

TUGAS AKHIR - TM184835

**ANALISIS PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
SURYA PADA GEDUNG PARKIRAN BERTINGKAT
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN ITS**

FRANCIS ALEXANDER

NRP 02111840000116

Dosen Pembimbing

Bambang Arip Dwiyantoro, S.T., MSc.Eng., Ph.D.

NIP 19780401 200212 1 001

Program Studi Sarjana

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

TUGAS AKHIR - TM184835

**ANALISIS PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
SURYA PADA GEDUNG PARKIRAN BERTINGKAT
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN ITS**

FRANCIS ALEXANDER

NRP 02111840000116

Dosen Pembimbing

Bambang Arip Dwiyantoro, S.T., MSc.Eng., Ph.D.

NIP 19780401 200212 1 001

Program Studi Sarjana

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

FINAL PROJECT - TM184835

***ANALYSIS OF SOLAR POWER PLANT PLANNING AT ITS
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT MULTI-
STOREY PARKING LOT***

FRANCIS ALEXANDER

NRP 02111840000116

Advisor

Bambang Arip Dwiyantoro, S.T., MSc.Eng., Ph.D.

NIP 19780401 200212 1 001

Undergraduate Study Program

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEM ENGINEERING

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA PADA GEDUNG PARKIRAN BERTINGKAT DEPARTEMEN TEKNIK MESIN ITS

TUGAS AKHIR

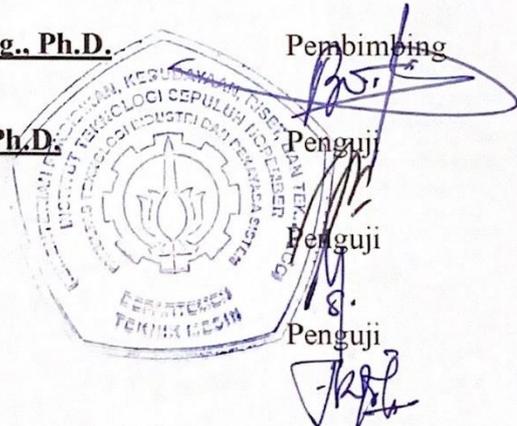
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana
Program Studi S-1
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Francis Alexander
NRP. 0211184000116

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Bambang Arip Dwivantoro, S.T., MSc.Eng., Ph.D.**
2. **Ary Bachtiar Krishna Putra, S.T., M.T., Ph.D.**
3. **Dr. Is Bunyamin Suryo, S.T., M.Sc.**
4. **Tri Vicca Kusumadewi, S.T., M.Sc**



SURABAYA
Juli, 2022

APPROVAL SHEET

ANALISYS OF SOLAR POWER PLANT PLANNING AT ITS MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT MULTI-STOREY PARKING LOT

FINAL PROJECT

*Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree Bachelor of Engineering at
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering
Mechanical Engineering Departement
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology*

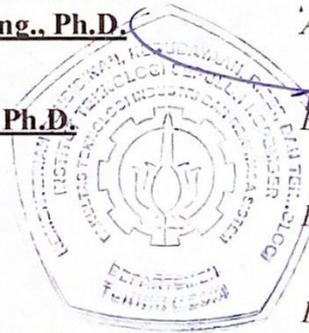
By:

Francis Alexander

NRP. 02111840000116

Approved by Final Project Examiner Team:

1. **Bambang Arip Dwiyantoro, S.T., MSc.Eng., Ph.D.**
2. **Ary Bachtiar Krishna Putra, S.T., M.T., Ph.D.**
3. **Dr. Is Bunyamin Suryo, S.T., M.Sc.**
4. **Tri Vicca Kusumadewi, S.T., M.Sc**



Advisor

Examiner

Examiner

Examiner

SURABAYA

July, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Francis Alexander/02111840000116
Departemen : Teknik Mesin FT-IRS
Dosen pembimbing/NIP : Bambang Arip Dwiyantoro, S.T., MSc.Eng.,
Ph.D./197804012002121001

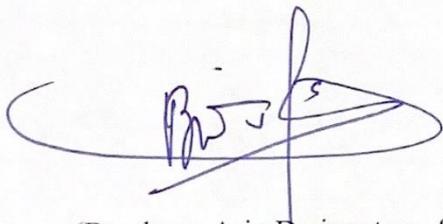
dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“ANALISIS PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA PADA GEDUNG PARKIRAN BERTINGKAT DEPARTEMEN TEKNIK MESIN ITS”** adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 7 Juli 2022

Mengetahui

Dosen Pembimbing



(Bambang Arip Dwiyantoro, S.T., MSc.Eng., Ph.D.)

NIP. 197804012002121001

Mahasiswa,



(Francis Alexander)

NRP. 02111840000116

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Francis Alexander/02111840000116
Department : Mechanical Engineering
Advisor/NIP : Bambang Arip Dwiyantoro, S.T., MSc.Eng.,
Ph.D./197804012002121001

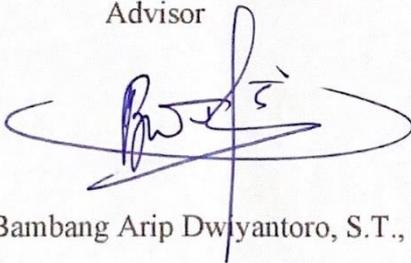
hereby declare that the Final Project with the title of “ANALYSIS OF SOLAR POWER PLANT PLANNING AT ITS MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT MULTI-STOREY PARKING LOT” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Sepuluh Nopember Institute of Technology.

Surabaya, 7 July 2022

Acknowledged

Advisor



(Bambang Arip Dwiyantoro, S.T., MSc.Eng., Ph.D.)

NIP. 197804012002121001

Student



(Francis Alexander)

NRP. 02111840000116

ANALISIS PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA PADA GEDUNG PARKIRAN BERTINGKAT DEPARTEMEN TEKNIK MESIN ITS

Nama Mahasiswa / NRP : Francis Alexander / 0211184000116
Jurusan : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Bambang Arip Dwiyantoro, ST. MSc.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Panel surya merupakan salah satu energi terbarukan yang cocok dipakai di Indonesia yang mempunyai iklim tropis. Peningkatan populasi masyarakat juga berdampak pada meningkatnya kebutuhan listrik. Ancaman krisis listrik pun meningkat karena harga bahan bakar semakin tinggi seiring dengan terbatasnya sumber daya alam. Maka dari itu, departemen Teknik Mesin melakukan riset pada bidang energi terbarukan. Panel surya bekerja dengan memanfaatkan prinsip *photovoltaic*, pengubahan sinar matahari menjadi listrik. Tujuan dari penelitian adalah menganalisis perencanaan pembuatan panel surya di atap gedung parkir untuk kebutuhan ruangan laboratorium.

Penelitian dilakukan dengan metode perhitungan manual untuk menghitung kebutuhan daya listrik, mendapatkan daya yang akan dihasilkan, dan menghitung jumlah panel yang dibutuhkan. Perencanaan ini menggunakan sistem *off-grid*. Tahapan penelitian diawali dengan melakukan studi literatur terkait dengan perencanaan panel surya. Perhitungan energi panel dilakukan setelah penentuan data awal perhitungan dan setelah mendapatkan kebutuhan energi ruangan. Dilanjutkan dengan perhitungan biaya perencanaan.

Hasil penelitian menunjukkan perancangan pembangkit listrik tenaga surya menggunakan panel surya *monocrystalline* CSUN 350 Wp yang dapat membangkitkan energi rata-rata sebesar 1,87 kWh/hari/panel di atap gedung. Total energi yang dibangkitkan sebesar 921,6 kWh/hari dengan daya sebesar 152.046 Watt. Biaya yang dibutuhkan untuk perencanaan PLTS adalah Rp 4.454.905.089.

Kata kunci : panel surya, *photovoltaic*, atap gedung.

***ANALISYS OF SOLAR POWER PLANT PLANNING AT ITS MECHANICAL
ENGINEERING DEPARTMENT MULTI-STOREY PARKING LOT***

Student's Name / NRP : Francis Alexander / 0211184000116
Department : Mechanical Engineering FTIRS - ITS
Advisor : Bambang Arip Dwiyantoro, ST. MSc.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Solar panels are one of the renewable energies that is suitable for use in Indonesia which has a tropical climate. The increase in the population of the community also has an impact on the increasing need for electricity. The threat of an electricity crisis is increasing because fuel prices are getting higher along with limited natural resources. Therefore, the Department of Mechanical Engineering conducts research in the field of renewable energy. Solar panels work by utilizing photovoltaic principles, converting sunlight into electricity. The purpose of this study is to analyze the planning of making solar panels on the roof of the parking building for laboratory room needs.

The study was conducted by manual calculation method to calculate the electrical power requirements, get the power to be generated, and calculate the number of panels needed. This planning uses an off-grid system. The research phase begins with a study of literature related to the planning of solar panels. The calculation of panel energy is carried out after determining the initial data of the calculation and after obtaining the energy requirement of the room. Proceed with the calculation of planning costs.

The results showed that the design of a solar power plant using CSUN 350 Wp monocrystalline solar panels which can generate an average energy of 1.87 kWh/day/panel on the roof of the building. The total energy generated is 921.6 kWh/day with a power of 152,046 Watt. The cost required for PLTS planning is Rp. 4,454,905,089.

Keywords : *solar panel, photovoltaic, roof.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kepada Tuhan yang Maha Esa yang telah memberi saya hikmat selama mengerjakan dan kekuatan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Penyusunan tugas akhir ini merupakan persyaratan akademis pada mata kuliah “Tugas Akhir” pada tahun ajaran 2021-2022, program studi S1 Departemen Teknik Mesin FTIRS ITS.

Tugas akhir ini juga penulis jalankan dengan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung. Maka dari itu, pada kesempatan ini izinkan penulis untuk mengucapkan rasa syukur dan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut, antara lain:

1. **Papi, Mami, Francine, Filbert**, serta **keluarga** lainnya yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis baik secara materi maupun secara moral.
2. **Bambang Arip Dwiyanoro, ST. M.Sc. Ph.D.** selaku dosen pembimbing dalam pengerjaan tugas akhir ini yang telah memberikan waktu, ilmu, serta nasihat dari beliau untuk membimbing penulis.
3. **Sutikno, ST. MT. Dr-Eng.** selaku dosen wali yang selalu memberikan arahan serta dukungan untuk penulis selalu berkembang selama masa proses perkuliahan ini.
4. Bapak **Ary Bachtiar Krishna Putra, S.T., M.T., Ph.D.**, Bapak **Dr. Is Bunyamin Suryo, S.T., M.Sc.**, dan Ibu **Tri Vicca Kusumadewi, S.T., M.Sc.**, selaku dosen penguji, terima kasih atas saran-sarannya untuk tugas akhir ini.
5. **Kelompok bimbingan Tugas Akhir** yang selalu memberikan dukungan dan pendapat, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
6. Keluarga besar bulu tangkis Araya; **Dimas, Daffa, Dio, Johan, Alir, Lince, Prita**, dan **Novi**, yang selalu menemani bermain bulu tangkis dikala suntuk.
7. Teman-teman Lab. Vibrasi; **Bob, Falin, Hani, Najya**, dan **lainnya** yang sudah mengerjakan bersama dan saling menyemangati.
8. Manusia-manusia **Jack, Wardugs**, dan **Warjo** yang sudah menemani, bercerita, berpetualang, serta candaan yang selalu diberikan selama di Surabaya.
9. Teman-teman **Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin**, yang selalu mendukung dan telah memberikan kenangan-kenangan manis selama penulis berkuliah.
10. **Clarabelle Janice** dan **keluarga** yang selalu memberikan dukungan, nasihat, dan saran serta kesabaran yang diberikan kepada penulis.
11. Teman-teman **M61** yang menemani berjuang untuk menyelesaikan studi secepat-cepatnya.
12. Teman-teman **M59 - M63** atas semua cerita, keluh kesah, dan pemikiran-pemikiran unik yang sudah kalian berikan kepada penulis.

Meski begitu, penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan wawasan baru dan menjadi manfaat bagi semua yang membacanya.

Surabaya, 27 Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan masalah.....	1
1.3. Tujuan penelitian	1
1.4. Batasan masalah.....	2
1.5. Manfaat penelitian	2
BAB II	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Matahari	3
2.2. Konstanta Surya.....	4
2.3. Radiasi Matahari pada Ekstraterrestrial	4
2.3.1. Intensitas Radiasi Matahari	5
2.3.2. Sudut Datang Radiasi Matahari.....	5
2.3.3. Waktu Penyinaran Matahari	7
2.3.4. Irradiance	7
2.4. Radiasi Matahari pada Permukaan Bumi.....	8
2.5. Radiasi pada Bidang Miring di Permukaan Bumi	9
2.6. Panel Surya (Sel surya).....	9
2.6.1. Jenis-jenis panel surya	9
2.6.2. Cara Kerja Panel Surya.....	11
2.6.3. Komponen Utama Panel Surya.....	11
2.7. Penelitian Terdahulu	13
2.7.1. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti	13
2.7.2. Analisis Biaya antara Panel Surya Jenis Monokristal dan Polikristal	15
2.7.3. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya	17
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1. Metodologi Penelitian.....	20
3.2. Studi Literatur	21
3.3. Pengumpulan Data	21
3.3.1. Spesifikasi Komponen.....	21

3.3.2.	Gedung parkir bertingkat Teknik Mesin.....	25
3.3.3.	Kebutuhan Listrik Ruang.....	26
3.4.	Penentuan Data Awal.....	27
3.5.	Teknis perhitungan	27
3.6.	Analisis Biaya	28
BAB IV	.....	29
ANALISIS DATA DAN PERHITUNGAN	.....	29
4.1.	Analisis Beban Ruang	29
4.2.	Analisis Perhitungan Energi	30
4.2.1.	Perhitungan Intensitas Radiasi Matahari	31
4.2.2.	Perhitungan Radiasi Matahari pada Permukaan Bumi	32
4.2.3.	Perhitungan Radiasi pada Bidang Miring di Permukaan Bumi.....	34
4.3.	Analisis Kebutuhan Komponen	35
4.3.1.	Panel Surya CSUN 350 Wp.....	35
4.3.2.	Panel Surya Solana 250 Wp	36
4.3.3.	Baterai.....	38
4.3.4.	Solar Inverter	38
4.4.	Analisis Ekonomi.....	39
4.4.1.	Panel Surya CSUN 350 Wp.....	39
4.4.2.	Panel Surya Solana 250 Wp	41
4.5.	Rancangan PLTS	43
4.6.	Perancangan Alternatif	44
4.6.1.	Panel Surya CSUN	45
4.6.2.	Panel Surya Solana	46
BAB V	.....	48
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	48
5.1.	Kesimpulan	48
5.2.	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	.....	49
LAMPIRAN	.....	50
BIODATA PENULIS	.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Matahari.....	3
Gambar 2.2 Hubungan antara Bumi dan Matahari.....	4
Gambar 2.3 Variasi Radiasi Matahari pada Ekstraterrestrial dalam Satu Tahun	5
Gambar 2.4 Hubungan Geometri Sudut pada Bidang Permukaan Miring	6
Gambar 2.5 Sudut Azimuth Matahari	6
Gambar 2.6 Jenis panel surya.....	10
Gambar 2.7 Komponen Panel Surya	11
Gambar 2.8 Skema Komponen Panel Surya	12
Gambar 2.9 Berbagai jenis sinyal AC yang dihasilkan oleh inverter.....	13
Gambar 2.10 Rancangan akhir peletakan panel surya di atas atap gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti	14
Gambar 2.11 Perbandingan kedua panel surya dari daya yang dihasilkan per hari	16
Gambar 3.1 Skema Penelitian	20
Gambar 3.2 Panel surya CSUN monocrystalline 350 Wp.....	21
Gambar 3.3 Panel surya Solana polycrystalline 250 Wp	22
Gambar 3.4 Inverter SMA Sunny Tripower CORE2	22
Gambar 3.5 Baterai VMAX XTR8D-310	23
Gambar 3.6 Rail.....	24
Gambar 3.7 Mid Clamp	24
Gambar 3.8 End Clamp	24
Gambar 3.9 Horizontal Tile Hook.....	24
Gambar 3.10 Tampak Depan Gedung Parkiran Teknik Mesin	25
Gambar 3.11 Tampak Samping Gedung Parkiran Teknik Mesin	26
Gambar 4.1 Tren Energi Matahari per bulan.....	35
Gambar 4.2 Perbandingan kedua panel surya dari rata-rata daya yang dihasilkan per hari.....	37
Gambar 4.3 Susunan Panel di Atap	43
Gambar 4.4 Skema Perancangan PLTS.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Nilai n Berdasarkan Bulan	5
Tabel 2.2 Faktor Koreksi untuk Tipe Iklim.....	8
Tabel 2.3 Panel surya Shinyoku polycrystalline 300 WP	14
Tabel 2.4 Inverter SMA Sunny Tripower 20000 W.....	14
Tabel 2.5 Rata-Rata Radiasi Normal Matahari per Bulan untuk Daerah Jakarta (Juli 1983 - Juni 2005) [kWh/m ² /hari].....	15
Tabel 2.6 Data Biaya Perencanaan Pembangunan Panel Surya	17
Tabel 2.7 Data Konsumsi energi listrik Gedung 7 September 2017	18
Tabel 3.1 Spesifikasi inverter Sunny Tripower CORE2	23
Tabel 3.2 Hipotesis kebutuhan listrik ruangan	26
Tabel 3.3 Parameter Awal Perhitungan.....	27
Tabel 3.4 Parameter Variasi	27
Tabel 3.5 Variasi parameter n yang digunakan	27
Tabel 3.6 Harga Komponen.....	28
Tabel 4.1 Kebutuhan Listrik Laboratorium Rekayasa Termal dan Sistem Energi.....	29
Tabel 4.2 Proyeksi Kenaikan Kebutuhan Energi Ruangan per Hari	30
Tabel 4.3 Konstanta Perhitungan.....	31
Tabel 4.4 Perhitungan Radiasi Bidang Normal	31
Tabel 4.5 Perhitungan nilai Cos θ , Cos θ_z , dan R_b	32
Tabel 4.6 Perhitungan nilai transmisivitas, radiasi diffuse, dan langsung	34
Tabel 4.7 Spesifikasi Panel CSUN 350 Wp	35
Tabel 4.8 Energi yang dibangkitkan Panel CSUN 350 Wp	36
Tabel 4.9 Spesifikasi Panel Solana 250 Wp	36
Tabel 4.10 Energi yang dibangkitkan Panel Solana 250 Wp	37
Tabel 4.11 Spesifikasi Baterai Li-Ion.....	38
Tabel 4.12 Data Harga Komponen CSUN 350 Wp.....	39
Tabel 4.13 Nilai NPV dari Rancangan PLTS (CSUN)	40
Tabel 4.14 Data Harga Komponen Solana 250 Wp	41
Tabel 4.15 Nilai NPV dari Rancangan PLTS (Solana)	42
Tabel 4.16 Spesifikasi Inverter Sunny Tripower 6.0 Smart Energy.....	45
Tabel 4.17 Biaya Alternatif Komponen CSUN 350 Wp.....	46
Tabel 4.18 Biaya Alternatif Komponen Solana 250 Wp.....	46
Tabel 4.19 Nilai NPV dari Perancangan Alternatif.....	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terletak di garis khatulistiwa yang mempunyai tingkat radiasi harian matahari rata-rata yang tinggi sekitar 4.8 kWh/m² (Usvika, 2019). Hal tersebut dapat digunakan sebagai modal utama pembangkitan listrik dengan menggunakan *photovoltaic*. Komponen utama dari sistem *photovoltaic* adalah sel surya yang berfungsi untuk mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Permasalahan utama dari *photovoltaic* adalah besarnya daya keluaran yang dihasilkan relatif tidak konstan karena dipengaruhi oleh besarnya intensitas matahari serta suhu lingkungan di sekitarnya. Daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* berbanding lurus dengan besarnya intensitas matahari yang diterima panel surya. Semakin besar intensitas matahari yang diterima oleh panel, maka semakin besar daya yang dapat dihasilkan oleh *photovoltaic* tersebut. Besarnya intensitas matahari yang diterima oleh panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti letak astronomi, lokasi pemasangan panel, gerak semu harian, dan tahunan matahari serta cuaca.

Departemen Teknik Mesin melakukan riset pada bidang energi terbarukan, maka dari itu diharapkan terdapat gedung bersumber energi terbarukan, panel surya. Terutama untuk keperluan pembelajaran yaitu laboratorium.

Penelitian yang dilakukan oleh S.G. & Ch. Rangkuti, 2016 mengenai panel surya tentang perencanaan pembangkit listrik tenaga surya di atap gedung dengan area seluas 855 m², dengan tujuan untuk memanfaatkan hasil energi listrik yang bersumber dari cahaya matahari. Pagan et al., 2018 telah menganalisis biaya antara panel surya jenis monokristal dan polikristal untuk mendapatkan jenis panel surya yang sesuai dengan kondisi cuaca beragam di Banda Aceh. Hasil penelitian tersebut mendapatkan bahwa panel surya jenis monokristal lebih unggul daripada polikristal dengan harga per kWh yang lebih murah. Selain itu, Duka et al., 2018 telah melakukan perhitungan manual untuk perencanaan pembangkit listrik tenaga surya hybrid pada area parkir Gedung Dinas Cipta Karya dengan luas 1200 m².

Oleh karena itu, penelitian ini membahas perhitungan energi yang dihasilkan panel surya yang terpasang di kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia. Sehingga, penelitian ini untuk mengetahui potensi energi matahari yang dapat dijadikan modal utama dalam penerapan teknologi *photovoltaic*.

