

SKRIPSI

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PERENCANAAN
PLTS *ROOFTOP ON-GRID* DI PT INTAN PRATAMA
TEKNIK**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh :

Putu Krisna Dipayana

NIM. 2315374006

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2024**

LEMBAR PERSETUJUAN SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PERENCANAAN
PLTS *ROOFTOP ON-GRID* DI PT. INTAN PRATAMA
TEKNIK**

Oleh :

Putu Krisna Dipayana

NIM. 2315374006

Proposal Skripsi ini telah Melalui Bimbingan dan Disetujui untuk
Diseminarkan pada Seminar Proposal Skripsi
di
Program Studi D4 Teknik Otomasi
Jurusan Teknik Elektro - Politeknik Negeri Bali

Bukit Jimbaran, 2024

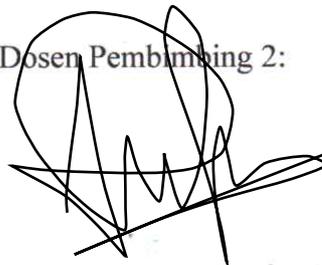
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1:



Ni Made Karmiathi, S.T., M.T.
NIP. 197111221998022001

Dosen Pembimbing 2:



Dr. Ir. I Wayan Jondra, M.Si.
NIP. 196807061994031003

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PERENCANAAN
PLTS ROOFTOP ON-GRID DI PT INTAN PRATAMA
TEKNIK**

Oleh :

Putu Krisna Dipayana

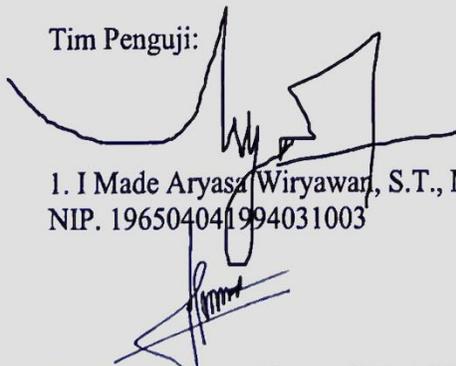
NIM. 2315374006

Skripsi ini sudah Melalui Seminar Proposal dan Diajukan untuk
Dilanjutkan sebagai Skripsi
di
Program Studi D4 Teknik Otomasi
Jurusan Teknik Elektro - Politeknik Negeri Bali

Bukit Jimbaran, ^{13/9/}..... 2024

Disetujui Oleh:

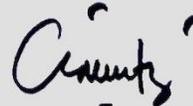
Tim Penguji:



1. I Made Aryasa Wiryawan, S.T., M.T.
NIP. 196504041994031003

2. I Gede Sastra Wibawa, S.T., M.T.
NIP. 1968070419980210001

Dosen Pembimbing:



1. Ni Made Karmiathi, S.T., M.T.
NIP. 197111221998022001

2. Dr. Ir. Wayan Jondra, M.Si.
NIP. 196807061994031003

Disahkan Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Ir. Kadek Amerta Yasa, ST., MT.
NIP. 196809121995121001

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa Skripsi dengan judul:

“Analisis Teknis Dan Ekonomis Perencanaan PLTS *Rooftop On-Grid* Di PT Intan Pratama Teknik”

adalah asli hasil karya saya sendiri.

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah Skripsi ini tidak terdapat karya orang lain yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar di suatu perguruan tinggi, dan atau sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah Skripsi ini, dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila saya melakukan hal tersebut di atas, dengan ini saya menyatakan menarik Skripsi yang saya ajukan sebagai hasil karya saya.

Bukit Jimbaran, 12 September 2024

Yang menyatakan



Putu Krisna Dipayana

NIM. 2315374006

ABSTRAK

Dalam upaya memenuhi peningkatan konsumsi energi listrik dan mendukung pengembangan energi terbarukan di Bali, penelitian ini mengevaluasi implementasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Rooftop* pada PT Intan Pratama Teknik, sebuah perusahaan yang menyediakan layanan K3 dan beroperasi di bidang pemeriksaan dan pengujian teknik. Beralamat di Jalan Kebak Sari No.16, Pemecutan Klod, Denpasar, Bali, perusahaan ini memiliki luas bangunan 10 x 8 m² dan menghadapi tantangan dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik yang meningkat. PLTS *Rooftop* dipilih sebagai solusi potensial untuk mengurangi ketergantungan pada energi listrik dari PLN dan menurunkan emisi gas karbon. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis teknis dan ekonomis perencanaan PLTS atap dengan sistem *on-grid* di PT Intan Pratama Teknik. Penelitian ini melibatkan analisis potensi teknis dan efisiensi sistem PLTS, serta perhitungan ekonomis untuk menilai kelayakan investasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem PLTS yang dirancang memiliki kapasitas panel surya 535 Wp sebanyak 7 unit, terhubung seri, dengan inverter berkapasitas 3500 Watt. Sistem ini menghasilkan daya maksimum 3.220 Watt dan energi tahunan sebesar 6.898,5 kWh. Dari segi ekonomis, sistem *on-grid* menunjukkan *Life Cycle Cost* (LCC) sebesar Rp 85.150.720, *Net Present Value* (NPV) Rp 68.681.641, *Internal Rate of Return* (IRR) 16,71%, *Profitability Index* (PI) 1,56, dan *Gross Benefit-Cost Ratio* (B/C) 1,57, dengan *Payback Period* selama 7 tahun 3 bulan. Kesimpulannya, perencanaan sistem PLTS *on-grid* di PT Intan Pratama Teknik dinyatakan layak dan berpotensi untuk mendukung keberlanjutan energi serta pengurangan emisi karbon di perusahaan tersebut.

Kata kunci: PLTS *Rooftop*, Energi Terbarukan, Analisis Ekonomis, Sistem *On-Grid*, Emisi Karbon.

ABSTRACT

In an effort to address the increasing electricity consumption and support the development of renewable energy in Bali, this study evaluates the implementation of a Rooftop Solar Power Plant (PLTS) system at PT Intan Pratama Teknik. This company provides occupational health and safety services and operates in the field of technical inspection and testing. Located at Jalan Kebak Sari No.16, Pemecutan Klod, Denpasar, Bali, the company has a building area of 10 x 8 m² and faces challenges in meeting the rising electricity needs. The Rooftop Solar Power Plant is chosen as a potential solution to reduce dependence on electricity from PLN and lower carbon emissions. This research aims to conduct a technical and economic analysis of the rooftop solar system planning with an on-grid setup at PT Intan Pratama Teknik. The study involves assessing the technical potential and efficiency of the solar system, as well as performing economic calculations to evaluate investment feasibility. The results indicate that the designed system includes solar panels with a capacity of 535 Wp, with 7 units connected in series, and an inverter with a capacity of 3500 Watts. The system produces a maximum power of 3,220 Watts and an annual energy output of 6.898,5 kWh. Economically, the on-grid system shows a Life Cycle Cost (LCC) of IDR 85.150.720, a Net Present Value (NPV) of IDR 68.681.641, an Internal Rate of Return (IRR) of 16,71%, a Profitability Index (PI) of 1.56, and a Gross Benefit-Cost Ratio (B/C) of 1.57, with a Payback Period of 7 years and 3 months. In conclusion, the planning of the on-grid solar system at PT Intan Pratama Teknik is deemed feasible and has the potential to support energy sustainability and reduce carbon emissions at the company.

Keywords: *Rooftop Solar Power Plant, Renewable Energy, Economic Analysis, On-Grid System, Carbon Emissions.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Proposal Skripsi yang berjudul “**Analisis Teknis dan Ekonomis Perencanaan PLTS Rooftop On-Grid Di PT Intan Pratama Teknik**” tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan Program Pendidikan Diploma-IV bagi para Mahasiswa dari Program Studi D-IV Teknik Otomasi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak memperoleh bimbingan dan masukan dari berbagai pihak, secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak I Nyoman Abdi, S.E., M.eCom. selaku Direktur Politeknik Negeri Bali.
2. Bapak Ir. Kadek Amerta Yasa, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro di Politeknik Negeri Bali.
3. Ibu Putri Alit Widyastutui Santiary, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi D4 Teknik Otomasi di Politeknik Negeri Bali.
4. Bapak Ni Made Karmiathi, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing pertama dalam proposal skripsi yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ir. I Wayan Jondra, M.Si. selaku dosen Pembimbing kedua dalam penyusunan skripsi yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam Skripsi ini.
6. Bapak Ir. I Nengah Adi Nuryanta, ST. selaku Direktur PT Intan Pratama Teknik yang telah memberikan ijin untuk menjadikan bangunan usahanya sebagai objek serta memberikan pengetahuan dan data-data yang diperlukan.
7. Kekasih saya Dhea Meirayani yang telah membantu memberikan semangat dan menemani saya dalam menyusun skripsi ini.
8. Orang tua dan keluarga yang telah banyak memberikan dukungan motivasi maupun moral. Dan kepada pihak-pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu, saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca dan dapat dimanfaatkan sebagaimana mestinya.

Jimbaran, 1 Juli 2024

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN SEMINAR SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1. Latar Belakang	I-1
1.2. Perumusan Masalah	I-3
1.3. Batasan Masalah.....	I-3
1.4. Tujuan Penelitian	I-4
1.5. Manfaat Penelitian	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1. Penelitian Sebelumnya	II-1
2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	II-4
2.3. Panel Surya.....	II-5
2.3.1 <i>Array</i> Modul Surya	II-7
2.3.2 Faktor-Faktor Efisiensi dan Output Panel Surya	II-9
2.3.3 Orientasi Modul Panel Surya	II-11
2.3.4 Baterai	II-12
2.3.5 Inverter	II-13
2.3.6 <i>Solar Charge Controller</i> (SCC).....	II-16
2.3.7 Surge Protector Device (SPD)	II-16

2.3.8	Kabel Pengantar	II-17
2.3.9	Pentanahan	II-20
2.3.10	<i>Circuit Breaker</i>	II-21
2.3.11	Kotak Penggabung	II-22
2.3.12	Metode Pemasangan Panel Surya	II-23
2.4	Konfigurasi Sistem PLTS	II-25
2.4.1	Sistem PLTS <i>Off-Grid</i>	II-25
2.4.2	Sistem PLTS <i>On-Grid</i>	II-26
2.4.3	Sistem PLTS <i>Hybrid</i>	II-26
2.5	Beban Listrik.....	II-27
2.6	<i>Perfomance Ratio</i>	II-28
2.7	Peraturan terkait PLTS.....	II-28
2.7.1	Peraturan Gubernur Bali No. 45 Tahun 2019	II-28
2.7.2	Peraturan Menteri ESDM No. 26 Tahun 2021	II-29
2.7.3	Izin Operasi	II-30
2.7.4	Surat Edaran PLN No. 16322/AGA.00.01/C01080500/2022.....	II-31
2.7.5	Peraturan Menteri ESDM No. 2 Tahun 2024	II-31
2.8	Analisis Kelayakan Ekonomis	II-32
2.8.1	Perhitungan Biaya Operasional dan Pemeliharaan	II-32
2.8.2	Life Cycle Cost (LCC).....	II-33
2.8.3	Cost of Energy (COE).....	II-33
2.8.4	<i>Payback Period</i> (PP).....	II-34
2.8.5	<i>Net Present Value</i> (NPV).....	II-34
2.8.6	<i>Internal Rate of Return</i> (IRR).....	II-34
2.8.7	<i>Profitability Index</i> (PI).....	II-35
2.8.8	<i>Benefit Cost Ratio</i> (BCR).....	II-35
BAB III	METODE PENELITIAN	III-1

3.1.	Waktu Penelitian	III-1
3.2.	Lokasi Penelitian.....	III-1
3.3.	Metode Penelitian.....	III-3
3.4.	Jenis Data	III-3
3.5.	Pengolahan Data.....	III-3
3.6.	Diagram Alir Penelitian	III-7
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		IV-1
4.1	Gambaran Umum Penelitian	IV-1
4.2	Data Hasil Penelitian.....	IV-1
4.2.1	Data beban	IV-1
4.2.2	Konsumsi Energi.....	IV-2
4.2.3	Data Radiasi Matahari & Temperatur.....	IV-3
4.2.4	Kuota pemasangan panel surya <i>on-grid</i> di Lokasi penelitian	IV-4
4.2.5	Data Atap	IV-4
4.3	Pembahasan.....	IV-6
4.3.1	Pemilihan Panel Surya	IV-6
4.3.2	Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi dan <i>Output</i> Panel Surya.....	IV-7
4.3.3	Losses Faktor Peningkatan Suhu yang Dihasilkan	IV-9
4.3.4	Sudut Kemiringan Optimal Panel Surya dan Sudut Atap	IV-9
4.3.5	Nilai Degradasi dan Penurunan Performa PLTS Per-Tahun.....	IV-10
4.3.6	Penentuan Kapasitas PLTS yang akan Dipasang.....	IV-11
4.3.7	Pemilihan Inverter	IV-12
4.3.8	Jumlah Modul Surya	IV-13
4.3.9	Menentukan Rangkaian Panel Surya	IV-13
4.3.10	Kapasitas Maksimum Sistem PLTS PT Intan Pratama Teknik	IV-15
4.3.11	Sistem Proteksi.....	IV-15
4.3.12	Pemilihan konstruksi sistim pentanahan	IV-16

4.3.13 Pemilihan Kabel	IV-18
4.3.14 Desain Perancangan (PLTS <i>On-Grid</i>)	IV-19
4.4 Analisis Ekonomi	IV-22
4.4.1 Daya dan Energi yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS.....	IV-22
4.4.2 <i>Performance Ratio</i>	IV-23
4.4.3 Estimasi Biaya Investasi	IV-24
4.4.4 Perhitungan Biaya Operasional dan Pemeliharaan	IV-24
4.4.5 <i>Life Cycle Cost (LCC)</i>	IV-25
4.4.6 <i>Cost Of Energy</i>	IV-25
4.4.7 Kelayakan Investasi	IV-26
4.4.8 <i>Payback Period</i>	IV-26
4.4.9 <i>Net Present Value</i>	IV-26
4.4.10 <i>Internal Rate of Return</i>	IV-27
4.4.11 <i>Profitability Index</i>	IV-29
4.4.12 <i>Gross Benefit Ratio (Gross B/C)</i>	IV-29
BAB V PENUTUP	V-1
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA	1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Panel Surya Monocrystalline ^[12]	II-5
Gambar 2. 2 Panel Surya Polycrystalline ^[12]	II-6
Gambar 2. 3 Thin Film Photovoltaics ^[12]	II-6
Gambar 2. 4 Rangkaian Panel Surya ^[14]	II-9
Gambar 2. 5 Pengaruh Tegangan Input Terhadap Efisiensi Inverter ^[18]	II-14
Gambar 2. 6 Pengaruh Prosentase Beban Terhadap Efisiensi Inverter pada tegangan bervariasi ^[19]	II-15
Gambar 2. 7 Pengaruh Tegangan Input Terhadap Output Inverter ^[19]	II-15
Gambar 2. 8 <i>Surge Protector Device</i> ^[21]	II-17
Gambar 2. 9 MCB AC dan MCB DC ^[25]	II-22
Gambar 2. 10 Kotak Penggabung ^[26]	II-22
Gambar 2. 11 Metode Pemasangan Ballast ^[27]	II-23
Gambar 2. 12 Metode Pemasangan Single Pole ^[27]	II-24
Gambar 2. 13 Metode Pemasangan Rooftop Rack ^[27]	II-24
Gambar 2. 14 Metode Pemasangan Floating ^[27]	II-25
Gambar 2. 15 Skema Sistem PLTS <i>Off-Grid</i> ^[28]	II-26
Gambar 2. 16 Skema Sistem PLTS On-Grid ^[28]	II-26
Gambar 2. 17 Skema Sistem PLTS Hybrid ^[28]	II-27
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....	III-2
Gambar 3. 2 Bangunan Usaha PT Intan Pratama Teknik	III-2
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian	III-8
Gambar 4. 1 Penggunaan Energi Listrik di Kantor PT Intan Pratama Teknik	IV-3
Gambar 4. 2 Kemiringan Atap Kantor PT Intan Pratama Teknik	IV-4
Gambar 4. 3 Denah Atap di Kantor PT Intan Pratama Teknik.....	IV-5
Gambar 4. 4 Luas Area yang Bisa Digunakan untuk Memasang Panel Surya.....	IV-6
Gambar 4. 5 Longi Solar LR4-72HPH 535M.....	IV-7
Gambar 4. 6 Growatt New Energy, MIN 4600TL-X	IV-12
Gambar 4. 7 Konfigurasi Seri-Paralel Modul Panel Surya.....	IV-14
Gambar 4. 8 Schematic Diagram PLTS Sistem On-Grid	IV-19
Gambar 4. 9 Instalasi Panel Surya di Lantai 1 & Lantai 2	IV-20
Gambar 4. 10 Instalasi Panel Surya di Atap	IV-20
Gambar 4. 11 Detail Pemasangan Panel Surya Atap.....	IV-21

Gambar 4. 12 Detail Material Untuk Pemasangan Panel Surya AtapIV-22

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nomenklatur Kabel Pengantar ^[23]	II-18
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian dan Milestone	III-1
Tabel 3. 2 Data Beban Pada Bangunan Usaha yang diperlukan.....	III-4
Tabel 3. 3 Data Meteorologi yang diperlukan	III-4
Tabel 4. 1 Pemakaian Beban Listrik Harian di Kantor PT Intan Pratama Teknik	IV-1
Tabel 4. 2 Data Meteorologi	IV-3
Tabel 4. 3 Spesifikasi Longi Solar LR4-72HPH 535M.....	IV-7
Tabel 4. 4 Total Losses yang Mempengaruhi Daya Output PLTS	IV-11
Tabel 4. 5 Spesifikasi Inverter Growatt New Energy, MIN 2500TL-X.....	IV-12
Tabel 4. 6 Estimasi Biaya PLTS Rooftop sistem On-Grid Kantor PT Intan Pratama Teknik	IV-24
Tabel 4. 8 Perhitungan Net Present Value	IV-27
Tabel 4. 9 Nilai NPV Positif dan NPV Negatif	IV-28

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Daily Profile	IV-2
Grafik 4. 2 Penurunan Performa Panel Surya Per-Tahun	IV-10

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas ekonomi dan industri. Selama ini sumber energi utama dunia, termasuk Indonesia, sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara[1]. Penggunaan energi fosil ini menimbulkan dua masalah serius pertama, cadangan energi fosil yang terbatas, diperkirakan akan habis dalam beberapa dekade ke depan jika konsumsi berlanjut pada tingkat saat ini kedua, peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer yang berpotensi memperburuk pemanasan global dan perubahan iklim, dengan dampak yang luas pada berbagai aspek kehidupan[1]. Sebagian besar masyarakat masih mengandalkan energi bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhannya. Oleh karena itu, seiring berjalannya waktu, energi kinetik yang ada akan semakin berkurang. Dalam pemanfaatan sumber energi tidak terbarukan berbasis bahan bakar fosil yang berlebihan, akan meningkatkan emisi gas karbon yang berkontribusi pada pemanasan global. Selama periode tahun 2010-2015, konsumsi energi rata-rata meningkat sebesar 1,3% setiap tahun[2].

