software HelioScope, dan sejak itu telah digunakan untuk memodelkan proyek di lebih dari 200 negara dengan desain yang cukup untuk mengimbangi energi ekonomi terbesar di dunia berkali-kali. [31]

Pengguna Helioscope berkisar dari organisasi multinasional besar hingga bisnis keluarga kecil. Helioscope memiliki fitur yang sangat membantu dalam melakukan desain PLTS di sebuah atap gedung, adapun fitur yang terdapat pada software Helioscope diantaranya yaitu, melakukan desain dalam ruang lingkup 3 dimensi (3D), menghasilkan simulasi elektrikal dengan menampilkan single line diagram, membuat proposal (laporan) yang berkualitas dengan waktu yang singkat,

menentukan dengan cepat tata letak modul surya berdasarkan kondisi lahan, atap dan penghalang di sekitarnya.

Prinsip kerja dari simulasi ini menggunakan data input berupa spesifikasi teknis PLTS seperti teknologi modul surya, jenis inverter, jumlah dan jenis modul yang akan digunakan, dan luas area PLTS, sedangkan data lokasi PLTS mencakup koordinat, jenis atap bangunan, lingkungan sekitar PLTS dan data meteorologi pada Kantor Gubernur Bali.



Gambar 2.15 Tampilan HelioScope

Data yang digunakan HelioScope adalah data cuaca yang berasal dari stasiun cuaca di seluruh dunia dengan analisis TMY weather yaitu pemilihan kondisi cuaca yang sesuai dengan keadaan saat itu berdasarkan data 30 tahun terakhir. Setelah disimulasikan maka akan didapatkan hasil berupa data estimasi produksi energi pada Kantor Gubernur Bali. Hasil simulasi yang diperoleh oleh HelioScope tidak bisa menjadi acuan sepenuhnya dalam perkiraan energi yang dihasilkan oleh PLTS Kantor Gubernur Bali, dikarenakan ada beberapa faktor yang mampu

mempengaruhi PLTS dalam membangkitkan energi listrik pada kondisi riil sebagai contoh debu dan kotoran yang bisa terdapat kapan saja pada panel surya. [32]

2.2. Kajian Pustaka Relevan

Panel surya merupakan objek penelitian yang sangat sering dilakukan di Indonesia. Namun pengaruh bayangan terhadap daya keluaran panel surya jarang dilakukan, adapun penelitian yang membahas tentang bayangan pada panel surya adalah sebagai berikut :

Energi listrik pembangkit tenaga surya yang terhubung ke jaringan terpadu bergantung pada intensitas radiasi matahari. Namun, pada beberapa area pembangkit tenaga surya masih terdapat pohon dan gedung disekitarnya yang dapat menutupi sebagian area permukaan panel surya (partial shading). Penelitian ini 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 [14].

Peningkatan penggunaan panel surya meningkat pada kehidupan sehari-hari. Peningkatan tersebut dilakukan dengan kesadaran untuk mengurangi penggunaan

energi dari fosil dan juga mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh energi fosil. Penggunaan panel surya dapat dilihat pada penerangan lampu jalan, rumah tangga, dan industri. Pada implementasinya tidak semua iradiasi matahari masuk ke dalam panel surya, sehingga tercipta suatu keadaan yang disebut partial shading atau bayangan sebagian. Penelitian dilakukan 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% [13].

Jika terdapat bayangan yang kecil menutupi permukaan modul seperti akibat ranting pohon dan sumber bayangan lainnya, maka output daya dari modul akan mengalami penurunan yang signifikan karena panel surya terdiri dari rangkaian sel surya yang dihubungkan secara seri. Mengukur bayangan menjadi tantangan tersendiri karena sifat matahari yang bergerak sepanjang hari belum lagi bayangan yang mungkin juga ikut berubah akibat pengaruh lingkungan sekitar. Setelah dilakukan pemeliharaan terhadap penyebab bayangan pada Array PLTS UPDL Makassar, terdapat kenaikan output pada Pkl 06.00-12.00 pada array 2 sebesar 48% di atas 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% [12].

Efek bayangan yang terjadi secara alami karena bergerakaknya matahari sehingga pancarannya terkena pepohonan dan bangunan sebelum sampai ke permukaan panel surya tentunya memengaruhi terhadap daya keluaran yang dihasilkan pada PLTS. Penelitian ini menggunakan photovoltaic jenis polycrystalline, dengan data pengamatan di lakukan di lingkungan kampus IT-PLN. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa daya 51,75 Watt terjadi pukul 11.30 WIB, namun saat diperhitungkan secara data real daya keluarannya diperoleh sebesar 29,49 Watt pada daya puncaknya, itu berarti efek bayangan yang terjadi sebesar 84,217% pada pukul 12.30 WIB. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan terjadi penurunan daya sebesar 43,582 Watt sedangkan saat menggunakan perhitungan daya keluaran secara data real terjadi penurunan sebanyak 25,155 Watt dengan besar efek bayangan sebesar 85,311% dapat disimpulkan semakin besar nilai bayangan yang terjadi semakin kecil daya yang dihasilkan oleh sebuah panel surya [15].

Dari hasil pengukuran tegangan dan kuat arus pada output panel panel surya terjadi penurunan tegangan dan kuat arus disaat luasan bayangan bertambah yaitu dari tegangan dan kuat arus output awal (bayangan menutupi 10 % panel) panel surya 12.44 volt DC dan kuat arus sebesar 2,54 Amper setelah bayangan menutupi 100% tegangan panel terganggan panel surya menjadi 12.10 volt DC dan kuat arus

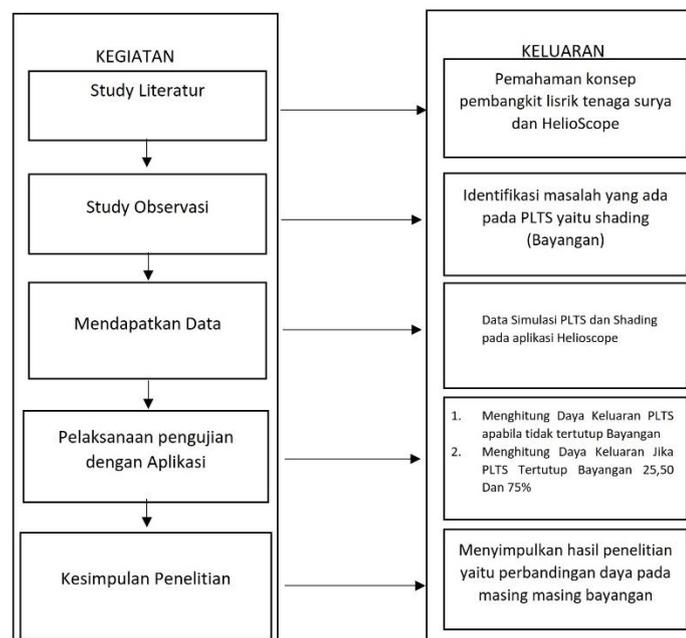
0.22Amper, Pengukuran pada output tegangan dan kuat arus pada batere juga menunjukkan penurunan yaitu pada tegangan dan kuat arus awal saat bayangan baru menutupi 10% panel surya tegangan pada batere 12.35 volt DC dan kuat arus pada batere 18.5 amper, setelah bayangan menutupi 100% panel tegangan output batere 11.90 volt DC dan kuat arus 13.85 amper. Tegangan output dan kuat arus pada inverter juga mengalami penurunan yaitu pada awal saat bayangan baru menutupi panel 10% tegangan output inverter 226.4 volt AC dan kuat arus 0.97 amper setelah bayangan menutupi 100% panel output tegangan inverter 220.2 volt AC dan kuat arus 0.66 amper [16]