1.2. Perumusan masalah

Berdasarkan latar belakang, maka perumusan masalah pada penelitian adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana menghitung kebutuhan energi di dalam Gedung?
2. Bagaimana menghitung energi yang diterima sel surya?
3. Bagaimana menghitung biaya yang dibutuhkan?

1.3. Tujuan penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Untuk mendapatkan perhitungan kebutuhan energi di dalam gedung.

2. Untuk mendapatkan perhitungan energi yang diterima panel surya.
3. Untuk mendapatkan perhitungan biaya yang dibutuhkan.

1.4. Batasan masalah

Batasan masalah penelitian adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan di Kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
2. Panel surya terletak di posisi koordinat Garis Lintang -7.2845° dan Garis Bujur 112.7970° .
3. Temperatur dianggap standar 25°C .
4. Cuaca cerah dengan iklim tropis.
5. Sudut azimut perencanaan pemasangan menghadap ke selatan.

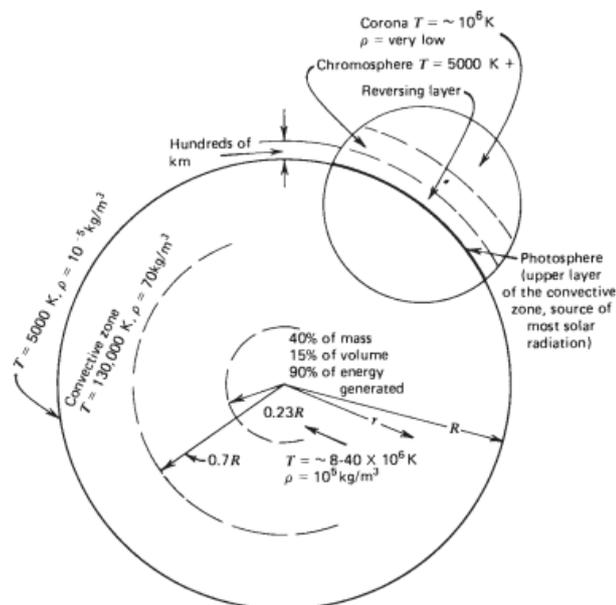
1.5. Manfaat penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan ruangan di parkir Teknik mesin lantai 3 yang mandiri energi dan juga cukup untuk kebutuhan sehari-hari dengan 2 panel surya berbeda.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Matahari

Matahari merupakan bintang di pusat tata surya yang memiliki bentuk hampir bulat sempurna dan terdiri dari kumpulan materi gas yang sangat panas. Matahari memiliki diameter $1,39 \times 10^9$ m dan jarak rata-rata sebesar $1,5 \times 10^{11}$ m dari bumi. Temperatur pada permukaan matahari dapat mencapai 5777 K sedangkan untuk bagian dalamnya sekitar 8×10^6 sampai 40×10^6 K, serta memiliki massa jenis sebesar seratus kali lebih besar dari air. Matahari pada dasarnya merupakan reaktor fusi kontinu yang ditahan dengan gaya gravitasi dan menghasilkan energi yang dilepas ke ruang angkasa akibat dari reaksi fusi tersebut. Proses reaksi tersebut yaitu hidrogen dengan empat proton akan bergabung untuk membentuk helium, di mana massa inti helium kurang dari empat proton sehingga massa yang hilang dalam reaksi akan berubah menjadi energi.



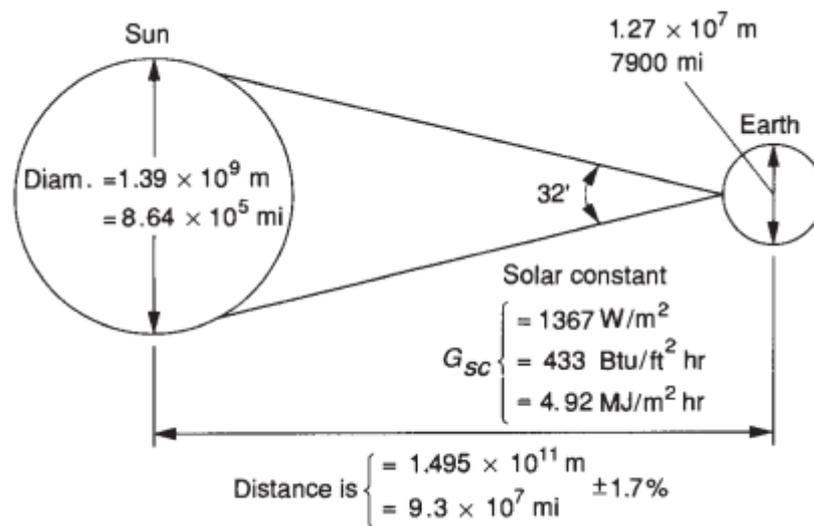
Gambar 2.1 Struktur Matahari

Pada gambar 2.1 dapat dilihat bahwa 90% energi yang dihasilkan matahari berasal dari daerah di bawah $0,23R$ di mana R merupakan jari-jari matahari yang mengandung 40% massa dari matahari. Pada daerah $0,7R$ temperatur turun menjadi sekitar 130.000 K dan massa jenis 70 kg/m^3 . Pada daerah $0,7R$ hingga $1,0R$ disebut sebagai zona konvektif di mana terdapat penurunan temperatur hingga mencapai sekitar 5000 K dan massa jenis sekitar 10^{-5} kg/m^3 . Pada permukaan matahari dapat dilihat terdiri dari sel konveksi yang tidak beraturan dengan dimensi 1.000 hingga 3.000 Km dan masa hidup hanya beberapa menit. Terdapat juga area gelap yang besarnya sama dengan sel konveksi disebut pori-pori dan area gelap yang lebih besar disebut bintik dengan ukuran yang bervariasi. Lapisan terluar dari zona konvektif disebut *photosphere* yang merupakan sumber dari sebagian besar radiasi matahari. Di atas lapisan *photosphere* terdapat solar atmosfer transparan yang disebut *reversing layer*. *Reversing layer* merupakan lapisan gas yang lebih dingin dengan ketebalan beratus-ratus kilometer. Di atas lapisan ini terdapat *chromosphere* dengan ketebalan sekitar 10.000 Km yang merupakan lapisan gas dengan temperatur lebih tinggi dari *photosphere* namun dengan massa jenis yang lebih rendah.

Lapisan terluar yaitu *corona* dengan massa jenis yang sangat rendah namun temperaturnya sangat tinggi hingga mencapai 10^6 K.

2.2. Konstanta Surya

Bumi akan bergerak mengelilingi matahari akibat adanya gaya gravitasi. Lintasan pergerakan tersebut disebut orbit. Bumi mengorbit terhadap matahari dengan arah pergerakan yang berlawanan dengan arah jarum jam dan bentuk lintasan berupa elips. Hal tersebut mengakibatkan jarak antara bumi dan matahari akan bervariasi sebesar 1,7%. Akibat variasi jarak antara bumi dan matahari, menyebabkan besarnya konstanta surya juga bervariasi.

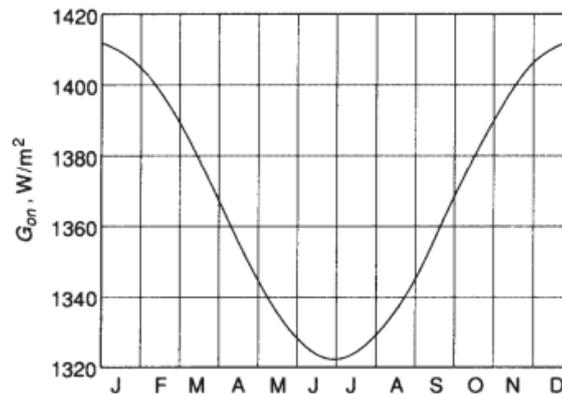


Gambar 2.2 Hubungan antara Bumi dan Matahari

Konstanta surya merupakan energi matahari per unit waktu yang diterima oleh suatu unit luasan permukaan yang tegak lurus terhadap arah datangnya radiasi pada jarak bumi dan matahari di luar atmosfer. Jarak rata-rata bumi dan matahari digunakan dalam berbagai perhitungan eksperimen untuk menentukan besarnya konstanta surya. Dengan jarak rata-rata sebesar $1,495 \times 10^{11}$ m, penelitian yang dilakukan oleh Thekaekara dan Drumond mendapatkan nilai standar konstanta surya, G_{sc} sebesar 1367 W/m^2 dengan perkiraan eror sebesar $\pm 1,5\%$.

2.3. Radiasi Matahari pada Ekstraterrestrial

(Duffie & Beckman, 2013) Daerah ekstraterrestrial merupakan daerah yang berada di atas atmosfer bumi. Variasi jarak antara matahari dan bumi mengakibatkan variasi radiasi matahari pada ekstraterrestrial sekitar 3,3%. Karena berada di luar atmosfer bumi, kondisi ini menyebabkan radiasi surya yang diukur belum dipengaruhi atmosfer dan materi yang ada di atmosfer.



Gambar 2.3 Variasi Radiasi Matahari pada Ekstraterrestrial dalam Satu Tahun

2.3.1. Intensitas Radiasi Matahari

Untuk menghitung besarnya intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi, pada suatu waktu dapat menggunakan persamaan:

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

Di mana,

n = urutan hari dalam satu tahun

G_{on} = radiasi ekstraterrestrial pada bidang normal (W/m^2)

G_{sc} = konstanta surya ($1.367 W/m^2$)

Untuk memudahkan menentukan nilai n berdasarkan tanggal pada bulan tertentu, dapat menggunakan tabel pada Tabel 2.1 untuk menentukan nilai n yang digunakan.

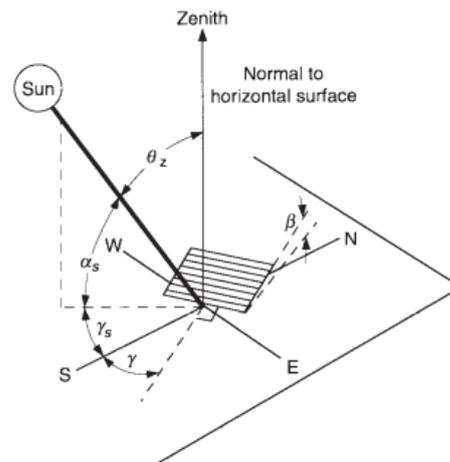
Tabel 2.1 Tabel Nilai n Berdasarkan Bulan

Month	n for i th		For Average Day of Month	
	Day of Month	Date	n	δ
January	i	17	17	-20.9
February	$31 + i$	16	47	-13.0
March	$59 + i$	16	75	-2.4
April	$90 + i$	15	105	9.4
May	$120 + i$	15	135	18.8
June	$151 + i$	11	162	23.1
July	$181 + i$	17	198	21.2
August	$212 + i$	16	228	13.5
September	$243 + i$	15	258	2.2
October	$273 + i$	15	288	-9.6
November	$304 + i$	14	318	-18.9
December	$334 + i$	10	344	-23.0

2.3.2. Sudut Datang Radiasi Matahari

Sudut datang matahari (*angle of incidence*) merupakan sudut yang dibentuk antara radiasi langsung matahari dan garis normal bidang/permukaan. Hubungan geometris antara bidang dengan orientasi relatif tertentu terhadap bumi dan radiasi matahari

langsung terhadap bidang tersebut dapat digambarkan dalam beberapa sudut seperti berikut.

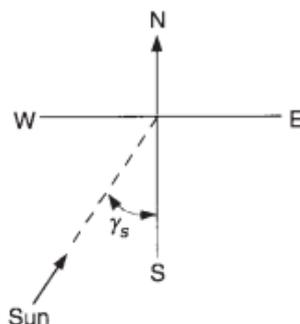


Gambar 2.4 Hubungan Geometri Sudut pada Bidang Permukaan Miring

- φ *Latitude*, garis lintang atau sudut lokasi di bumi terhadap ekuator (Utara positif dan Selatan negatif).
- δ Deklinasi, sudut deklinasi matahari terhadap garis Zenith di ekuator pada saat pukul 12.00.

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (2)$$

- β *Slope*, sudut kemiringan antara bidang permukaan dengan bidang horizontal.
- γ *Azimuth*, sudut antara proyeksi bidang permukaan pada bidang horizontal dengan meridian (titik nol berada di Selatan, negatif ke Timur dan positif ke Barat).
- ω Sudut jam, perpindahan angular matahari ke timur atau barat dari garis meridian lokal akibat dari rotasi bumi (15° per jam, pagi negatif dan siang positif).
- θ Sudut datang, yaitu sudut antara radiasi langsung terhadap normal bidang permukaan yang diamati.
- θ_z Sudut Zenith, yaitu sudut antara radiasi langsung terhadap normal bidang horizontal.
- α_s Sudut ketinggian matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung matahari dengan bidang horizontal.



Gambar 2.5 Sudut Azimuth Matahari

γ_s Sudut azimut matahari, yaitu perpindahan angular proyeksi radiasi langsung terhadap bidang horizontal dari arah Selatan (negatif ke Timur dan positif ke Barat).

Besarnya radiasi yang diterima bergantung pada besarnya sudut datang. Besarnya sudut datang pada bidang miring dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (3)$$

Sedangkan apabila bidang permukaan sejajar dengan bidang horizontal dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \cos \beta \quad (4)$$

2.3.3. Waktu Penyinaran Matahari

Waktu penyinaran matahari dapat ditentukan berdasarkan sudut jam matahari terbit atau tenggelam. Sudut jam matahari terbit atau terbenam dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah bilamana $\theta_z = 90^\circ$. Sudut jam terbenam matahari dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\cos \omega_{set} = \frac{-\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} \quad (5)$$

$$\cos \omega_{set} = -\tan \phi \tan \delta \quad (6)$$

Untuk sudut jam terbit matahari dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\cos \omega_{rise} = -\cos \omega_{set}$$

Sehingga, waktu penyinaran matahari dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$N = \frac{2}{15} \omega_{set} \quad (7)$$

2.3.4. Irradiance

Irradiance merupakan laju radian energi yang diterima oleh bidang permukaan per satuan unit luas. *Irradiance* biasa disimbolkan dengan G dan memiliki satuan W/m^2 . Besarnya *irradiance* pada kondisi bidang permukaan yang dimiringkan dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$G_{bT} = G_{on} \times \cos \theta \quad (8)$$

Sedangkan untuk bidang permukaan horizontal dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$G_b = G_{on} \times \cos \theta_z \quad (9)$$

2.4. Radiasi Matahari pada Permukaan Bumi

Radiasi matahari yang menembus atmosfer bumi akan mengalami refleksi, absorpsi, maupun transmisi. Efek atmosfer dalam menghamburkan dan menyerap radiasi bervariasi dengan waktu sebagai kondisi atmosfer dan perubahan massa udara. Hal ini berguna dalam mendefinisikan standar langit cerah dan menghitung radiasi per jam dan harian yang akan diterima pada permukaan horizontal di bawah kondisi standar ini. Untuk dapat menghitung pancaran radiasi yang ditransmisikan melalui atmosfer jernih yang memperhitungkan sudut Zenith dan ketinggian untuk atmosfer standar dan untuk empat tipe iklim. Transmisi atmosfer untuk radiasi matahari langsung dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\tau_b = a_0 + a_1 \exp\left(\frac{-k}{\cos \theta_z}\right) \quad (10)$$

Nilai dari a_0 , a_1 , dan k untuk atmosfer standar dengan jarak pandang 23 Km ditemukan dari a_0^* , a_1^* , dan k^* yang diberikan untuk ketinggian kurang dari 2,5 km melalui persamaan berikut.

$$a_0^* = 0,4237 - 0,00821 (6 - A)^2 \quad (11)$$

$$a_1^* = 0,5055 + 0,00595 (6,5 - A)^2 \quad (12)$$

$$k^* = 0,2711 + 0,01858 (2,5 - A)^2 \quad (13)$$

Di mana A adalah ketinggian pengamat dalam kilometer.

Faktor koreksi diterapkan pada a_0^* , a_1^* , dan k^* untuk memungkinkan perubahan tipe iklim. Faktor koreksi $r_0 = a_0/a_0^*$, $r_1 = a_1/a_1^*$, dan $r_k = k/k^*$ diberikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 2.2 Faktor Koreksi untuk Tipe Iklim

Climate Type	r0	r1	rk
Tropical	0.95	0.98	1.02
Midlatitude summer	0.97	0.99	1.02
Subarctic summer	0.99	0.99	1.01
Midlatitude winter	1.03	1.01	1.00

Sehingga, radiasi matahari langsung pada iklim cuaca cerah pada bidang horizontal dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$G_{cb} = G_{on} \tau_b \cos \theta_z \quad (14)$$

Dan untuk menentukan radiasi matahari *diffuse* pada iklim cuaca cerah pada bidang horizontal dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$G_{cd} = (G_{on} \cos \theta_z) \tau_d \quad (15)$$

Di mana τ_d merupakan transmisivitas atmosfer untuk radiasi matahari *diffuse* yang berhubungan dengan transmisivitas atmosfer untuk radiasi matahari langsung (τ_b). Pada kondisi cuaca cerah dirumuskan sebagai berikut.

$$\tau_d = 0,271 - 0,294\tau_b \quad (16)$$

Sehingga intensitas matahari yang diterima di permukaan bumi adalah intensitas matahari langsung (G_{cb}) dan intensitas matahari *diffuse* (G_{cd}).

2.5. Radiasi pada Bidang Miring di Permukaan Bumi

Apabila suatu kolektor diletakkan miring sebesar β terhadap horizontal maka jumlah radiasi total yang diterima permukaan tersebut tiap jam dapat dirumuskan:

$$G_T = G_{cb}R_b + \frac{G_{cd}(1 + \cos \beta)}{2} + \frac{\rho[G_{cb} + G_{cd}(1 - \cos \beta)]}{2} \quad (17)$$

Di mana,

R_b : perbandingan radiasi matahari pada permukaan miring dengan permukaan horizontal ($\frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}$).

ρ : faktor pantulan dari lingkungan sekitar.

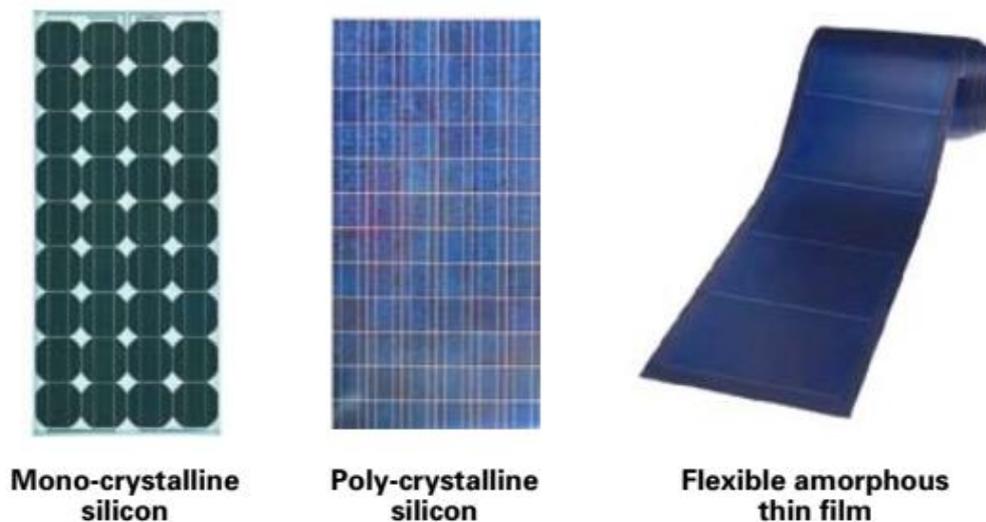
Menurut Liu dan Jordan, nilai $\rho = 0.2$ untuk tanah tidak bersalju dan $\rho = 0.7$ untuk tanah yang bersalju. (Duffie & Beckman, 2013)

2.6. Panel Surya (Sel surya)

Panel surya merupakan alat yang berfungsi untuk mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Pada panel surya terkandung *photovoltaic* yang berfungsi menghasilkan energi listrik dari cahaya yang diterima oleh panel surya. Sel surya merupakan irisan bahan semi konduktor yang memiliki kutub positif dan kutub negatif. Pada sel surya terdapat sambungan antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang memiliki kutub positif (P) dan kutub negatif (N).

2.6.1. Jenis-jenis panel surya

Jenis panel surya dikelompokkan berdasarkan material sel surya yang menyusunnya. Terdapat perbedaan jenis-jenis panel surya yang dapat dimanfaatkan.



Gambar 2.6 Jenis panel surya

Sumber: (*Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems Contents*, n.d.)

a. Crystalline

- Monocrystalline

Panel surya jenis Monocrystalline merupakan panel surya yang sering digunakan secara umum di masyarakat. Panel surya jenis ini terbuat dari batangan kristal silikon murni sehingga dihasilkan kepingan sel surya yang identik satu dengan lainnya yang menghasilkan kinerja yang tinggi. Panel surya jenis ini merupakan jenis panel surya yang memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sebesar 15% - 20%. Kelemahan dari panel surya jenis ini adalah harganya yang cukup mahal dibandingkan dengan panel surya jenis lain.