Dalam Rencana Energi Nasional (RUEN), pemerintah Indonesia telah menetapkan target agar energi terbarukan menyumbang sebanyak 23% dari total bauran energi pada tahun 2025. Hal ini juga tertuang dalam RUPTL Provinsi Bali Tahun 2021-2030 yang direncanakan penambahan kapasitas sebesar 538,8 MW, dimana 219,8 MW diantaranya berasal dari sumber energi terbarukan. Peningkatan energi terbarukan pada RUPTL edisi kali ini menjadi kabar baik bagi Pemprov Bali. Dari sisi kebijakan, peningkatan porsi energi terbarukan sejalan dengan Rencana Umum Energi Daerah (RUED) 2020-2050 dan Peraturan Gubernur Bali Nomor 45 Tahun 2019 tentang Bali Energi Bersih[3].

Satu tindakan yang bisa dilakukan adalah menggunakan sumber energi terbarukan yang ada secara alami dan ramah lingkungan. Energi matahari atau solar adalah contoh sumber energi terbarukan yang tersedia dalam jumlah besar setiap hari sepanjang tahun. Panel surya membantu mengurangi efek negatif dari penggunaan bahan bakar fosil, dan sebagian besar pembangkit energi terbarukan mengandalkan energi matahari sebagai sumber utamanya. Di Indonesia, tingkat radiasi matahari berkisar antara 4,5 hingga 4,8

kWh per hari. Bangunan bertenaga surya ini mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik. Menggunakan energi surya sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah salah satu opsi yang sangat baik untuk dikembangkan. Sesuai dengan program pemerintah, target pembangunan PLTS adalah mencapai 6.500 MW pada akhir tahun 2019[4].

Pengembangan PLTS dapat dilakukan dengan modul surya *fotovoltaik* di atap bangunan (*rooftop*). PLTS *rooftop* merupakan solusi handal bagi gedung perkantoran yang memakai listrik di siang hari, karena biaya listrik lebih murah daripada diesel atau BBM. Selain itu, perawatan dan pengoperasiannya praktis, serta mengurangi polusi dan dampak rumah kaca[5]. *Fotovoltaik* mengubah energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Ini adalah salah satu *Distributed Generation* (DG) dari tenaga terbarukan yang memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan listrik. Panel surya dirancang untuk memasok tenaga ke jaringan dan dapat beroperasi di hampir semua tempat yang terkena sinar matahari tanpa menghasilkan polusi, sehingga lebih ramah lingkungan.

PLTS dapat diimplementasikan dalam dua konfigurasi: *on-grid* dan *off-grid*. Dalam *on-grid*, energi dari panel surya disalurkan ke jaringan listrik umum, sedangkan dalam *off-grid*, energi disimpan dalam baterai untuk digunakan saat diperlukan. PLTS *on-grid* adalah alternatif pembangkit yang cocok untuk daerah yang sudah terjangkau pembangkit besar atau kecil. PLTS ini memanfaatkan energi surya yang dikombinasikan dengan jaringan listrik PLN.

Dalam mengimplementasikan pengembangan PLTS *Rooftop* di Bali dapat dilakukan di salah satu perusahaan PJK3 yaitu PT Intan Pratama Teknik. Perusahaan ini adalah perusahaan yang menyediakan layanan K3 dan beroperasi di bidang pemeriksaan dan pengujian teknik yang beralamat di Jalan Kebak Sari No.16, Pemecutan Klod, Denpasar, Bali yang memiliki luas bangunan 10 x 8 m². Konsumsi energi listrik di perusahaan ini mengalami peningkatan, sehingga diperlukan alternatif untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Selain itu, untuk berperan aktif dalam pengembangan energi listrik terbarukan dan ramah lingkungan seperti PLTS untuk membantu dalam pengurangan emisi gas karbon. Pengembangan PLTS *Rooftop* pada perusahaan ini sangat cocok dilakukan karena sebagai bentuk langkah untuk mengurangi biaya beli energi listrik dari PLN juga bertujuan mengurangi emisi gas karbon dan ikut serta berperan aktif

mendukung peraturan pemerintah tentang penggunaan energi baru terbarukan. Selain itu, dengan nilai radiasi matahari berdasarkan data yang dikutip dari globalsolaratlas.info, di daerah perusahaan tersebut mencapai 5,451 kWh/m² per harinya berpotensi untuk pemasangan PLTS *Rooftop*.

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisis teknis dan ekonomis dalam perencanaan PLTS atap dengan konsentrasi pada penerapan PLTS yang terhubung ke jaringan listrik (*on-grid*) di PT Intan Pratama Teknik. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang efektivitas, efisiensi, dan kelayakan ekonomis dari PLTS yang terhubung ke jaringan listrik di lingkungan bangunan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi pengambil keputusan, pengembang perumahan, dan masyarakat umum mengenai penggunaan teknologi energi surya. Dengan demikian, analisis teknis dan ekonomis perencanaan pembangkit tenaga surya di bangunan usaha PT Intan Pratama Teknik Sangat relevan untuk mengatasi tantangan keberlanjutan energi dan mendorong penerimaan teknologi energi surya.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, maka dapat ditarik perumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah karakteristik beban perencanaan PLTS rooftop sistem *on-grid* di bangunan usaha PT Intan Pratama Teknik?
- b. Bagaimanakah perencanaan teknis PLTS *rooftop* sistem *on-grid* di bangunan usaha PT Intan Pratama Teknik?
- c. Bagaimanakah perencanaan ekonomis PLTS *rooftop* sistem *on-grid* di bangunan usaha PT Intan Pratama Teknik?

1.3. Batasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan untuk mengarahkan fokus pada aspek yang ingin dibatasi dengan lebih jelas, karena tidak semua masalah yang telah dijelaskan akan diselidiki. Penelitian ini hanya memusatkan perhatian pada tujuan-tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian dirancang hanya di Bangunan PT Intan Pratama Teknik
- b. Sistem PLTS yang direncanakan menggunakan sistem *on-grid*.
- c. Perencanaan PLTS dilakukan dengan menggunakan perhitungan manual untuk mengevaluasi faktor teknis dan analisis ekonomisnya.
- e. Kapasitas PLTS hanya menanggung total beban maksimal harian di PT Intan Pratama Teknik.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui karakteristik beban perencanaan PLTS *rooftop* sistem *on-grid* di bangunan usaha PT Intan Pratama Teknik.
- b. Untuk melakukan perencanaan teknis PLTS *rooftop* sistem *on-grid* di bangunan usaha PT Intan Pratama Teknik.
- c. Untuk melakukan perencanaan ekonomis PLTS *rooftop* sistem *on-grid* di bangunan usaha PT Intan Pratama Teknik.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun penelitian yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu:

1.5.1. Manfaat Akademik

- a. Sebagai tambahan untuk meningkatkan pemahaman dan pengetahuan dalam perencanaan PLTS *On-Grid* sesuai dengan kebutuhan.
- b. Sebagai sumber referensi untuk studi lebih lanjut yang terkait dengan perencanaan PLTS *On-Grid*.
- c. Sebagai tambahan sumber pustaka dan referensi untuk keperluan masa depan, serta untuk mempertahankan kerjasama yang baik antara Politeknik Negeri Bali dengan pihak eksternal

1.5.2. Manfaat Aplikatif

- a. Meningkatkan penggunaan energi baru dan terbarukan sebagai langkah untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil.
- b. Pengurangan emisi gas buang
- c. Dapat menjadi referensi dalam pengembangan PLTS di PT Intan Pratama Teknik dan dapat mengurangi tagihan Listrik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Pentingnya studi literatur dalam menunjang penelitian yang akan dilakukan yaitu sebagai referensi yang berkaitan dengan topik penelitian. Materi bacaan yang ditinjau berasal dari jurnal dan sumber akademis yang relevan dengan penelitian. Berikut adalah beberapa studi terkait dengan penelitian ini:

Penelitian yang berjudul "Studi Kelayakan Teknis dan Ekonomi Pemasangan PLTS Atap *On Grid* pada Sistem Kelistrikan Gedung Perpustakaan ITS" dilakukan oleh Ferdinand Rico Firaldi, Rony Seto Wibowo, dan Sjamsjul Anam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis kelayakan teknis dan ekonomi terkait pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap *On Grid* di Gedung Perpustakaan Kampus ITS. Penelitian ini menyimpulkan bahwa instalasi PLTS atap *On Grid* pada sisi atap timur laut Gedung Perpustakaan Kampus ITS layak secara teknis dan ekonomi. Area atap gedung seluas 432 m² yang menghadap sisi timur laut dapat mendukung instalasi dengan kapasitas 66 kWp, menghasilkan energi sebesar 108.282 kWh/tahun. Energi yang dihasilkan dapat mencukupi 18,38% kebutuhan beban kelistrikan gedung perhari. Evaluasi teknis menunjukkan nilai PR sebesar 87,2%. Sementara itu, *Cost of Energy* (COE) adalah Rp 706,31/kWh, NPV positif sebesar Rp 414.656.910, IRR sebesar 8,8%, dan BCR sebesar 1,44. Hasil ini menunjukkan bahwa investasi untuk proyek PLTS atap *On Grid* di sisi atap timur laut Gedung Perpustakaan Kampus ITS layak dilakukan dengan perkiraan masa pengembalian investasi (*payback period*) sekitar 12 tahun dari masa operasi proyek selama 25 tahun[6]. Sedangkan penelitian ini, akan dilakukan di lokasi Jalan Kebak Sari No.16, Pemecutan Klod, Denpasar, Bali, namun memiliki penelitian ini memiliki persamaan variabel yang diteliti dengan peneliti sebelumnya yaitu PLTS Rooftop *On-grid*.

Penelitian berikutnya yang berjudul Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-grid* Menggunakan Software *PVSyst* untuk Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) Coffeeshop Remote Area dilakukan oleh J. Windarta, S.Handoko, K.Irfani dkk (2021). Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan mengevaluasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) skala kecil *off-grid* untuk Coffeeshop UMKM dengan fokus pada analisis teknis dan ekonomi. Daerah-daerah

terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik PLN memerlukan solusi alternatif seperti PLTS. Metode penelitian melibatkan perbandingan menggunakan dua merek panel surya dengan kapasitas total 720Wp dan dua merek baterai dengan kapasitas total 160Ah, menggunakan software PVSyst 7.0. Simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa jumlah energi yang tersedia paling tinggi tercatat pada variasi 3, yaitu sebesar 674,51 kWh/tahun. Analisis ekonomi dilakukan untuk membandingkan PLTS dengan alternatif lain seperti genset dan penggunaan baterai dengan pengisian dari PLN. Meskipun nilai *Net Present Value* (NPV) untuk semua variasi adalah negatif (< 0), penggunaan PLTS *off-grid* ternyata lebih menguntungkan dibandingkan dengan genset atau penggunaan baterai dengan pengisian dari PLN. Meskipun begitu, NPV untuk semua skenario perencanaan PLTS tetap di bawah 0, namun investasi ini tetap lebih ekonomis dibandingkan dengan penggunaan genset atau baterai yang diisi dari PLN. Penelitian ini mengelompokkan perencanaan PLTS menjadi empat variasi dengan kombinasi panel surya dan baterai yang bervariasi. Walaupun energi listrik yang dihasilkan berkisar antara 672 hingga 675 kWh per tahun untuk setiap variasi, semua variasi dianggap tidak layak karena memiliki nilai NPV negatif. Namun, berdasarkan analisis teknis dan ekonomis, variasi pertama dan ketiga dianggap sebagai investasi yang paling layak karena keduanya memiliki NPV yang paling tinggi, yaitu sekitar -Rp19.201.195[7]. Penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih berfokus pada PLTS *On Grid* dan menggunakan perhitungan manual dalam analisis teknis dan ekonomis.

Studi yang berjudul "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Ongrid Daya 900 Va Menggunakan *Homer Dayamikro* Aplikasi Rumah Tangga" dilakukan oleh M.Zuli dan S. Bandri (2023). Penelitian ini mengimplementasikan 6 modul surya polikristal 330 Wp untuk memenuhi kebutuhan listrik harian rumah, dengan estimasi konsumsi energi sekitar 6,69 kWh. PLTS dirancang sebagai penyedia energi listrik dengan output tahunan sekitar 2.416,227 kWh menggunakan 6 panel surya, 1 *Solar Charge Controller* (SCC), dan 1 inverter. *Performance ratio* (PR) digunakan sebagai acuan dalam perencanaan untuk menghitung investasi awal yang meliputi biaya komponen sistem dan biaya operasional pemeliharaan. Perencanaan ini bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada listrik PLN di daerah Lubuk Alung, dengan fokus pada penerangan dan peralatan rumah tangga. Penelitian ini melibatkan perhitungan kebutuhan beban, kapasitas panel surya, dan daya keluaran PLTS. Komponen PLTS *On Grid* meliputi 4 modul surya *polikristalin Canadian Solar CS6U* 330 Wp, 1 inverter 1.3 kW,

dan 1 *Solar Charge Controller* SON-MPT T 40 A/48V. Berdasarkan analisis biaya investasi awal, biaya operasional, dan pemeliharaan selama 10 tahun, biaya total investasi PLTS *On Grid* diperkirakan sebesar Rp.16.730.000, dengan perkiraan keuntungan tahunan sekitar Rp.640.000. Hal ini menunjukkan bahwa PLTS *On Grid* merupakan pilihan yang ekonomis dan ramah lingkungan untuk memenuhi kebutuhan energi di daerah tersebut[8]. Perbedaan utama dengan penelitian sebelumnya adalah penggunaan software analisis pada penelitian sebelumnya, sedangkan penelitian ini mengandalkan perhitungan manual dalam analisisnya.

Studi yang berjudul "Perancangan PLTS Atap On Grid System Pada Kantor Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Penelitian Dan Pengembangan Kota Probolinggo" dilakukan oleh A. Ardiansyah, I. Setiawan, I. Sukerayasa (2022). Penelitian ini mengevaluasi dua skenario perancangan PLTS. Skenario 1 direncanakan dengan kapasitas 21,6 kWp, sesuai dengan kebutuhan energi kantor, sementara Skenario 2 dirancang dengan kapasitas lebih besar, yaitu 32,4 kWp. Berdasarkan hasil dan analisis, investasi yang diperlukan untuk PLTS Skenario 1 adalah sebesar Rp.267.000.000, sedangkan untuk Skenario 2 mencapai Rp.395.850.000. Pada tahun pertama, kedua skenario mampu menghemat tagihan listrik Kantor BAPPEDA LITBANG masing-masing sebesar Rp.43.979.592 dan Rp.64.642.977. Keuntungan yang diestimasi selama 30 tahun operasi PLTS mencapai Rp. 406.863.069 untuk Skenario 1 (152% dari total investasi) dan Rp.595.619.904 untuk Skenario 2 (150% dari total investasi)[9]. Penelitian ini membedakan diri dari penelitian sebelumnya dengan mencakup aspek perancangan, perencanaan proses, estimasi biaya operasional, serta pemeliharaan dan perbaikan PLTS atap on-grid, tidak hanya sebatas pada perancangan teknisnya saja.

Penelitian yang berjudul "Analisis Teknik Dan Ekonomi Perencanaan Plts Rooftop Sistem On Grid Di SDN 1 Temuwuh" oleh Jannah, H et al (2023) membahas tentang ketergantungan SDN 1 Temuwuh pada pasokan energi listrik dari PLN, yang menyebabkan sekolah tersebut harus membayar tagihan listrik bulanan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan manfaat berupa bahan pertimbangan dan referensi bagi SDN 1 Temuwuh dalam mengembangkan energi terbarukan dengan memasang PLTS rooftop On Grid, dengan tujuan untuk mengurangi biaya tagihan listrik. Studi ini melakukan analisis teknik dan ekonomi. Analisis teknik meliputi penentuan daya yang dapat dihasilkan oleh PLTS, perancangan kapasitas PLTS, spesifikasi dan skematik komponen yang digunakan, serta susunan panel surya. Analisis ekonomi mencakup perhitungan

biaya energi dan kelayakan investasi PLTS rooftop. Berdasarkan hasil perhitungan teknik, energi yang dapat dihasilkan setiap hari adalah sebesar 2,655 kWh, dengan estimasi daya output dari PLTS rooftop On Grid di SDN 1 Temuwuh sebesar 800 Wp atau 0,8 kWp. Rancangan ini menunjukkan bahwa PLTS rooftop dapat menyuplai energi sebesar 65% dari beban puncak, dengan konfigurasi dua seri dan satu paralel pada panel surya. Panel surya yang digunakan adalah dua unit dengan merek Risen jenis monocrystalline kapasitas 400 WP tipe RSM144-6-400BMDG. Orientasi PV dipilih pada kemiringan 12° dengan azimuth 0° . Panel surya direncanakan akan dipasang pada sisi atap segmen E yang menghadap utara dengan luas $70,85 \text{ m}^2$. Inverter yang digunakan adalah satu unit dengan merek Growatt kapasitas 1000 W tipe MIC 1000TL-X. Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa perencanaan PLTS rooftop sistem On Grid di SDN 1 Temuwuh layak untuk dilaksanakan. Cost of Energy (COE) sebesar Rp. 1.436,684, Net Present Value (NPV) positif sebesar Rp. 4.552.253,82, Profitability Index (PI) lebih dari satu (1,22), dan payback period diperkirakan sekitar 20 tahun[10]. Meskipun penelitian sebelumnya membahas topik serupa, lokasi penelitian kali ini berbeda, yaitu Jalan Kebak Sari No.16, Pemecutan Klod, Denpasar, Bali.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari menggunakan sel surya untuk mengubah radiasi elektromagnetik dari cahaya matahari menjadi energi listrik disebut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Panel surya terdiri dari lapisan tipis seperti silikon murni atau material semikonduktor lainnya, yang disusun menjadi modul surya. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memanfaatkan energi dari sinar matahari untuk menghasilkan listrik arus searah (DC), yang dapat diubah menjadi arus bolak-balik (AC) sesuai kebutuhan. Biasanya, PLTS terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk generator sel surya yang terdiri dari modul surya, inverter untuk mengonversi arus searah menjadi arus bolak-balik dengan kapasitas besar untuk sistem satu atau tiga fasa. Hal ini memungkinkan sistem pengendalian dan pemantauan dapat beroperasi dengan efektif[11].