PLTS adalah sistem pembangkit yang memanfaatkan sinar matahari yang nantinya akan dikonversikan menjadi energi listrik menggunakan PV. HOMER adalah suatu model sistem pembangkit skala kecil untuk mempermudah dalam mengevaluasi desain dari jaringan tunggal (off-grid) maupun jaringan yang terkoneksi dengan sistem (grid-connected). HOMER memungkinkan pemodelan untuk membandingkan banyak opsi desain yang berbeda berdasarkan manfaat teknis dan ekonomi mereka. Dengan menggunakan HOMER diharapkan dapat mengetahui konfigurasi sistem pembangkit yang optimal juga dapat mengetahui besar potensi energi terbarukan di Teknik Industri. Hasilnya dengan menggunakan HOMER di dapat konfigurasi yang optimal yaitu photovoltaic (PV)-Grid dengan 22.244 kWh/tahun untuk daya yang dihasilkan oleh PV dan 284.061 kWh/tahun daya yang disuplai oleh grid untuk memenuhi permintaan beban sebesar 305.305 kWh/tahun, dengan investasi awal sebesar \$13.597 pada HOMER menggunakan bunga sebesar 6 %. [29]

Pada penelitian yang dilakukan oleh M. A. Hossain dan kawan-kawan pada penelitiannya yang berjudul “*Performance Evaluation of 1.68 kWp DC operated Solar pump With Auto Tracker Using Microcontroller Based Data Acquisition System*”, Steven Chua dengan judul “*Light vs Distance*”. Pada penelitian tersebut menggunakan konversi 0,0079 W/m² per Lux [26]

2.3 Kerangka Berfikir

Untuk membantu dalam penyusunan penelitian ini, maka diperlukan adanya susunan kerangka berpikir yang jelas tahapannya. Kerangka ini merupakan langkah – langkah yang akan dilakukan dalam penyelesaian masalah yang akan dibahas. Adapun langkah – langkah dari kerangka berpikir dalam penelitian ini akan dijelaskan pada Gambar 2.11



Gambar 2.16 Kerangka Berfikir

Dari Gambar 2.14 yaitu tentang kerangka berpikir yang dimulai dari study literatur yang didapat dari referensi buku, para ahli, dan jurnal – jurnal terbaru. Hal

ini diperlukan guna tercapainya seluruh tahapan yang sudah disusun oleh penulis. Terkait pada study observasi dibutuhkan guna mendapatkan hasil. Sementara itu, pada tahapan pengolahan awal dibutuhkan data guna mengetahui intensitas cahaya matahari yang ada untuk di input kedalam aplikasi agar mempermudah proses analisis.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian yang dilakukan terfokus pada losses pada panel surya yang terjadi akibat shading ataupun bayangan yang menutupi permukaan panel surya. Data yang pertama kali dibutuhkan adalah data intensitas cahaya matahari yang dapat diambil melalui software HelioScope. Apabila intensitas matahari pada lokasi penelitian didapat maka selanjutnya memanfaatkan program pada komputer untuk mempermudah penulis dalam menganalisis pengaruh bayangan pada panel surya.

Adapun program atau aplikasi yang digunakan adalah HelioScope. Aplikasi HelioScope membantuk untuk mensimulasikan bayangan yang akan menutup PLTS, dimana simulasi shading dilakukan sebanyak 3 tahap yaitu bayangan menutup PLTS sebesar 25%, 50% dan 75%.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara simulasi dengan menggunakan aplikasi HOOMER dan HelioScope, adapun lokasi lapangan yang akan disimulasikan di Jln. William Iskandar Kota Medan (Jln. Pancing). Kemudian proses simulasi pemasangan PLTS pada lapangan dan bayangan menutup PLTS sebesar 25% 50% dan 75% menggunakan aplikasi Helioscope pada Jln. Muchtar Basri, laboratorium fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.3 Definisi Operasional Variabel

I Simbol dari arus listrik ataupun arus yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga surya

V	Simbol dari tegangan listrik ataupun tegangan keluaran yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga surya
P	Simbol dari daya listrik , dimana P dihasilkan dari perkalian antara tegangan (V) dan Arus Listrik (I)
Watt	Satuan dari daya listrik (P)
WP	Kepanjangan dari Watt Peak artinya adalah kemampuan panel surya untuk menghasilkan daya selama matahari bersinar terik
Ah	Ampere Hour adalah satuan dari kapasitas baterai
Lux	Satuan dari intensitas cahaya matahari yang diukur menggunakan alat ukur Lix Meter
W/m^2	Satuan dari radiasi matahari
Ampere	Satuan dari arus listrik (I)
Volt	Satuan dari Tegangan Listrik (Volt)
$\cos \phi$	Cos Phi (Faktor Daya)
t	Waktu (Second)

3.4 Teknik Simulasi

Simulasi dilakukan sepenuhnya menggunakan aplikasi Helioscope, dimana simulasi dilakukan 4 tahap yaitu simulasi tanpa shading, shading 25%, shading 50% dan shading sebesar 75% :

1. Simulasi Tanpa Shading

Simulasi tanpa shading ini dilakukan diawali dengan perencanaan PLTS pada lokasi penelitian dan menghitung berapa kapasitas terpasang dan daya keluaran pada PLTS yang telah dirancang. Pada tahap tanpa shading ini PLTS direct

dengan cahaya matahari yaitu PLTS tidak terhalang oleh bayangan ataupun shading.