- Polycrystalline

Panel surya jenis polycrystalline merupakan jenis panel surya yang juga sering digunakan secara umum di masyarakat. Berbeda dengan panel surya jenis monocrystalline, panel surya jenis polycrystalline terbuat dari batangan kristal silikon yang dilebur kemudian dicetak dalam suatu cetakan. Karena proses pembuatannya melalui proses peleburan, maka kemurnian kristal silikonnya tidak seperti panel surya jenis monocrystalline sehingga panel surya yang dihasilkan tidak identik satu dengan lainnya. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi sebesar 13% - 16%. Kelebihan dari panel surya jenis ini adalah proses pembuatannya yang lebih mudah sehingga harganya lebih murah.

b. Thin Film

- Amorphous Silicon (a-Si)

Sel surya jenis amorphous silicone (a-Si) ini memiliki efisiensi yang rendah yaitu hanya sebesar 6% - 8%. Sel surya jenis ini umumnya banyak digunakan sebagai sumber energi pada jam tangan dan kalkulator.

- Cadmium Telluride (CdTe)

Sel surya jenis ini memiliki efisiensi sebesar 9% - 11%. Kelemahan dari sel surya ini adalah penggunaan Cadmium yang berbahaya.

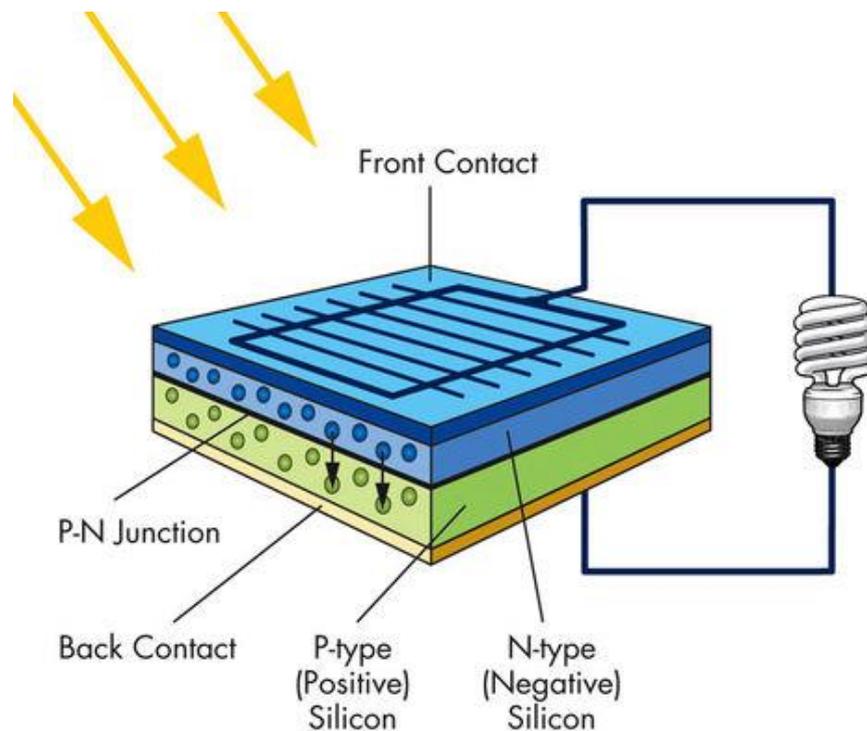
- Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)

Sel surya jenis ini memiliki efisiensi paling besar dari antara semua sel surya jenis thin film yaitu sebesar 10% - 12%. Sel surya jenis ini juga tidak menggunakan bahan berbahaya seperti Cadmium pada sel surya jenis Cadmium Telluride (CdTe). (Safitri et al., 2019)

2.6.2. Cara Kerja Panel Surya

Cara kerja dari panel surya adalah dengan memanfaatkan prinsip *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* ini umumnya timbul pada bahan – bahan semikonduktor yang memiliki konduktivitas menengah. Efek *photovoltaic* ini umumnya timbul pada bahan – bahan yang memiliki konduktivitas menengah karena sifat elektron di dalam material yang terpisah dalam pita – pita energi tertentu yang disebut pita konduksi dan pita valensi.

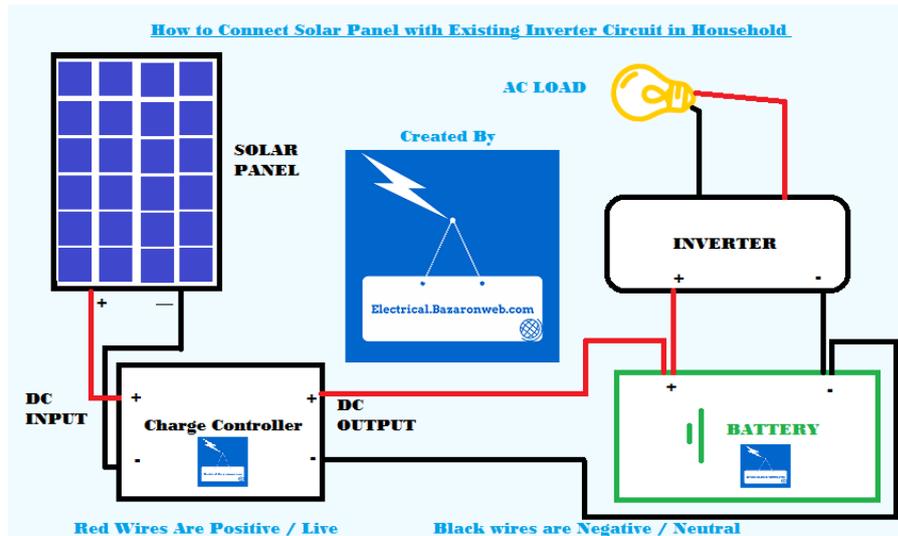
Pada panel surya terdapat dua jenis semikonduktor yang digunakan, yaitu jenis N dan P. Semikonduktor jenis N memiliki kelebihan elektron yang menyebabkan semikonduktor ini bermuatan negatif, sedangkan semikonduktor jenis P memiliki kelebihan lubang yang menyebabkan semikonduktor ini bermuatan positif.



Gambar 2.7 Komponen Panel Surya
Sumber: (Wilson, 2011)

2.6.3. Komponen Utama Panel Surya

Dalam ruangan ini daya listrik berasal dari baterai yang diisi ulang menggunakan tenaga sel surya. Daya baterai harus mampu mencukupi kebutuhan daya listrik selama beroperasi. Kebutuhan listrik di ruangan memerlukan listrik AC maka memerlukan *inverter* untuk mengubah arus yang dikeluarkan baterai secara DC.



Gambar 2.8 Skema Komponen Panel Surya

Sumber: (How to Connect A Solar Panel to an Existing Inverter Circuit | Solar Panel Circuit Diagram, 2015)

a. Modul Panel Surya

Modul panel surya adalah komponen utama pada sistem karena berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Pada modul panel surya ini terdiri atas beberapa sel surya yang dihubungkan dengan rangkaian seri maupun paralel. Modul panel surya ini menggunakan efek *photovoltaic* untuk menghasilkan listrik. Listrik yang mampu dihasilkan oleh modul panel surya umumnya adalah 12V dan 24V.

Bagian – bagian utama pada modul panel solar adalah sebagai berikut:

1. Metal Backing
2. Material Semikonduktor
3. Lapisan Ethylene Vinyl Acetate (EVA)
4. Lapisan Antireflektif
5. Cover Glass

b. Baterai

Baterai adalah sebuah alat yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi listrik yang dapat digunakan oleh suatu perangkat elektronik maupun motor dengan sumber arus searah. Baterai menyimpan energi dalam bentuk bahan kimia yang dapat bereaksi untuk menyimpan energi ataupun melepas energi. Semakin banyak energi yang disimpan oleh suatu baterai, maka semakin banyak bahan baterai tersebut yang diperlukan.

c. Controller

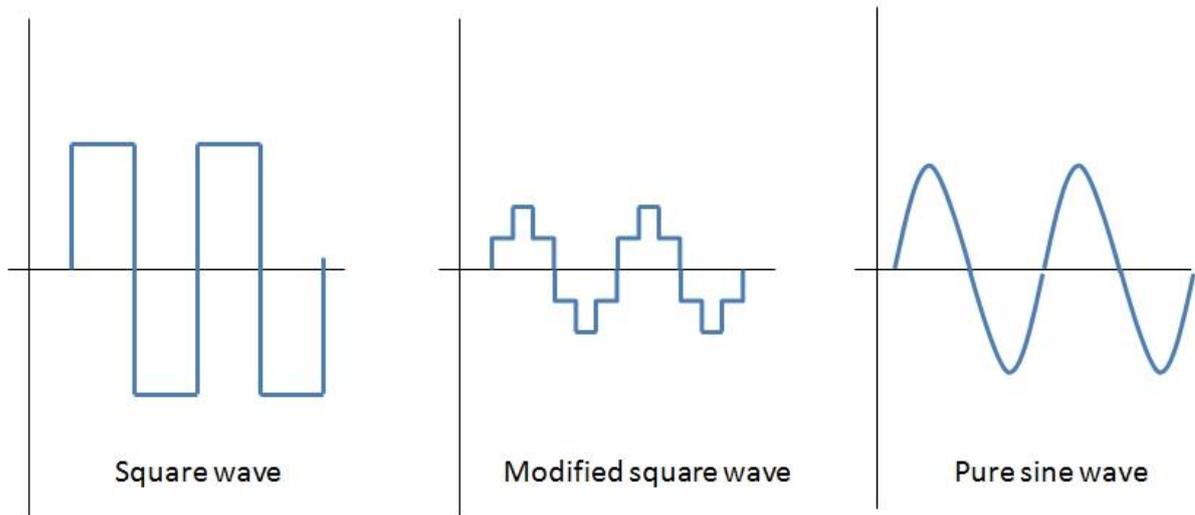
Controller merupakan komponen yang berfungsi untuk mengatur proses pengisian baterai. Fungsi utama dari Controller ini adalah untuk melindungi baterai dari over-discharge (low voltage disconnect).

d. Inverter

Tegangan yang dihasilkan oleh modul panel surya umumnya adalah 12V atau 24V. Sehingga untuk kebutuhan sehari – hari pada peralatan – peralatan listrik yang memiliki tegangan 220V dibutuhkan suatu inverter. Inverter berfungsi untuk mengubah arus DC tegangan rendah menjadi arus AC dengan tegangan yang lebih tinggi.

Berdasarkan gelombang keluaran yang dihasilkan, inverter dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu:

- a. *Square Wave*
- b. *Modified Sine Wave*
- c. *Pure Sine Wave*



Gambar 2.9 Berbagai jenis sinyal AC yang dihasilkan oleh inverter.

Sumber: (Inverters: Principle of Operation and Parameters | EME 812: Utility Solar Power and Concentration, n.d.)

2.7. Penelitian Terdahulu

Dalam menyusun laporan ini, penulis meninjau beberapa penelitian terdahulu yang masih berhubungan dengan panel surya. Penelitian yang peneliti gunakan sebagai referensi antara lain penelitian oleh S.G. & Ch. Rangkuti, Sura Eka Pratama Pagan et al, dan (Duka et al., 2018).

2.7.1. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti

(S.G. & Ch. Rangkuti, 2016) melakukan penelitian pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di atap Gedung Universitas Trisakti. Perancangan PLTS ini dilakukan dengan cara membuat tata letak atap gedung Hery Hartanto, kemudian dibuat desain yang ideal dengan spesifikasi peralatan yang ada di pasaran. Setelah itu dilakukan perhitungan biaya yang dibutuhkan dan juga perhitungan daya output listrik yang dihasilkan.

Atap gedung Harry Hartanto ini mempunyai luas sekitar 1600 m². Karena sebagian besar atap tidak terpakai, peneliti ingin memanfaatkannya untuk menghasilkan energi listrik yang bersumber dari cahaya matahari. Total area yang digunakan untuk rancangan PLTS ini adalah 855 m².

Penelitian ini menggunakan panel surya dan inverter dengan spesifikasi sebagai berikut:

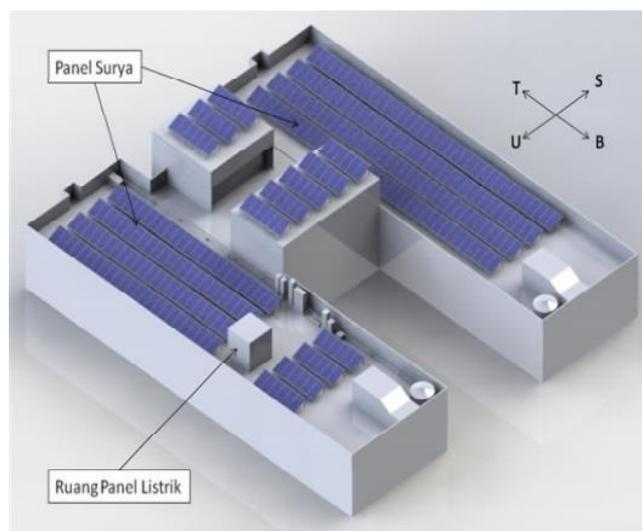
Tabel 2.3 Panel surya Shinyoku polycrystalline 300 WP

Merk	: Shinyoku (Polycrystalline)
Max. Power (Pmax)	: 300W
Max. Power Voltage (Vmp)	: 36.2 V
Max. Power Current (Imp)	: 8.28 A
Open Circuit Voltage (Voc)	: 43,4 V
Short Circuit Current (Isc)	: 9.27 A
Nominal Operating Cell Temp (NOTC)	: 45 ± 2°C
Max. System Voltage	: 1000V
Max Series Fuse	: 16A
Weight:	: 20.65 Kg
Dimension	: 1956 x 992 x 40 mm

Tabel 2.4 Inverter SMA Sunny Tripower 20000 W

Merk	SMA
INPUT	
Max. DC Power	: 20440 W
MPP voltage range / rated input voltage	: 380 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	: 150 V / 188 V
Max. input Current input A / Input B	: 33 A / 33 A
OUTPUT	
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	: 20000 W
Max. AC apparent power	: 20000 VA
Max. efficiency / European Efficiency	: 98.4 % / 98.0 %

Pada rancangan ini dilakukan dengan cara mendesain ulang layout atap gedung Harry Hartanto untuk merangkai peletakan panel surya dengan menggunakan aplikasi Solid Works. Setelah komponen-komponen tersebut selesai didesain, maka dilakukan penyesuaian ukuran untuk membuat rancangan akhir.



Gambar 2.10 Rancangan akhir peletakan panel surya di atas atap gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti

Rancangan ini menggunakan jumlah panel sebanyak 312 buah.

Tabel 2.5 Rata-Rata Radiasi Normal Matahari per Bulan untuk Daerah Jakarta (Juli 1983 - Juni 2005) [kWh/m²/hari]

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	<i>Rata-rata</i>
2.84	2.67	3.38	3.92	4.44	4.7	4.98	5.03	4.86	4.07	3.4	3.2	3.96

Tabel 2.5 menunjukkan rata-rata radiasi matahari per bulan untuk daerah Jakarta yang diambil dari situs resmi NASA (National Aeronautics and Space Administration). Dari tabel ini, dapat dilihat bahwa insolasi matahari setiap bulannya berbeda-beda. Yang tertinggi terdapat di bulan Agustus dan terkecil di bulan Februari, dengan rata-rata setahun 3.96 kWh/m²/hari.

Daya output yang dihasilkan dari panel surya tersebut dapat dihitung berdasarkan spesifikasi panel surya yang digunakan, dan juga dengan menggunakan persamaan:

$$P_G = A_G + S + t + \eta \quad (18)$$

$$P_G = 1,94 \text{ [m}^2\text{]} \times 312 \text{ panel} \times 3,96 \text{ [kWh/m}^2\text{/hari]} \times 0,15$$

$$P_G = 359,54 \text{ [kWh/hari]}$$

$$P_G = 131.232,1 \text{ [kWh/tahun]}$$

Keterangan:

A = Luas panel surya

S = Rata-rata insolasi matahari

t = Lama penyinaran matahari

η = Efisiensi panel surya

Dari hasil perhitungan, didapatkan daya dihasilkan per bulan dari panel surya sebesar 10.786,2 kWh. Dan daya output yang dihasilkan setiap tahun adalah sebesar 131.232,1 kWh.

2.7.2. Analisis Biaya antara Panel Surya Jenis Monokristal dan Polikristal

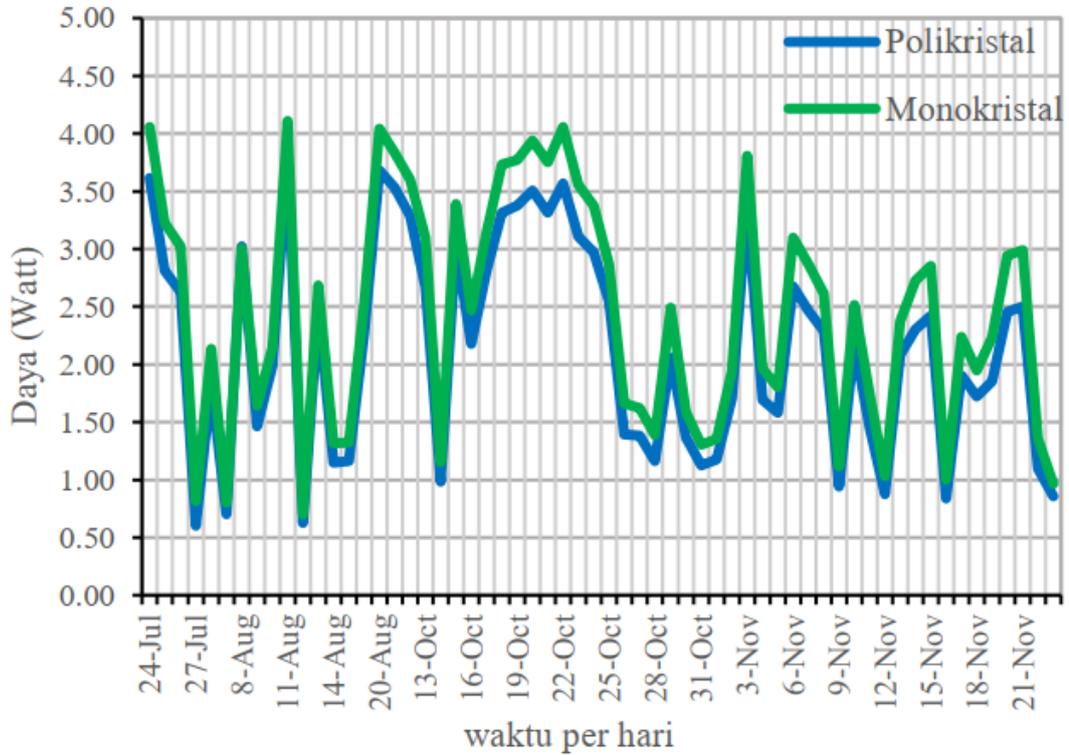
(Pagan et al., 2018) melakukan penelitian untuk mendapatkan jenis panel surya yang sesuai dengan kondisi cuaca di Banda Aceh. Lokasi panel surya terletak pada garis lintang 5.566 dan garis bujur 95.368 yang diukur selama 60 hari, dari tanggal 24 Juli 2017 sampai dengan 23 November 2017.

Penelitian ini mengambil kinerja panel surya jenis monokristal dengan polikristal pada kondisi suhu udara dan intensitas cahaya yang dinamik atau berubah-ubah setiap detik sesuai dengan kondisi cuaca atau atmosfer di Banda Aceh.

Panel surya yang diteliti yaitu monokristal silikon dan polikristal silikon dengan kapasitas sama 10Wp, merek sama GH Solar, dan dengan kualitas yang sama yaitu grade A. Kedua panel surya dikondisikan dengan tetap dan diposisikan dengan sejajar. Panel surya dihadapkan ke selatan dengan sudut kemiringan yang sama yaitu sebesar 15°.

Kinerja panel surya dapat dilihat dari segi tegangan yang diukur, untuk daya dan energi yang dihasilkan panel surya dapat mencarinya dengan mengalikan tegangan dan arusnya.

Hasil yang diperoleh berupa grafik sebagai perbedaan antara panel surya jenis monokristal silikon dan polikristal silikon.



Gambar 2.11 Perbandingan kedua panel surya dari daya yang dihasilkan per hari

Pada Gambar 2.11 di atas menunjukkan daya yang dihasilkan masing-masing panel surya. Dapat diamati grafik hijau merupakan daya keluaran panel surya jenis monokristal dan grafik biru merupakan daya keluaran panel surya jenis polikristal, selama 60 hari dilakukan pengamatan terlihat dari grafik di atas dengan berbagai kondisi, panel surya jenis monokristal menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan panel surya jenis polikristal.

Setelah data energi dijumlahkan, total energi yang dihasilkan panel surya jenis monokristal sebesar 1866 Wh, lebih besar dibandingkan dengan energi panel surya jenis polikristal sebesar 1637 Wh, selisih energi yang dimiliki sebesar 229 Wh. Jadi dengan kondisi apa pun selama 60 hari dilakukan, panel surya jenis monokristal lebih unggul.