PLTS atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya, memiliki beberapa keunggulan, seperti sumber energi yang melimpah dan gratis, sistem modular yang memudahkan instalasi dan peningkatan kapasitas, perawatan yang sederhana, tidak menimbulkan polusi, operasi otomatis untuk penggunaan di tempat terpencil, relatif aman, keandalan yang semakin baik, partisipasi masyarakat dalam pengaturan sistem, kemudahan pemasangan,

penggunaan radiasi matahari sebagai sumber energi yang tidak terbatas, serta pengurangan CO₂ dan emisi gas lainnya.

Kekurangan penggunaan PLTS adalah:

1. Biaya awal untuk instalasi panel surya relatif mahal.
2. Keterbatasan kinerja pada malam hari atau saat cahaya matahari kurang intens.
3. Memerlukan komponen tambahan dalam pengoperasiannya.

2.3 Panel Surya

Panel surya mengonversi energi matahari menjadi listrik melalui dua metode utama: fotovoltaik dan pemusatan energi surya. *Fotovoltaik* mengubah cahaya matahari langsung menjadi listrik dengan efek fotoelektrik. Pemusatan energi surya menggunakan lensa atau cermin untuk mengarahkan energi matahari ke satu titik, yang menggerakkan mesin kalor. Sel surya adalah perangkat yang mengubah cahaya menjadi listrik melalui efek fotoelektrik.

Jenis – jenis sel surya yaitu:

a. Monokristal (*Mono-crystalline*)

Monokristalin (*monocrystalline*) merupakan jenis panel surya yang paling efisien, diproduksi menggunakan teknologi terkini dan menghasilkan listrik paling banyak per satuan luas. Panel ini dirancang untuk digunakan di tempat-tempat yang membutuhkan konsumsi energi tinggi, terutama di daerah dengan iklim ekstrim dan kondisi alam yang keras. Kristal tunggal memiliki efisiensi hingga 15%. Namun kelemahan panel jenis ini adalah kinerjanya berkurang secara signifikan di tempat yang kurang mendapat sinar matahari (bayangan) dan pada cuaca berawan[12].



Gambar 2. 1 Panel Surya *Monocrystalline*^[12]

b. Polikristal (*Policrystalline*)

Panel surya polikristalin adalah jenis panel surya yang terdiri dari kristal-kristal yang tersusun secara acak, diproduksi melalui proses pengecoran. Panel ini membutuhkan luas area yang lebih besar dibandingkan dengan panel monokristalin untuk menghasilkan daya listrik yang setara. Walaupun harganya biasanya lebih ekonomis, efisiensi panel polikristalin cenderung lebih rendah dibandingkan dengan panel monokristalin[12].



Gambar 2. 2 Panel Surya *Policrystalline*^[12]

c. *Thin Film Photovoltaic*

Panel Surya ini terdiri dari *mikrokristal-silikon* dan *amorf*, dengan efisiensi modul 8.5%. Dibutuhkan area lebih besar untuk menghasilkan daya yang sama dibandingkan monokristal dan polikristal. Inovasi *Photovoltaic Thin Film Triple Junction* (tiga lapisan) sangat efisien dalam cuaca berawan dan bisa menghasilkan listrik hingga 45% lebih tinggi dibandingkan panel lain dengan daya setara[12].



Gambar 2. 3 *Thin Film Photovoltaics*^[12]

Berikut adalah bagian – bagian dari panel surya:

1. Frame, terbuat dari aluminium *anodized*, berguna untuk mencegah korosi.
2. Kaca pelindung berperan melindungi *sel fotovoltaik* dari pengaruh lingkungan dan juga memberikan dukungan struktural pada sel tersebut.
3. Laminasi adalah lapisan yang terdiri dari *fotovoltaik* dan kaca pelindung, yang terbuat dari *ethylene-vinyl acetate* (EVA). Fungsinya adalah untuk menghindari kerusakan mekanis dan melindungi *sel fotovoltaik* dari komponen modul lainnya.

4. Sel *photovoltaic*: Bagian esensial dari modul panel surya terdiri dari bahan semikonduktor yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik.
5. *Backsheet*: ini berfungsi melindungi modul panel surya dan mengisolasi sel-selnya dari kelembaban dan kondisi cuaca, serta terbuat dari bahan plastik.

Junction Box, Berfungsi sebagai penghubung antara modul panel surya dan beban yang menggunakan listrik dari panel tersebut.

2.3.1 Array Modul Surya

Dalam merencanakan PLTS, penting untuk memiliki informasi yang jelas dan terperinci tentang luas area yang akan digunakan untuk pembangunan pembangkit. Informasi ini sangat krusial karena menentukan efektivitas dan efisiensi keseluruhan proyek. Sebelum mempertimbangkan komponen lainnya, langkah pertama yang harus diambil adalah menentukan luas area tersebut agar dapat menyusun susunan modul panel surya dengan efisien dan tidak memboroskan ruang yang tersedia. Dengan demikian, perencanaan yang matang dapat menghindari pemborosan dan memastikan penggunaan ruang yang optimal. Oleh karena itu, dengan menggunakan persamaan (1), luas *array* modul panel surya dapat dihitung dengan tepat dan akurat untuk mencapai hasil yang diinginkan[13].

Area array (PV Area) dihitung menggunakan formula sebagai berikut:

$$PV\ Area = \frac{EL}{Gav \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{out}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Faktor Koreksi Suhu dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$TCF = \frac{PMPP\ saat\ naik\ t^{\circ}C}{PMPP} \dots\dots\dots(2.2)$$

Untuk mendapatkan *PMPP saat naik t °C* digunakan persamaan sebagai berikut

$$P_{saat\ naik\ t^{\circ}C} = 0,5\%/^{\circ}C \times PMPP \times kenaikan\ ^{\circ}C \dots\dots\dots(2.3)$$

$$PMPP\ saat\ naik\ t^{\circ}C = PMPP - P_{saat\ naik\ t^{\circ}C} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- PVarea* : Luas permukaan array modul panel surya (m²)
- W* : Energi yang akan dibangkitkan (kWh/hari)
- Gav* : Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m² /hari)
- η_{pv}* : Efisiensi panel surya (%)
- η_{out}* : Efisiensi keluaran sistem (%)
- TCF* : *Temperature Correction Factor*
- PMPP* : Daya maksimum keluaran (output) panel surya (W)

Setelah mendapat luas *array* modul panel surya, Dapat diketahui besarnya pembangkit yang bisa dibangkitkan. Untuk mencari maksimal besarnya daya yang bisa dibangkitkan menggunakan persamaan (2.5) berikut:

$$P_{watt\ peak} = PV_{area} \times PSI \times \eta_{pv} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

P_{watt peak} : Daya yang akan dibangkitkan PLTS (W)

PV_{area} : Luas permukaan panel surya (m²)

PSI : *Peak Solar Insolation* (1000 W/m²)

η_{pv} : Efisiensi panel surya (%)

Dari rumus tersebut, juga dapat diketahui jumlah panel yang dapat dipasang dengan kapasitas yang diinginkan, menggunakan rumus(2.6).

$$Jumlah\ Panel = \frac{P_{watt\ peak}}{PMPP} \dots \dots \dots (2.6)$$

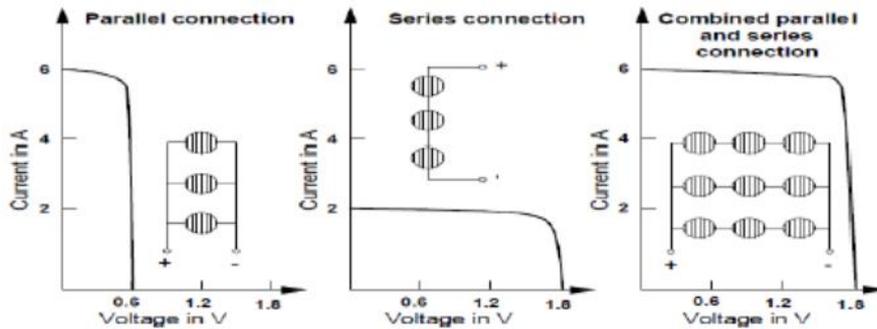
Keterangan:

P_{watt peak} : Daya yang akan dibangkitkan PLTS (W)

PMPP : Kapasitas daya maksimal panel surya (W)

Untuk mendapatkan tegangan, arus, dan daya yang diinginkan, panel surya harus dikonfigurasi seri dan paralel:

1. Untuk mencapai tegangan yang lebih tinggi, Anda perlu menghubungkan dua atau lebih panel surya secara seri. Dengan metode ini, tegangan dari setiap panel akan ditambahkan menjadi satu, menghasilkan tegangan total yang lebih tinggi daripada jika panel-panel tersebut dihubungkan secara individu.
2. Untuk mendapatkan arus yang lebih besar, Anda harus menghubungkan dua atau lebih panel surya secara paralel. Dalam konfigurasi ini, arus dari setiap panel akan digabungkan, memberikan arus total yang lebih besar tanpa mengubah tegangan keseluruhan dari sistem.
3. Untuk menghasilkan daya yang lebih tinggi dengan tetap menjaga tegangan konstan, Anda dapat menghubungkan panel surya baik secara seri maupun paralel. Dengan menggabungkan kedua metode ini, Anda bisa meningkatkan daya total yang dihasilkan oleh sistem, sambil memastikan bahwa tegangan keluaran tetap stabil dan sesuai kebutuhan[14].



Gambar 2. 4 Rangkaian Panel Surya^[14]

Konfigurasi Seri-Paralel

$$Min\ modul\ seri\ per\ string = \frac{V_{min\ inverter}}{V_{oc\ Modul}} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$Max\ modul\ seri\ per\ string = \frac{V_{max\ inverter}}{V_{mp\ Modul}} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$Max\ modul\ paralel\ per\ string = \frac{I_{max\ input\ inverter}}{I_{mp\ modul}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

V_{min inverter} : Tegangan minimum inverter (V)

V_{max inverter} : Tegangan maksimum inverter (V)

V_{oc modul} : Tegangan open circuit modul panel surya (V)

V_{mp modul} : Tegangan maksimum modul panel surya (V)

I_{max input inverter}: Arus input maksimum inverter (A)

I_{mp modul} : Arus maksimum modul panel surya (A)

2.3.2 Faktor-Faktor Efisiensi dan Output Panel Surya

Dalam menentukan kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), sangatlah penting untuk mempertimbangkan berbagai jenis penurunan atau kehilangan yang mungkin terjadi. Penurunan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yang secara langsung mempengaruhi produksi listrik dari panel surya dan efisiensi keseluruhan dari sistem tersebut. Semua faktor ini harus dipertimbangkan secara seksama saat melakukan perhitungan kebutuhan panel tenaga surya agar hasilnya akurat dan efisien. Berikut adalah jenis-jenis losses yang mempengaruhi daya output PLTS, yang meliputi berbagai aspek teknis dan lingkungan yang perlu diatasi untuk memastikan performa yang optimal dari sistem PLTS[15].

a. Faktor Toleransi Keluaran Produsen

Umumnya, produsen panel surya menetapkan toleransi keluaran sekitar +/- 3%, yang berarti bahwa kinerja panel surya tersebut akan berada dalam 3% dari nilai watt yang dijanjikan[15].

b. *Losses* Faktor Efek Kotoran Panel Surya

Permukaan panel surya yang kotor atau berdebu dapat mempengaruhi kinerja dari panel surya. *Losses* yang dihasilkan akibat kotoran dan debu ini bervariasi tiap panel surya. Besar *losses* karena kotoran dan debu sebesar 5%[15].

c. *Losses* Faktor Peningkatan Suhu

Suhu ekstrem mempengaruhi performa panel surya. Panel surya hanya bekerja dengan iradiasi matahari. Semakin panas panel, semakin tidak efisien[15].

d. *Losses* Inverter

Inverter mengubah arus searah (DC) dari panel surya menjadi arus bolak-balik (AC) untuk digunakan. Proses ini tidak sempurna secara efisiensi, dengan kerugian sekitar 5-8%[15].

e. *Losses* Kabel DC

Panjang kabel dan koneksi yang ada sepanjang jaringan kabel berpengaruh terhadap terjadinya *losses* instalasi kabel. *Losses* kabel DC ini berkisar 1-2%[15].

f. *Losses* Kabel AC

Kabel AC dan koneksi antara inverter dan panel box, dapat mengalami penurunan tegangan yang menyebabkan kerugian dalam efisiensi sistem. *Losses* kabel AC ini berkisar 2%[15].

g. *Losses Shading*

Penutupan atau bayangan yang menimpa panel surya dapat mengurangi output daya yang dihasilkan. Beberapa jenis panel surya lebih rentan terhadap efek bayangan dibandingkan yang lain, dan kerugian yang timbul akibat bayangan tersebut dapat mencapai 3-4%[15].

h. *Losses* Kemiringan Panel Surya

Posisi dan arah panel surya berpengaruh pada produktivitasnya. Jika tidak dipasang dengan sudut dan arah yang optimal, panel surya tidak akan mencapai hasil output penuh sesuai dengan lokasi tempat pemasangannya. Arah panel surya yang paling optimal yaitu mengarah ke garis khatulistiwa. Sudut optimal panel surya berkisar 10° -20° tergantung dari lokasi pemasangan panel surya. *Losses* akibat kemiringan panel surya ini rata-rata sebesar 0,4% setiap kenaikan 1° dari sudut optimalnya[15].

i. *Losses* Faktor Peningkatan Suhu Yang Dihasilkan

Setiap peningkatan suhu sebesar 1 derajat Celsius dari suhu standar akan mengakibatkan pengurangan sekitar 0,5% dalam produksi daya yang dihasilkan oleh panel surya[15].

2.3.3 Orientasi Modul Panel Surya

Orientasi modul ke matahari secara optimal penting untuk menghasilkan energi maksimum. Orientasi sudut memiliki dampak signifikan terhadap produksi energi. Di wilayah belahan bumi utara, disarankan agar modul surya diarahkan ke selatan untuk mencapai hasil energi yang optimal. Orientasi ke arah timur atau barat tetap dapat menghasilkan energi, namun tidak seefisien orientasi ke selatan[16].

Efisiensi maksimum dari panel surya akan terjadi jika sinar matahari selalu berada di sudut 90° terhadap permukaan panel. Namun, kenyataannya sinar radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi bervariasi berdasarkan beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut termasuk garis lintang (*latitude*) tempatnya berada dan deklinasi matahari yang berubah sepanjang tahun. Fakta menarik lainnya adalah bahwa sumbu rotasi bumi condong sekitar 23,45° terhadap bidang orbit bumi mengelilingi matahari. Karena kemiringan ini, ketinggian matahari di langit bervariasi setiap hari tergantung pada lintangnya. Untuk menentukan nilai maksimum ketinggian matahari (dalam derajat) saat mencapai posisi tertinggi di langit (α), kita dapat dengan mudah menggunakan persamaan berikut[16]:

$$\alpha = 90^\circ - lat + \delta \text{ (Nhemisphere); } m \ 90^\circ + lat - \delta \text{ (Shemisphere)} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan:

lat : garis lintang (*latitude*)

δ : sudut dari deklinasi matahari (23,45°)

Jika kita mengetahui ketinggian maksimum matahari (α), kita dapat menghitung sudut kemiringan PV modul (β). Namun, untuk menentukan orientasi optimal dari PV modul, tidak hanya α yang diperlukan. Pendekatan yang lebih mendalam dan menyeluruh agar penentuan orientasi ini benar-benar maksimal dan efisien. Sudut yang diperlukan oleh modul PV terhadap permukaan bumi (β) dapat ditentukan dengan melakukan analisis mendalam, yang mempertimbangkan berbagai variabel seperti lokasi geografis, perubahan posisi matahari sepanjang tahun, dan karakteristik spesifik dari modul PV tersebut[16]:

$$\beta = 90^\circ - \alpha \dots \dots \dots (2. 11)$$

2.3.4 Baterai

Baterai adalah perangkat penyimpanan energi yang terhubung dengan modul PV untuk mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Baterai terdiri dari setidaknya dua sel elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Setiap sel memiliki katoda (positif) dan anoda (negatif). Anoda berfungsi sebagai sumber elektron yang mengalir melalui sirkuit eksternal untuk menyediakan daya ke perangkat luar. Saat baterai terhubung ke sirkuit eksternal, elektrolit bergerak dan menyebabkan reaksi kimia di kedua kutub [17].

Berikut adalah beberapa faktor yang penting dipertimbangkan dalam menentukan kapasitas baterai:

1. *DOD (Depth of Discharge)*, persentase kapasitas baterai yang telah digunakan dari kapasitas maksimum. Misalnya, jika kapasitas baterai 10 Ah dan digunakan untuk memasok arus 10 A selama satu jam, persentase DoD adalah 100%. Ini tidak baik karena siklus penggunaan baterai berkurang dan baterai cepat rusak.[17].
2. *Autonomy days*, yaitu berapa lama (dalam hari) sistem PLTS dapat beroperasi tanpa pasokan energi matahari yang optimal. Di Indonesia, biasanya sistem PLTS memiliki otonomi selama 3 hari, artinya sistem bisa beroperasi tanpa energi matahari selama 3 hari[17].