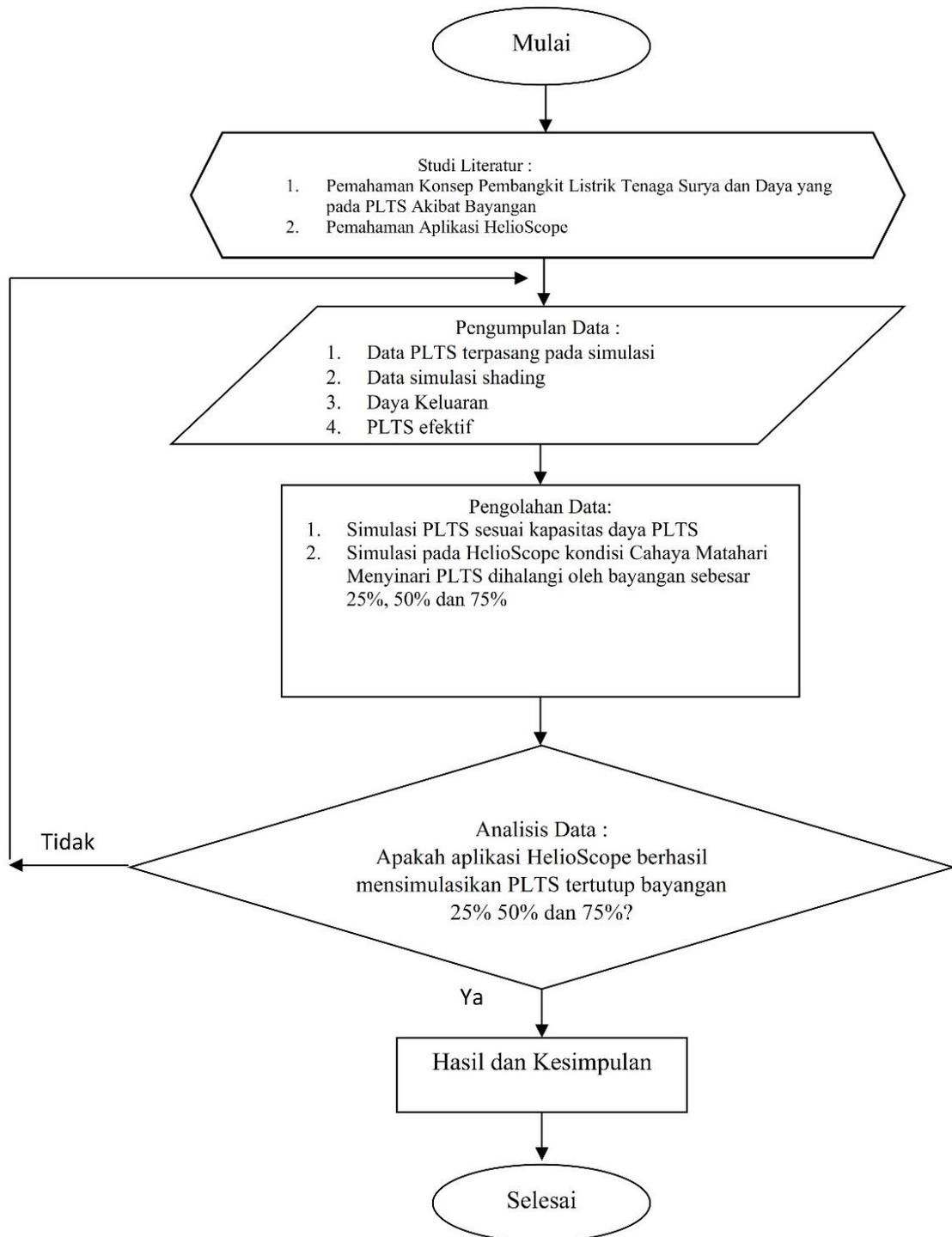
2. Shading 25%

Pada tahap ini simulasi shading digunakan, dimana shading akan diaplikasikan pada PLTS yang telah dirancang pada atap laboratorium fakultas Teknik UMSU. Dimana shading disetting melalui Gedung yang disumulasikan yang akan menutup 25% dari total 100% PLTS yang telah dirancang. Kemudian akan dihitung berapa kapasitas PLTS yang efektif digunakan dan berapa daya keluaran PLTS.

3. Shading 50% dan 75%

Pada tahap ini shading disetting menutupi 50% dan 75% bagian dari PLTS yang telah dirancang dan akan dihitung berapa kapasitas PLTS yang efektif digunakan dan berapa daya keluaran PLTS tersebut.

3.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

Dari Flowchart penelitian pada gambar 3.1, dapat dideskripsikan langkah alur penelitian sebagai berikut :

1. Mulai penelitian
2. Melakukan studi literatur yaitu mencari dan memahami beberapa referensi mengenai PLTS dan aplikasi HOOMER dan HelioScope untuk memudahkan proses penelitian dan memantapkan landasan teori penulis untuk melakukan penelitian.
3. Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengukur secara manual data yang ada pada lokasi penelitian dengan menggunakan alat ukur intensitas cahaya matahari selama beberapa hari untuk mendapatkan hasil ataupun nilai intensitas cahaya matahari.
4. Setelah data diperoleh selanjutnya adalah proses simulasi yang akan dilakukan, data yang ada akan dimasukkan ke aplikasi kemudian luas lapangan akan didesign terlebih dahulu berapa muatan PLTS yang efektif jika dipasang pada lapangan tersebut dengan luas yang telah diketahui.
5. Selanjutnya pengolahan data, juga dilakukan simulasi apabila PLTS tertutup bayangan sebesar 25% 50% dan 75% dan daya yang dihasilkan akan dicatat yang kemudian akan dibandingkan.
6. Aplikasi HelioScope berhasil mensimulasikan bayangan yang ada maka tahap selanjutnya adalah perbandingan setiap bayangan.
7. Kemudian kesimpulan dari penelitian

3.6 Teknik Analisis Data

Pengumpulan data pada penelitian ini yaitu :

1. Data simulasi yang telah dilakukan yaitu shading 25%, 50%, 75% dan tanpa shading kemudian akan dilihat berapa kapasitas PLTS yang efektif digunakan pada masing – masing shading.
2. Kemudian dilihat juga daya keluaran yang dihasilkan PLTS pada masing-masing simulasi shading dan tanpa shading.
3. Data dari masing – masing simulasi akan dirangkum kedalam satu table dan Digambar kedalam bentuk grafik kemudian akan dilihat perbandingan dari hasil simulasi yang dilakukan.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan secara simulasi untuk melihat daya keluaran ataupun output PLTS yang dipasang pada gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan. Seseuai dengan slip pembayaran gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan, jumlah daya terpasang pada gedung disuplai penuh oleh PT.PLN dengan kapasitas daya tarif bisnis (B3) yaitu 240.000 VA atau 240 kVA. Dimana daya digunakan untuk mensuplai semua beban yang ada pada gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan.

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) disimulasikan kedalam software Helioscope dimana beban yang digunakan sebagai sample penelitian adalah beban pada gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan. Pada simulasi ini PLTS yang direncanakan dipasang off-grid atau berdiri sendiri (tidak terhubung dengan PLN) dengan suplai daya cadangan menggunakan genset.

Adapun tingkat intensitas cahaya matahari pada lokasi penelitian didapat melalui software HOMER. Data intensitas cahaya matahari pada lokasi penelitian adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Intensitas Cahaya Matahari Lokasi Penelitian

Bulan	Daily Radiation (kWh/m ² /day)
Jan	4,490
Feb	4,990
Mar	5,020
Apr	4,870

Bulan	Daily Radiation (kWh/m ² /day)
May	4,770
Jun	4,710
Jul	4,560
Aug	4,520
Sep	4,270
Oct	4,280
Nov	4,080
Des	4,130

(Sumber : *Nasa Prediction* 1983-2020)

Dari Tabel 4.2 didapat data rata – rata intensitas cahaya matahari setiap harinya pada lokasi penelitian selama 12 Bulan. Dari data tersebut rata – rata intensitas cahaya matahari (ESH) adalah sebesar 4,56 kWh/m²/hari. Maka untuk menentukan kapasitas PLTS yang mampu mensuplai beban yang ada, digunakan persamaan 2.1. Data yang dibutuhkan adalah data beban perhari dan data intensitas cahaya matahari. Maka dari beban dan data ESH yang ada kapasitas PLTS yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas PLTS (Wp)} &= \frac{\text{Beban Per Hari}}{\text{ESH}} \\
 &= \frac{2.203,042}{4,56} \\
 &= 483.123,24 \text{ Wp}
 \end{aligned}$$

Dari kapasitas PLTS yang ada dikalikan dengan 25% yaitu rugi – rugi pada sistem. Maka total kapasitas PLTS yang harus dipasang untuk mensuplai beban adalah sebesar 603.904 Wp. Apabila kapasitas PLTS per modul yang digunakan adalah sebesar 320 Wp maka jumlah PLTS yang harus dipasang adalah sebanyak 1.887,2 dibulatkan sebanyak 1.888 modul panel surya kapastias 320 Wp.