Tabel 2.6 Data Biaya Perencanaan Pembangunan Panel Surya

Panel Polikristal				
No	Deskripsi	Harga Satuan	Jumlah	Subtotal
1	Lampu LED TL 10 Watt	Rp 35,000	1	Rp 35,000
2	Solar Charger Kontroler 30A	Rp 140,000	1	Rp 140,000
3	Baterai 12V 7Ah	Rp 150,000	2	Rp 300,000
4	Panel surya Jenis Polikristal	Rp 225,000	2	Rp 450,000
Total Biaya (Rp)				Rp 925,000
Energi yang dihasilkan (Wh)				1637
Biaya Rupiah per Wh				565
Panel Monokristal				
No	Deskripsi	Harga Satuan	Jumlah	Subtotal
1	Lampu LED TL 10 Watt	Rp 35,000	1	Rp 35,000
2	Solar Charger Kontroler 30A	Rp 140,000	1	Rp 140,000
3	Baterai 12V 7Ah	Rp 150,000	2	Rp 300,000
4	Panel surya Jenis Monokristal	Rp 250,000	2	Rp 500,000
Total Biaya (Rp)				Rp 975,000
Energi yang dihasilkan (Wh)				1866
Biaya Rupiah per Wh				522

Dari tabel 2.6, dapat dilihat bahwa biaya investasi awal yang lebih mahal terdapat pada panel surya jenis monokristal tetapi menghasilkan biaya Rupiah per Wh yang lebih rendah yaitu 522 Rp/Wh. Sedangkan, pada panel surya jenis polikristal biaya investasi awal yang rendah tetapi biaya Rupiah per Wh yang mahal yaitu 565 Rp/Wh.

Kesimpulan penelitian yang dapat diambil selama 60 hari dilakukan pengamatan memiliki kinerja panel surya dari daya keluaran dan energi yang dihasilkan menunjukkan bahwa panel surya jenis monokristal lebih unggul walaupun selama pengamatan terdapat kondisi langit yang intensitas dan suhu udara yang bervariasi. Dan pada biaya investasi Rupiah per Wh, panel surya jenis monokristal lebih murah dibandingkan dengan panel surya jenis polikristal.

2.7.3. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya

(Duka et al., 2018) melakukan pemanfaatan energi terbarukan energi surya di Bali. Pemanfaatan ini menggunakan sistem teknologi PLTS *photovoltaic*. Perencanaan PLTS pada area parkir gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga, dan Pengairan Kabupaten Badung bekerja secara hybrid dengan bantuan PLN.

Analisis data menggunakan metode perhitungan manual untuk menghitung kebutuhan daya listrik, output daya, jumlah modul dan inverter, menghitung sudut kemiringan dan lokasi modul surya.

Tabel 2.7 Data Konsumsi energi listrik Gedung 7 September 2017

7 September 2017	Beban Puncak (Wh)
00.00	6,367.01
01.00	6,383.50
02.00	6,486.47
03.00	6,579.12
04.00	6,788.78
05.00	6,838.83
06.00	6,848.25
07.00	6,855.55
08.00	200,177.32
09.00	235,736.41
10.00	238,145.15
11.00	249,912.13
12.00	237,177.07
13.00	235,523.34
14.00	236,647.31
15.00	235,507.26
16.00	220,007.28
17.00	129,771.20
18.00	6,761.57
19.00	6,568.77
20.00	6,540.56
21.00	6,455.89
22.00	6,410.20
23.00	6,362.50
Total Konsumsi Energi	2,310,401.47

Penentuan beban total harian pada gedung merupakan langkah awal perancangan sistem PLTS. Berdasarkan hasil pengukuran, energi listrik ketiga Gedung dalam rentang waktu 3 bulan (1 Agustus 2017 - 31 Oktober 2017). Tabel 2.7 menunjukkan bahwa pemakaian pada tanggal 7 September yaitu 2.310.401,47 Wh atau 2.310,401 kWh. Data konsumsi listrik ini merupakan pemakaian listrik tertinggi selama 3 bulan. Maka, data ini digunakan untuk acuan perhitungan kebutuhan energi listrik Gedung. Luas lokasi penempatan panel surya sebesar 1.230 m². Persamaan menghitung area kebutuhan sesuai dengan panel.

$$PV\ Area = \frac{E_L}{G_{av} + \eta_{PV} + TCF + \eta_{Out}} \quad (19)$$

Keterangan :

- EL : Pemakaian energi (kWh/hari).
- Gav : Insolasi harian matahari rata-rata (kWh/m²/hari).
- η_{pv} : Efisiensi panel surya.
- TCF : Temperature correction factor.
- η_{out} : Efisiensi inverter.

Berdasarkan perhitungan PV area maka didapatkan nilai sebesar 4.100,14 m², nilai tersebut merupakan luas area PV yang dibutuhkan untuk membangkitkan kebutuhan energi (E_L). Namun, luas ini akan disesuaikan dengan luasan lokasi penempatan panel surya yang hanya sebesar 1.230,04 m² maka luasan PLTS yang bisa dipasang hanya sekitar 30% dari luas yang dibutuhkan untuk membangkitkan konsumsi energi listrik gedung tersebut.

Persamaan perhitungan daya yang akan dibangkitkan oleh PLTS adalah sebagai berikut.

$$P \text{ Watt Peak} = \text{Area array} \times PSI \times \eta_{pv} \quad (20)$$

Keterangan:

- PSI (Peak Solar Insolation) : 1000 w/m²
- η_{pv} : efisiensi panel surya

Jumlah panel surya yang diperlukan diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Jumlah Panel Surya} = P \text{ watt Peak} / P_{mpp} \quad (21)$$

Keterangan:

- P watt Peak : Daya yang dibangkitkan (Wp)
- P_{mpp} : Daya maksimum keluaran panel surya (Wp)

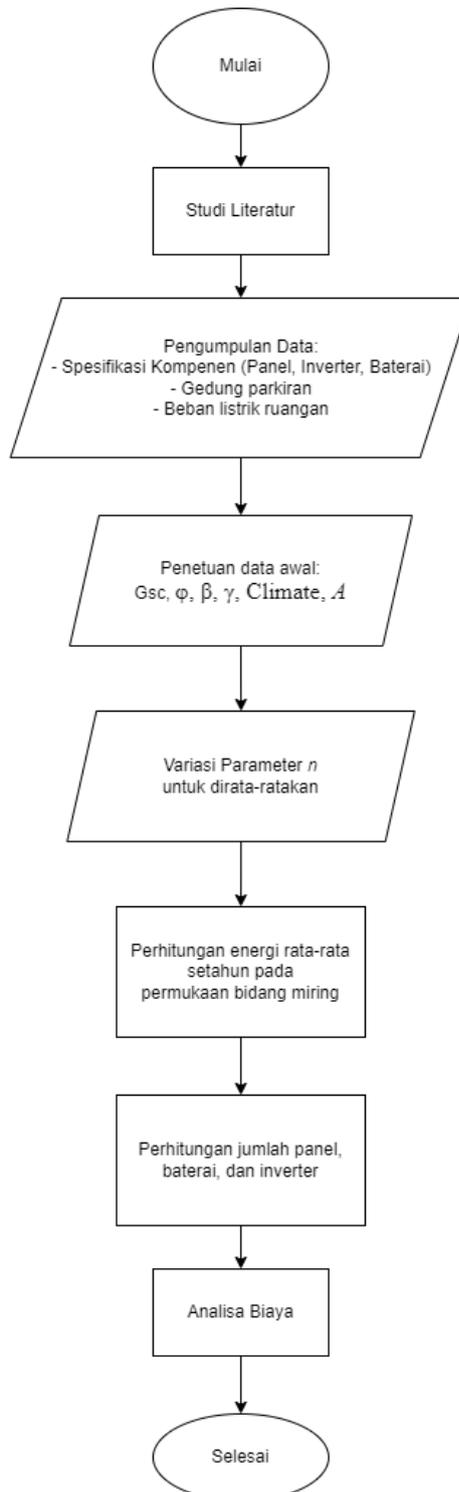
PLTS pada gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga, dan Pengairan Kabupaten Badung akan menggunakan panel surya dengan kapasitas 150 Wp produksi BP Solar polycrystalline.

Setelah melakukan perhitungan, didapatkan jumlah panel yang dibutuhkan sebanyak 985 panel. PLTS dengan kapasitas 148,274 kW dan luas 1230 m² yang akan menyuplai 30% dari konsumsi energi listrik pada Gedung sebesar 2,310 MWh.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian merupakan upaya sistematis yang dilakukan dalam memecahkan masalah yang sedang diteliti. Skema yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema Penelitian

3.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan tujuan mendapatkan informasi yang lebih mendalam serta menunjang penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur yang pertama kali dilakukan adalah mencari jurnal penelitian terdahulu yang meneliti perencanaan pembangkit listrik tenaga surya di atap Gedung universitas Trisakti, Analisis biaya investasi panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline*, dan perhitungan manual menghitung kebutuhan daya listrik dan output daya PLTS.

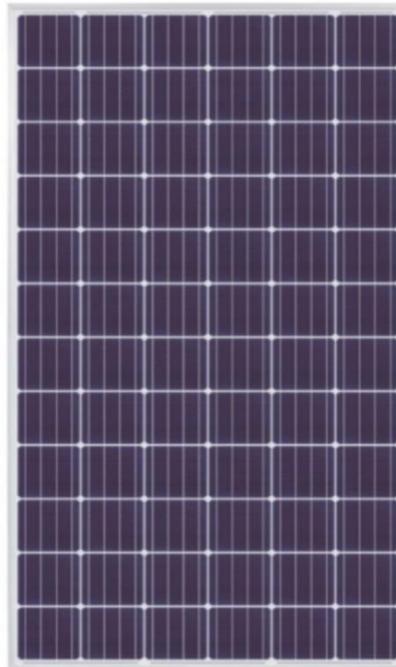
3.3. Pengumpulan Data

3.3.1. Spesifikasi Komponen

Perencanaan pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem *off-grid* menggunakan komponen – komponen listrik di antaranya sebagai berikut.

3.3.1.1. Panel Surya CSUN 350 Wp

Dalam perancangan ini, salah satu panel surya pilihan yang tersedia di pasaran, dan sudah tersertifikasi. Panel surya yang digunakan adalah panel surya merek CSUN dengan daya 350 Wp. Di bawah ini adalah spesifikasi panel surya tersebut.



Gambar 3.2 Panel surya CSUN monocrystalline 350 Wp

Sumber: (<https://www.wedosolarindonesia.com/product-details/csun-350-mono/>)

Rated Power (Pmax)	: 350 Wp
Max. Power Voltage (Vmpp)	: 38.2 V
Max. Power Current (Impp)	: 9.17 A
Cell Efficiency	: 18.07 %
Dimension	: 1956 x 990 x 40 mm
Weight	: 22.0 Kg

3.3.1.2. Panel Surya Solana 250 Wp

Dalam perancangan ini, salah satu panel surya pilihan yang tersedia di pasaran, dan sudah tersertifikasi. Panel surya yang digunakan adalah panel surya merek Solana dengan daya 250 Wp. Di bawah ini adalah spesifikasi panel surya tersebut.



Gambar 3.3 Panel surya Solana polycrystalline 250 Wp

Rated Power (Pmax)	: 250 Wp
Max. Power Voltage (Vmpp)	: 29.9 V
Max. Power Current (Impp)	: 8.36 A
Cell Efficiency	: 15.37 %
Dimension	: 1640 x 992 x 35 mm
Weight	: 17.5 Kg

3.3.1.3. Inverter



Gambar 3.4 Inverter SMA Sunny Tripower CORE2

Dalam perancangan ini, digunakan inverter yang sudah ada di pasaran, dan sudah tersertifikasi peralatan. Inverter yang digunakan adalah inverter merek SMA dengan daya 110 kW. Di bawah ini adalah spesifikasi inverter tersebut.

Tabel 3.1 Spesifikasi inverter Sunny Tripower CORE2

Technical data	Sunny Tripower CORE2
Input (DC)	
Max. PV array power	165000 W _p STC
Max. input voltage	1100 V
MPP voltage range	500 V to 800 V
Rated input voltage	585 V
Min. input voltage / Start input voltage	200 V / 250 V
Max. input current per MPP tracker / Max. short-circuit current per MPP tracker	26 A (22 A < 600 V) / 40 A
Number of independent MPP trackers / Strings per MPP tracker	12 / 2
Output (AC)	
Rated power (at 400 V, 50Hz)	110000 W
Rated / Max. apparent power	110000 VA / 110000 VA
Rated voltage	400 V
Voltage range	320 V to 460 V
Grid frequency / range	50 Hz / 45 Hz to 55 Hz 60 Hz / 55 Hz to 65 Hz
Rated grid frequency	50 Hz
Rated / Max. output current	159 A / 159 A
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited
Harmonic (THD)	< 3%
Feed-in phases / AC connection	3 / 3-PE
Efficiency	
Max. efficiency / European efficiency	98.6% / 98.4%

3.3.1.4. Baterai



Gambar 3.5 Baterai VMAX XTR8D-310

Dalam perancangan ini, digunakan baterai yang sudah ada di pasaran. Baterai yang digunakan adalah baterai merek VMAX dengan daya 7,72 kWh. Di bawah ini adalah spesifikasi baterai tersebut.

Bahan : Li-Ion Lithium Battery
 Jenis : LiFePO₄
 Tegangan / Arus : 12 V / 310 Ah
 Daya : 3,72 kWh

3.3.1.5. Komponen Pendukung

Komponen pendukung adalah komponen rangka dudukan untuk memasang modul panel surya di atap. Berikut adalah komponennya.



Gambar 3.6 Rail

Rail berfungsi sebagai penopang atau dudukan panel surya. Dapat digunakan pada jenis atap apa pun dan panel surya dengan berbagai ketebalan.



Gambar 3.7 Mid Clamp

Mid Clamp berfungsi sebagai penjepit 2 panel surya yang saling berdampingan.



Gambar 3.8 End Clamp

End Clamp berfungsi sebagai penjepit panel surya pada ujung kiri dan kanan.



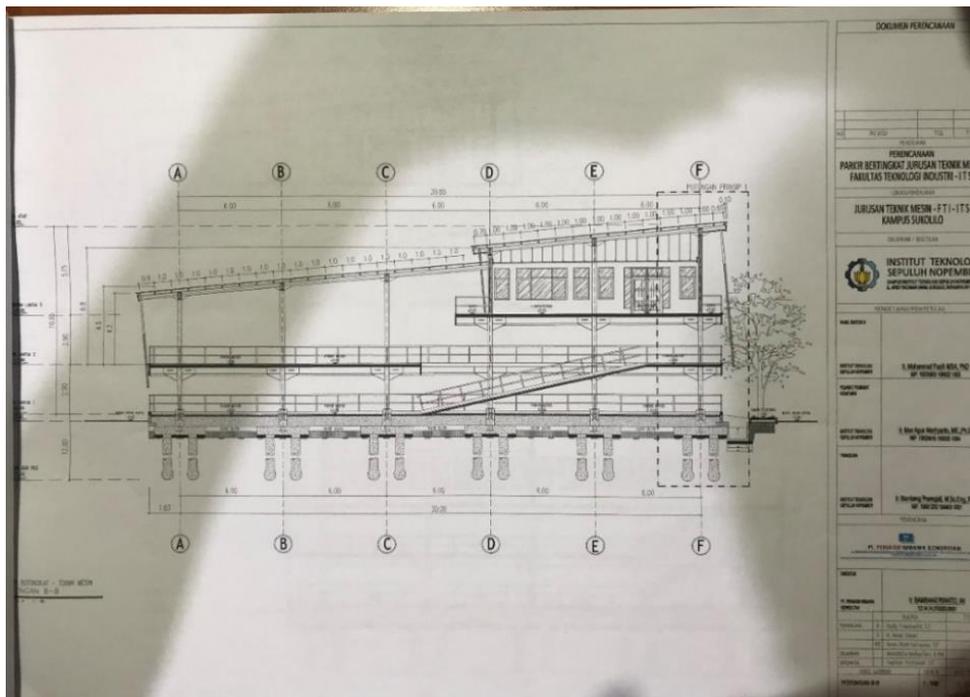
Gambar 3.9 Horizontal Tile Hook

Horizontal Tile Hook berfungsi sebagai penyangga rail pada atap.

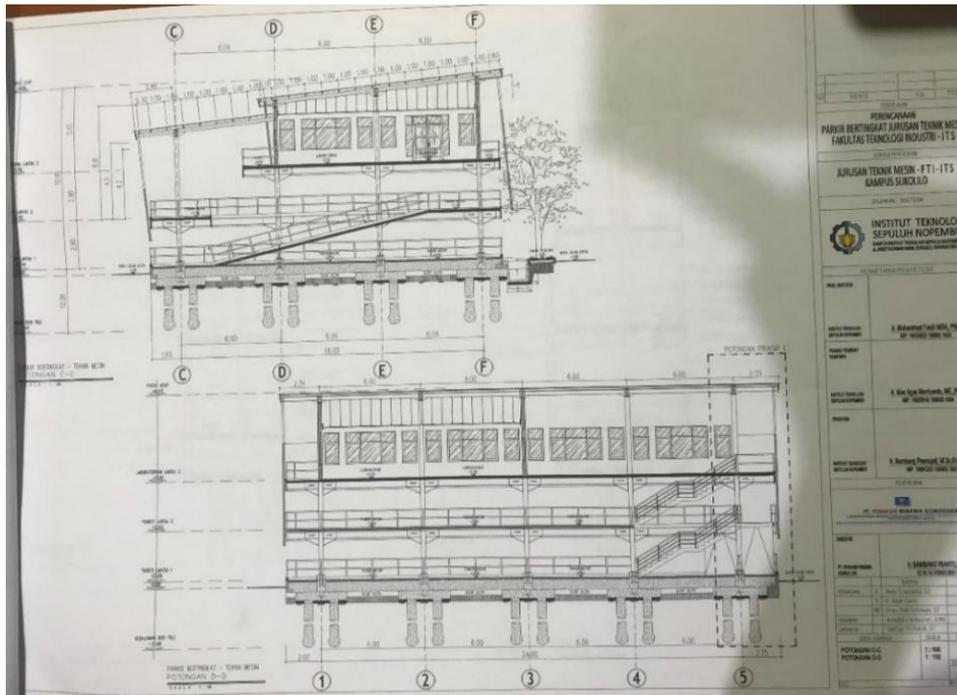
3.3.2. Gedung parkir bertingkat Teknik Mesin

Gedung parkir bertingkat departemen Teknik mesin merupakan proyek penambahan ruangan di lahan parkir lantai 3 yang dilakukan oleh kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Ruangannya ini difungsikan untuk ruang laboratorium mahasiswa. Ruang lab ini ingin di sumber dayai dengan sumber energi terbarukan yaitu, panel surya. Pada usulan tugas akhir ini direncanakan menggunakan Gedung parkir dengan spesifikasi utama sebagai berikut:

- Ruangana
 - a. Panjang : 24 m
 - b. Lebar : 12 m
- Atap Gedung
 - a. Panjang : 33.3 m
 - b. Lebar : 28.89 m
 - c. Luas : 962 m²
 - d. Tinggi : 10 m
 - e. Kemiringan : 7.18°



Gambar 3.10 Tampak Depan Gedung Parkiran Teknik Mesin



Gambar 3.11 Tampak Samping Gedung Parkiran Teknik Mesin

3.3.3. Kebutuhan Listrik Ruangan

Kebutuhan listrik di ruangan baru ini diambil dari kebutuhan laboratorium departemen teknik mesin pada umumnya.

Tabel 3.2 Kebutuhan Beban Listrik

No	Nama Beban	P (Watt)	Jam/Hari
Ruangan			
1	Lampu Bohlam	9	24
2	Charger laptop 1	45	6
3	Charger laptop 2	60	6
4	Charger laptop 3	90	6
5	Charger laptop 4	120	6
6	Komputer	380	6
7	Monitor	50	3
8	Speaker	40	3
9	Router	18	24
10	Charge HP 1 (iP)	20	1
11	Charge HP 2 (S)	45	1
12	Printer	200	1
13	AC 2 PK	1525	18
Gedung Parkir			
14	Lampu Neon	36	12
Total Kebutuhan Energi Gedung			

Untuk mendapatkan total energi, bisa dilakukan dengan mengalikan jumlah, daya komponen, dan lama aktif per 24 jam yang akan disajikan setelah menganalisis datanya.

3.4. Penentuan Data Awal

Tabel 3.3 Parameter Awal Perhitungan

No.	Parameter	Nilai	Keterangan
1	G_{sc}	1367 W/m ²	Konstanta surya
2	ϕ	-7.2845°	Garis Lintang
3	β	7.18°	Kemiringan Atap
4	γ	0°	Atap menghadap Selatan
5	<i>Climate</i>	<i>Tropical</i>	-
6	A	10 m	Ketinggian Atap

Data pada Tabel 3.3 merupakan data tetap untuk menghitung energi yang diterima oleh permukaan bumi dengan satuan Wh/m². Terdapat data lain yang divariasikan agar mendapat nilai yang lebih akurat.

Tabel 3.4 Parameter Variasi

No.	Parameter	Keterangan
1	n	Urutan Hari dalam Setahun
2	G_{on}	Radiasi Ekstraterrestrial
3	δ	Sudut Deklinasi
4	$\text{Cos } \theta$	Sudut <i>Beam</i> / Radiasi Langsung

Parameter n pada Tabel 3.4 akan divariasikan menggunakan Tabel 2.1 untuk menentukan nilai n yang digunakan. Maka dari itu, parameter G_{on} , δ , dan $\text{Cos } \theta$ akan ikut berubah.

Tabel 3.5 Variasi parameter n yang digunakan

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
n	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344

Variasi pada Tabel 3.5 mengacu berdasarkan Tabel 2.1 untuk mendapatkan rata-rata pada setiap bulan.

3.5. Teknis perhitungan

Menggunakan rumus-rumus untuk mendapatkan energi yang diterima oleh permukaan di bidang miring, dengan langkah sebagai berikut.

1. Menghitung G_{on} dan sudut deklinasi (δ) dari n yang diketahui pada Tabel 3.5
2. Menghitung $\text{Cos } \theta$ dari sudut-sudut datang matahari.
3. Menghitung a_0 , a_1 , dan k dari a_0^* , a_1^* , dan k^* .
4. Menghitung G_{cb} (Radiasi langsung) dan G_{cd} (Radiasi *diffuse*).
5. Menghitung G_T di permukaan bidang miring.