Efisiensi baterai ditentukan berdasarkan kapasitas baterai yang dibutuhkan, yang sangat penting untuk menentukan durasi dan kinerja perangkat elektronik. Kapasitas baterai ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut, yang memungkinkan kita untuk memperkirakan seberapa lama baterai akan bertahan dan seberapa efisien penggunaannya dalam kondisi yang berbeda. Efisiensi baterai ditentukan berdasarkan kapasitas baterai yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C = \frac{N \times E_d}{V_s \times DoD \times \eta} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

- C* : Kapasitas Baterai (Ah)
- N* : Hari tanpa Matahari (hari)
- E_d* : Konsumsi Energi Harian (kWh)
- V_s* : Tegangan Baterai (Volt)
- DoD* : Kedalaman maksimum pengosongan baterai
- η* : Efisiensi Baterai

2.3.5 Inverter

Inverter adalah perangkat elektronik yang mengubah arus listrik dari DC (arah searah) dari baterai atau sel tenaga surya menjadi arus listrik AC (arus bolak-balik). Dalam sistem PLTS, inverter berfungsi untuk mengonversi tegangan DC menjadi tegangan AC 220 Volt yang dibutuhkan oleh perangkat seperti komputer, TV, dan peralatan rumah tangga. Inverter melakukan proses pemotongan dan inverasi arus DC untuk menghasilkan gelombang segi empat yang dimodifikasi menjadi gelombang sinus, sehingga mengurangi gelombang harmonik yang tidak diinginkan. Umumnya, inverter menghasilkan "gelombang sinusoida termodifikasi". Gelombang sinusoida termodifikasi ini biasanya lebih efisien dibandingkan dengan inverter sinus murni[18].

Inverter juga berfungsi sebagai pengaman penting untuk mencegah terjadinya "islanding" atau keadaan dimana inverter tetap aktif saat jaringan listrik mati. Proses ini sangat penting karena jika inverter tetap aktif, dapat menyebabkan bahaya bagi pekerja yang mencoba memperbaiki jaringan listrik. Sebagai hasilnya, inverter secara otomatis mati untuk menjaga kestabilan jaringan listrik. Selain itu, inverter juga berfungsi untuk mengoptimalkan transfer daya dari panel surya ke baterai dengan menggunakan algoritma MPPT (Maximum Power Point Tracking). Algoritma ini memastikan bahwa daya yang dihasilkan oleh panel surya selalu beroperasi pada titik efisiensi maksimum. Dengan demikian, proses pengisian baterai dapat dilakukan secara efektif dan efisien[18].

$$P_{inverter} = P_{max} \times 125\% \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

$P_{inverter}$: Daya inverter (Watt)

P_{max} : Beban puncak (Watt)

125% : Kompensasi

Berdasarkan kebutuhan performa yang spesifik, inverter untuk sistem PLTS *off-grid* dan PLTS *on-grid* memiliki perbedaan yang mencolok, yaitu:

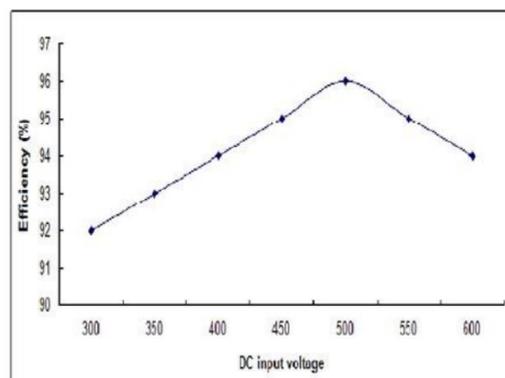
1. Pada sistem PLTS *off-grid*, inverter perlu menjaga tegangan AC tetap stabil meskipun terjadi variasi dalam produksi panel surya dan perubahan kebutuhan beban. Ini mengharuskan inverter untuk cepat menyesuaikan fluktuasi energi dari panel surya dan memastikan tegangan AC tetap konsisten untuk memenuhi kebutuhan beban.
2. Di PLTS *on-grid*, inverter didesain untuk menghasilkan tegangan yang sejajar dengan tegangan jaringan listrik saat ini. Hal ini bertujuan untuk mengoptimalkan

hasil energi dari modul panel surya dan memaksimalkan produksi energi. Inverter pada sistem ini harus mampu bersinkronisasi dengan tegangan jaringan agar energi yang dihasilkan dapat disalurkan secara efisien ke dalam jaringan listrik umum, digunakan oleh konsumen secara langsung, atau disimpan untuk penggunaan di masa depan.

Daya keluaran inverter harus antara 0,9 hingga 1,25 kali kapasitas terpasang atau terhubung, direkomendasikan rasio 1:1 antara kapasitas panel surya dan daya inverter untuk menghindari ketidakefisienan.

Parameter untuk menentukan inverter:

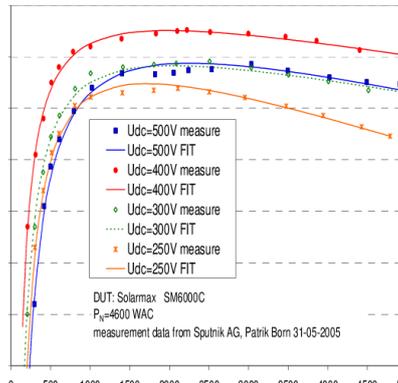
- a. *Country data set* untuk jaringan yang di inginkan pilih mode *Off-grid* untuk sistem berdiri sendiri.
- b. Frekuensi dasar untuk jaringan *Off-grid* adalah 50 Hz.
- c. Tegangan AC minimum tergantung kisaran inverter baterai.
- d. Tegangan AC maksimum sistem.
- e. Frekuensi AC minimum, umumnya dalam persentase dari 50 Hz.
- f. Frekuensi AC maksimum adalah frekuensi paling tinggi di mana sistem dapat berfungsi.
- g. *Start power control frequency* adalah titik kontrol daya drop frekuensi.
- h. *Maximum power control frequency* adalah batas maksimum frekuensi untuk mengendalikan daya keluaran. Daya inverter pada frekuensi ini harus nol.



Gambar 2.5 Pengaruh Tegangan *Input* Terhadap Efisiensi Inverter^[18]

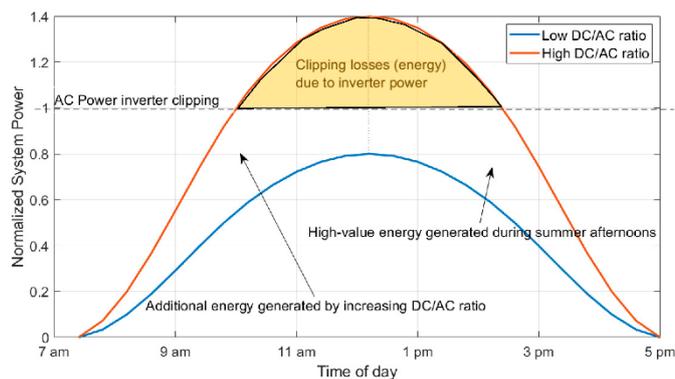
Efisiensi puncak inverter terjadi terhadap tegangan nominal inverter, hal ini dapat dilihat pada grafik 2.5 Grafik tersebut menunjukkan bahwa efisiensi akan semakin tinggi apabila tegangan input inverter semakin mendekati tegangan nominal inverter, sedangkan, efisiensi inverter akan mengalami penurunan apabila tegangan input inverter

melebihi tegangan nominal inverter. Oleh karena itu, efisiensi inverter sangat bergantung pada tegangan yang dihasilkan oleh panel surya[18].



Gambar 2. 6 Pengaruh Prosentase Beban Terhadap Efisiensi Inverter pada tegangan bervariasi^[19]

Berdasarkan gambar 2.6 di atas dijelaskan bahwa efisiensi inverter mengacu kepada seberapa besar daya DC diubah menjadi daya AC. Efisiensi konverter daya ini bervariasi sesuai dengan kapasitas daya beban inverter, karena efisiensinya meningkat dan mampu mencapai nilai maksimumnya ketika daya beban yang lebih tinggi dibandingkan dengan daya beban yang lebih rendah ketika batas daya keluarannya dibatasi nilai investasi tidak terlampaui. Jadi yang mempengaruhi konversi listrik DC ke AC yang dihasilkan panel surya tidak selalu berupa angka yang konstan. Di sisi lain, parameter ini bervariasi tergantung kepada daya dan tegangan DC masukan, dan tingkat variasinya berbeda untuk converter[19].



Gambar 2. 7 Pengaruh Tegangan *Input* Terhadap *Output* Inverter^[19]

Berdasarkan gambar 2.7 di atas dijelaskan bahwa kerugian kompensasi mengacu pada kerugian energi yang disebabkan oleh sistem *fotovoltaik* (PV) ketika inverter mengurangi dayanya agar sesuai dengan daya puncak atau puncak yang diperbolehkan dalam sambungan jaringan. Rasio DC-AC pembangkit listrik PV yang dioptimalkan harus lebih besar dari 1 untuk menghindari kerugian gangguan, terutama ketika awal

proyek, jika tidak maka inverter akan tetap kurang dimanfaatkan, sehingga menyebabkan biaya energi lebih tinggi. Hilangnya pergerakan biasanya hanya beberapa persen pada saat awal proyek dan menurun sepanjang umur proyek karena kerusakan modul surya dan peralatan lainnya[19].

2.3.6 Solar Charge Controller (SCC)

Solar charge controller adalah perangkat elektronik yang mengatur arus searah (DC) yang masuk ke baterai dari panel surya. Fungsi utama SCC adalah menjaga tegangan input ke baterai tetap stabil dan mencegah overcharging atau tegangan yang terlalu tinggi. Hal ini penting karena produksi energi dari panel surya bervariasi tergantung pada intensitas sinar matahari yang diterima[20].

Solar charge controller (SCC) atau *battery charge regulator (BCR)* adalah komponen elektronik penting dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang berfungsi untuk mengatur proses pengisian baterai dengan menggunakan modul *fotovoltaik*. Perangkat ini memiliki peran utama dalam mengendalikan tegangan dan arus pengisian yang dihasilkan berdasarkan daya yang diterima dari modul *fotovoltaik* serta status pengisian baterai (*state of charge*). Dengan demikian, SCC memastikan bahwa baterai diisi dengan cara yang aman dan efisien, mencegah overcharging atau pengisian yang tidak memadai. Selain itu, jumlah kebutuhan SCC dalam sistem PLTS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini, yang memperhitungkan berbagai faktor seperti kapasitas baterai dan keluaran daya modul *fotovoltaik*[20]:

$$N_{SCC} = \frac{\text{Total } W_p}{\text{Max Output SCC}} \dots\dots\dots(2. 14)$$

Keterangan:

- N_{SCC} : Jumlah SCC
- W : Total Daya *Max output*
- SCC : Nilai maksimum *output* SCCD

2.3.7 Surge Protector Device (SPD)

Surge protection device adalah komponen proteksi yang melindungi perangkat listrik dari lonjakan tegangan atau *over voltage* akibat sambaran petir tak langsung. Prinsip kerjanya adalah membatasi tegangan dan mengalirkan lonjakan ke tanah melalui sistem pentanahan. Untuk memilih SPD pada *photovoltaic*, perlu diketahui suhu operasi,

tegangan, nilai arus hubung singkat, dan jenis sambaran petir. SPD harus memiliki arus resistansi yang lebih besar dari arus hubung singkat rangkaian *array* yang terhubung[21].



Gambar 2. 8 *Surge Protector Device*^[21]

2.3.8 Kabel Pengantar

Penghantar adalah bahan yang memungkinkan aliran arus listrik dari satu tempat ke tempat lain. Ada dua jenis utama penghantar: kabel dan kawat. Kabel adalah penghantar yang dilapisi dengan bahan isolasi pelindung, seperti kabel NYM dan NYA. Di sisi lain, kawat penghantar tidak memiliki lapisan isolasi, seperti BC (*Bare Conductor*), penghantar berlubang (*Hollow Conductor*), dan ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*)[22].

Secara umum, penghantar dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu penghantar yang memiliki lapisan isolasi dan penghantar yang tidak memiliki lapisan isolasi

1. Jenis-jenis Penghantar

a. Kawat

Kawat penghantar adalah jenis penghantar yang tidak memiliki pelapis isolasi, seperti BC (*bare conductor*), penghantar berlubang (*hollow conductor*), dan ACSR (*aluminium conductor steel reinforced*).

b. Kabel

Kabel adalah penghantar listrik yang dilindungi dengan isolasi untuk mencegah kebocoran arus listrik. Seluruh inti kabel, yang terdiri dari satu atau lebih konduktor, dilengkapi dengan selubung pelindung bersama untuk memberikan perlindungan tambahan terhadap kerusakan fisik, kelembaban, dan gangguan eksternal lainnya. Selubung pelindung ini juga membantu memperpanjang umur kabel dan memastikan kinerja yang andal dalam berbagai kondisi lingkungan, contohnya adalah kabel NYM, NYA dan sebagainya.

Tabel 2. 1 Nomenklatur Kabel Pengantar^[23]

Kode Kabel	Keterangan dan Contoh
A	Selubung atau lapisan perlindungan luar bahan serat (misalnya goni/jute). Contoh : NKRA, NAKB
AA	Selubung atau perlindungan luar dua lapis dari bahan serat goni (jute). Contoh : NAHKZAA, NKZAA
B	Perisai dari pita bajai ganda. Contoh : NYBY, NEKBA
C	Pengantar konsentris tembaga. Contoh : NYCY
CE	Pengantar konsentris pada masing-masing inti, dalam hal kabel berinti banyak. Contoh: NYCEY
CW	Pengantar konsentris pada masing-masing inti, yang dipasang secara berlawanan arah untuk kabel tegangan nominal 0,6/1kV (1,2 kV). Contoh : NYCWY
D	Spiral anti tekan pita penguat non magnetis
E	Kabel dengan masing-masing intinya berselubung logam. Contoh : NEKBA
F	Perisai kawat baja pipih. Contoh : NYFGbY
G	Spiral dari kawat baja pipih. Contoh : NYKRG
	Isolasi karet/EPR. Contoh : NGA
	Selubung isolasi dari karet
2G	Isolasi karet butil dengan daya tahan lebih tinggi terhadap panas. Contoh : N2GAU
Gb	Spiral pita baja (mengikuti F/R. Contoh : NYFGbY, N2XSEYFGby
H	Lapisan pengantar diluar isolasi untuk membatasi medan listrik. Contoh : NHKBA, NHKRA
K	Selubung timbul. Contoh : NKBA, NAKBY
KL	Selubung aluminium. Contoh : NKLY, NAHKLY
KWK	Selubung dari pita tembaga yang terpasang dan di las memanjang. Contoh : NKWKZY
L	Perisai dari jalinan kawat baja bulat (braid)
MK	Kabel dengan selubung timah hitam untuk pemasangan dalam kapal laut. Contoh : MK
N	Kabel standar pengantar tembaga. Contoh : NYA, NYY
NA	Kabel standar pengantar aluminium. Contoh : NAYFGbY, NAKBA
NF	Kabel udara berisolasi dipilin. Contoh : NF2X, NFAY
NI	Kabel bertekanan gas. Contoh : NIKLDEY.
NO	Kabel bertekanan minyak. Contoh : NOKDEFOA
NP	Kabel dalam pipa bertekanan gas. Contoh : NPKDvFSt2Y
O	Perisai terbuka dari kawat-kawat baja. Contoh : NNKROA
	Kabel berpenangkal oval. Contoh : NYM-O
	Kabel tanpa ini berwarna hijau kuning. Contoh : NYFGbY-O
Q	Jalinan (braid) dari kawat-kawat baja berselubung seng (zing-coated). Contoh : NYKQ
R	Perisai dari kawat baja bulat. Contoh : NYRGbY
RR	Dua lapisan perisai dari kawat baja bulat. Contoh : NKRRGbY

S	Perisai dari tembaga pelindung listrik dari pita tembaga yang dibalutkan pada semua inti kabel bersama-sama. Contoh : N2XSY
SE	Pelindung listrik dari pita tembaga yang melindungi masing-masing inti kabel. Contoh : N2XSEY
T	Tali pengantung dari baja.
2X	Selubung isolasi dari XLPE. Contoh : NF2X, N2XSY
Y	Selubung isolasi dari PVC. Contoh : NYA
2Y	Selubung isolasi dari polyethylene.
Z	Perisai dari kawat-kawat yang masing-masing mempunyai bentuk "Z". Contoh : NKZAA
Z	Pengantar isolasi dengan beban tarik. Contoh : NYMZ
	Selubung logam dan pita seng. Contoh : NYRUZY

2. Pemilihan Penghantar

Dalam menentukan jenis penghantar dan ukuran penghantar yang digunakan dalam instalasi kendaraan listrik, keputusan tersebut didasarkan pada beberapa pertimbangan:

a. Komponen Hantar Arus

Langkah awal untuk menentukan kapasitas penghantar arus dan luas penampang yang diperlukan adalah dengan menghitung arus yang dibutuhkan berdasarkan daya beban yang terhubung. Berikut adalah rumus yang dapat digunakan:

$$\text{Untuk arus searah : } I = \frac{P}{v} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$\text{Untuk arus bolak – balik satu fasa : } I = \frac{P}{v \cdot \cos \varphi} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$\text{Untuk arus bolak – balik tiga fasa : } I = \frac{p}{\sqrt{3} \cdot v \cdot \cos \varphi} \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan:

I : Arus Nominal (A)

P : Daya (W)

V : Tegangan Nominal (V)

$\cos \varphi$: Faktor Daya

Rumusan yang digunakan untuk menghitung luas penampang penghantar yang diperlukan berdasarkan rugi tegangan adalah:

$$q = \frac{L \cdot N}{y \cdot ev \cdot E} \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan:

q : Luas Penampang Kabel (mm²)

L : Panjang Penghantar (m)

N	: Daya (W)
ev	: Rugi Tegangan dalam Penghantar (V)
E	: Tegangan (V)
γ	: Daya Hantar Jenis dari Bahan Penghantar yang digunakan
Tembaga γ	: 56,2
Aluminium γ	: 33

Menurut Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) tahun 2000, disebutkan bahwa rugi tegangan antara panel hubung bagi (PHB) utama dan setiap titik beban tidak boleh melebihi 5% dari tegangan pada panel hubung bagi utama, asalkan semua kabel penghantar instalasi dilalui oleh arus maksimum yang telah ditentukan (arus nominal pengaman).

b. Kondisi Suhu

Setiap penghantar memiliki *resistansi* (R)c Ketika penghantar ini dilalui arus, akan terjadi kerugian energi yang menghasilkan panas. Jika penghantar terus dialiri arus dalam waktu lama, dapat merusaknya. Oleh karena itu, faktor koreksi harus dipertimbangkan dalam pemilihan penghantar.

c. Kondisi Lingkungan

Pemilihan jenis konduktor harus disesuaikan dengan kondisi dan tempat dimana konduktor akan dipasang atau ditempatkan, baik di darat maupun di udara.

d. Kondisi mekanis

Pertimbangan untuk menentukan luas penampang kabel penghantar juga harus memperhitungkan kemungkinan adanya kekuatan mekanis yang signifikan di lokasi pemasangan kabel, sehingga dapat diestimasi seberapa besar kekuatan mekanis yang mungkin terjadi pada kabel tersebut.