4.1.1 Beban Yang Disuplai

Adapun Klasifikasi beban yang telah dihitung pada Gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan ini adalah sebagai berikut :

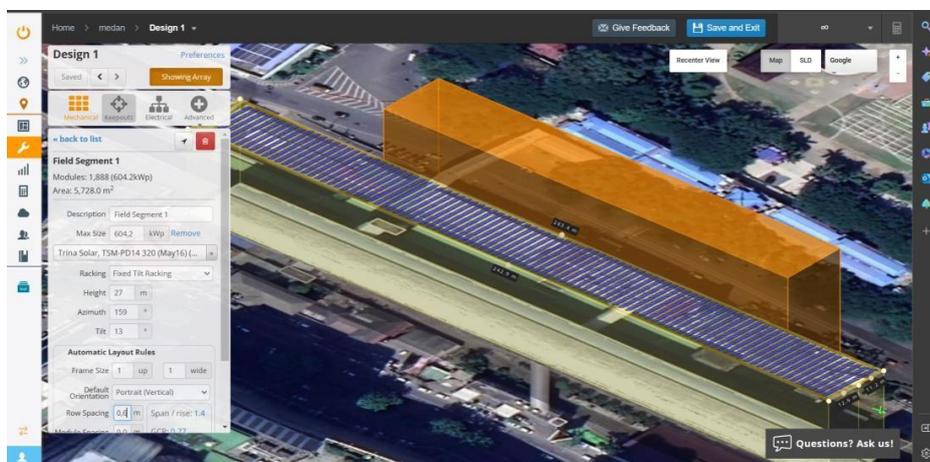
Tabel 4.2 Beban Gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan

No	Nama Area	Konsumsi Energi (kWh/Hari)			
		Penerangan	AC	Beban Lain	Jumlah
A	Lantai 1	33,134	357,33	212,127	602,591
B	Lantai 2	34,874	469,34	222,006	726,22
C	Lantai 3	32,913	441,56	396,958	871,31
Total		100,921	1.268,23	828,891	2.203,042

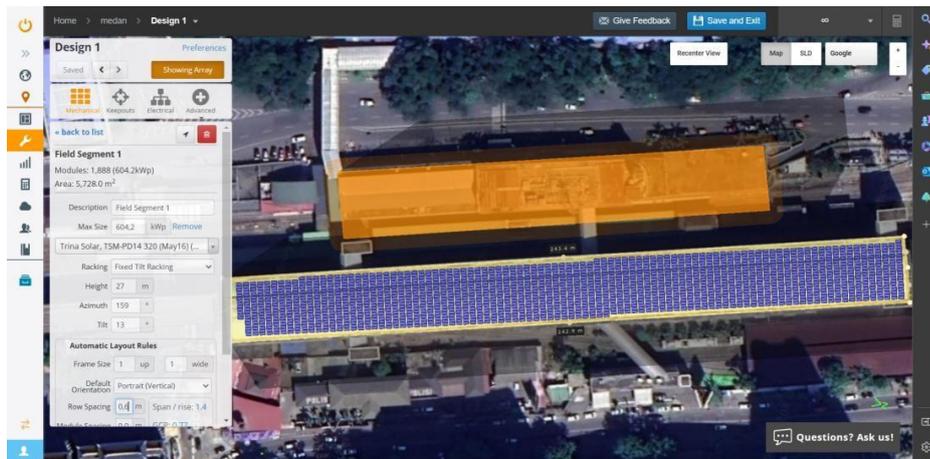
Pada Tabel 4.1 dapat dilihat total beban pada Gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan adalah sebesar 2.203,042kWh/ hari atau 2.203.042 Wh/hari.

4.1.2 Daya PLTS Tanpa Hambatan

Setelah didapat jumlah modul yang akan dipasang untuk mensuplai beban yang ada, maka pada software Helioscope dilakukan simulasi pemasangan PLTS pada atap gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan. Adapun hasil pemasangan PLTS secara simulasi adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Tampak Samping



Gambar 4.2 Tampak Atas

Pada simulasi ini terpasang kapasitas PLTS dengan masing – masing panel Trina Solar TSM-PD14 dengan dimensi 1960 mm x 992 mm berkapastias 320 Wp, dan dipasang pada *roof top* dengan luas area 5.728 m². Dari PLTS yang terpasang sebanyak 1.888 modul plts dengan kapastias 320 Wp dapat menghasilkan daya sebesar 604,2 kWp atau daya keluaran yang dapat dihasilkan per harinya sebesar 604,2 kWp x 4,56 (ESH pada lokasi penelitian) yaitu 2.755.152 Watt/hari. Adapun grafik daya keluaran PLTS adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik Keluaran PLTS Tanpa Hambatan

Maka dapat dilihat apabila PLTS terpasang tanpa adanya hambatan (bayangan) yang menutupi maka daya keluaran yang dihasilkan mampu untuk membebani total beban yang ada pada gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan.

4.1.3 Daya PLTS Dengan Hambatan Bayangan (25%, 50% dan 75%)

Untuk simulasi bayangan digunakan simulasi Gedung yang berada pada bagian samping gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan. Dimana luas bangunan yang akan disimulasikan sebagai penutup yang akan menjadi shading dan tinggi bangunan akan disesuaikan sesuai dengan kebutuhan shading yang akan digunakan.



Gambar 4.4 Bangunan sebagai simulasi bayangan yang akan digunakan.

Pada penelitian ini dilakukan simulasi shading sebanyak 3 tahap, tahap pertama PLTS tertutup shading sebesar 25% tahap selanjutnya PLTS tertutup sebesar 50% dan terakhir sebesar 75%.

4.1.3.1 Shading 25%

Pada simulasi ini pembangkit listrik tenaga surya yang telah direncanakan akan tertutup shading oleh Gedung sebesar 25%. Dari jumlah total Modul panel surya sebanyak 1.888 modul, maka 25% yang akan ditutupi adalah sebanyak 472

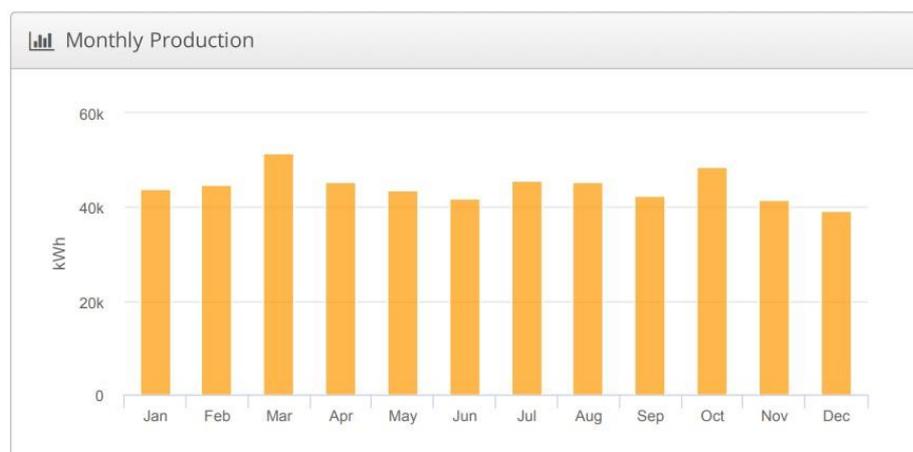
Modul sehingga banyaknya modul yang tidak tertutup shading adalah sebanyak 1.416

Modul. Gedung disetting setinggi 60 m atau setara dengan gedung 13 lantai sehingga bagian PLTS tertutup sebesar 25%.