Untuk mendapatkan rata-rata radiasi 1 tahun, dibutuhkan variasi n sebanyak 12 (bulan). Setelah mendapatkan radiasi rata-rata 1 tahun, dapat mencari energi yang diterima oleh 1 panel. Kemudian di optimasi dengan efisiensi komponen lainnya, seperti efisiensi baterai, controller dan inverter yang digunakan.

Untuk memperoleh besar tegangan dan daya yang sesuai dengan kebutuhan, sel *photovoltaic* tersebut harus dikombinasikan secara seri dan paralel, dengan aturan sebagai berikut

1. Untuk memperoleh tegangan keluaran yang dua kali lebih besar dari tegangan sel *photovoltaic*, maka antar sel *photovoltaic* harus dirangkai secara seri.
2. Untuk memperoleh arus keluaran yang dua kali lebih besar dari tegangan sel *photovoltaic*, maka antar sel *photovoltaic* harus dirangkai secara paralel.
3. Untuk memperoleh daya keluaran yang dua kali lebih besar dari tegangan sel *photovoltaic*, maka dua buah sel *photovoltaic* harus dirangkai secara seri atau paralel.

3.6. Analisis Biaya

Total biaya dihitung dari semua komponen yang dibutuhkan dan berapa jumlah panel yang digunakan ditambahkan dengan harga baterai, dan solar inverter.

Tabel 3.6 Harga Komponen

No	Nama	Keterangan	Harga
1	Solar Panel	CSUN Mono 350 Wp	Rp 3,675,000
2	Solar Panel	Solana Polycrystalline 250 WP	Rp 2,250,000
3	Inverter	Sunny Tripower CORE2	Rp 87,022,089
4	Baterai	VMAX 3720Wh	Rp 9,450,000
5	Pendukung	Rail 2250mm	Rp 249,000
6	Pendukung	Mid Clamp	Rp 15,000
7	Pendukung	End Clamp	Rp 15,000
8	Pendukung	Horizontal Tile Hook	Rp 100,000

Data harga pada Tabel 3.6 didapat dengan mencari harga barang-barang tersebut di internet.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PERHITUNGAN

4.1. Analisis Beban Ruangan

Perhitungan beban listrik ruangan dihitung dari daya listrik setiap komponennya. Energi didapat dari perkalian daya, waktu dalam jam/hari, dan jumlah. Sehingga total energi bisa didapat dari persamaan berikut.

$$\text{Energi (Wh)} = P * t * n \quad (22)$$

Keterangan:

- P : Daya kebutuhan beban komponen (Watt)
- t : Waktu aktif beban komponen (Jam/hari)
- n : Jumlah beban komponen

Daya total pada satu waktu bisa didapat dari persamaan berikut.

$$\text{Daya (W}_{Peak}) = P * n \quad (23)$$

Kebutuhan pendinginan di ruangan ditentukan dari volume ruangan tersebut, dari pengertian ini dapat dikategorikan dengan satuan Btu. Btu ini merupakan hitungan seberapa PK (*Paard Kracht*) AC yang harus dipilih. Dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Luas (m}^2) \times 500 \text{ Btu/h}$$

Luas ruangan tertera pada bab sebelumnya.

$$288 \text{ m}^2 * 500 \text{ Btu/h} = 144.000 \text{ Btu/h}$$

Berikut acuan menentukan besaran PK AC.

0.5 PK	= 5.000 BTU/h (ruangan 10 m ²)
0.75 PK	= 7.000 BTU/h (ruangan 14 m ²)
1 PK	= 9.000 BTU/h (ruangan 18 m ²)
1.5 PK	= 12.000 BTU/h (ruangan 24 m ²)
2 PK	= 18.000 BTU/h (ruangan 36 m ²)

$$\begin{aligned} \text{Jadi, jumlah AC yang dibutuhkan} &= 144.000 / 18.000 \text{ (AC 2 PK)} \\ &= 8 \text{ (AC 2 PK)} \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Kebutuhan Listrik Laboratorium Rekayasa Termal dan Sistem Energi

No	Nama Beban	P (Watt)	Jam/Hari	Jumlah Energi (Wh)	Daya (W)	
Ruangan						
1	Lampu Bohlam	9	24	12	2592	108
2	Charger laptop 1	45	6	2	540	90
3	Charger laptop 2	60	6	2	720	120
4	Charger laptop 3	90	6	2	1080	180
5	Charger laptop 4	120	6	2	1440	240
6	Komputer	380	6	5	11400	1900
7	Monitor	50	3	5	750	250
8	Speaker	40	3	2	240	80
9	Router	18	24	1	432	18
10	Charge HP 1 (iP)	20	1	3	60	60
11	Charge HP 2 (S)	45	1	3	135	135
12	Printer	200	1	2	400	400
13	AC 2 PK	1525	18	8	219600	12200
Gedung Parkir						
14	Lampu Neon	36	12	15	6480	540
Total Kebutuhan Energi Gedung					245869 Wh	15781 W

Tabel 4.1 menunjukkan serangkaian beban dengan lamanya aktif dalam 24 jam, didapat total beban laboratorium sebesar 245.869 Wh atau 246 kWh dengan daya sebesar 15781 W. Kebutuhan listrik di ruangan dihitung dari kebutuhan beban listrik pada Tabel 3.2.

Tabel 4.2 Proyeksi Kenaikan Kebutuhan Energi Ruangan per Hari

Tahun ke-	Kebutuhan Energi (kWh)				
2	281.3	10	481.6	18	824.7
3	300.8	11	515.1	19	882.0
4	321.7	12	550.9	20	943.4
5	344.1	13	589.2	21	1,009.0
6	368.0	14	630.2	22	1,079.1
7	393.6	15	674.0	23	1,154.2
8	421.0	16	720.9	24	1,234.4
9	450.3	17	771.0	25	1,320.3

Tabel 4.2 menunjukkan proyeksi kebutuhan energi ruangan per harinya dimasa yang akan datang dari tahun ke-2 (2023) sampai tahun ke-25 (2046). Menurut Kementerian ESDM, konsumsi listrik per kapita dari tahun 2009 sampai 2017 naik 1,7 kali lipat yang per tahunnya mengalami kenaikan sekitar 7%. Jadi dalam penelitian ini, menggunakan angka 7% sebagai kenaikan kebutuhan per tahunnya.(Pramuji, 2019)

4.2. Analisis Perhitungan Energi

Perhitungan energi dapat dilakukan melalui persamaan-persamaan yang ada di Dasar Teori. Memakai persamaan (1) sampai persamaan (17) dengan parameter sebagai berikut.

Tabel 4.3 Konstanta Perhitungan

φ	-7,285	°	r0	0,95
β	7,18	°	r1	0,98
γ	0	°	rk	1,02
ω	0	°		
A	0,01	Km		
Gsc	1.367	W/m ²		

Tabel 4.3 menunjukkan variabel konstan yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya.

4.2.1. Perhitungan Intensitas Radiasi Matahari

Perhitungan dimulai dari mencari nilai intensitas radiasi matahari dengan memakai persamaan (1).

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

Persamaan memerlukan variabel n yang diisi dengan urutan hari pada tahun. Untuk perhitungan ini, akan menggunakan 12 nilai dari n mengikuti jumlah bulan yang ada pada setahun yang ditampilkan pada Tabel 3.4. Pada bulan Januari n bernilai 17.

$$G_{on} = 1.367 \frac{W}{m^2} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360 \times 17}{365} \right)$$

$$G_{on} = 1410,193 \frac{W}{m^2}$$

Didapat Gon bulan Januari sebesar 1410.193 W/m². Persamaan yang sama dipakai untuk bulan Februari sampai Desember.

Tabel 4.4 Perhitungan Radiasi Bidang Normal

Bulan	n	G _{on} (W/m ²)
1 Januari	17	1410,193
2 Februari	47	1398,134
3 Maret	75	1379,455
4 April	105	1356,422
5 Mei	135	1336,148
6 Juni	162	1324,669
7 Juli	198	1323,485
8 Agustus	228	1335,033
9 September	258	1354,919
10 Oktober	288	1377,955
11 November	318	1398,134
12 Desember	344	1409,195

Tabel 4.4 menunjukkan hasil perhitungan untuk radiasi ekstraterrestrial pada bidang normal, yang belum dipengaruhi oleh tempat perencanaan dalam koordinat polar.

4.2.2. Perhitungan Radiasi Matahari pada Permukaan Bumi

Setelah mendapat energi pada bidang normal, perlu ditambahkan posisi sudut kemiringan bumi yang tepat. Dimulai dari menentukan sudut deklinasi yang variabelnya sudah tersedia untuk bulan Januari, menggunakan persamaan (3).

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin(-20,9) \sin(-7,2845) \cos(7,18) - \sin(-20,9) \cos(-7,2845) \sin(7,18) \cos 0 \\ & + \cos(-20,9) \cos(-7,2845) \cos(7,18) \cos 0 \\ & + \cos(-20,9) \sin(-7,2845) \sin(7,18) \cos 0 \cos 0 \\ & + \cos(-20,9) \sin(7,18) \sin 0 \sin 0 \end{aligned}$$

$$\cos \theta = 0.9936$$

Didapat nilai $\cos \theta$ untuk bulan Januari sebesar 0.9936. Diperlukan juga nilai $\cos \theta_z$ untuk memadai perhitungan selanjutnya yang menggunakan persamaan (4).

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \cos \beta$$

$$\begin{aligned} \cos \theta_z = & \cos(-20,9) \cos(-7,2845) \cos 0 + \sin(-20,9) \sin(-7,2845) \cos(7,18) \\ \cos \theta_z = & 0.9715 \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Perhitungan nilai Cos θ , Cos θ_z , dan R_b

	Bulan	δ	Cos θ	Cos θ_z	R_b [θ/θ_z]
1	Januari	-20,917	0,993665	0,971473	1,022844
2	Februari	-12,955	0,999653	0,994884	1,004793
3	Maret	-2,418	0,977978	0,996353	0,981558
4	April	9,415	0,9144	0,957988	0,9545
5	Mei	18,792	0,836225	0,898529	0,93066
6	Juni	23,086	0,792817	0,863165	0,918501
7	Juli	21,184	0,812611	0,879441	0,924008
8	Agustus	13,455	0,883607	0,935432	0,944598
9	September	2,217	0,957916	0,98632	0,971202
10	Oktober	-9,599	0,996397	0,999018	0,997376
11	November	-18,912	0,996989	0,979157	1,018212
12	Desember	-23,050	0,988795	0,961994	1,02786

Tabel 4.5 menunjukkan hasil perhitungan Cos θ , Cos θ_z , dan R_b . R_b digunakan di perhitungan di bawah untuk mencari radiasi pada bidang miring. Perhitungan dilanjutkan dengan mencari faktor koreksi iklim dari tempat perencanaan, yaitu Surabaya, Indonesia, yang iklimnya Tropis / *Tropical*. Persamaan faktor koreksi ditampilkan sebagai berikut.

Faktor koreksi $r_0 = a_0/a_0^*$, $r_1 = a_1/a_1^*$, dan $r_k = k/k^*$ ditampilkan dalam Tabel 2.2. menghitung faktor koreksi memakai persamaan (11), (12), dan (13).

$$\begin{aligned} a_0^* &= 0,4237 - 0,00821 (6 - A)^2 \\ a_0^* &= 0,4237 - 0,00821 (6 - 0.01)^2 \\ a_0^* &= 0.1291 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_1^* &= 0,5055 + 0,00595 (6,5 - A)^2 \\ a_1^* &= 0,5055 + 0,00595 (6,5 - 0.01)^2 \\ a_1^* &= 0.7561 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k^* &= 0,2711 + 0,01858 (2,5 - A)^2 \\ k^* &= 0,2711 + 0,01858 (2,5 - 0.01)^2 \\ k^* &= 0.3863 \end{aligned}$$

Variabel a_0 , a_1 , dan k dapat dihitung dengan mengalikan dengan faktor koreksi (r_0 , r_1 , k) pada Tabel 2.2.

$$a_0 = 0.1227$$

$$a_1 = 0.741$$

$$k = 0.394$$

Transmisivitas atmosfer untuk radiasi matahari langsung dapat dihitung menggunakan persamaan (10) dan (16). Memakai $\cos \theta_z$ bulan Januari.

$$\begin{aligned} \tau_b &= a_0 + a_1 \exp\left(\frac{-k}{\cos \theta_z}\right) \\ \tau_b &= 0,1227 + 0,741 \exp\left(\frac{-0.394}{0,971473}\right) \\ \tau_b &= 0,6166 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_d &= 0,271 - 0,294\tau_b \\ \tau_d &= 0,271 - 0,294 (0,6166) \\ \tau_d &= 0.08972 \end{aligned}$$

Setelah mendapat transmisivitas atmosfer untuk radiasi matahari *diffuse* (G_{cd}) dan langsung (G_{cb}), radiasi matahari langsung pada iklim cuaca cerah pada bidang horizontal dapat ditentukan menggunakan persamaan (14) dan (15). Memakai G_{on} , $\cos \theta_z$, dan faktor koreksi bulan Januari.

$$\begin{aligned} G_{cb} &= G_{on} \tau_b \cos \theta_z \\ G_{cb} &= 1410,193 \frac{W}{m^2} \cdot 0,6166 \cdot 0,971473 \\ G_{cb} &= 844,72 \frac{W}{m^2} \end{aligned}$$

$$G_{cd} = (G_{on} \cos \theta_z) \tau_d$$

$$G_{cd} = 1410,193 \frac{W}{m^2} \cdot 0,971473 \cdot 0,08972$$

$$G_{cd} = 122,913 \frac{W}{m^2}$$

4.2.3. Perhitungan Radiasi pada Bidang Miring di Permukaan Bumi

Panel surya diletakkan dengan sudut β , yaitu $7,18^\circ$ terhadap horizontal maka jumlah radiasi total yang diterima permukaan tersebut tiap jam dapat dirumuskan menggunakan persamaan (17) dengan mengambil $\rho = 0.2$ dan variabel lainnya dari bulan Januari.

$$G_T = G_{cb} R_b + \frac{G_{cd}(1 + \cos \beta)}{2} + \frac{\rho[G_{cb} + G_{cd}(1 - \cos \beta)]}{2}$$

$$G_T = 844,72 \cdot 1,023 + \frac{122,913 (1 + \cos 7,18)}{2} + \frac{0,2 [844,72 + 122,913(1 - \cos 7,18)]}{2}$$

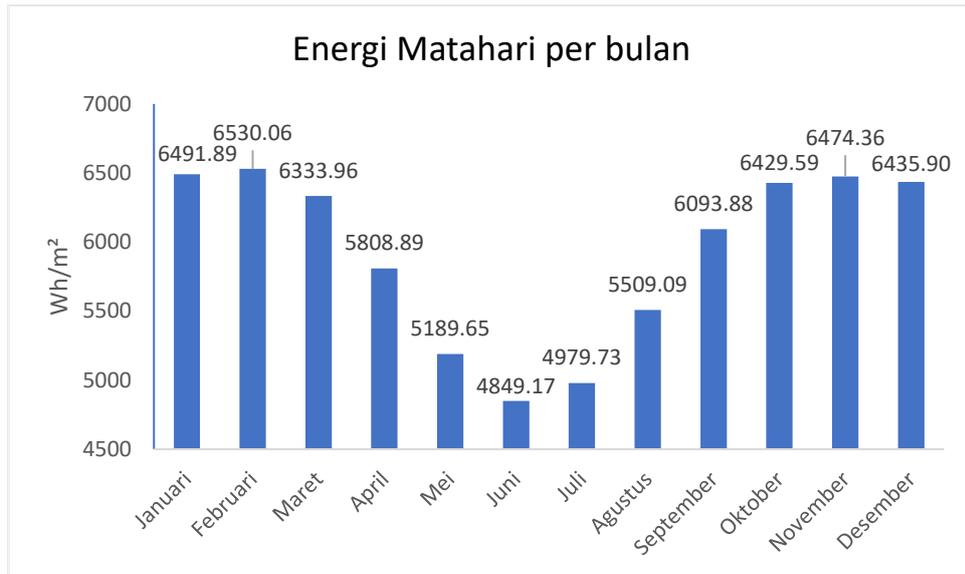
$$G_T = 1071,015 \frac{W}{m^2}$$

Tabel 4.6 Perhitungan nilai transmisivitas, radiasi diffuse, dan langsung

Bulan	τ_b	τ_d	Gcb	Gcd	Gt (W/m ²)
1 Januari	0,616599	0,08972	844,7187	122,913	1071,015
2 Februari	0,621336	0,088327	864,2673	122,8615	1077,313
3 Maret	0,621627	0,088242	854,3792	121,2813	1044,961
4 April	0,613787	0,090547	797,5774	117,6594	958,3357
5 Mei	0,600601	0,094423	721,0613	113,3617	856,175
6 Juni	0,59209	0,096925	677,0007	110,8252	800,003
7 Juli	0,596073	0,095754	693,786	111,4513	821,544
8 Agustus	0,608941	0,091971	760,4646	114,857	908,876
9 September	0,619624	0,088831	828,0554	118,7116	1005,354
10 Oktober	0,622154	0,088087	856,4585	121,2604	1060,737
11 November	0,618174	0,089257	846,2753	122,192	1068,124
12 Desember	0,614629	0,090299	833,2147	122,4127	1061,778
				Rata-rata	977,851

Tabel 4.6 menunjukkan nilai transmisivitas, radiasi *diffuse* & langsung, dan rata-rata radiasi bidang miring pada kondisi cuaca cerah sebesar 977.85 W/m². Mengasumsikan kondisi ideal di mana cahaya matahari selalu sama tiap harinya, tidak mendung ataupun hujan. Daya ini bisa dikonversikan ke energi dengan cara mengalikan dengan waktu (Peak Sun Hours).

Peak Sun Hours (PSH) adalah waktu atau kondisi ketika radiasi sinar matahari maksimal. Berdasarkan pengamatan dari BMKG Maritim Tanjung Perak dan Juanda Surabaya, rata-rata PSH pada daerah Surabaya sebesar 6,06 Jam/hari. Berikut merupakan grafik daya per bulan yang sudah dikalikan dengan PSH.



Gambar 4.1 Tren Energi Matahari per bulan

Dari Gambar 4.1 menunjukkan grafik energi yang tersedia. Rata-rata energi matahari per bulannya sebesar 5.927 kWh/m²/hari. Energi terbesar terdapat di bulan Januari, Februari, dan November. Sedangkan, energi terkecil terdapat di bulan Mei, Juni, dan Juli. Hal ini dikarenakan posisi matahari yang tidak sepenuhnya bertepatan dengan letak dan kemiringan panel surya. Untuk menambah penerimaan energi ini bisa dilakukan dengan memasang pelacak surya. Perangkat ini merupakan sebuah sistem yang berfungsi untuk memaksimalkan produksi PLTS dengan mengarahkan PLTS ke arah sinar matahari.

4.3. Analisis Kebutuhan Komponen

4.3.1. Panel Surya CSUN 350 Wp

Tabel 4.7 Spesifikasi Panel CSUN 350 Wp

Luas Sel	24336 mm ²
Jumlah Sel	72
Σ A Sel	1,75 m ²
η	18%
Harga	Rp3.675.000

Tabel 4.6 menunjukkan luas, jumlah modul, dan efisiensi. Luasan panel surya didapat dari perkalian panjang modul persegi dan jumlahnya. Memiliki efisiensi sekitar 18% dan Harga Rp3.675.000. Energi yang dibangkitkan oleh 1 panel bisa dihitung dari persamaan berikut menggunakan G_T bulan Januari.

$$\begin{aligned}
 \text{Energi} &= G_T \cdot A \cdot \eta \\
 \text{Energi} &= 6491,89 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \cdot 1,752192 \text{ m}^2 \cdot 0.18 \\
 \text{Energi} &= 2.047,5 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

Panel CSUN 350 Wp mampu terisi sebanyak 493 buah dihitung berdasarkan kecukupan luas atap dengan jumlah panel dengan konfigurasi 17 x 29 panel.

Tabel 4.8 Energi yang dibangkitkan Panel CSUN 350 Wp

Bulan	1 Panel (Wh/hari)	493 Panel (kWh/hari)
1 Januari	2047,506	1.009,4
2 Februari	2059,545	1.015,4
3 Maret	1997,697	984,9
4 April	1832,091	903,2
5 Mei	1636,787	806,9
6 Juni	1529,401	754,0
7 Juli	1570,581	774,3
8 Agustus	1737,538	856,6
9 September	1921,978	947,5
10 Oktober	2027,857	999,7
11 November	2041,978	1.006,7
12 Desember	2029,847	1.000,7
Rata-Rata	1869,4	921,6

Tabel 4.8 menunjukkan nilai rata-rata energi yang dibangkitkan Panel CSUN per hari dalam sebulan. Untuk 1 panelnya menghasilkan rata-rata 1869,4 Wh/hari atau 1,87 kWh/hari. Sehingga, diperoleh rata-rata energi total sebesar 921,6 kWh/hari. Sedangkan, rata-rata daya yang dihasilkan panel seluas atap sebesar 152.046 W.

4.3.2. Panel Surya Solana 250 Wp

Tabel 4.9 Spesifikasi Panel Solana 250 Wp

Luas Sel	24336 mm ²
Jumlah Sel	60
Σ A Sel	1,46 m ²
η	15,37%
Harga	Rp2.250.000

Tabel 4.9 menunjukkan luas, jumlah modul, dan efisiensi. Luasan panel surya didapat dari perkalian panjang modul persegi dan jumlahnya. Memiliki efisiensi sekitar 15% dan Harga Rp2.250.000. Energi rata-rata yang dibangkitkan oleh 1 panel bisa dihitung dari persamaan berikut.