2.3.9 Pentanahan

Simbol sinyal atau pentanahan ekuipotensial digunakan sebagai tegangan referensi dalam simulasi rangkaian listrik. Pentanahan melepaskan arus tinggi ke tanah. Tegangan elektrostatik diamati oleh beberapa sistem dan harus dikurangi dengan tanah sasis. Tanah dan sasis umum dalam jaringan sistem tenaga.

Sistem pentanahan menyediakan jalur hambatan rendah untuk mencegah gangguan, sengatan petir, dan arus listrik. Gangguan satu fasa di tanah adalah kesalahan paling umum dalam sistem tenaga listrik, menyumbang 98% dari semua gangguan. Sistem pentanahan dibuat dengan menanam elektroda ke dalam tanah, dikenal sebagai

"batang" secara vertikal atau "konduktor" secara horizontal. Jaringan pentanahan terbentuk dari kombinasi konduktor dan batang atau hanya konduktor. Jaringan ini digunakan untuk pentanahan gardu induk dan pembangkit listrik[24].

Metode *system* pentanahan yaitu:

a. Pentanahan dengan *driven ground*

Pembumian terkendali adalah metode pembumian yang melibatkan penempatan elektroda ke dalam tanah.

b. Pentanahan dengan *counterpoise*

Tanah penyeimbang atau *counterpoise* adalah jenis tanah yang dibuat dengan cara menanam kawat elektroda secara paralel atau radial di bawah permukaan tanah, pada kedalaman 30 cm sampai dengan 90 cm. Tanah yang seimbang biasanya digunakan ketika resistansi tanah sangat tinggi dan tidak dapat dikurangi dengan tanah yang dibumikan.

c. Pentanahan dengan *mesh* atau *grid*

Pentanahan dengan menggunakan *mesh* atau *grid* adalah teknik dimana konduktor elektroda ditempatkan secara membujur dan melintang di bawah permukaan tanah, dan dihubungkan satu sama lain di setiap titik untuk membentuk pola jala atau grid. Sistem pentanahan *mesh/grid* ini umumnya dipasang di gardu induk dengan tujuan mencapai resistansi tanah yang sangat rendah, yaitu kurang dari 1 Ω [24].

2.3.10 *Circuit Breaker*

Dalam prakteknya, pengaman ini harus disesuaikan dengan kapasitas listrik yang telah terpasang. Alat pengaman otomatis ini berfungsi untuk mengatur arus listrik dan juga berperan sebagai saklar. Dalam penggunaannya, pengaman ini harus diatur sesuai dengan kapasitas listrik yang sedang digunakan. Alat pengaman otomatis ini sangat penting dalam instalasi listrik, karena mampu melindungi peralatan dan jaringan listrik dari kerusakan akibat arus berlebih atau korsleting. Pengaman ini biasanya dipasang di titik-titik strategis dalam rangkaian listrik untuk memastikan keselamatan dan efisiensi. Di samping itu, perangkat ini juga bisa membantu dalam pengelolaan energi dengan otomatis memutus aliran listrik saat tidak diperlukan. Oleh karena itu, pemilihan dan pemasangan alat pengaman otomatis harus dilakukan dengan cermat dan sesuai dengan standar yang berlaku[25].

Dalam menentukan rating MCB, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Sistem 3 fasa : } I_n = \frac{P}{\sqrt{3}xv \times \cos \varphi} \times \text{Safety Factor} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\text{Sistem 1 fasa : } I_n = \frac{P}{v \times \cos \varphi} \times \text{Safety Factor} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\text{Sistem 1 fasa : } I_n = \frac{P}{v} \times \text{Safety Factor} \dots\dots\dots(2.21)$$



Gambar 2. 9 MCB AC dan MCB DC^[25]

2.3.11 Kotak Penggabung

Combiner box atau kotak penggabung adalah sebuah panel yang digunakan untuk menggabungkan modul *fotovoltaik* guna meningkatkan arus keluaran. Dalam penelitian ini, terdapat 4 modul *fotovoltaik* yang disambungkan secara paralel di *combiner box*. Setiap modul dihubungkan ke *busbar* yang sama dan dilindungi baik secara elektrik maupun mekanis.

Kotak penggabung ini dilengkapi dengan 2 *Fuse* untuk melindungi dari arus berlebih, 1 perangkat proteksi tegangan surja, 2 *busbar*, 1 MCB DC, dan 1 batang pembumian. Keluaran kombinasi dari *combiner box* ini terhubung langsung ke solar charge controller dengan menggunakan sistem *DC coupling*[26].



Gambar 2. 10 Kotak Penggabung^[26]

2.3.12 Metode Pemasangan Panel Surya

Pemasangan panel surya harus dilakukan dengan hati-hati dan seksama, terutama dalam hal kondisi lahan yang akan digunakan. Hal ini sangat penting karena lahan yang dipilih akan sangat menentukan jenis komponen yang akan dipasang serta aspek teknis dari pemasangan panel surya tersebut. Sebagai contoh, lahan yang memiliki kemiringan tertentu mungkin memerlukan penyesuaian dalam posisi pemasangan panel agar dapat menangkap sinar matahari secara optimal. Selain itu, kondisi tanah, iklim, dan faktor lingkungan lainnya juga harus diperhitungkan untuk memastikan efisiensi dan keawetan instalasi panel surya. Sering kali, metode-metode yang umum digunakan dalam pemasangan panel surya adalah sebagai berikut:

2.3.12.1 *Ballast*

Pemasangan menggunakan pemberat beton yang ditempatkan sesuai posisi yang diinginkan. Metode *ballast* biasanya diterapkan di area beton seperti atap gedung[27]. Tujuan pemberat adalah menopang rangka agar tidak merusak gedung. Metode *ballast* dapat dilihat di gambar sebagai berikut:



Gambar 2. 11 Metode Pemasangan *Ballast*^[27]

2.3.12.2 *Single Pole*

Metode *single pole* biasanya digunakan di lokasi tanah yang tidak rata dan memiliki halangan di sekitarnya yang menciptakan bayangan. Teknik ini dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2. 12 Metode Pemasangan *Single Pole*^[27]

2.3.12.3 Rooftop Rack

Metode *Rooftop Rack* digunakan untuk pemasangan panel surya di atap rumah atau gedung yang condong. Penyangga besi dipasang dengan baut untuk memastikan kestabilan dan kekokohan. Teknik ini sangat efektif untuk bangunan yang memiliki atap yang tidak rata, karena dapat menyesuaikan dengan kemiringan dan bentuk atapnya. Pada proses pemasangannya, modul panel surya akan ditempatkan sesuai dengan sudut kemiringan atap, memastikan bahwa mereka dapat menangkap sinar matahari dengan optimal. Selain itu, metode ini juga memperhitungkan aspek keamanan dan daya tahan, sehingga strukturnya tidak mudah terganggu oleh cuaca ekstrem atau angin kencang. Metode pemasangan *rooftop rack* bisa dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 13 Metode Pemasangan *Rooftop Rack*^[27]

2.3.12.4 Floating

Metode *Floating* digunakan di perairan seperti danau atau waduk, di mana lahan darat mungkin terbatas atau tidak tersedia. Metode ini melibatkan penggunaan bahan apung yang dirancang khusus untuk menopang panel namun tetap menjaga agar tidak tenggelam ke dalam air. Bahan apung ini biasanya terbuat dari *stereof foam* yang ringan dan kuat, memberikan stabilitas dan daya apung agar modul panel tetap di atas air, bahkan dalam cuaca berubah-ubah. Teknik pemasangan floating ini sangat bermanfaat untuk

memaksimalkan penggunaan ruang perairan yang luas dan dapat dilihat di gambar berikut:



Gambar 2. 14 Metode Pemasangan *Floating*^[27]

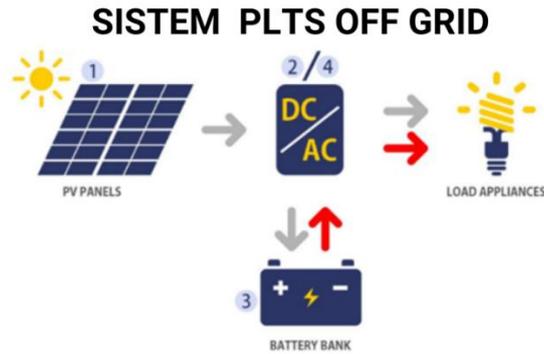
2.4 Konfigurasi Sistem PLTS

Ada 3 tipe desain PLTS: 1) PLTS *Off-Grid*, yaitu sistem yang berdiri sendiri tanpa terhubung ke jaringan listrik utama, biasanya digunakan di daerah terpencil yang tidak memiliki akses listrik, 2) PLTS *On-Grid*, yang merupakan sistem yang terhubung ke jaringan listrik utama sehingga bisa berkontribusi ke pasokan listrik secara umum, dan 3) PLTS *Hybrid*, yaitu sistem yang menggabungkan PLTS dengan pembangkit listrik lain seperti generator diesel atau sistem energi terbarukan lainnya untuk memastikan keandalan dan kestabilan pasokan listrik.

2.4.1 Sistem PLTS *Off-Grid*

PLTS *Off-Grid* atau Stand Alone hanya mengandalkan panel surya sebagai sumber listriknya tanpa perlu bergantung pada pembangkit lain seperti PLTD. Sistem ini sepenuhnya bergantung pada matahari, sehingga membutuhkan baterai sebagai penyimpan energi, terutama untuk malam hari. PLTS *Off-Grid* biasanya digunakan di daerah sangat terisolasi dengan akses transportasi sulit, sehingga membawa BBM untuk PLTD menjadi masalah.

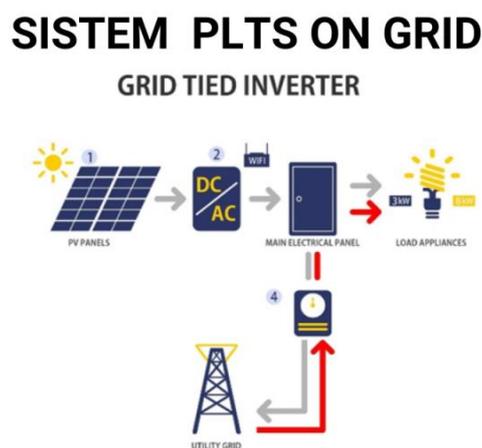
Menentukan kapasitas panel dan baterai penting. Untuk sistem *Off-Grid*, kapasitas baterai ditambah untuk hari tanpa sinar matahari (*days of autonomy*), biasanya 1-2 kali periode. Kapasitas PV harus menyuplai beban minimal dengan radiasi rata-rata 1 kW/m² dan mengisi baterai selama *discharge*. Waktu pengisian di Indonesia sekitar 3-4 jam per hari. Kapasitas panel (kWp) harus mempertimbangkan efisiensi baterai. Gambar 2.10 adalah diagram dasar PLTS *Off-Grid*[28].



Gambar 2. 15 Skema Sistem PLTS *Off-Grid*^[28]

2.4.2 Sistem PLTS *On-Grid*

Sistem PLTS *On-Grid* memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi utama untuk menghasilkan listrik. Sistem ini dirancang untuk digunakan di lokasi yang sudah memiliki akses listrik dan beroperasi terutama pada siang hari ketika sinar matahari berlimpah. Disebut *On-Grid* karena PLTS ini terhubung secara langsung (*tied*) ke sistem listrik eksisting di lokasi tersebut. Gambar 2.10 menunjukkan skema dari suatu PLTS *On-Grid*, yang dapat memberikan gambaran lebih jelas mengenai tata letak dan komponen-komponen yang terlibat dalam sistem ini. Dengan demikian, PLTS *On-Grid* merupakan solusi yang efisien dan efektif dalam memanfaatkan energi matahari untuk kebutuhan listrik sehari-hari[28].



Gambar 2. 16 Skema Sistem *PLTS On-Grid*^[28]

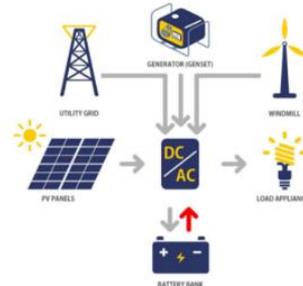
2.4.3 Sistem PLTS *Hybrid*

PLTS *hybrid* adalah kombinasi PLTS dan PLTD. PLTS menyuplai beban maksimal saat siang, dengan baterai sebagai *buffer* atau *stabiliser*. Dengan baterai, PV bisa menyuplai daya siang hari tanpa risiko. Kapasitas panel harus mampu mengisi baterai sambil menyuplai beban. Sistem PLTS *hybrid* ini menambah jam operasi dan

mengurangi konsumsi bahan bakar. Gambar 2.11 menunjukkan diagram dasar PLTS *hybrid* dengan PLTD.

Inverter untuk PLTS *Hybrid* harus bisa mengubah arus dua arah: DC ke AC untuk beban dan AC ke DC untuk mengisi baterai. Inverter ini disebut *bi-directional* inverter[28].

SISTEM PLTS HYBRID



Gambar 2. 17 Skema Sistem PLTS *Hybrid*^[28]

2.5 Beban Listrik

Beban listrik adalah tanggung jawab yang harus ditanggung oleh pembangkit listrik. Secara umum, dalam kehidupan sehari-hari, beban listrik mengacu pada semua peralatan listrik yang membutuhkan daya listrik untuk dapat berfungsi[29].

Dari perspektif jenis konsumen energi listrik, secara umum, ragam beban dapat diklasifikasikan sebagai[30]:

- Beban rumah tangga mencakup lampu, kipas angin, pemanas air, lemari es, AC, mixer, oven, motor pompa air, dan lain sebagainya. Beban ini umumnya mencapai puncaknya pada malam hari.
- Beban komersial biasanya mencakup penerangan reklame, kipas angin, AC, dan peralatan listrik di restoran. Hotel dan perkantoran juga termasuk dalam kategori ini, dengan tingkat beban yang meningkat secara signifikan di siang hari dan menurun di sore hari.
- Beban industri dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu skala kecil dan skala besar. Pada industri skala kecil, sebagian besar operasinya terjadi pada siang hari karena berbagai faktor seperti keterbatasan sumber daya dan kapasitas produksi. Sebaliknya, industri skala besar cenderung beroperasi secara terus-menerus selama 24 jam untuk meningkatkan efisiensi produksi dan memenuhi permintaan pasar yang tinggi. Praktik operasi 24 jam ini juga membantu dalam menjaga kelangsungan produksi dan mengurangi waktu henti yang tidak produktif.

2.6 Performance Ratio

Performance ratio adalah perbandingan antara energi yang benar-benar dihasilkan oleh sistem PLTS dengan energi yang diharapkan jika sistem tersebut beroperasi pada efisiensi nominal STC (*Standar Test Conditions*). STC ini mencakup irradiasi matahari sebesar 1000 W/m² dan suhu 25°C, di mana setiap kWh/m² menghasilkan 1 kWh energi listrik. *Performance ratio* digunakan untuk mengevaluasi efisiensi aktual sistem PLTS dengan membandingkan energi yang sebenarnya terukur dengan energi teoritis yang seharusnya dihasilkan. Kelebihan dari *performance ratio* adalah tidak tergantung pada orientasi atau intensitas cahaya matahari tertentu, sehingga memungkinkan perbandingan yang objektif antara sistem PLTS yang berbeda di berbagai lokasi. Sebuah nilai *performance ratio* yang baik biasanya berada di rentang 70-80%, walaupun angka ini dapat bervariasi tergantung pada lokasi geografis, kondisi cuaca, dan kualitas sistem PLTS itu sendiri. Semakin tinggi *performance ratio*, semakin efisien dan produktif sistem PLTS tersebut[31]. *Performance Ratio* meliputi kerugian cahaya, kerugian dalam rangkaian PV, dan kerugian dalam sistem PLTS secara keseluruhan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung Performance Ratio sistem PLTS adalah:

$$PR = \frac{E_{yield}}{E_{ideal}} \dots \dots \dots (2.22)$$

$$E_{ideal} = P_{array\ STC} \times H_{tilt} \dots \dots \dots (2.23)$$

$$H_{tilt} = PSH \times 365 \dots \dots \dots (2.24)$$

Keterangan:

- PR* : Performance Ratio (%)
- E_{yield}* : Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS (Wh)
- E_{ideal}* : Energi yang diperoleh dari PV saat PSH (Wh)
- H_{tilt}* : Rata-rata radiasi harian (kWh/m²)

2.7 Peraturan terkait PLTS

2.7.1 Peraturan Gubernur Bali No. 45 Tahun 2019

Peraturan Gubernur Bali Nomor 45 Tahun 2019 mengatur tentang pengembangan energi bersih di Provinsi Bali. Peraturan ini diundangkan pada tanggal 28 Oktober 2019 dan mulai berlaku sejak tanggal tersebut. Berikut adalah beberapa poin utama yang diatur dalam Peraturan Gubernur Bali Nomor 45 Tahun 2019.