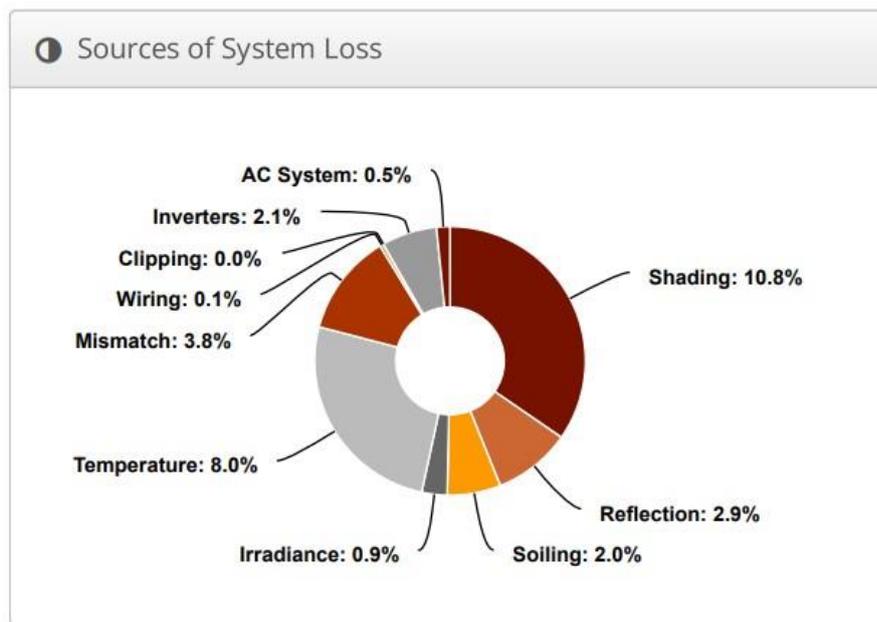
Gambar 4.4 Shading 25%

Pada gambar 4.4 dapat dilihat terdapat penurunan kapasitas efektif yang dapat digunakan yaitu dari 604,2 kWp menjadi 453,4 kWp. Pada tahap shading sebesar 25% Adapun daya keluaran total PLTS dapat dilihat pada grafik sebagai berikut :



Gambar 4.5 Konsumsi Energi Shading 25%

Adapun grafik losses pada PLTS yang disimulasikan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.6 Rugi – Rugi pada PLTS

Dari hasil simulasi shading 25% terhadap PLTS dapat dilihat terdapat penurunan kapasitas dan daya keluaran yang diakibatkan shading paling besar yaitu sebesar 10.8%, Dimana losses ini berdampak kepada jumlah PLTS yang efektif digunakan (tidak terkena bayangan). Sehingga adapun hasil dari simulasi pada shading dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.3 Hasil Shading 25%

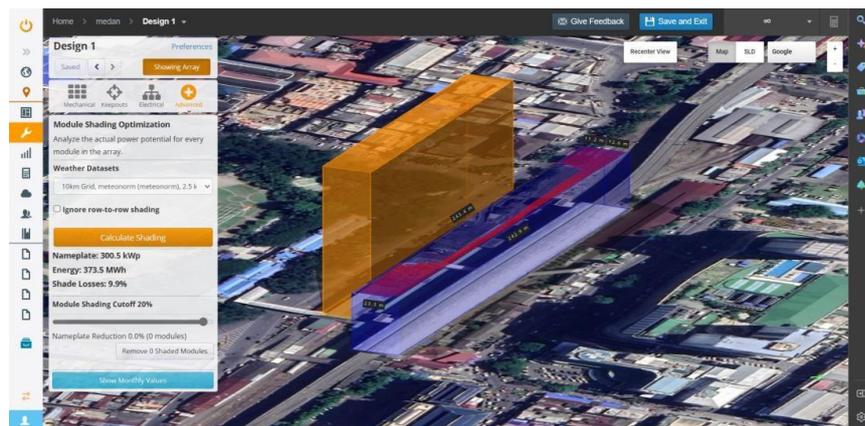
Kapasitas Module Awal	604,2 kWp
Kapasitas Module Efektif Setelah Shading 25%	453,4 kWp
Penurunan (%)	24%

Dari hasil simulasi shading sebesar 25% dapat dilihat pembangkit listrik tenaga surya dengan kapasitas awal sebesar 604,2 kWp hanya sebesar 453,4 kWp

yang efektif digunakan. Sehingga akibat shading kapasitas PLTS mengalami penurunan sebesar 24%.

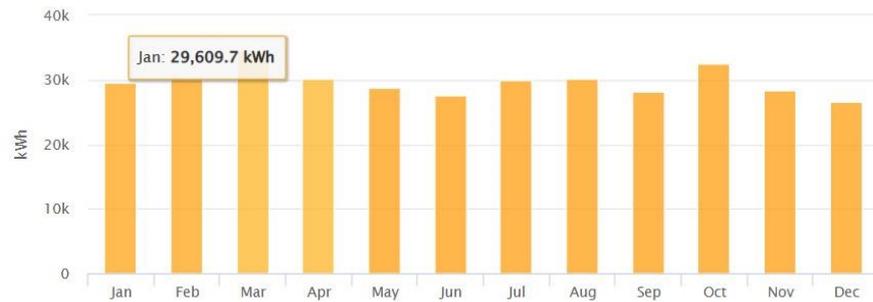
4.1.3.2 Shading 50%

Pada simulasi ini pembangkit listrik tenaga surya yang telah direncanakan akan tertutup shading oleh Gedung sebesar 50%. Dari jumlah total Modul panel surya sebanyak 1.888 modul, maka 50% yang akan ditutupi adalah sebanyak 944 Modul sehingga banyaknya modul yang tidak tertutup shading adalah sebanyak 944 Modul. Gedung disetting setinggi 71 m atau setara dengan gedung 16 lantai sehingga bagian PLTS tertutup sebesar 50%.