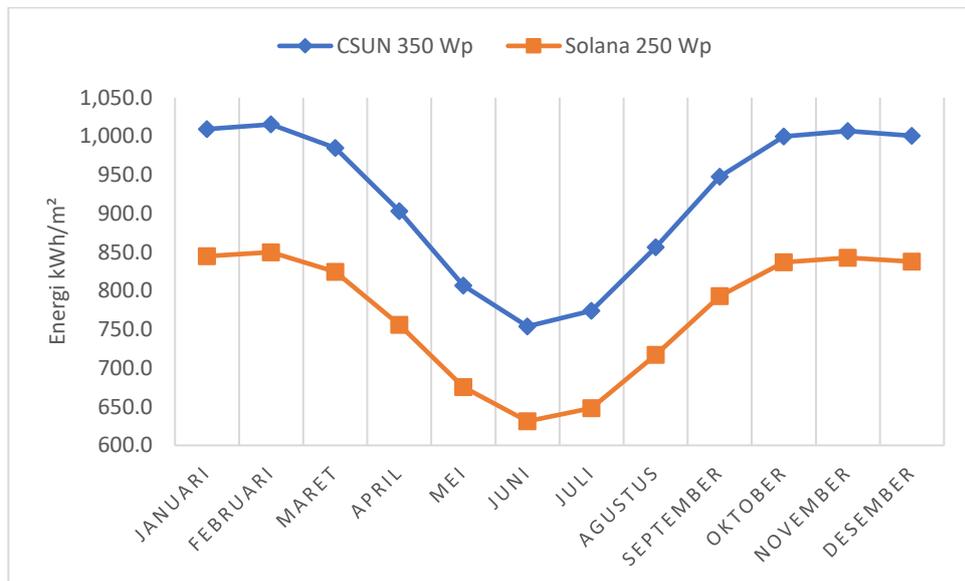
$$\begin{aligned}
 Energi &= G_T \cdot A \cdot \eta \\
 Energi &= 6491,89 \frac{Wh}{m^2} \cdot 1,46 m^2 \cdot 0.1537 \\
 Energi &= 1.456,952 Wh
 \end{aligned}$$

Panel Solana 250 Wp mampu terisi sebanyak 580 buah dihitung berdasarkan kecukupan luas atap dengan jumlah panel dengan konfigurasi 20 x 29 panel.

Tabel 4.10 Energi yang dibangkitkan Panel Solana 250 Wp

Bulan	1 Panel (Wh/hari)	580 Panel (kWh/hari)
1 Januari	1456,952	845,0
2 Februari	1465,519	850,0
3 Maret	1421,51	824,5
4 April	1303,669	756,1
5 Mei	1164,695	675,5
6 Juni	1088,282	631,2
7 Juli	1117,585	648,2
8 Agustus	1236,387	717,1
9 September	1367,63	793,2
10 Oktober	1442,971	836,9
11 November	1453,019	842,8
12 Desember	1444,386	837,7
Rata-Rata	1330,2	771,5

Tabel 4.10 menunjukkan nilai rata-rata energi yang dibangkitkan Panel Solana per hari dalam sebulan. Untuk 1 panelnya menghasilkan rata-rata 1330,2 Wh/hari atau 1,33 kWh/hari. Sehingga, diperoleh rata-rata energi total sebesar 771,5 kWh/hari. Sedangkan, rata-rata daya yang dihasilkan panel seluas atap sebesar 127.284 W.



Gambar 4.2 Perbandingan kedua panel surya dari rata-rata daya yang dihasilkan per hari

Pada Gambar 4.2 di atas menunjukkan energi rata-rata per hari di bulan tersebut yang dihasilkan masing-masing panel surya. Dapat diamati grafik biru merupakan daya keluaran panel surya CSUN monokristal dan grafik jingga merupakan daya keluaran panel surya jenis Solana. panel surya monokristal CSUN menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan panel surya jenis polikristal Solana. Selisih antara kedua panel sebesar 150,1 kWh per harinya.

Jumlah panel minimal bisa ditentukan dari kebutuhan energi per hari dan daya maksimum dalam 1 waktu. Kebutuhan energi per hari adalah 13,424 kWh, sedangkan daya maksimum per hari dapat dilihat pada Tabel 4.1 (Peak) yang berjumlah 1755,4 W. Jumlah panel ditentukan dari luas atap maksimal yang ditempati oleh panel surya. Dari batasan ini dapat dibuat tabel jumlah panel.

4.3.3. Baterai

Tabel 4.11 Spesifikasi Baterai Li-Ion

Jenis	LiFePO ₄
Tegangan	12 V
Arus	310 Ah
Daya	3,72 kWh
Harga	Rp 9.450.000
Berat	77 Kg

Tabel 4.11 menunjukkan spesifikasi baterai Li-Ion berjenis LiFePO₄ (Lithium Iron Phosphate) merupakan salah satu baterai *lithium-ion* yang sangat aman tetapi memiliki energi spesifik yang rendah, yaitu 90-120 Wh/kg. Dengan daya 3720 Wh baterai berharga Rp 9.450.000.

Dalam penelitian ini, jumlah baterai disesuaikan dengan total penerimaan energi oleh panel surya. Panel surya CSUN menghasilkan energi 921,6 kWh/hari sehingga, memerlukan baterai sebanyak 244 buah. Sedangkan untuk Solana menghasilkan energi 771,5 kWh/hari sehingga, memerlukan baterai sebanyak 205 buah, karena baterai berkapasitas 3,72 kWh, maka jumlah baterai juga merupakan kelipatan dari kapasitasnya.

4.3.4. Solar Inverter

Solar inverter hanya dibutuhkan 1 buah. Hal ini dikarenakan fungsi inverter yang mengubah arus DC menjadi arus AC dan spesifikasi inverter ditentukan dari besarnya daya yang masuk dari panel surya. Jika panel surya menghasilkan daya sebesar 3000 W, maka diperlukan inverter sebesar 3000 W untuk daya inputnya.

Dalam penelitian ini, dipilih inverter dengan daya input 165 kW dan output 110 kW. Berdasarkan perhitungan, daya yang dibangkitkan panel paling besar adalah 167 kW dari panel CSUN, nilai ini didapat dari daya maksimum yang dihasilkan panel surya.

4.4. Analisis Ekonomi

Di bawah ini adalah data peralatan yang dibutuhkan beserta harganya untuk membangun PLTS sesuai dengan desain yang telah dibuat.

4.4.1. Panel Surya CSUN 350 Wp

Tabel 4.12 Data Harga Komponen CSUN 350 Wp

Nama Barang	Jumlah	Satuan	Harga	per	Total
CSUN 350 Wp	493 buah		Rp 3,675,000	buah	Rp 1,811,775,000
Sunny Tripower CORE2	1 buah		Rp 87,022,089	buah	Rp 87,022,089
VMAX 3720Wh	244 buah		Rp 9,450,000	buah	Rp 2,305,800,000
Rail 2250mm	994.5 Meter		Rp 249,000	2.25	Rp 110,058,000
Mid Clamp	476 buah		Rp 15,000	buah	Rp 7,140,000
End Clamp	34 buah		Rp 15,000	buah	Rp 510,000
Horizontal Tile Hook	1326 buah		Rp 100,000	buah	Rp 132,600,000
		Total			Rp 4,454,905,089

Tabel 4.12 menunjukkan harga total dari perencanaan dengan panel surya CSUN 350 Wp. Luas atap dapat diisi dengan 493 buah panel. Jumlah baterai 769 buah untuk memadai energi yang dihasilkan per harinya. Railing sepanjang 994,5 meter dari; 1 panel membutuhkan 2 rail, 1 baris rail untuk atap sepanjang 29,25 m, dikalikan dengan jumlah baris panel dalam atap yaitu 17. Mid dan end clamp disesuaikan dengan jumlah panel. Dalam 1 rail 2,25 m terdapat 3 hook. Dari data di atas dapat dilihat, untuk membuat PLTS yang dirancang membutuhkan total investasi awal sebesar Rp 4,454,905,089.

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS, diperhitungkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal. Penentuan persentase 1% didasarkan bahwa negara Indonesia hanya mengalami dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau sehingga biaya pembersihan dan pemeliharaan panel suryanya tidak sebesar pada negara yang mengalami empat musim dalam satu tahun. Selain itu penentuan persentase ini juga didasarkan pada tingkat upah tenaga kerja di Indonesia yang lebih murah dibandingkan dengan tingkat upah tenaga kerja di negara maju. Adapun biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS adalah sebagai berikut.

$$M = \text{Total Biaya Investasi} * 1\%$$

$$M = \text{Rp } 4,454,905,089 * 1\%$$

$$M = \text{Rp } 44,549,050 \text{ per Tahun}$$

Jika diperkirakan usia panel surya mencapai 25 tahun, maka total biaya pemeliharaan dan operasional untuk 25 tahun adalah sebesar Rp 1,113,726,272.

Total Investasi PLTS adalah total biaya yang diperkirakan untuk PLTS tersebut, mencakup total biaya investasi awal, dan biaya pemeliharaan selama 25 tahun.

$$\text{Total Investasi} = \text{Rp } 4,454,905,089 + \text{Rp } 1,113,726,272$$

$$\text{Total Investasi} = \text{Rp } 5,568,631,361$$

Analisa perhitungan dilakukan berdasarkan ketentuan Peraturan Menteri ESDM No.19 Tahun 2016 tentang pembelian listrik oleh PLN dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik, yang menyebutkan bahwa pembelian tenaga listrik dari PLTS akan ditetapkan dengan harga US\$ 0.145/kWh atau setara dengan Rp 2.175 (Kurs Rp 15.000).

Pendapatan yang dihasilkan per tahun dari PLTS (CSUN) adalah:

$$\frac{\text{Rp } 2.175}{\text{kWh}} * 1869,4 \text{ Wh} * \frac{493 * 365}{1000} = \text{Rp } 731,646,473$$

Maka *Break Even Point* (BEP) dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \text{Total Investasi} / \text{Pendapatan} \\ &= \text{Rp } 5,568,631,361 / \text{Rp } 731,646,473 \\ &= 7.6 \text{ Tahun} \approx 7 \text{ Tahun } 7 \text{ Bulan} \end{aligned}$$

Net Present Value

Perhitungan NPV dibuat dengan proyeksi perhitungan pendapatan dan biaya yang terjadi selama 25 tahun (berdasarkan dengan penggunaan tingkat suku bunga sebesar 11% setiap tahun) . Perhitungan NPV dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$\text{NPV} = \text{Pendapatan} / (1 + \text{bunga})^{\text{tahun}}$$

Tabel 4.13 Nilai NPV dari Rancangan PLTS (CSUN)

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Tingkat Suku Bunga 11%	Nilai Kas
0	Rp 4,454,905,089		1.00	-Rp 4,454,905,089
1		Rp 731,646,473	0.901	Rp 659,140,967
2		Rp 731,646,473	0.812	Rp 593,820,691
3		Rp 731,646,473	0.731	Rp 534,973,595
4		Rp 731,646,473	0.659	Rp 481,958,194
5		Rp 731,646,473	0.593	Rp 434,196,571
6		Rp 731,646,473	0.535	Rp 391,168,082
7		Rp 731,646,473	0.482	Rp 352,403,678
8		Rp 731,646,473	0.434	Rp 317,480,791
9		Rp 731,646,473	0.391	Rp 286,018,730
10		Rp 731,646,473	0.352	Rp 257,674,532
11		Rp 731,646,473	0.317	Rp 232,139,218
12		Rp 731,646,473	0.286	Rp 209,134,430
13		Rp 731,646,473	0.258	Rp 188,409,397
14		Rp 731,646,473	0.232	Rp 169,738,195
15		Rp 731,646,473	0.209	Rp 152,917,293
16		Rp 731,646,473	0.188	Rp 137,763,327
17		Rp 731,646,473	0.170	Rp 124,111,105
18		Rp 731,646,473	0.153	Rp 111,811,807
19		Rp 731,646,473	0.138	Rp 100,731,357
20		Rp 731,646,473	0.124	Rp 90,748,971
21		Rp 731,646,473	0.112	Rp 81,755,829
22		Rp 731,646,473	0.101	Rp 73,653,900
23		Rp 731,646,473	0.091	Rp 66,354,865
24		Rp 731,646,473	0.082	Rp 59,779,158
25		Rp 731,646,473	0.074	Rp 53,855,097
		NPV		Rp 1,706,834,691

Dari Tabel 4.13 di atas dapat dilihat bahwa nilai NPV adalah Positif sebesar Rp1,706,834,691. Maka dapat disimpulkan, investasi PLTS CSUN dapat diterima. Jika dibandingkan dengan usia panel surya yang diperkirakan mencapai 25 tahun, maka dari hasil analisa ekonomi, perancangan PLTS ini akan menguntungkan.

4.4.2. Panel Surya Solana 250 Wp

Tabel 4.14 Data Harga Komponen Solana 250 Wp

Nama Barang	Jumlah	Satuan	Harga	per	Total
Solana Poly 250 WP	580 buah		Rp 2,250,000	buah	Rp 1,305,000,000
Sunny Tripower CORE2	1 buah		Rp 87,022,089	buah	Rp 87,022,089
VMAX 3720Wh	205 buah		Rp 9,450,000	buah	Rp 1,937,250,000
Rail 2250mm	1170 Meter		Rp 249,000	2.25	Rp 129,480,000
Mid Clamp	560 buah		Rp 15,000	buah	Rp 8,400,000
End Clamp	40 buah		Rp 15,000	buah	Rp 600,000
Horizontal Tile Hook	1560 buah		Rp 100,000	buah	Rp 156,000,000
	Total				Rp 3,623,752,089

Tabel 4.14 menunjukkan harga total dari perencanaan dengan panel surya Solana 250 Wp. Luas atap dapat diisi dengan 580 buah panel. Jumlah baterai 643 buah untuk memadai energi yang dihasilkan per harinya. Railing sepanjang 1170 meter dari; 1 panel membutuhkan 2 rail, 1 baris rail untuk atap sepanjang 29,25 m, dikalikan dengan jumlah baris panel dalam atap yaitu 20. Mid dan end clamp disesuaikan dengan jumlah panel. Dalam 1 rail 2,25 m terdapat 3 hook.

Analisis ekonomi menggunakan langkah-langkah yang sama seperti sebelumnya.

$$M = \text{Total Biaya Investasi} * 1\%$$

$$M = \text{Rp } 3,623,752,089 * 1\%$$

$$M = \text{Rp } 36,237,520 \text{ per Tahun}$$

$$\text{Total Investasi} = \text{Rp } 3,623,752,089 + \text{Rp } 36,237,520 * 25$$

$$\text{Total Investasi} = \text{Rp } 4,529,690,089$$

Pendapatan yang dihasilkan per tahun dari PLTS (Solana) adalah:

$$\frac{\text{Rp } 2.175}{kWh} * 1330,2 \text{ Wh} * \frac{580 * 365}{1000} = \text{Rp } 612,487,264.5$$

$$\text{BEP} = \text{Total Investasi} / \text{Pendapatan}$$

$$= \text{Rp } 4,529,690,089 / \text{Rp } 612,487,264.5$$

$$= 7,4 \text{ Tahun} \approx 7 \text{ Tahun } 5 \text{ Bulan}$$

Tabel 4.15 Nilai NPV dari Rancangan PLTS (Solana)

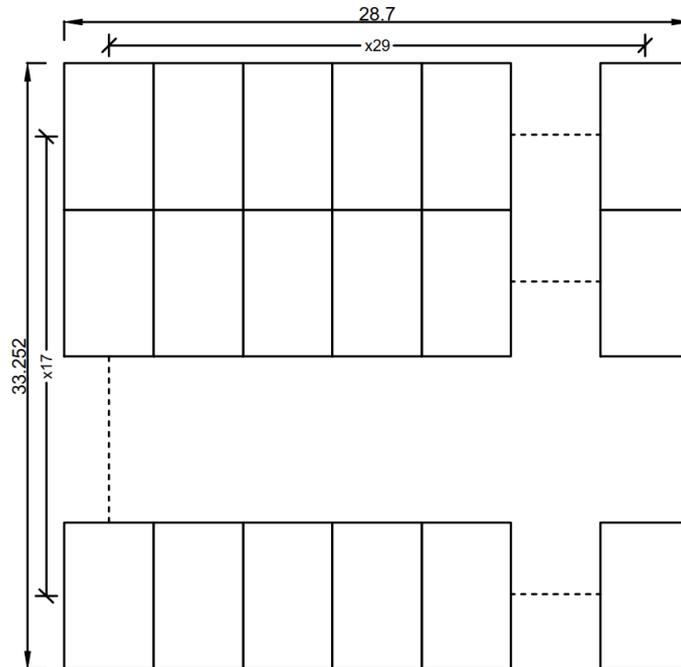
Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Tingkat Suku Bunga 11%	Nilai Kas
0	Rp 3,623,752,089		1.00	-Rp 3,623,752,089
1		Rp 612,487,265	0.901	Rp 551,790,328
2		Rp 612,487,265	0.812	Rp 497,108,404
3		Rp 612,487,265	0.731	Rp 447,845,409
4		Rp 612,487,265	0.659	Rp 403,464,332
5		Rp 612,487,265	0.593	Rp 363,481,381
6		Rp 612,487,265	0.535	Rp 327,460,703
7		Rp 612,487,265	0.482	Rp 295,009,643
8		Rp 612,487,265	0.434	Rp 265,774,453
9		Rp 612,487,265	0.391	Rp 239,436,444
10		Rp 612,487,265	0.352	Rp 215,708,508
11		Rp 612,487,265	0.317	Rp 194,331,989
12		Rp 612,487,265	0.286	Rp 175,073,864
13		Rp 612,487,265	0.258	Rp 157,724,202
14		Rp 612,487,265	0.232	Rp 142,093,876
15		Rp 612,487,265	0.209	Rp 128,012,501
16		Rp 612,487,265	0.188	Rp 115,326,577
17		Rp 612,487,265	0.170	Rp 103,897,817
18		Rp 612,487,265	0.153	Rp 93,601,637
19		Rp 612,487,265	0.138	Rp 84,325,799
20		Rp 612,487,265	0.124	Rp 75,969,188
21		Rp 612,487,265	0.112	Rp 68,440,710
22		Rp 612,487,265	0.101	Rp 61,658,298
23		Rp 612,487,265	0.091	Rp 55,548,016
24		Rp 612,487,265	0.082	Rp 50,043,258
25		Rp 612,487,265	0.074	Rp 45,084,016
		NPV		Rp 1,534,459,263

Dari Tabel 4.15 di atas dapat dilihat bahwa nilai NPV adalah Positif sebesar Rp1,534,459,263. Maka dapat disimpulkan, investasi PLTS Solana dapat diterima. Jika dibandingkan dengan usia panel surya yang diperkirakan mencapai 25 tahun, maka dari hasil analisa ekonomi yang didapat, perancangan PLTS ini akan menguntungkan.

Harga komponen saat ini untuk memadai panel surya CSUN lebih mahal dibandingkan dengan Solana dikarenakan harga satuan yang lebih mahal dan energi yang dihasilkan oleh CSUN juga lebih besar dengan selisih kedua panel sebesar 150,1 kWh/hari. Jumlah baterai disesuaikan dengan total energi yang dihasilkan panel seharusnya sehingga, untuk memadai panel surya CSUN dibutuhkan lebih banyak penyimpanan energi.

Dari pembahasan ini, dapat disimpulkan bahwa panel surya jenis monokristalin merek CSUN menghasilkan energi yang lebih besar dibandingkan dengan jenis polikristalin merek Solana, kemudian panel surya monokristalin merek CSUN mempunyai harga Rupiah per Watt-Hour yang lebih tinggi. Dengan harga Rp 1,965.87 /Wh /panel untuk CSUN dan Rp 1,691.47 /Wh /panel untuk Solana. Dikarenakan kedua panel surya sudah mencukupi kebutuhan energi ruangan, maka keuntungan total kedua jenis komponen akan menjadi pertimbangan dalam pemilihan perancangan PLTS.

4.5. Rancangan PLTS



Gambar 4.3 Susunan Panel di Atap

Gambar 4.3 menunjukkan susunan panel di atap aktual. Dimensi panel memakai dimensi dari panel surya CSUN. Jumlah panel surya yang akan digunakan sebanyak 493 panel surya yang akan disusun secara seri dan paralel. Panjang dan lebar atap berurut-urut adalah 33,3 m dan 28,89 m. Dari luas ini dapat dipasang panel sejumlah 29 buah secara melebar atau seri dan 17 buah secara memanjang atau paralel.