Berikut beberapa hal utama yang diatur dalam Peraturan Gubernur Bali Nomor

45 Tahun 2019:

- a. Pemerintah Provinsi Bali berkomitmen untuk mewujudkan Bali sebagai provinsi energi bersih.
- b. Pemerintah Provinsi Bali menetapkan target kapasitas terpasang energi bersih sebesar 50% dari total kebutuhan energi di Provinsi Bali pada tahun 2030.
- c. Pemerintah Provinsi Bali akan mendorong pengembangan energi bersih melalui berbagai upaya, antara lain:
- d. Meningkatkan penggunaan energi bersih di sektor ketenagalistrikan, transportasi, dan bangunan.
- e. Melakukan penelitian dan pengembangan energi bersih.
- f. Meningkatkan kerja sama dengan pihak lain dalam pengembangan energi bersih.

2.7.2 Peraturan Menteri ESDM No. 26 Tahun 2021

Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 26 Tahun 2021 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang Terhubung ke Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum. Peraturan ini menggantikan Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2021 mempermudah persyaratan dan prosedur pemasangan PLTS Atap.

Peraturan Menteri ESDM No. 26 Tahun 2021 mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap memiliki beberapa poin penting:

- a. **Klasifikasi PLTS:** Menetapkan klasifikasi PLTS berdasarkan kapasitas instalasi dan penggunaan energinya.
- b. **Persyaratan Teknis:** Menetapkan persyaratan teknis untuk instalasi, operasi, dan pemeliharaan PLTS atap, termasuk standar peralatan dan komponen yang digunakan.
- c. **Prosedur Izin:** Merinci prosedur yang harus diikuti untuk mendapatkan izin pembangunan dan operasional PLTS atap.
- d. **Kewajiban Pemilik/Operator:** Menetapkan kewajiban bagi pemilik atau operator PLTS atap dalam hal keamanan, pemeliharaan, dan pelaporan.
- e. **Pengawasan dan Penegakan:** Menetapkan mekanisme pengawasan dan penegakan untuk memastikan kepatuhan terhadap peraturan tersebut.
- f. **Insentif:** Mungkin termasuk insentif atau stimulus bagi pengguna PLTS atap, seperti fasilitas kredit pajak atau insentif fiskal lainnya.

- g. **Perlindungan Konsumen:** Memuat ketentuan perlindungan konsumen terkait dengan instalasi dan penggunaan PLTS atap.
- h. **Pengembangan Industri:** Mendorong pengembangan industri PLTS atap melalui dukungan kebijakan dan pengaturan lingkungan usaha yang kondusif.
- i. **Klasifikasi Tarif:** Mungkin memuat klasifikasi tarif listrik khusus untuk pengguna PLTS atap.
- j. **Aspek Lingkungan:** Mungkin mencakup persyaratan yang harus dipenuhi untuk meminimalkan dampak lingkungan dari instalasi dan operasi PLTS atap.
- k. **Pemerataan Akses:** Upaya untuk memastikan bahwa PLTS atap dapat diakses secara merata oleh berbagai kelompok masyarakat.
- l. **Edukasi dan Penyuluhan:** Mungkin termasuk program edukasi dan penyuluhan tentang manfaat dan prosedur penggunaan PLTS atap.
- m. **Pengelolaan Limbah:** Ketentuan terkait pengelolaan limbah yang dihasilkan oleh instalasi dan operasi PLTS atap.
- n. **Penyesuaian Peraturan:** Kemungkinan adanya ketentuan untuk penyesuaian peraturan yang berkaitan dengan perkembangan teknologi dan industri PLTS atap.

2.7.3 Izin Operasi

Izin operasi diperlukan untuk mengoperasikan PLTS. Izin operasi PLTS ini diperlukan untuk memastikan bahwa PLTS memenuhi standar teknis keandalan dan keselamatan. Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 26 Tahun 2021 tentang PLTS Atap yang Terhubung ke Jaringan Tenaga Listrik Pemegang IUPT L untuk Kepentingan Umum, izin operasi PLTS terdiri dari dua jenis, yaitu:

1. Sertifikat Laik Operasi (SLO)

Sertifikat Laik Operasi (SLO) untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap adalah dokumen yang menegaskan bahwa instalasi PLTS telah memenuhi standar keselamatan, teknis, dan lingkungan yang ditetapkan. SLO diberikan oleh Badan Usaha Jasa Pengujian dan Sertifikasi Ketenagalistrikan (BUJPKS) kepada PLTS Atap yang telah memenuhi standar teknis keandalan dan keselamatan. SLO merupakan syarat wajib bagi PLTS Atap dengan kapasitas total hingga 500 kW yang terhubung dalam satu sistem instalasi Listrik.

2. Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Sendiri (IUPT LS)

Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Sendiri (IUPT LS) untuk PLTS Atap adalah persetujuan yang dibutuhkan bagi pengguna untuk memproduksi tenaga listrik untuk kegunaan pribadi mereka sendiri.

IUPT LS adalah izin yang diberikan oleh Menteri atau Gubernur kepada badan usaha untuk menyediakan tenaga listrik untuk kepentingan sendiri. IUPT LS merupakan syarat wajib bagi PLTS Atap dengan total kapasitas lebih dari 500 kW (lima ratus kilowatt) yang terhubung dalam 1 (satu) sistem instalasi tenaga listrik.

2.7.4 Surat Edaran PLN No. 16322/AGA.00.01/C01080500/2022

Berdasarkan dengan Surat Edaran PT PLN (Persero) No. 16322/AGA.00.01/C01080500/2022 yang dikhususkan untuk wilayah Jawa, Madura dan Bali tentang Penyampaian Strategi Sementara Layanan Terhadap Permohonan Pelanggan PLTS Atap. Dalam surat edaran tersebut, dinyatakan bahwa kapasitas PLTS Atap dibatasi antara 10-15% dari total daya tersambung, sedangkan untuk mengatur ekspor-impor energi listrik ke jaringan PLN, mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam PERMEN ESDM No. 49 Tahun 2018[32].

2.7.5 Peraturan Menteri ESDM No. 2 Tahun 2024

Peraturan Menteri (PerMen) ESDM Nomor 2 Tahun 2024 yang mengatur PLTS ongrid atau PLTS yang terhubung ke jaringan listrik. Konsep “Pemegang IUPT LU” sangat sentral dalam rumusan PerMen ESDM yang terbaru ini, dan oleh karenanya sangat penting untuk dimengerti

Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum (IUPLTU) dipegang oleh PT PLN dan, untuk wilayah-wilayah khusus tertentu, pemegang wilayah usaha (Wilus).

Dampak aturan yang terbaru ini bagi calon pengguna PLTS Atap:

1. Kapasitas PLTS Atap berdasarkan ketersediaan kuota wilayah
 - a. Pengajuan permohonan disampaikan pada bulan Januari dan Juli setiap tahunnya
 - b. Pemegang IUPT LU, dalam hal ini PLN atau pemegang wilayah usaha (wilus), akan memberikan persetujuan/penolakan maksimal 30 hari kalender
 - c. Permohonan dilayani oleh PLN merupakan mekanisme *first in first serve*
 - d. Jika permohonan ditolak karena melebihi kuota, permohonan masuk ke dalam daftar tunggu dan diproses pada periode berikutnya
 - e. Permohonan dilakukan melalui aplikasi PLN Mobile (untuk pelanggan PLN) dan SIMANTAP (non PLN/Wilus)

2. Tidak ada sistem ekspor-impor listrik untuk semua kelas pelanggan
3. Pemegang IUPT LU wajib menyediakan advanced meter tanpa biaya pengadaan
4. Sistem PLTS Atap yang dibangun oleh pelanggan PLTS Atap tidak akan dikenai biaya operasi parallel.
5. Secara umum aturan terbaru PLTS atap tidak ada Batasan untuk pemasangan PLTS *on-grid*.

2.8 Analisis Kelayakan Ekonomis

Analisis kelayakan ekonomi bertujuan untuk mengevaluasi aspek ekonomi dari suatu rencana investasi teknis dengan melakukan pendalaman dan evaluasi terhadap berbagai alternatif yang dianggap paling menguntungkan dan efisien. Proses analisis ini mencakup penilaian menyeluruh terhadap potensi keuntungan dan kerugian dari setiap pilihan yang dipertimbangkan. Dalam konteks analisis ekonomi sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya), terdapat beberapa indikator yang umumnya digunakan untuk mengukur kinerja dan kelayakan proyek. Indikator-indikator ini meliputi evaluasi biaya dan manfaat, tingkat pengembalian investasi, periode pengembalian modal, serta potensi dampak lingkungan dan sosial yang bisa muncul akibat penerapan sistem PLTS tersebut, seperti beberapa indikator yang sering digunakan, yaitu *Life Cycle Cost (LCC)*, *Cost Of Energy (COE)*, *Payback Period (PP)*, *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Profitability Index (PI)*, *Benefit Cost Ratio (BCR)*

2.8.1 Perhitungan Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Dalam PLTS, biaya operasional dan pemeliharaan ini diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal per tahun. Cakupan biaya ini meliputi biaya pekerjaan pembersihan panel surya, pemeliharaan dan instalasi. Persentase 1% ini ditentukan atas dasar bahwa negara Indonesia hanya mengalami dua musim, yaitu musim penghujan 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[33]. Adapun biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS diperhitungkan dengan persamaan berikut:

$$M = 1\% \times \text{biaya investasi awal} \dots\dots\dots(2.25)$$

2.8.2 Life Cycle Cost (LCC)

Life Cycle Cost (LCC) adalah metode ekonomi untuk menghitung total biaya proyek atau sistem, termasuk biaya instalasi, operasi, pemeliharaan, dan penggantian komponen. LCC mencakup biaya investasi awal, operasi, pemeliharaan, penggantian peralatan, keamanan, asuransi, dan nilai jual kembali. Jadi, biaya siklus hidup merujuk pada semua biaya terkait produk, struktur, sistem, atau jasa selama masa hidupnya[34]. Sehingga untuk Perhitungan LCC dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$LCC = IC + SV + NFOMC + NRC \dots \dots \dots (2.26)$$

Keterangan:

- LCC* : nilai biaya keseluruhan sistem
- IC* : nilai biaya investasi awal sistem
- SV* : biaya pemasangan sistem dan pergantian komponen
- NFOMC* : biaya operasi dan *maintenance* sistem
- NRC* : biaya lain diluar bahan bakar dan pemeliharaan

2.8.3 Cost of Energy (COE)

Perhitungan biaya energi PLTS bergantung pada biaya total sepanjang masa pakai (LCC), faktor pengembalian modal (CRF), dan produksi listrik tahunan PLTS yang telah direncanakan[34]. Biaya energi (*cost of energy*) PLTS diperhitungkan dengan rumus berikut ini:

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \dots \dots \dots (2.27)$$

dengan:

- COE : *Cost of Energy* atau Biaya Energi (Rp/kWh).
- CRF : Faktor pemulihan modal.
- A kWh: Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun)

Faktor pemulihan modal dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots \dots \dots (2.28)$$

Dengan :

- i* : Tingkat diskonto
- n* : Periode dalam tahun

Sedangkan untuk energi yang dibangkitkan pertahun menggunakan persamaan:

$$AkWh = kWh \text{ produksi harian} \times 365 \dots \dots \dots (2.29)$$

2.8.4 Payback Period (PP)

Payback period adalah jumlah waktu yang diperlukan untuk mengembalikan biaya investasi dari sebuah proyek. Cara menghitungnya adalah dengan membagi biaya investasi total proyek dengan pendapatan tahunan yang dihasilkan oleh pembangkit. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *payback period* adalah sebagai berikut :

$$PP = \frac{\text{Biaya Investasi Keseluruhan}}{\text{Pendapatan Tahunan}} \dots\dots\dots(2.30)$$

Payback period dianggap layak jika waktu yang diperlukan untuk mengembalikan biaya investasi lebih pendek daripada masa pakai proyek atau sistem tersebut. Ini menunjukkan bahwa investasi tersebut mampu menghasilkan pengembalian modal awal dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan total durasi proyek atau masa pakai sistem. Dengan demikian, investasi tersebut dianggap menguntungkan dan efisien[34].

2.8.5 Net Present Value (NPV)

Metode *Net Present Value* sering digunakan untuk mengevaluasi proposal proyek jika NPV positif maka dana yang diinvestasikan dapat menghasilkan PV arus kas yang lebih tinggi dibandingkan PV investasi awal. Sebaliknya, jika NPV negatif maka dana yang diinvestasikan mungkin menghasilkan PV arus kas yang lebih rendah dibandingkan PV investasi awal[34]. Berikut adalah rumusan *net present value*:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1+i)^t} - C_0 \dots\dots\dots(2.31)$$

Keterangan:

- I : Tingkat suku bunga acuan (%)
- t : Tahun periode
- R_t : Pendapatan bersih (Netto Benefit)
- C_0 : Biaya investasi awal tahun ke 0

Jika nilai *Net Present Value* (NPV) lebih besar dari nol, maka proyek dianggap layak untuk dilaksanakan. Sebaliknya, jika NPV kurang dari nol, proyek dianggap tidak layak untuk dilaksanakan. Ketika NPV sama dengan nol, ini menunjukkan bahwa proyek berada pada titik impas (*break-even point*), di mana tidak ada perbedaan antara melanjutkan atau menolak proyek tersebut.

2.8.6 Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah tingkat bunga di mana total pengeluaran dan penerimaan seimbang. IRR menghitung tingkat bunga di mana nilai sekarang dari pendapatan sama dengan nilai

sekarang dari investasi yang dilakukan. Jika IRR melebihi tingkat bunga yang diharapkan, maka proyek dapat dianggap layak untuk diterima.

Untuk menghitung *Internal Rate of Return* (IRR), kita mencari tingkat bunga di mana Nilai Sekarang (*Net Present Value*, NPV) proyek menjadi positif dibandingkan dengan tingkat bunga yang membuat NPV menjadi negatif. Suatu proyek investasi dianggap menguntungkan jika IRR-nya melebihi *Minimum Acceptable Rate of Return* (MARR). MARR ditentukan berdasarkan suku bunga bank ditambah premi risiko yang mencerminkan tingkat risiko proyek serta keuntungan yang diharapkan oleh investor. Secara umum, dalam proyek teknik, MARR biasanya berkisar antara 10% hingga 13%. Jika IRR lebih rendah dari MARR, investasi dianggap tidak menguntungkan. Ketika IRR sama dengan MARR, ini menunjukkan bahwa proyek mencapai titik impas atau break-even point, di mana pengembalian investasi minimal atau tidak ada keuntungan yang dihasilkan[35].

$$IRR = i_{1(NPV_1 - NPV_2)}^{+NPV_1} x (i_2 - \bar{i}_1) \dots\dots\dots(2.32)$$

Keterangan:

- I : tingkat suku bunga
- $i1$: tingkat suku bunga yang bisa menghasilkan nilai positif NPV
- $i2$: tingkat suku bunga yang bisa menghasilkan nilai negatif NPV
- $NPV1$: nilai positif *Net Present Value*
- $NPV2$: nilai negatif *Net Present Value*

2.8.7 Profitability Index (PI)

Profitability Index (PI) adalah rasio antara nilai saat ini dari arus kas masuk dengan nilai saat ini dari arus kas keluar. PI juga sering disebut sebagai rasio manfaat-biaya. Untuk menilai penerimaan suatu proyek, keputusan didasarkan pada nilai PI; proyek dianggap dapat diterima jika nilai PI sama dengan atau lebih besar dari 1. Sebaliknya, jika nilai PI kurang dari 1, proyek tersebut dianggap tidak layak atau ditolak[34]. Parameter PI bisa dirumuskan sebagai berikut.

$$PI = \frac{Present\ Value\ Penerimaan}{Present\ Value\ Pengeluaran} \dots\dots\dots(2.33)$$

2.8.8 Benefit Cost Ratio (BCR)

Benefit Cost Ratio (BCR) adalah metode tambahan yang digunakan untuk memvalidasi hasil evaluasi dari metode lainnya dalam tahap awal perencanaan investasi. Tujuannya adalah untuk membandingkan manfaat yang diperoleh dengan biaya atau

kerugian yang mungkin terjadi selama masa investasi[34]. Evaluasi menggunakan BCR penting untuk mengukur efisiensi proyek secara menyeluruh sebelum keputusan akhir diambil.