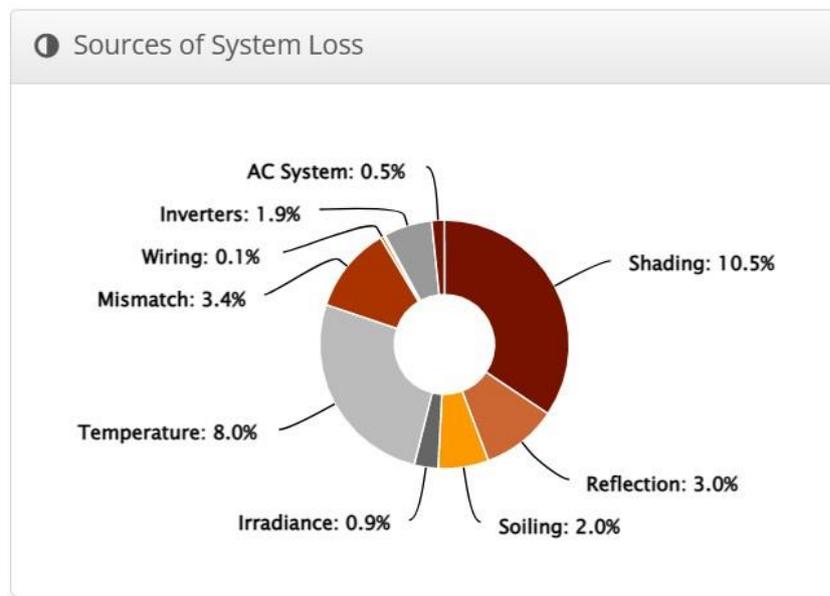
Gambar 4.7 Shading 50%

Pada gambar 4.7 dapat dilihat terdapat penurunan kapasitas efektif yang dapat digunakan yaitu dari 604,2 kWp menjadi 300,5 kWp. Pada tahap shading sebesar 50% Adapun daya keluaran total PLTS dapat dilihat pada grafik sebagai berikut :



Gambar 4.8 Konsumsi Energi Shading 50%

Adapun grafik losses pada PLTS yang disimulasikan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.9 Rugi – Rugi pada PLTS

Dari hasil simulasi shading 50% terhadap PLTS dapat dilihat terdapat penurunan kapasitas dan daya keluaran yang diakibatkan shading paling besar yaitu sebesar 10.5%, Dimana losses ini berdampak kepada jumlah PLTS yang efektif digunakan (tidak terkena bayangan). Sehingga adapun hasil dari simulasi pada shading dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.4 Hasil Shading 50%

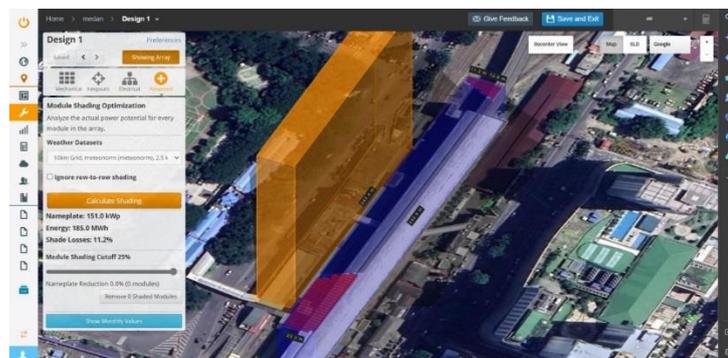
Kapasitas Module Awal	604,2 kWp
-----------------------	-----------

Kapasitas Module Efektif Setelah Shading 50%	300,5 kWp
Penurunan (%)	49%

Dari hasil simulasi shading sebesar 50% dapat dilihat pembangkit listrik tenaga surya dengan kapasitas awal sebesar 604,2 kWp hanya sebesar 300,5 kWp yang efektif digunakan. Sehingga akibat shading kapasitas PLTS mengalami penurunan sebesar 49%.

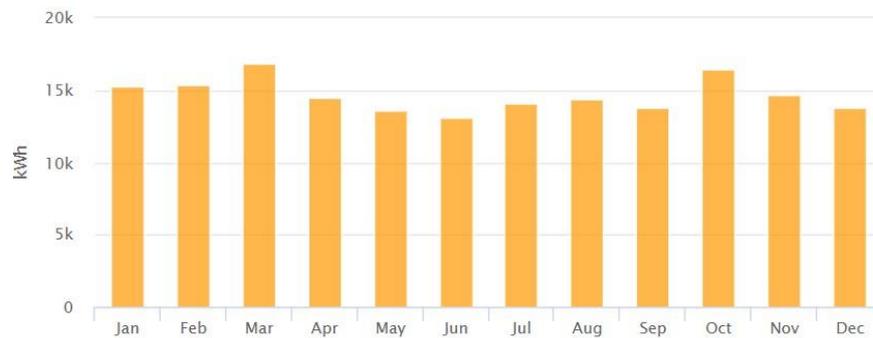
4.1.3.2 Shading 75%

Pada simulasi ini pembangkit listrik tenaga surya yang telah direncanakan akan tertutup shading oleh Gedung sebesar 75%. Dari jumlah total Modul panel surya sebanyak 1.888 modul, maka 75% yang akan ditutupi adalah sebanyak 1.416 Modul sehingga banyaknya modul yang tidak tertutup shading adalah sebanyak 472 Modul. Gedung disetting setinggi 111 m setara dengan gedung 25 lantai sehingga bagian PLTS tertutup sebesar 75%.



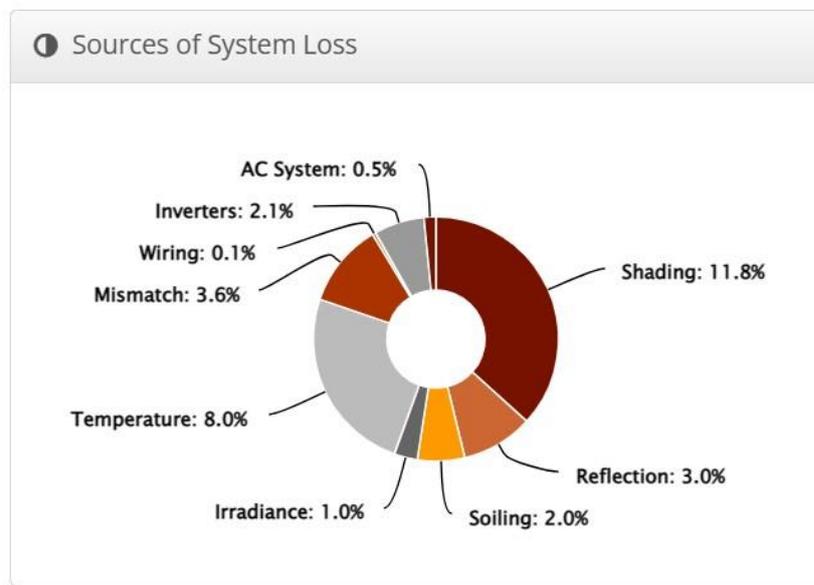
Gambar 4.10 Shading 75%

Pada gambar 4.10 dapat dilihat terdapat penurunan kapasitas efektif yang dapat digunakan yaitu dari 604,2 kWp menjadi 151 kWp. Pada tahap shading sebesar 25% Adapun daya keluaran total PLTS dapat dilihat pada grafik sebagai berikut :



Gambar 4.11 Konsumsi Energi Shading 75%

Adapun grafik losses pada PLTS yang disimulasikan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.12 Rugi – Rugi pada PLTS

Dari hasil simulasi shading 75% terhadap PLTS dapat dilihat terdapat penurunan kapasitas dan daya keluaran yang diakibatkan shading paling besar yaitu sebesar 11.8%, Dimana losses ini berdampak kepada jumlah PLTS yang efektif digunakan (tidak terkena bayangan). Sehingga adapun hasil dari simulasi pada shading dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.5 Hasil Shading 50%

Kapasitas Module Awal	604,2 kWp
Kapasitas Module Efektif Setelah Shading 75%	151 kWp
Penurunan (%)	75%

Dari hasil simulasi shading sebesar 75 % dapat dilihat pembangkit listrik tenaga surya dengan kapasitas awal sebesar 604,2 kWp hanya sebesar 151 kWp yang efektif digunakan. Sehingga akibat shading kapasitas PLTS mengalami penurunan sebesar 75%.