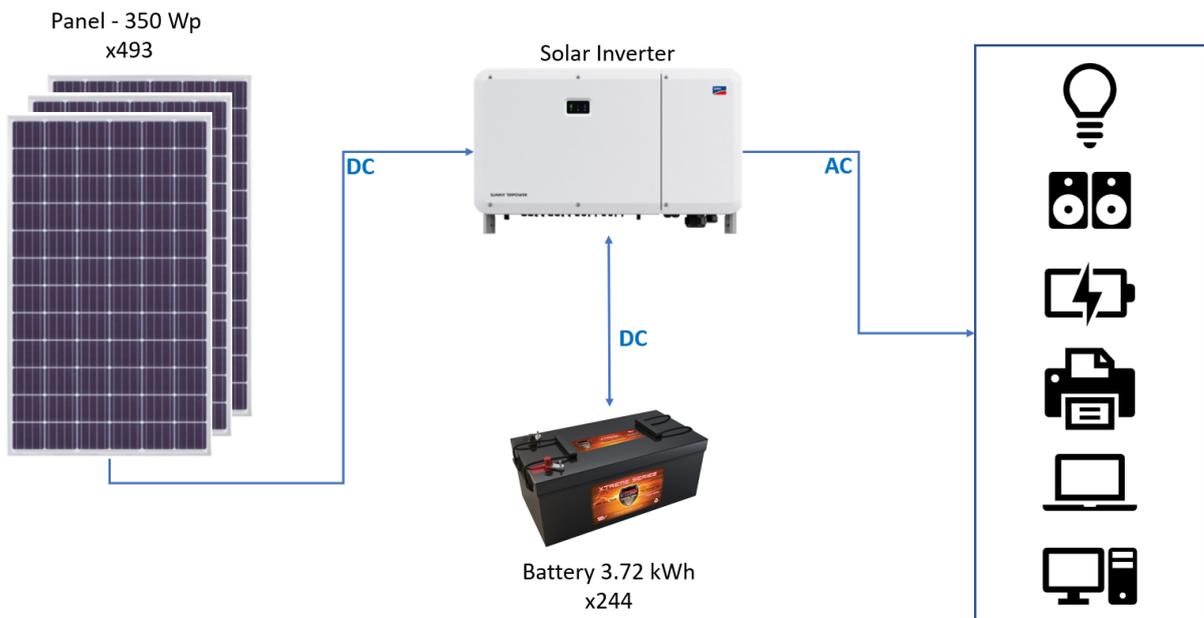
Berdasarkan spesifikasi panel surya $V_{mpp} = 38,2 \text{ V}$, $I_{mpp} = 9,17 \text{ A}$ dan $P_{mpp} = 350 \text{ Wp}$ per panel surya, maka dengan spesifikasi tersebut besar V_{mpp} , I_{mpp} dan P_{mpp} pada 1 panel dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{mpp} & \quad 1 \text{ panel adalah } 38,2 * 29 = 1.107,8 \text{ V,} \\ I_{mpp} & \quad 1 \text{ panel adalah } 9,17 * 17 = 155,89 \text{ A,} \end{aligned}$$

maka P_{mpp} (Daya maksimum) dapat dicari sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_{mpp} & = V_{mp} * I_{mp} \\ P_{mpp} & = 1.107,8 \text{ V} * 155,89 \text{ A} \\ P_{mpp} & = 172.694,942 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Dari perhitungan ini, terlihat bahwa daya bangkitan maksimal yang bisa dibangkitkan oleh panel adalah 173 kW.



Gambar 4.4 Skema Perancangan PLTS

Gambar 4.4 menunjukkan rangkaian perancangan, mulai dari panel surya yang mempunyai arus searah menuju ke *solar inverter* yang terhubung dengan baterai. Kemudian dari baterai ke *solar inverter* kembali untuk pengubahan arus listrik yang akan digunakan oleh keperluan gedung atau ruangan.

Setelah menentukan komponen inverter dan panel surya, energi yang diterima panel surya akan mengalami penurunan dikarenakan adanya efisiensi sebesar 98,4% dari inverter itu sendiri. Maka dari itu, energi rata-rata yang bisa dipakai adalah sebagai berikut.

$$921,6 \frac{kWh}{hari} * 98,4\% = 906,86 \frac{kWh}{hari}$$

$$\text{Kelebihan Energi} = 906,86 - 246 = 660,99 \text{ kWh/hari}$$

Energi yang dihasilkan oleh pembangkit dalam sehari sebesar 906,86 kWh, sementara beban listrik ruangan sebesar 246 kWh. Dapat disimpulkan bahwa pembangkit cukup untuk memasok energi yang dibutuhkan gedung dalam sehari, ditambah dengan energi lebihnya sebesar 660,99 kWh/hari. Energi lebih yang dihasilkan dapat digunakan untuk keperluan di luar gedung parkir ini, contohnya digunakan untuk ruangan lainnya atau bahkan untuk keperluan 1 departemen teknik mesin. Selain digunakan, energi lebih juga bisa dijual ke PLN dengan harga yang lebih tinggi dibandingkan dengan tarif dasar PLN, yaitu Rp 2.175.

4.6. Perancangan Alternatif

Sub-bab ini akan membahas perancangan tanpa energi yang sangat berlebih, sehingga menggunakan komponen panel surya yang secukupnya untuk keperluan listrik gedung ini.

Dengan data yang ditampilkan di atas, terlihat bahwa kebutuhan energi gedung sebesar 246 kWh dan energi bangkitan masing-masing dari kedua panel. Dari data ini bisa dihitung

untuk mendapatkan jumlah komponen yang secukupnya. Karena kebutuhan daya disesuaikan, maka solar inverter yang digunakan akan berubah.

Solar inverter yang dipakai adalah Sunny Tripower 25000TL yang memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 4.16 Spesifikasi Inverter Sunny Tripower 25000TL

Technical Data	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
Input (DC)			
Max. generator power	27000 Wp	36000 Wp	45000 Wp
DC rated power	15330 W	20440 W	25550 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	240 V to 800 V / 600 V	320 V to 800 V / 600 V	390 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A	33 A / 33 A	33 A / 33 A
Max. DC short-circuit current input A/input B	43 A / 43 A	43 A / 43 A	43 A / 43 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3
Output (AC)			
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	15000 W	20000 W	25000 W
Max. AC apparent power	15000 VA	20000 VA	25000 VA
AC nominal voltage		3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V	
AC voltage range		180 V to 280 V	
AC grid frequency / range		50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz	
Rated power frequency / rated grid voltage		50 Hz / 230 V	
Max. output current / Rated output current	29 A / 21.7 A	29 A / 29 A	36.2 A / 36.2 A
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor		1 / 0 overexcited to 0 underexcited	
THD		≤ 3%	
Feed-in phases / connection phases		3 / 3	
Efficiency			
Max. efficiency / European Efficiency	98.4% / 98.0%	98.4% / 98.0%	98.3% / 98.1%

Dapat dilihat pada Tabel 4.16, inverter memiliki daya input/output dan efisiensi yang lebih rendah dari sebelumnya, tetapi cukup untuk memasok energi untuk gedung.

4.6.1. Panel Surya CSUN

$$Jumlah\ Panel = \frac{Kebutuhan\ Energi}{Energi\ Bangkitan\ Panel * \eta_{Inverter}}$$

$$Jumlah\ Panel = \frac{245.869\ Wh}{1869,4\ Wh * 98,1\%}$$

$$Jumlah\ Panel = 134.07 \approx 135$$

Jumlah panel CSUN yang diperlukan berjumlah 135 buah dengan maksimum daya 47,25 kW dan diperlukan baterai sebanyak 67 buah sebesar 249,24 kWh yang dapat menampung energi 1 hari.

Tabel 4.17 Biaya Alternatif Komponen CSUN 350 Wp

Nama Barang	Jumlah	Satuan	Harga	per	Total
CSUN 350 Wp	135	buah	Rp 3,675,000	buah	Rp 496,125,000
Sunny Tripower 25000TI	1	buah	Rp 81,063,000	buah	Rp 81,063,000
VMAX 3720Wh	67	buah	Rp 9,450,000	buah	Rp 633,150,000
Rail 2250mm	274.5	Meter	Rp 249,000	2.25	Rp 30,378,000
Mid Clamp	130	buah	Rp 15,000	buah	Rp 1,950,000
End Clamp	10	buah	Rp 15,000	buah	Rp 150,000
Horizontal Tile Hook	366	buah	Rp 100,000	buah	Rp 36,600,000
	Total				Rp 1,279,416,000

Tabel 4.17 menunjukkan harga yang dibutuhkan komponen dengan panel CSUN, yaitu sebesar Rp1,279,416,000. Harga lebih rendah dibanding sebelumnya karena menggunakan komponen yang lebih sedikit. BEP dari perencanaan ini adalah 6 tahun 11 bulan.

4.6.2. Panel Surya Solana

$$Jumlah\ Panel = \frac{245.869\ Wh}{1330,2\ Wh * 98,1\%}$$

$$Jumlah\ Panel = 188.4 \approx 189$$

Jumlah panel Solana yang diperlukan berjumlah 189 buah dengan maksimum daya 47,25 kW dan diperlukan baterai sebanyak 67 buah sebesar 249,24 kWh yang dapat menampung energi 1 hari.

Tabel 4.18 Biaya Alternatif Komponen Solana 250 Wp

Nama Barang	Jumlah	Satuan	Harga	per	Total
Solana Poly 250 WP	189	buah	Rp 2,250,000	buah	Rp 425,250,000
Sunny Tripower 25000TI	1	buah	Rp 81,063,000	buah	Rp 81,063,000
VMAX 3720Wh	67	buah	Rp 9,450,000	buah	Rp 633,150,000
Rail 2250mm	384.8	Meter	Rp 249,000	2.25	Rp 42,579,000
Mid Clamp	182	buah	Rp 15,000	buah	Rp 2,730,000
End Clamp	14	buah	Rp 15,000	buah	Rp 210,000
Horizontal Tile Hook	513	buah	Rp 100,000	buah	Rp 51,300,000
	Total				Rp 1,236,282,000

Tabel 4.17 menunjukkan harga yang dibutuhkan komponen dengan panel Solana, yaitu sebesar Rp1,236,282,000. Harga lebih rendah dibanding dengan CSUN karena menggunakan panel surya yang lebih murah tetapi komponen pendukung lebih banyak. BEP dari perencanaan ini adalah 6 tahun 9 bulan.

Tabel 4.19 Nilai NPV dari Perancangan Alternatif

Panel Surya CSUN

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Tingkat Suku Bunga 11%	Nilai Kas
0	Rp 1,368,975,120		1.00	-Rp 1,368,975,120
1		Rp 197,143,889	0.901	Rp 177,607,108
2		Rp 197,143,889	0.812	Rp 160,006,403
23		Rp 197,143,889	0.091	Rp 17,879,477
24		Rp 197,143,889	0.082	Rp 16,107,637
25		Rp 197,143,889	0.074	Rp 14,511,385
		NPV		Rp 291,320,379

Panel Surya Solana

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Tingkat Suku Bunga 11%	Nilai Kas
0	Rp 1,322,821,740		1.00	-Rp 1,322,821,740
1		Rp 196,395,473	0.901	Rp 176,932,858
2		Rp 196,395,473	0.812	Rp 159,398,972
23		Rp 196,395,473	0.091	Rp 17,811,601
24		Rp 196,395,473	0.082	Rp 16,046,487
25		Rp 196,395,473	0.074	Rp 14,456,295
		NPV		Rp 331,170,786

Setelah dilakukan analisa NPV pada Tabel 4.19, terlihat bahwa pada tahun ke-25, perancangan menggunakan panel merek Solana lebih ekonomis dibandingkan dengan panel merek CSUN.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang perencanaan pembangkit listrik tenaga surya untuk ruangan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Total energi listrik yang dibutuhkan laboratorium adalah 246 kWh /hari. Dengan tersedianya energi sebesar 906,86 kWh /hari, kebutuhan listrik laboratorium dapat terpenuhi.
2. Total energi rata-rata setahun yang diterima oleh 1 panel surya Solana 250 Wp adalah 1,33 kWh/hari. Sedangkan, energi rata-rata yang dihasilkan panel seluas atap sebesar 771,5 kWh/hari dengan daya 127.284 W.
3. Total energi rata-rata setahun yang diterima oleh 1 panel surya CSUN 350 Wp adalah 1,87 kWh/hari. Sedangkan, energi rata-rata yang dihasilkan panel seluas atap sebesar 921,6 kWh/hari dengan daya 152.046 W.
4. Biaya awal yang dibutuhkan untuk perencanaan PLTS *off-grid* berkapasitas 173 kW dengan panel surya CSUN 350 Wp adalah Rp 4,454,905,089. Dengan luas atap sebesar 962 m², jumlah panel surya yang bisa dipasang sebanyak 580 buah seluas 954.66 m².

5.2. Saran

Penulis setelah melakukan penelitian ini memberikan beberapa saran agar pada penelitian selanjutnya menjadi lebih baik sebagai berikut.

1. Menggunakan komponen *solar tracker* agar daya bangkitan panel surya lebih efektif.
2. Membandingkan hasil penelitian dengan hasil pengukuran alat seperti *candle-meter*, *luxmeter* atau *light-meter*.

DAFTAR PUSTAKA

- 6.4. *Inverters: principle of operation and parameters | EME 812: Utility Solar Power and Concentration*. (n.d.). Retrieved November 16, 2021, from <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/711>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. Wiley.
- Duka, E. T. A., Setiawan, I. N., & Weking, A. I. (2018). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Badung. *Antonius Ibi Weking*, 5(2), 67.
- Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems Contents*. (n.d.).
- How to Connect A Solar Panel to an Existing Inverter Circuit | Solar Panel Circuit Diagram | Solar Inverter Circuit/Hybrid Solar Panel System*. (2015).
<https://electrical.bazonweb.com/how-to-connect-a-solar-panel-to-an-existing-inverter-circuit/>
- Pagan, S. E. P., Sara, I. D., & Hasan, H. (2018). *Jurnal Komparasi Kinerja Panel Surya Jenis Monokristal*.
- Pramuji, S. (2019, April). *Konsumsi listrik dan pertumbuhan ekonomi*.
<https://beritagar.id/index.php/artikel/berita/konsumsi-listrik-dan-pertumbuhan-ekonomi>
- Safitri, N., Rihayat, T., & Riskina, S. (2019). *BUKU TEKNOLOGI PHOTOVOLTAIC Teuku Rihayat Politeknik Negeri Lhokseumawe*.
<https://www.researchgate.net/publication/341909134>
- S.G., R., & Ch. Rangkuti. (2016). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti. *Seminar Nasional Cendekiawan*.
- Usvika, R. (2019, November 29). *Prospek Energi Surya Dan Mini Hidro Di Indonesia | Pupuk Indonesia*. <https://www.pupuk-indonesia.com/artikel/prospek-energi-surya-dan-mini-hidro-di-indonesia>
- Wilson, A. (2011). *From Sunlight to Electricity: How Solar Cells Work | BuildingGreen*.
<https://www.buildinggreen.com/primer/sunlight-electricity-how-solar-cells-work>

LAMPIRAN

1. Spesifikasi Teknis Panel Surya
 - a. CSUN 350 Wp (51-52)
 - b. Solana 250 Wp (53-54)

2. Spesifikasi Teknis Solar Inverter
 - a. Sunny Tripower CORE2 (55-56)
 - b. Sunny Tripower Sunny Tripower 15000TL / 20000TL / 25000TL (57-58)

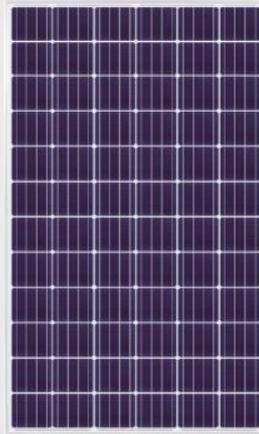
Mono



Powerguard Insurance Global Coverage

Within the first year, the output power shall not be less than 96.5% of the minimum output power in CSUN's product datasheet, thereafter the loss of output power shall not exceed 0.68% per year, ending with 80.18% in the 25th year.

■ CSUN ■ Standard warranty



CSUN350-72M

Premier choice for large scale project

Module Fire Performance: Type 1 (UL 1703)

Fire Resistance Rating: Class C (IEC 61730)

CSUN350-72M
CSUN345-72M
CSUN340-72M
CSUN335-72M
CSUN330-72M



18.07%

Module efficiency

350W

Highest power output

10 years

Material & workmanship warranty

25 years

Linear power output warranty



Industry leading conversion efficiency



Positive tolerance offer



Passed salt mist & ammonia corrosion, blowing sand and hail testing



Certificated to withstand wind (2400 Pa) and snow load (5400 Pa)



Excellent performance under weak light condition



Good temperature coefficient enables better output in hot climates

- China Sunergy Co., Ltd. designs, manufactures and delivers high efficiency solar cells and modules to the world from its production centers based in China, Turkey, South Korea and Vietnam.
- Founded in 2004, China Sunergy is well known for its advanced solar cell technology, reliable product quality, and excellent customer service.
- As one of leading PV enterprises, China Sunergy has delivered more than 4.0GW of solar products to residential, commercial, utility and off-grid projects all around the world.

All information and data are subject to change without notice.

Tel: 025-52766666-6169
025-52766666-6162
Email: CNS@chinasunergy.com

www.csun-solar.com



All rights reserved by CSUN
Version 7/2013-ENG

Electrical Characteristics at Standard Test Conditions (STC)

Module Type	CSUN350-72M	CSUN345-72M	CSUN340-72M	CSUN335-72M	CSUN330-72M
Maximum Power - P _{mpp} (W)	350	345	340	335	330
Positive Power Tolerance	0~3%	0~3%	0~3%	0~3%	0~3%
Open Circuit Voltage - Voc (V)	46.9	46.7	46.5	46.3	46.1
Short Circuit Current - Isc (A)	9.49	9.38	9.32	9.26	9.20
Maximum Power Voltage - V _{mpp} (V)	38.2	38.0	37.8	37.6	37.3
Maximum Power Current - I _{mpp} (A)	9.17	9.09	9.01	8.93	8.85
Module Efficiency	18.07%	17.82%	17.55%	17.30%	17.04%

Electrical data relates to standard test conditions (STC): irradiance 1000W/m²; AM 1.5; cell temperature 25°C measuring uncertainty of power is within ±3%. Certified in accordance with IEC61215, IEC61730-1/2 and UL 1703

Electrical Characteristics at Normal Operating Cell Temperature (NOCT)

Module Type	CSUN350-72M	CSUN345-72M	CSUN340-72M	CSUN335-72M	CSUN330-72M
Maximum Power - P _{mpp} (W)	256	252	249	246	243
Maximum Power Voltage - V _{mpp} (V)	35.2	35.0	34.9	34.8	34.7
Maximum Power Current - I _{mpp} (A)	7.28	7.20	7.14	7.07	7.01
Open Circuit Voltage - Voc (V)	43.2	43.0	42.8	42.6	42.4
Short Circuit Current - Isc (A)	7.76	7.68	7.60	7.51	7.43

Electrical data relates to normal operating cell temperature (NOCT): irradiance 800 W/m²; wind speed 1 m/s; cell temperature 45°C ambient temperature 20°C measuring uncertainty of power is within ±3%

Temperature Characteristics

Voltage Temperature Coefficient	-0,307%/K
Current Temperature Coefficient	+0,039%/K
Power Temperature Coefficient	-0,423%/K

Maximum Ratings

Maximum System Voltage (V)	1000
Series Fuse Rating (A)	20

Mechanical Characteristics

Dimensions	1956*990*40 (L*W*H)
Weight	22.0kg
Frame	Anodized aluminum profile
Front Glass	White toughened safety glass, 3.2 mm
Cell Encapsulation	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)
Back Sheet	Composite film
Cells	6 × 12 monocrystalline solar cells (4BB or 5BB 156 × 156 mm)
Junction Box	Rated current ≥ 12A, IP ≥ 65, TUV & UL
Cable	Length 900 mm, 1 × 4 mm ² 6 × 12 pieces monocrystalline solar cells series strings (156 mm × 156 mm)

Packaging

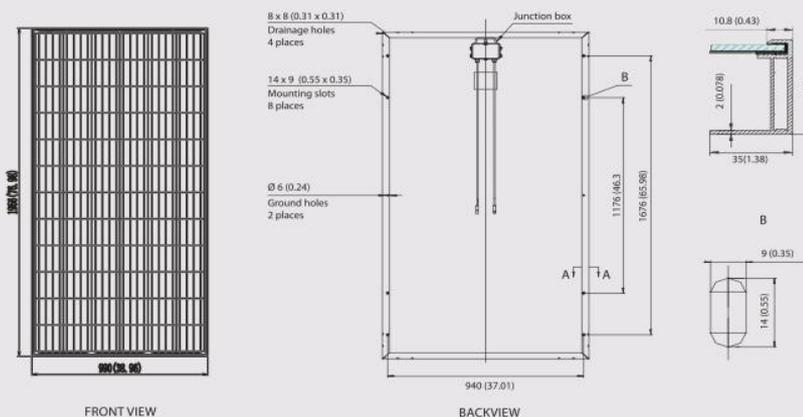
Dimensions (L × W × H)	1990 × 1120 × 112 mm
Container 20'HC	260 pcs.
Container 40'	624 pcs.
Container 40'HC	672 pcs.