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}} \dots\dots\dots(2.34)$$

Jika *Benefit Cost Ratio* (BCR) lebih besar dari 1, proyek dianggap ekonomis untuk dilaksanakan; jika kurang dari 1, proyek dianggap tidak ekonomis. Ketika BCR sama dengan 1, ini menunjukkan bahwa arus kas masuk sama dengan arus kas keluar, yang dikenal sebagai *Break Even Point* (BEP) dalam nilai saat ini, di mana total biaya sama dengan total pendapatan.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu Penelitian

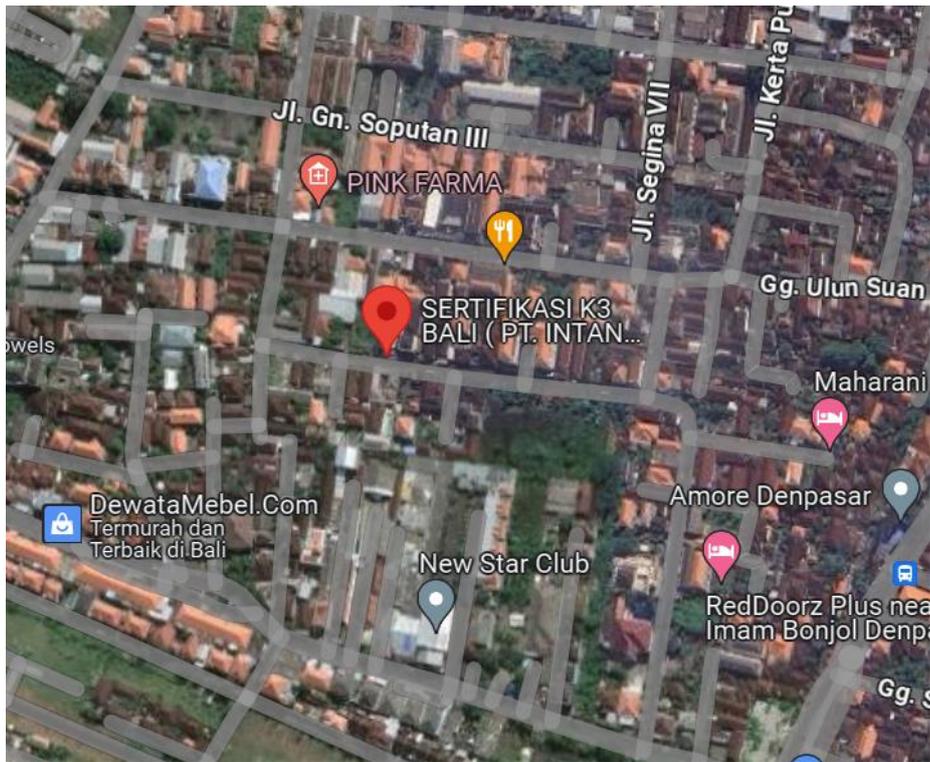
Penelitian ini akan dilaksanakan selama empat bulan, dimulai dari bulan Mei 2024 hingga Agustus 2024.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian dan *Milestone*

NO	KEGIATAN																	MILESTON E
		MEI				JUN				JUL				AGST				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Studi Literatur																	A. Proposal telah selesai dan teruji dan untuk dilanjutkan
2	Penyusunan Proposal																	
3	Ujian Proposal																	
4	Revisi Proposal																	
5	Pengumpulan Data																	B. Skripsi telah siap diujikan
6	Pengolahan Data																	
7	Analisis Data																	
8	Penyusunan Skripsi																	
9	Ujian Skripsi																	C. Skripsi telah selesai dan dapat dikumpulkan
10	Revisi Laporan																	
11	Pengumpulan Skripsi																	

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kantor PT Intan Pratama Teknik yang berlokasi di Jalan Kebak Sari No. 16, Pemecutan Klod, Denpasar, Bali. Koordinat lokasinya adalah -8.686571676034617 lintang barat dan 115.18956273615686 bujur timur. Perusahaan ini adalah perusahaan yang menyediakan layanan K3 dan beroperasi di bidang pemeriksaan dan pengujian teknik yang beralamat di Jalan Kebak Sari No.16, Pemecutan Klod, Denpasar, Bali yang memiliki luas bangunan 10 x 8 m². Berdasarkan data yang dikutip dari globalsolaratlas.info, di daerah perusahaan tersebut mencapai 5,451 kWh/m² per harinya berpotensi untuk pemasangan PLTS *Rooftop*. Selain itu, bangunan perusahaan ini menggunakan atap berbahan genteng metal dan berbentuk limas persegi panjang menghadap ke Selatan dengan ukuran luas atap mencapai 573,75 m² sehingga perusahaan ini berpotensi untuk dilakukan penelitian perencanaan PLTS *Rooftop*. Perusahaan ini memiliki daya Listrik yang terpasang sebesar 3500 VA.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian
Sumber: Google Maps, 2024



Gambar 3. 2 Bangunan Usaha PT Intan Pratama Teknik

Gambar 3.2 merupakan tampak depan dari bangunan usaha yang akan dijadikan objek penelitian.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini memulai pendekatannya dengan melakukan studi literatur sebagai tahap awal. Studi literatur ini bertujuan untuk memahami hasil penelitian sebelumnya yang relevan terkait proyek PLTS Rooftop *On-grid* yang sedang dilaksanakan, sehingga dapat digunakan sebagai referensi atau pedoman dalam penelitian ini.

Kemudian pada tahap selanjutnya dilakukan pengambilan data secara langsung di lapangan. Pengambilan data yang dilakukan meliputi perhitungan beban yang diperlukan dalam hal ini beban yang diperlukan adalah beban harian, konsumsi energi, data radiasi matahari, luasan atap.

Selanjutnya, menggunakan metode Deskriptif Analitik yaitu metode yang menggambarkan data secara sistematis dari perhitungan secara manual. Kemudian, dilakukan Analisa meliputi Analisa teknis yang terdiri dari pemilihan panel surya, menentukan *PV area*, pemilihan inverter, jumlah modul surya, menentukan rangkaian serta analisis ekonomis yang terdiri dari estimasi biaya investasi, perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan, *life cycle cost*, *cost of energy*, kelayakan investasi, *payback period*, *net present value*, *internal rate of return*, *profitability index*, & *gross benefit ratio*. Dari Analisa yang dilakukan diperoleh hasil dan dapat ditarik Kesimpulan pada penelitian ini.

3.4. Jenis Data

Penelitian ini menggunakan data primer yang dikumpulkan secara langsung seperti data dari observasi ke lapangan dengan mengumpulkan data berupa beban yang diperlukan dalam hal ini beban yang diperlukan adalah beban harian, data radiasi matahari, dan luas atap. Selain itu, data yang digunakan berupa data dari hasil wawancara kepada pimpinan PT Intan Pratama Teknik untuk mengambil data yang diperlukan dalam penelitian ini selain data observasi atau data berupa dokumen.

3.5. Pengolahan Data

Langkah – langkah yang dilakukan untuk melakukan pengolahan data pada penelitian ini yaitu menggunakan metode perhitungan yang berkaitan langsung dengan topik penelitian, kemudian penulis mengumpulkan data – data yang diperlukan dalam proses perhitungan yang akan dilakukan dengan cara observasi dan wawancara secara langsung. Adapun data yang diperlukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

a. Data pemakaian beban Listrik

Pemakaian beban Listrik di PT Intan Pratama Teknik yaitu dalam penggunaan peralatan elektronik seperti komputer, AC, lampu, televisi, dll

Tabel 3. 2 Data Beban Pada Bangunan Usaha yang diperlukan

No	Jenis beban	Jumlah	Daya beban (W)	Total daya beban	Jam operasi	Energi beban harian
				(W)	(h/day)	(W/h)
1						
2						
3						
4						
5						
Jumlah						

b. Data Meteorologi

Data ini meliputi radiasi matahari, temperatur udara dan kejernihan atmosfer.

Tabel 3. 3 Data Meteorologi yang diperlukan

Bulan	Clearness Index	Daily Radition (kWh/m ² /day)	Daily Temperature (°C)
January			
February			
March			
April			
May			
June			
July			
August			
September			
October			
November			
December			

c. Luasan atap

Perhitungan atap untuk memastikan kecukupan atap dalam menempatkan semua panel surya.

d. Konsumsi energi

Data konsumsi energi atau pemakaian Listrik yang digunakan.

Setelah semua data yang diperlukan, maka tahap selanjutnya adalah dilakukan analisis teknis yang terdiri dari:

a. Menentukan *PV Area*

PV Area dapat dihitung dengan persamaan(3.1)

$$PV\ Area = \frac{EL}{G_{av} \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{out}} \dots\dots\dots(3.1)$$

b. Sudut kemiringan optimal panel surya dan sudut atap

Untuk mendapatkan nilai ketinggian maksimum matahari (dalam derajat) dapat menggunakan persamaan(3.10)

$$\alpha = 90^\circ - lat + \delta \ (Nhemisphere); \ m \ 90^\circ + lat - \delta \ (Shemisphere) \dots\dots\dots(3.10)$$

Selanjutnya mencari sudut atap dapat dengan menggunakan persamaan(3.11)

$$\beta = 90^\circ - \alpha \dots\dots\dots(3.11)$$

c. Pemilihan *Inverter*

d. Jumlah modul surya

Jumlah modul surya dapat dihitung dengan persamaan(3.6)

$$Jumlah\ Panel = \frac{P_{watt\ peak}}{PMPP} \dots\dots\dots(3.6)$$

e. Menentukan rangkaian panel surya

Untuk mendapatkan tegangan, arus dan daya yang sesuai dengan kebutuhan, maka panel surya harus dalam konfigurasi kombinasi seri dan paralel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.7), (3.8) dan (3.9).

$$Min\ modul\ seri\ per\ string = \frac{V_{min\ inverter}}{V_{oc\ Modul}} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$Max\ modul\ seri\ per\ string = \frac{V_{max\ inverter}}{V_{mp\ Modul}} \dots\dots\dots(3.8)$$

$$Max\ modul\ paralel\ per\ string = \frac{I_{max\ input\ inverter}}{I_{mp\ modul}} \dots\dots\dots(3.9)$$

f. Kualitas *Perfomance Ratio*

Perfomance Ratio dapat dihitung dengan persamaan (3.22), (3.23) dan (3.24)

$$PR = \frac{E_{yield}}{E_{ideal}} \dots\dots\dots(3.22)$$

$$E_{ideal} = P_{array\ STC} \times H_{til} \dots\dots\dots(3.23)$$

$$H_{tilt} = PSH \times 365 \dots\dots\dots(3.24)$$

Selanjutnya adalah menghitung seluruh biaya yang digunakan dalam perencanaan atau biaya investasi pembangkit listrik tenaga surya dengan menggunakan metode *life cycle cost* (LCC), metode ini digunakan untuk mengetahui seluruh biaya yang digunakan untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya, mulai mulai dari biaya

investasi awal, operasi, biaya pemeliharaan, biaya penggantian peralatan dimasa yang akan datang.

Kemudian setelah menghitung biaya keseluruhan PLTS maka selanjutnya adalah menghitung dan menganalisis tarif penjualan listrik dengan menggunakan metode perhitungan *cost of energi* (CoE). Metode perhitungan ini memperhitungkan dan menganalisis tarif penjualan listrik yaitu dengan cara membagi biaya keseluruhan investasi pembangunan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan jumlah produksi energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh sistem PLTS selama satu tahun.

Setelah menghitung dan menentukan harga tarif penjualan listrik pembangkit listrik tenaga surya, langkah selanjutnya adalah menganalisis kelayakan tarif jual listrik dengan lima parameter kelayakan ekonomi yaitu sebagai berikut:

- a. Menentukan perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan, Analisa parameter ini untuk mengetahui biaya pemeliharaan dan operasional PLTS per tahun. Umumnya, digunakan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal. Perhitungan biaya ini dapat digunakan dengan persamaan(3.25)

$$M = 1\% \times \text{biaya investasi awal} \dots \dots \dots (3.25)$$

- b. Analisa *Life Cycle Cost* (LCC) Analisa parameter ini digunakan untuk mengevaluasi da menghitung semua biaya keseluruhan yang terkait dengan proyek atau system. LCC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan(3.26)

$$LCC = IC + SV + NFOMC + NRC \dots \dots \dots (3.26)$$

- c. Analisa *Cost Of Energy* (COE). Menghitung biaya energi oleh faktor pemulihan modal dapat dihitung dengan persamaan(3.28)

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots \dots \dots (3.28)$$

- d. Analisa parameter *Payback Periode* (PP), analisa dengan parameter ini digunakan untuk menghitung dan menganalisa waktu yang diperlukan untuk mengembalikan investasi awal pembangunan PLTS dengan menggunakan tarif penjualan listrik yang telah dihitung sebelumnya menggunakan metode *Cost of Energi* (CoE). *Payback Periode* dapat dihitung dengan persamaan(3.29)

$$PP = \frac{\text{Biaya Investasi Keseluruhan}}{\text{Pendapatan Tahun}} \dots \dots \dots (3.29)$$

- e. Analisa parameter *Net Present Value* (NPV), analisa dengan parameter ini digunakan untuk menggambarkan sebuah pendapatan yang diperoleh dimasa depan yang bunganya telah dibayar diawal atau diskonto. Analisa nya adalah Apabila NPV > 0

artinya investasi yang dilakukan memberikan manfaat bagi perusahaan atau yang menjalankan proyek tersebut, $NPV < 0$ investasi tidak layak dijalankan atau merugikan dan $NPV = 0$ investasi tidak untung dan tidak rugi. Menghitung NPV dapat menggunakan persamaan(3.31)

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1+i)^t} - C_0 \dots\dots\dots(3.31)$$

- f. Analisa parameter *Internal Rate of Return (IRR)*, analisa dengan parameter ini digunakan untuk menganalisa dan mendapatkan tingkat bunga yang menyamakan total nilai sekarang penerimaan arus kas yang diharapkan dengan total nilai sekarang yang diperlukan untuk investasi. Dengan kriteria analisa adalah ditentukan oleh nilai IRR yang didapatkan, jika nilai IRR lebih besar dari nilai suku bunga yang umum berlaku maka proyek diterima dan sebaliknya proyek ditolak apabila nilai IRR lebih kecil dari suku bunga yang berlaku. Untuk dapat menghitung IRR maka dapat menggunakan persamaan(32)

$$IRR = i_{1(NPV_1 - NPV_2)}^{+NPV_1} x (i_2 - \bar{i}_1) \dots\dots\dots(3.32)$$

- g. Analisa parameter *Profitability index (PI)*, analisa dengan parameter ini digunakan perbandingan antara nilai sekarang penerimaan arus kas dengan nilai sekarang pengeluaran arus kas. Sebagai kriteria dalam menentukan penerimaan proyek ditentukan dari nilai PI, proyek dinyatakan diterima apabila nilai PI nya sama atau lebih besar dari 1, sedangkan sebaliknya proyek ditolak apabila nilainya lebih kecil dari 1. *Profitability index* dapat dihitung dengan persamaan(3.33)

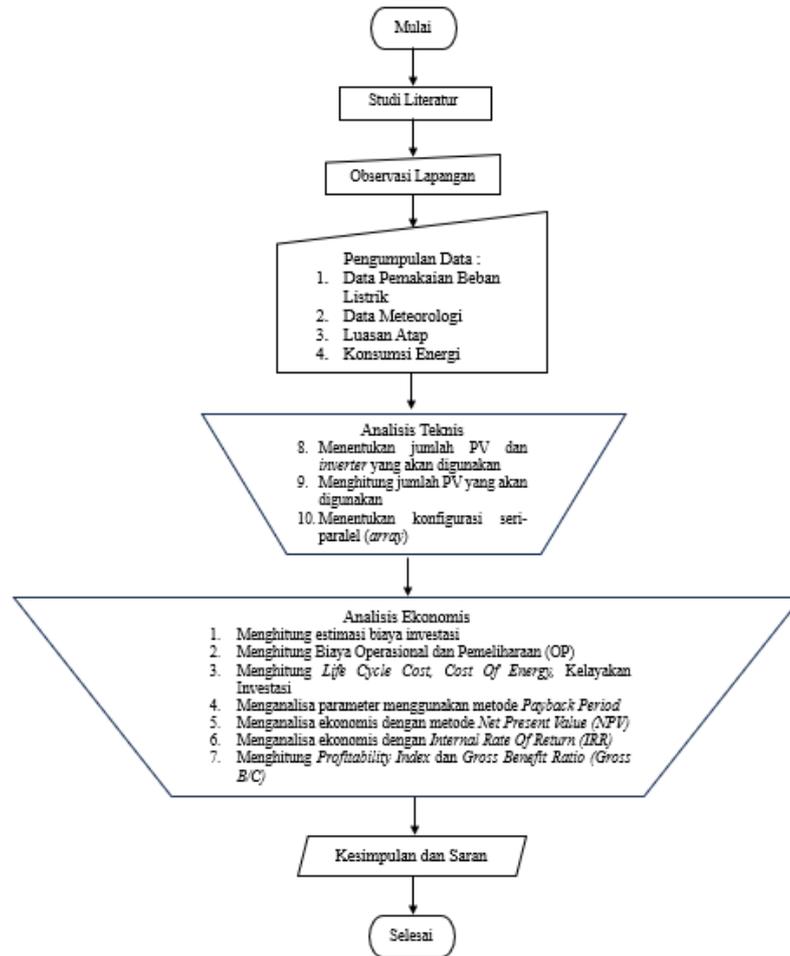
$$PI = \frac{\text{Present Value Penerimaan}}{\text{Present Value Pengeluaran}} \dots\dots\dots(3.33)$$

- h. Analisa parameter *gross benefit rasio (gross B/C)*, analisa dengan parameter ini digunakan nilai perbandingan antara present value (*PV benefit*) dengan *present value* biaya (*PV cost*). Untuk dapat menghitung *gross benefit rasio (gross B/C)* dapat menggunakan persamaan

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=n}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}} \dots\dots\dots(3.34)$$

3.6. Diagram Alir Penelitian

Dalam Penelitian yang dilakukan terdapat diagram alir dari penelitian ini, dapat dilihat Gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kantor PT Intan Pratama Teknik yang berlokasi di Jalan Kebak Sari No. 16, Pemecutan Klod, Denpasar, Bali. Koordinat lokasinya adalah -8.686571676034617 lintang barat dan 115.18956273615686 bujur timur. Perusahaan ini adalah perusahaan yang menyediakan layanan K3 dan beroperasi di bidang pemeriksaan dan pengujian teknik yang beralamat di Jalan Kebak Sari No.16, Pemecutan Klod, Denpasar, Bali yang memiliki luas bangunan 10 x 8 m². Berdasarkan data yang dikutip dari globalsolaratlas.info, di daerah perusahaan tersebut mencapai 5,451 kWh/m² per harinya berpotensi untuk pemasangan PLTS *Rooftop*. Selain itu, bangunan perusahaan ini menggunakan atap berbahan genteng metal dan berbentuk limas persegi panjang menghadap ke Selatan dengan ukuran luas atap mencapai 573,75 m² sehingga perusahaan ini berpotensi untuk dilakukan penelitian perencanaan PLTS *Rooftop*. Perusahaan ini memiliki daya Listrik yang terpasang sebesar 3500 VA.