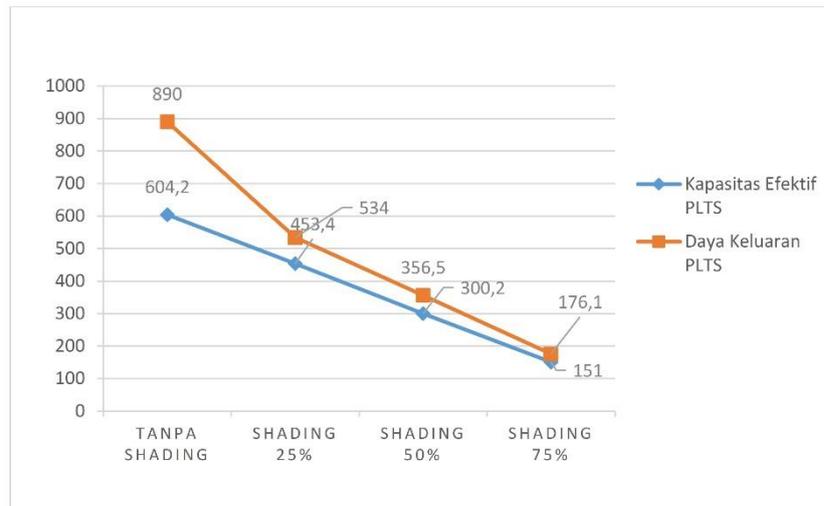
4.2 Pembahasan

Setelah dilakukan simulasi sebanyak 4 tahap yaitu tertutup bayangan sebesar 25%, 50% dan 75% serta simulasi perencanaan pembangkit listrik tenaga surya direct ataupun tanpa terhalang oleh bayangan. Adapun hasil dari simulasi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Shading

Kapasitas Terpasang PLTS (Kw)	Shading	PLTS Efektif (kWp)	Daya Keluaran/Tahun (MWh)
604,2	Tanpa Shading	604,2	890,3
	Shading 25%	453,4	534
	Shading 50%	300,2	356,5
	Shading 75%	151	176,1

Dari table 4.5 dapat dilihat hasil simulasi dari shading yang telah dilakukan, terdapat kapasitas PLTS yang efektif digunakan apabila terdampak shading dan daya keluaran dari PLTS Ketika tertimpa shading dan tanpa shading. Maka dari table 4.7 dapat dihasilkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.12 Grafik hasil Simulasi

Dari grafik simulasi dapat dilihat semakin besar shading yang mengenai PLTS maka semakin kecil pula jumlah panel yang efektif digunakan dan semakin kecil daya keluaran yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya. Pada keadaan tanpa shading PLTS dengan kapasitas 604 kWp dapat menghasilkan daya sebesar 890 MWh. Sedangkan pada kondisi shading 25% daya keluaran menurun menjadi 534 MWh, Ketika shading sebesar 50% daya keluaran yang dihasilkan sebesar 365MWh dan Ketika shading sebesar 75% pengurangan daya terjadi sangat signifikan menjadi 176 MWh.

Jika kita melihat Tabel 4.1 yaitu tabel beban pada Gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan. Apabila PLTS yang dipasang tidak ada halangan (shading) yang menutup bagian PLTS, maka sistem PLTS mampu untuk mensuplai beban yang ada pada Gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan. Namun ketika PLTS tertutup oleh bayangan maka semakin berkurang pula daya keluaran dari PLTS seperti pada grafik 4.12. Semakin besar permukaan PLTS tertutup oleh bayangan maka semakin

besar pula presentase daya yang berkurang. Maka dalam keadaan PLTS tertutup bayangan, PLTS hanya dapat mensuplai beban seperti pada Tabel 4.6 berikut :

Tabel 4.7. Kemampuan PLTS mensuplai beban

Shading	Kapasitas Efektif PLTS (kWp)	Daya Keluaran PLTS / Tahun (MWh)	Daya Keluaran PLTS / Hari (kWh)	Beban / hari (kWh)			Total Beban/Hari (kWh)
				Penerangan	AC	Beban Lain	
				100,921	1.268,23	828,891	
No Shade	604,2	890,3	2.432	✓	✓	✓	2.203
25%	453,4	534	1.459	✓	✓	-	1.368
50%	300,2	356,5	974	✓	-	✓	929
75%	151	176,1	481	✓	-	-	100,921

Dari Tabel 4.6 dapat dilihat apabila sistem PLTS tertutup bayangan 25% maka hanya mampu untuk membebani beban Penerangan dan AC saja yaitu sebesar 1.368 kWh/hari. Sedangkan untuk PLTS tertutup bayangan 50% maka sistem hanya mampu membebani penerangan dan beban lainnya yaitu sebesar 929 kWh/hari. Sedangkan jika sistem PLTS tertutup bayangan sebesar 75% maka hanya mampu membebani penerangan saja yaitu sebesar 100,921 kWh/hari.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan data yang diperoleh dan setelah melakukan penghitungan berdasarkan 3 (tiga) klasifikasi beban, maka diperoleh total beban pada Gedung PT. KAI Bandara Cabang Medan yang digunakan sebagai sample pada simulasi PLTS adalah sebesar 2.203,042kWh/ hari.
2. Pada simulasi perencanaan yang dilakukan menggunakan software Helioscope, daya keluaran PLTS berkapasitas 604,2 kWp tanpa shading atau direct dengan cahaya matahari adalah 890,3 MWh/tahun.
3. Pada saat kondisi PLTS tertutup bayangan sebesar 25%, PLTS yang efektif digunakan berkapasitas sebesar 453,4 kWp dan daya keluaran yang dihasilkan adalah sebesar 534 MWh. Pada kondisi shading 50% PLTS efektif yang dapat digunakan 300,2 kWp dengan daya keluaran 356,5 MWh dan pada saat kondisi 75% PLTS efektif hanya 176,1 kWp dan daya keluaran 481 MWh
4. Setelah permukaan panel terkena shading sebesar 25%, PLTS hanya mampu membebani penerangan dan AC. Pada kondisi permukaan panel terkena shading sebesar 50%, PLTS hanya mampu membebani beban penerangan dan beban lainnya, sedangkan pada shading sebesar 75% PLTS hanya mampu membebani beban penerangan saja.

5.2 Saran

1. Dapat digunakan jenis aplikasi lainnya untuk mendapatkan hasil perbandingan simulasi pada bayangan yang berfariatif.
2. Melakukan penelitian rugi – rugi atau losses pada PLTS diluar daripada dampak shading ataupun tertutup bayangan.