System Design

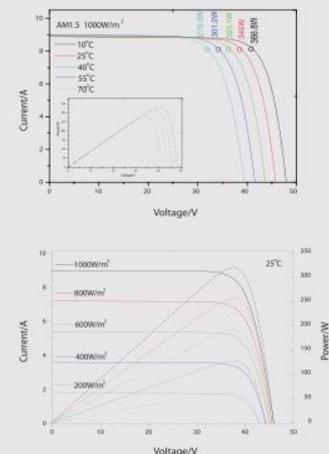
Temperature Range	-40°C to +85°C
Hail	Maximum diameter of 25 mm with impact speed of 23 m/s (51.2 mph)
Maximum Surface Load Capacity	5400 Pa

Dimensions

Note: mm (inch)



IV-Curves



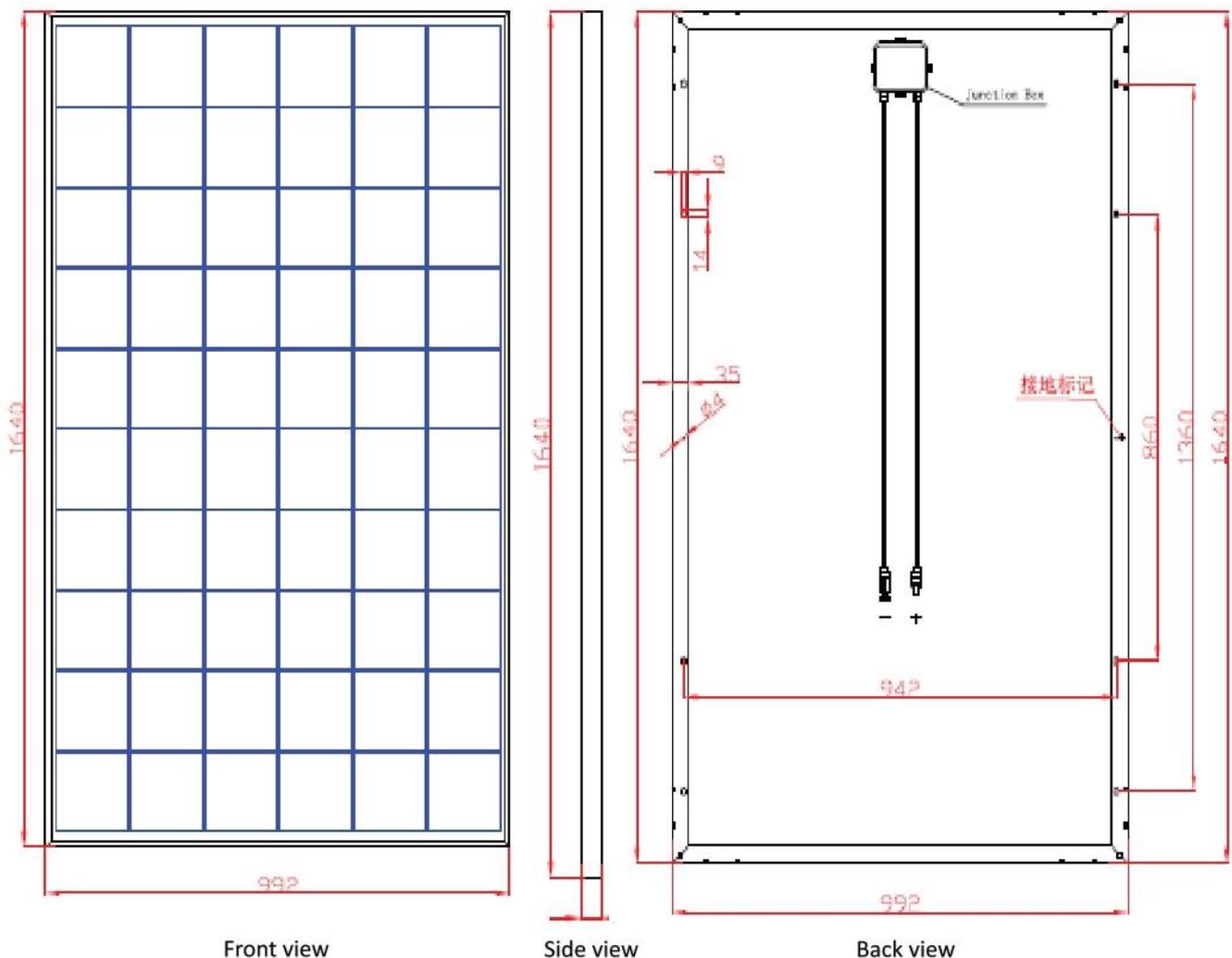
SOL-P24250W

Typical Electrical Characteristics

Max. Power (Pmax)	250Wp
Optimum Operating Voltage (Vm)	29.9V
Optimum Operating Current (Im)	8.36A
Open-circuit Voltage (Voc)	35.8V
Short-circuit Current (Isc)	8.86A
Module efficiency	15.37%

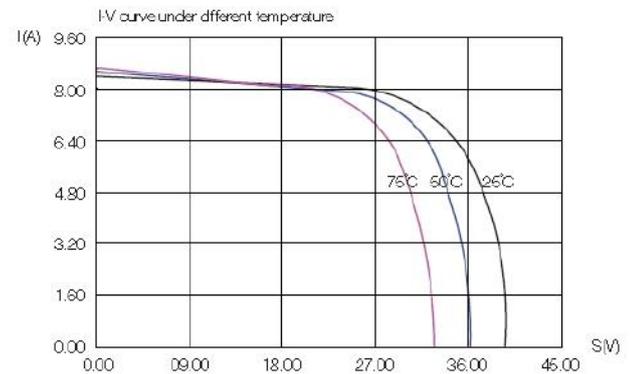
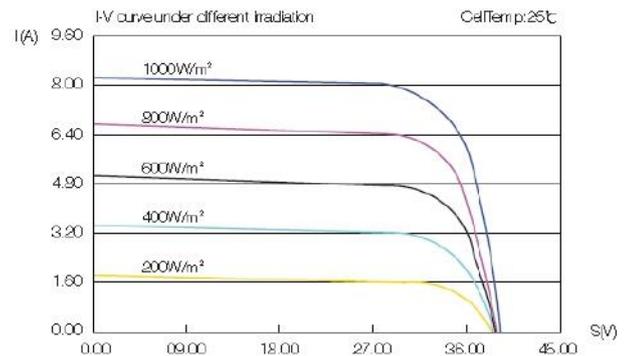


Note: the specifications are obtained under the Standard Test Condition (STC): 1,000W/m², Am 1.5, Cell Temperature 25°C

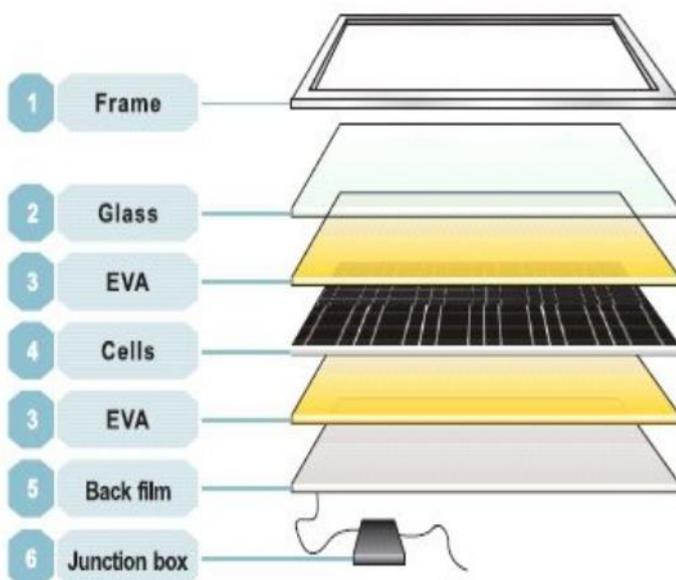


Solar cell	Poly-crystalline 156×156mm
Power Tolerance (Pmax)	0 ~ +3%
Numbers of cells	60pcs of cells in series
Module Dimension	1640×992×35mm
Weight	17.5Kg
Max. System Voltage	1000V DC
Max. Series Fuse Rating	15A
Temperature cycling range	-40°C ~ +85°C
NOTC	47°C
Temp coefficients of ISC	(+0.06%/°C)
Temp coefficients of VOC	(-0.35%/°C)
Temp coefficients of Pmax	(-0.4%/°C)
Load Capacity	312pcs/ 20'GP 728pcs/ 40'HQ

I-V CURVE



Certification



The Structure of Solar Modules

Cells

The hi-efficiency of mono and poly solar cells ensure adequate power for panels.

Glass

Low-iron tempered glass, 3.2mm thickness with higher reflectivity.

EVA

Higher transmission rate, antioxidant capacity and temperature resistance, no expansion or contraction.

Back film

Increase efficiency of modules slightly and reduce module's temperature. Aging resistance, corrosion resistance and airtight.

Aluminum Frame

Using the framework of the anodized aluminum frame with high intensity, mechanical shock resistance capacity.

SUNNY TRIPOWER CORE2

STP 110-60



STP 110-60



SMA ShadeFix
STRING LEVEL OPTIMIZATION

Premium monitoring service
SMA SMART CONNECTED



More flexibility

- For large rooftop and ground-mounted systems up to the MW range
- 12 MPP trackers
- 24 strings with 1 100 V_{oc} Sunclix connectors

More power

- 110 kW for standard 400 V_{ac}
- Fast commissioning without additional DC combiners
- Peak efficiency of 98.6%

More yield

- Premium monitoring service for reliable system performance
- Maximum yields thanks to the integrated software solution SMA ShadeFix

More system integration

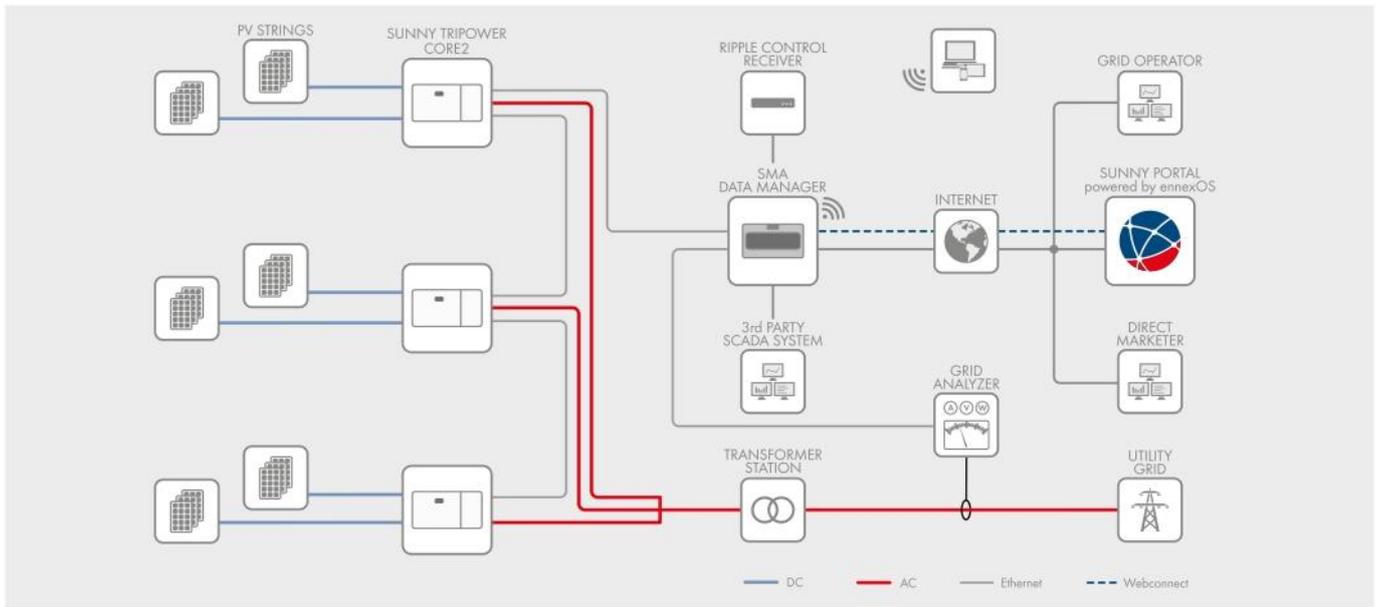
- Flexible and future-proof expansion due to seamless system integration with the SMA Energy System Business
- Holistic energy management with ennexOS
- High IT security

SUNNY TRIPOWER CORE2

Flexible system design and highest yields thanks to integrated features

Flexible system design for larger commercial PV systems: The Sunny Tripower CORE2 is the ideal inverter for decentralized system structures up to the megawatt range. With 110 kilowatts, 24 strings and 12 MPP trackers, the Sunny Tripower CORE2 allows for a particularly high solar coverage in ground-mounted PV systems as well as at different roof pitches during the day. The integrated SMA ShadeFix software solution automatically optimizes system performance anytime, even with partially shaded modules. The automatic inverter monitoring service SMA Smart Connected also ensures maximum PV system yields by detecting failures as fast as possible.

With the Sunny Tripower CORE2 as a central component of the SMA Energy System Business, installers and PV system operators will benefit from the high-quality components from a single source and future-proof options to expand their systems with SMA storage solutions.



Technical data	Sunny Tripower CORE2
Input (DC)	
Max. PV array power	165000 Wp STC
Max. input voltage	1100 V
MPP voltage range	500 V to 800 V
Rated input voltage	585 V
Min. input voltage / Start input voltage	200 V / 250 V
Max. input current per MPP tracker / Max. short-circuit current per MPP tracker	26 A (22 A < 600 V) / 40 A
Number of independent MPP trackers / Strings per MPP tracker	12 / 2
Output (AC)	
Rated power (at 400 V, 50Hz)	110000 W
Rated / Max. apparent power	110000 VA / 110000 VA
Rated voltage	400 V
Voltage range	320 V to 460 V
Grid frequency / range	50 Hz / 45 Hz to 55 Hz 60 Hz / 55 Hz to 65 Hz
Rated grid frequency	50 Hz
Rated / Max. output current	159 A / 159 A
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited
Harmonic (THD)	< 3%
Feed-in phases / AC connection	3 / 3-PE
Efficiency	
Max. efficiency / European efficiency	98.6% / 98.4%
Protective devices	
Input-side disconnection device	●
Ground fault monitoring / grid monitoring / DC reverse polarity protection	● / ● / ●
AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / -
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	●
Monitored surge arrester (type II) AC / DC	● / ●
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)	I / AC: III; DC: II
General data	
Dimensions (W / H / D)	1117 mm / 682 mm / 363 mm (44.0 in / 26.9 in / 14.3 in)
Weight	93.5 kg (206.1 lbs)
Operating temperature range	-30 °C to +60 °C (-22 °F to +140 °F)
Noise emission, maximum (1m)	78 db(A)
Self-consumption (at night)	< 5 W
Topology / cooling concept	Transformerless / active cooling
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP66
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%
Features / functions / accessories	
DC connection / AC connection	Sunclix / terminal lug (up to 240 mm ²)
LED display (Status / Fault / Communication)	●
Ethernet interface	● (2 ports)
Data interface	Web Interface / Modbus SunSpec
Mounting type	Wall mounting / rack mounting
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○ / ○
Certificates and approvals (selection)	IEC 62109-1/-2, EN50549-1/-2:2018, VDE-AR-N 4105/4110/4120:2018, IEC 62116, IEC 61727, C10/C11 LV2/MV1:2018, CEI 0-16:2019, AS/NZS 4777.2, SI 4777, TOR Generator Typ A/B
● Standard features ○ Optional features - not available Data at nominal conditions Status 12/2021	
Type designation	STP 110-60

SUNNY TRIPOWER

15000TL / 20000TL / 25000TL



STP 15000TL-30 / STP 20000TL-30 / STP 25000TL-30



**Intelligent service with
SMA Smart Connected**



SMA ShadeFix
STRING LEVEL OPTIMIZATION

Efficient

- Maximum efficiency of 98.4%
- Yield increase without installation effort due to integrated shade management SMA ShadeFix

Safe

- DC surge arrester (SPD type II) can be integrated

Flexible

- DC input voltage of up to 1000 V
- Multistring capability for optimum system design
- Optional display

Innovative

- Cutting-edge grid management functions with Integrated Plant Control
- Reactive power available 24/7 (Q on Demand 24/7)

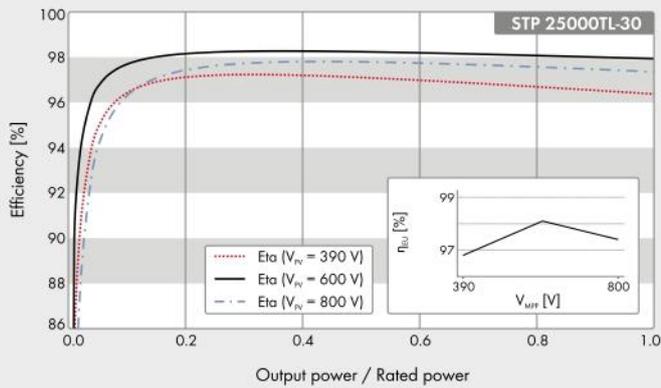
SUNNY TRIPOWER 15000TL / 20000TL / 25000TL

The versatile specialist for large-scale commercial plants and solar power plants

The Sunny Tripower is the ideal inverter for large-scale commercial and industrial plants. Not only does it deliver extraordinary high yields with an efficiency of 98.4%, but it also offers enormous design flexibility and compatibility with many PV modules thanks to its multistring capabilities and wide input voltage range.

The future is now: the Sunny Tripower comes with cutting-edge grid management functions such as Integrated Plant Control, which allows the inverter to regulate reactive power at the point of common coupling. Separate controllers are no longer needed, lowering system costs. Another new feature—reactive power provision on demand (Q on Demand 24/7).

Efficiency Curve



Accessory



RS485 interface
DM-485CB-10



Power Control Module
PWCMOD-10



DC surge arrester Typ II,
inputs A and B
DCSPD KIT3-10



Multifunction relay
MFR01-10

● Standard features ○ Optional features — Not available
Data at nominal conditions
Status: 02/2021

Technical Data

Input (DC)

Max. generator power
DC rated power
Max. input voltage
MPP voltage range / rated input voltage
Min. input voltage / start input voltage
Max. input current input A / input B
Max. DC short-circuit current input A/input B
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input

Output (AC)

Rated power (at 230 V, 50 Hz)
Max. AC apparent power
AC nominal voltage
AC voltage range
AC grid frequency / range
Rated power frequency / rated grid voltage
Max. output current / Rated output current
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor
THD
Feed-in phases / connection phases

Efficiency

Max. efficiency / European Efficiency

Protective devices

DC-side disconnection device
Ground fault monitoring / grid monitoring
DC surge arrester (Type II) can be integrated
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated
All-pole sensitive residual-current monitoring unit
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)

General data

Dimensions (W / H / D)
Weight
Operating temperature range
Noise emission (typical)
Self-consumption (at night)
Topology / cooling concept
Degree of protection (as per IEC 60529)
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)

Features / function / Accessories

DC connection / AC connection
Display
Interface: RS485, Speedwire/Webconnect
Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus
Multifunction relay / Power Control Module
Shade management SMA ShadeFix / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7
Off-Grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 years
Certificates and permits (more available on request)

* Does not apply to all national appendices of EN 50438

	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
Max. generator power	27000 Wp	36000 Wp	45000 Wp
DC rated power	15330 W	20440 W	25550 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	240 V to 800 V / 600 V	320 V to 800 V / 600 V	390 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A	33 A / 33 A	33 A / 33 A
Max. DC short-circuit current input A/input B	43 A / 43 A	43 A / 43 A	43 A / 43 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	15000 W	20000 W	25000 W
Max. AC apparent power	15000 VA	20000 VA	25000 VA
AC nominal voltage		3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V	
AC voltage range		180 V to 280 V	
AC grid frequency / range		50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz	
Rated power frequency / rated grid voltage		50 Hz / 230 V	
Max. output current / Rated output current	29 A / 21.7 A	29 A / 29 A	36.2 A / 36.2 A
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor		1 / 0 overexcited to 0 underexcited	
THD		≤ 3%	
Feed-in phases / connection phases		3 / 3	
Max. efficiency / European Efficiency	98.4% / 98.0%	98.4% / 98.0%	98.3% / 98.1%
DC-side disconnection device		●	
Ground fault monitoring / grid monitoring		● / ●	
DC surge arrester (Type II) can be integrated		○	
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated		● / ● / -	
All-pole sensitive residual-current monitoring unit		●	
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)		I / AC: III; DC: II	
Dimensions (W / H / D)	661 / 682 / 264 mm (26.0 / 26.9 / 10.4 inch)		
Weight		61 kg (134.48 lb)	
Operating temperature range		-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)	
Noise emission (typical)		51 dB(A)	
Self-consumption (at night)		1 W	
Topology / cooling concept		Transformerless / Opticool	
Degree of protection (as per IEC 60529)		IP65	
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)		4K4H	
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)		100%	
DC connection / AC connection		SUNCLIX / spring-cage terminal	
Display		○	
Interface: RS485, Speedwire/Webconnect		○ / ●	
Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus		● / ●	
Multifunction relay / Power Control Module		○ / ○	
Shade management SMA ShadeFix / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7		● / ● / ●	
Off-Grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible		● / ●	
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 years		● / ○ / ○ / ○	
Certificates and permits (more available on request)			
Type designation	STP 15000TL-30	STP 20000TL-30	STP 25000TL-30

AS 4777, BDEW 2008, C10/11, CE, CEI 0-16, CEI 021, CNS 15382, CNS 15426, DEWA 2.0, DK1, DK2, EN 50549-1, EN 50549-2, G99/1, EN 50438:2013*, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IS 16221-1/2, IS 16169, MEA 2013, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 097-2:1, FEA 2013, NTS, PPC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n°7:2013, RKG compliant, S4777, TOR generator, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-ARN 4105, VDE-ARN 4110, VFR 2014

BIODATA PENULIS



Francis Alexander lahir di Jakarta pada tanggal 28 Juni 2000, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Saat ini sedang menjadi mahasiswa tingkat akhir di Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Surabaya. Lulus dari SMP dan SMA IPEKA Puri.

Semasa kuliah, Francis pernah menjadi panitia di beberapa acara seperti Petrolida dan acara lomba olahraga. Selain itu, aktif di organisasi mahasiswa yaitu, Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin yang berorientasi di bidang otomotif, mulai dari konvensional sampai modern.