DAFTAR PUSTAKA

[1]	A. Roppel, Thaddeus, and Charles A. Gross. "Fundamentals of Electrical Engineering". CRC Press : Boca Raton London New York. 2012
[2]	Rizki, Fajar, dkk, 2020. Modifikasi Model Rak Alat Pengering Tipe Hybrid Pada Pengeringan Ikan Keumamah. <i>Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian</i> , 5,1.
[3]	Jamal, Jamal & Lewi, Lewi, 2020. Analisis Kinerja Dan Laju Pengeringan Pada Pengering Hybrid Dengan Variasi Sumber Energi Pemanas. Prosiding 4th Seminar
[4]	Sihotang, G. H. (2019). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop di Hotel Kini Pontianak. <i>Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura</i> , 1(1).
[5]	Umar, Adi Soeprijanto, Mauridhi Hery Purnomo, "Pemanfaatan Pembangkit listrik Tenaga Surya". Yogyakarta, 21 Juni 2008
[6]	Naim Kurniawati. "Aplikasi Sel Surya Pada komplek Perumahan Orchid Cycle". Universitas Hasanuddin. 2008
[7]	Romasindah, Karlina. "Optimasi Kinerja Panel Surya Melalui Pengaturan Susunan Panel untuk Menekan Biaya Bangunan". Depok: Universitas Indonesia. 2008
[8]	Penangsang, Ontoseno. 2012. "Keuntungan dan Kerugian Energi Surya Di Indonesia". Surabaya: ITS Press.
[9]	Bernal-Agustin, Duflo-lopez, "Renewable Energy ". <i>Journal</i> 31, 2006
[10]	Syukriyadin. "Pembangkit Listrik Tenaga Surya". Volume 5. No1. Jurusan Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala. 2006
[11]	Hanna, Patricia. " Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan Berbasis
[12]	A. Mansur, "Analisa Dampak Bayangan Modul Terhadap Output Plts," <i>Energi & Kelistrikan</i> , Vol. 11, No. 2, Pp. 160–169, 2019, Doi: 10.33322/Energi.V11i2.746.
[13]	A. Giyantara And R. B. Rizqullah, "Pengaruh Partial Shading Terhadap Daya Keluaran Pada Panel Surya," <i>Semin. Nas. ...</i> , 2020, [Online]. Available

[14]	B. S. Aprillia, M. Rafiqy, And A. Rizal, “Investigasi Efek Partial Shading Terhadap Daya Keluaran Sel Surya,” <i>Politek. Caltex Riau</i> , Vol. 5, No. 2, Pp. 9–17, 2019.
[15]	. S., S. D. Purwanto, M. Fikri, And C. Christiono, “Dampak Bayangan Pada Panel Surya Terhadap Daya Keluaran Photovoltaic,” <i>Setrum Sist. Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer</i> , Vol. 9, No. 2, Pp. 50–62, 2020, Doi: 10.36055/Setrum.V9i2.9202.
[16]	E. P. D. Hattu, J. A. Wabang, And A. Palinggi, “Pengaruh Bayangan Terhadap Output Tegangan Dan Kuat Arus Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) . 4 Volt Ac Inverter Current And 0 . 97 Amperage , 100 % Covering The Output Voltage,” Vol. 11, No. November, 2018.
[17]	Alvianingsih, Ginas, and Julius Christian Hasiholan Simanjuntak. 2021. “Analisis Tekno-Ekonomi Hibrid Sistem PLTD PLTS Di Pulau Gersik, Belitung Menggunakan Perangkat Lunak Homer.” <i>Sutet</i> 11(1): 1–12.
[18]	Bachtiar, Ibnu Kahfi, and Mhd. Syafik. 2016. “Rancangan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga Menggunakan Software HOMER Untuk Masyarakat Kelurahan Pulau Terong Kecamatan Belakang Padang Kota Batam.” <i>Jurnal Sustainable</i> 5(2): 17–22.
[19]	Chamdareno, Prian Gagani, and Hamzah Hilal. 2018. “Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid PLTD-PLTS Di Pulau Tunda Serang Banten.” <i>RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTRik kOmputeR)</i> 1(1): 35.
[20]	Khairuzzaman, M Qadafi. 2016. “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTMH).” 4(1): 64–75.
[21]	Manullang Tua Ragidup, Nugroho Agung, and Sinuraya Wisata Enda. 2020. “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Software Homer Di Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro.” 9(2): 148– 56.
[22]	Windarta, Jaka et al. 2019. “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berbasis Homer Di SMA Negeri 6 Surakarta Sebagai Sekolah Hemat Energi Dan Ramah Lingkungan.” <i>Prosiding Seminar Nasional MIPA 2019 Universitas Tidar</i> : 21–36.
[23]	Wurangian, Jufo A., Meita Rumbayan, and Novi M. Tulung. 2021. “Jurnal_Skripsi_-_Jufo_Wurangian Perancangan Solar Home System Menggunakan.” <i>Jurusan Teknik Elektro</i> : 1–7.

[24]	Yogyakarta, S M A Muhammadiyah. 2020. "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Pln Di."
[25]	Muhammad Samsul Anrokhi, Mahardika Yoga Dermawan, Ali Komarudin, Kiki Kananda " Analisis Potensi Energi Matahari Di ITS : Pertimbangan Faktor Kelembaban dan Suhu ", 2019 Journal Itera
[26]	Bachtiar, Ibnu Kahfi, and Mhd. Syafik. 2016. "Rancangan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga Menggunakan Software HOMER Untuk Masyarakat Kelurahan Pulau Terong Kecamatan Belakang Padang Kota Batam." <i>Jurnal Sustainable</i> 5(2): 17–22.
[27]	Manullang Tua Ragidup, Nugroho Agung, and Sinuraya Wisata Enda. 2020. "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Software Homer Di Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro." 9(2): 148–56.
[28]	Darno, Yohannes, Taufiqurrahman. 2020 " Studi Perencanaan Modul Praktikum Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tanjung Pura Pontianak Indonesia.
[29]	Pramudita, Brahmantya Aji, Bandiyah Sri Aprillia, and Mohamad
[30]	Ramdhani. 2021. "Analisis Ekonomi on Grid PLTS Untuk Rumah 2200 VA." <i>Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan (JuLIET)</i> 1(2): 23–27.
[31]	Surya, Tubagusjaka. 2018. "Analisa Perhitungan Tegangan Dan Arus Pada Penggunaan Motor Pompa Air Dc Yang Disuplai Oleh Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya." <i>Tugas Akhir</i> : 66.
[32]	Wicaksana, M R, I N S Kumara, I A D Giriantari, and R Irawati. 2019. "Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop 158 KWp Pada Kantor Gubernur Bali." <i>Jurnal SPEKTRUM</i> 6(3): 107–13.
[33]	Gede Civavisna Brahma, I, I Nyoman Satya Kumara, and Ida Ayu Dwi Giriantari. 2021. "Juni 2021 I Gede Civavisna Brahma, I Nyoman Satya Kumara." <i>Ida Ayu Dwi Giriantari</i> 8(2): 249–56.
[34]	Fahrul Salam " Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Perahu Nelayan" Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, 2020
[35]	Tjasyono, Bayong. 2004. <i>Klimatologi</i> . Institut Teknologi Bandung, Jurnal Teknik Elektro, Bandung

[36]	Prawiwardoyo, Susilo. 1996. Meteorologi. Institut Teknologi Bandung, Jurnal Radiasi Matahari, Bandung Kartasapoetra, Ance Gunarsih. 2004. Klimatologi. Jakarta : Bumi Aksara
[37]	Purwoto, Bambang Hari. 2018. “Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif.” <i>Emitor: Jurnal Teknik Elektro</i> 18(01):10–14.