4.2 Data Hasil Penelitian

4.2.1 Data beban

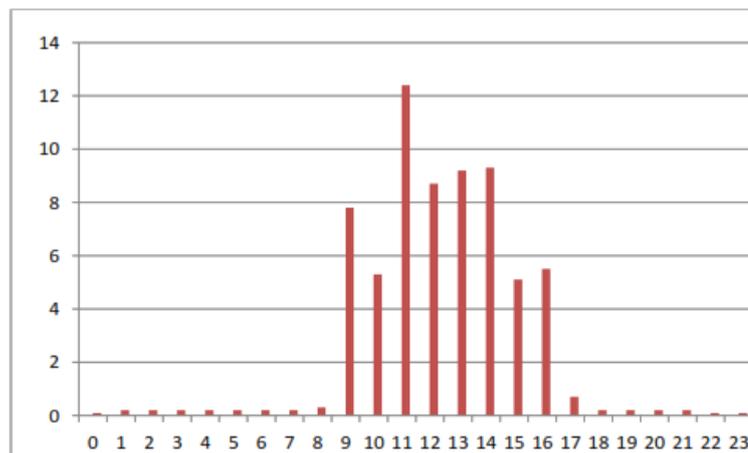
Kantor PT Intan Pratama Teknik berlangganan listrik ke Perusahaan Listrik Negara terpasang sebesar 3.500 VA. Beban total harian merupakan jumlah energi yang dibutuhkan untuk operasional di Kantor PT Intan Pratama Teknik setiap hari. Untuk data penggunaan beban yang lebih jelas dapat dilihat Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Pemakaian Beban Listrik Harian di Kantor PT Intan Pratama Teknik

No.	Jenis Beban	Jumlah	Daya Beban	Total Daya Beban	Jam Operasi	Energi Beban Harian
				(W)	(h/day)	(Wh)
Lantai 1						
1	Lampu bohlam depan	1	10	10	14	140
2	Lampu bohlam dalam	2	10	20	3	60
3	Lampu bohlam	1	5	5	1	5
4	Kipas angin	2	100	200	6	1200
5	AC (2 PK)	1	1000	1000	2	2000
6	Air compressor (0.5 HP)	1	372	372	3	1116
7	Exhaust fan	1	520	520	3	1560
Lantai 2						
1	AC (1 PK)	1	735	735	8	5880
2	Lampu TL LED	4	18	72	3	216

3	Lampu bohlam	1	10	10	14	140
4	Komputer	5	171	855	8	6840
5	Printer	3	14	42	3	126
6	Scanner	1	8	8	2	16
7	Modem Wifi	1	5	5	24	120
8	TP LINK My cloud	1	5	5	24	120
9	CCTV	4	64	526	24	6144
10	Televisi 32 Inch	1	50	50	8	400
Total kebutuhan dalam 1 hari				4438		26083

Dari Tabel 4.1 di atas dapat dijelaskan bahwa untuk pemakaian beban listrik harian di Kantor PT Intan Pratama Teknik terdiri dari beberapa peralatan seperti lampu, kipas angin, AC, Televisi dan peralatan elektronik lainnya. Dalam tabel didapat total beban dalam 1 hari sebesar 26,083 kWh.

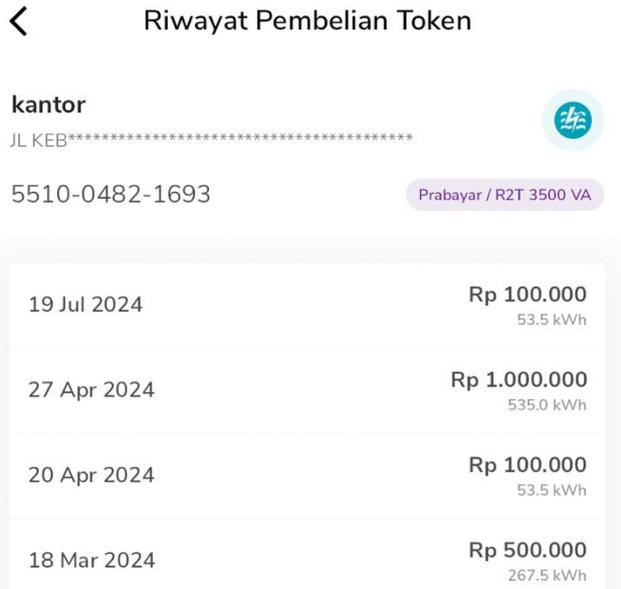


Grafik 4.1 Daily Profile

Berdasarkan Grafik 4.1 dapat dijelaskan bahwa beban listrik di kantor PT Intan Pratama Teknik memiliki beban puncak pada siang hari yaitu pada pukul 11.00 WITA yaitu sebesar 2653,6 W atau 2,654 kW.

4.2.2 Konsumsi Energi

Data konsumsi energi atau pemakaian listrik di kantor PT Intan Pratama Teknik menggunakan data dari aplikasi PLN *Mobile*. Tercatat konsumsi energi yang digunakan selama 4 bulan pada bulan Maret 2024 hingga bulan Juli 2024 dengan daya listrik yang tersambung sebesar 3500 VA. Data konsumsi energi atau pemakaian dapat dilihat di Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Penggunaan Energi Listrik di Kantor PT Intan Pratama Teknik

Dapat dilihat Gambar 4.1 dalam kurun waktu selama 4 bulan dari bulan Maret 2024 hingga bulan Juli 2024 rata-rata total konsumsi energinya yaitu sebesar 227,375 kWh.

4.2.3 Data Radiasi Matahari & Temperatur

Untuk menghasilkan data yang akurat dan sesuai dengan sistem yang dibutuhkan, maka diperlukan adanya data rata-rata radiasi matahari di tempat yang akan diteliti. Dalam penelitian ini kondisi matahari di daerah Pemecutan Kelod – Denpasar terbilang cukup baik. Data tersebut didapatkan dengan menggunakan NASA *Prediction of Worldwide Energy Resource* (POWER) yang dapat dilihat di Tabel 4.2 di bawah ini

Tabel 4. 2 Data Meteorologi

Month	Global Horizontal Irradiation kWh/m ² /day	Temperature °C	Clearness Index
January	5,63	27,8	0,518
February	5,68	27,9	0,524
March	5,90	28,0	0,563
April	6,05	27,7	0,625
May	5,23	27,7	0,596
June	4,89	26,6	0,592
July	5,06	26,4	0,600
August	5,61	26,2	0,611
September	6,17	26,3	0,612
October	6,98	27,6	0,656
November	6,74	27,7	0,622
December	6,48	28,0	0,598

Setelah dihitung dalam 1 tahun, dari Tabel 4.2 diatas diketahui bahwa rata – rata potensi radiasi matahari bernilai dengan potensi radiasi matahari tertinggi terjadi pada bulan Oktober yaitu 6,98 kWh/m²/day dan radiasi matahari terendah terjadi pada bulan Juni yaitu 4,89 kWh/m²/day. Lalu untuk potensi rata – rata temperatur bernilai 27,33 °C dengan nilai tertinggi terjadi pada bulan Maret dan Desember yaitu sebesar 28,0 °C dan temperatur terendah terjadi pada bulan Agustus yaitu sebesar 26,2 °C. Dengan nilai radiasi matahari diatas didapatkan *Peak Sun Hour* (PSH) sebesar 5,87 kWh/m².

4.2.4 Kuota pemasangan panel surya *on-grid* di Lokasi penelitian

Sesuai dengan peraturan pemerintah dalam hal ini Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menerbitkan Keputusan Dirjen Ketenagalistrikan nomor 279.k/TL.03/DJL.2/2024 tentang Kuota Pengembangan Sistem PLTS Atap PLN Tahun 2024-2028, untuk daerah Jawa Madura Bali di tahun 2024 adalah sebesar 825.0 MW.

4.2.5 Data Atap

Penelitian kali ini menggunakan atap sebagai tempat PLTS dikarenakan untuk memaksimalkan daya keluaran panel surya. Perhitungan atap diperlukan untuk memastikan kecukupan atap dalam menempatkan semua panel surya, yang nantinya akan dipasang di atap kantor PT Intan Pratama Teknik.



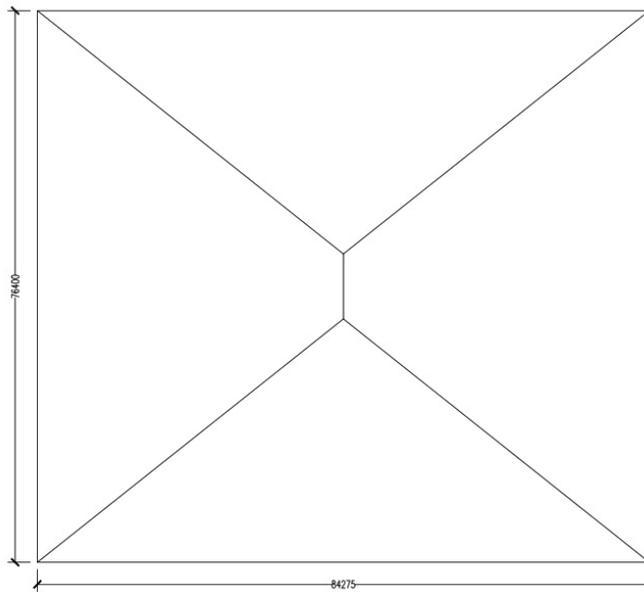
Gambar 4. 2 Kemiringan Atap Kantor PT Intan Pratama Teknik

Lebar atap di Kantor PT Intan Pratama Teknik sebesar 7,64 m dan untuk tinggi atap sebesar 4,50 meter. Dengan melihat gambar maka dapat ditentukan Panjang kemiringan sebagai berikut:

$$\text{lebar atap } 4m = \sqrt{\frac{1}{2} \text{ lebar atap}^2 + \text{tinggi}^2}$$

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{\frac{1}{2} 7,64^2 + 4,5^2} \\
&= \sqrt{\frac{1}{2} 58,36 + 20,25} \\
&= \sqrt{78,61} = 8,86 \text{ m}
\end{aligned}$$

Hasil antar sisi kemiringan di atap sebesar 8,86 m dan apabila digabungkan kedua sisi miring menjadi 17,72 m. Perhitungan ini akan menjadi lebar dari atap jika dilihat dari atas dan juga menentukan banyaknya panel surya yang akan dipasang. Berikutnya dapat menghitung luasan atap.

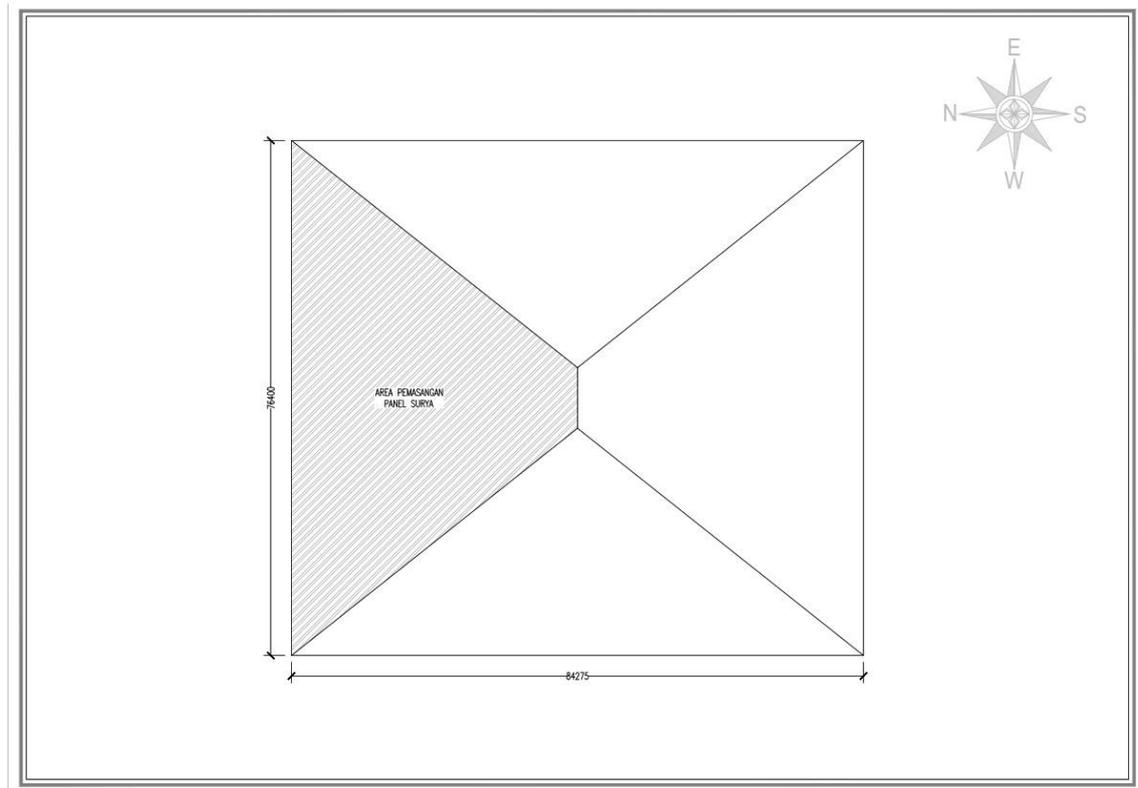


Gambar 4. 3 Denah Atap di Kantor PT Intan Pratama Teknik

Dengan diketahuinya panjang atap maka dapat diketahui luas atap di Kantor PT Intan Pratama Teknik menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Luas Atap} &= \frac{1}{2} (b_1 + b_2) \times t \\
&= \frac{1}{2} (8,86 + 8,86) \times 8,4 \\
&= \frac{1}{2} (17,72) \times 8,4 \\
&= 74,42 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

Atap memiliki 2 sisi sehingga berdasarkan hitungan di atas untuk mendapatkan luas keseluruhan dikalikan 2. Untuk luas atap di kantor PT Intan Pratama Teknik sebesar 74,42 m². Karena atap di kantor PT Intan Pratama Teknik berbentuk prisma, maka atap menghasilkan beberapa area yang sempit atau sulit diakses, yang tidak cocok untuk pemasangan panel surya. Panel surya memerlukan ruang yang cukup untuk pemasangan yang aman dan efisien. Gambar 4.4 menunjukkan luas area yang bisa digunakan untuk memasang panel surya.



Gambar 4. 4 Luas Area yang Bisa Digunakan untuk Memasang Panel Surya

$$\text{Luas Area} = 2 \times (p \times l)$$

$$\text{Luas Area} = 2 \times (4,6 \times 3,8)$$

$$\text{Luas Area} = 34,96 \text{ m}^2$$

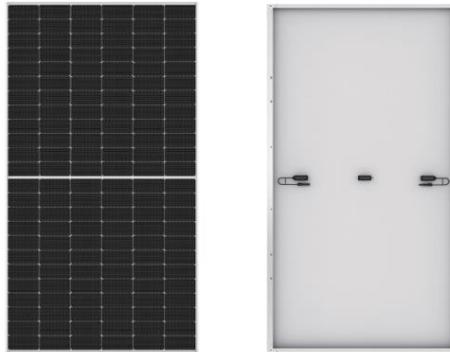
Jadi, luas area atap yang bisa digunakan untuk memasang panel surya adalah sebesar 34,96 m².

4.3 Pembahasan

4.3.1 Pemilihan Panel Surya

Jenis panel surya yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah produk dari perusahaan China, LONGi *Green Energy Technology Co., Ltd.* (LONGi), yaitu LR4-

72HPH 535M, 535Wp. Panel surya ini menggunakan *cell type monocrystalline*. Tipe *monocrystalline* memiliki keunggulan dapat menyerap energi dengan baik terhadap berbagai kondisi tingkat intensitas matahari, sehingga nilai efisiensinya cukup baik. Pemilihan ini dilandasi dari kualitas barang yang memiliki efisiensi tinggi yaitu sebesar 20,9% dan penurunan performa tiap tahunnya sangat kecil yaitu sebesar 0.55% setiap tahun. Selain itu, panel surya ini juga mudah didapat dipasaran. Di bawah ini Gambar 4.5 menampilkan panel surya Longi Solar LR4-72HPH 535M.



Gambar 4. 5 Longi Solar LR4-72HPH 535M

Tabel 4. 3 Spesifikasi Longi Solar LR4-72HPH 535M

Spesifikasi	Keterangan
Model No.	LR4-72HPH 535M
Product Warranty	25 years
Pmax	535 Wp
Vmpp	41,5 V
Impp	12,9 A
Voc	49,35 V
Isc	13,78 A
Efficiency	20,90%
Panel Dimension	2256x1133x35mm
Weight	27,2 kg
Junction Box Protection Class	IP68

4.3.2 Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi dan *Output* Panel Surya

Dalam menentukan kapasitas PLTS, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi *output* panel dan efisiensi panel surya. Semua faktor ini harus dipertimbangkan ketika menghitung tenaga surya. Berikut jenis-jenis *losses* yang mempengaruhi daya *output* PLTS:

1. Faktor Toleransi Keluaran Produsen

Sebagian besar panel surya memiliki toleransi keluaran +/- 3%, yang berarti bahwa panel pabrikan akan berkinerja dalam 3% dari nilai Watt-nya.

2. *Losses* Faktor Efek Kotoran Panel Surya

Kotoran dan debu juga mempengaruhi efisiensi panel surya. *Losses* yang dihasilkan akibat kotoran dan debu ini bervariasi tiap panel surya. Besar *losses* karena kotoran dan debu sebesar 5%.

3. *Losses* Faktor Peningkatan Suhu

Daya *output* Panel surya dipengaruhi oleh suhu. Semakin tinggi temperatur panel, semakin tidak efisien. *Losses* mengakibatkan peningkatan suhu sebesar 12%.

4. *Losses* Inverter

Inverter mengubah Arus Searah (DC) menjadi Arus Alternatif (AC), sehingga energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat digunakan untuk memberi daya listrik. Proses *inverter* ini tidak 100% efisien. *Inverter* memiliki *losses* hingga 5-8%

5. *Losses* Kabel DC

Kabel DC dan sambungan konektor akan mempengaruhi penurunan tegangan antara sistem panel surya dan *inverter*. *Losses* kabel DC ini berkisar 1-2%.

6. *Losses* Kabel AC

Kabel AC dan koneksi antara *inverter* dan *panel box*, dapat mengalami penurunan tegangan yang menyebabkan kerugian dalam efisiensi sistem. *Losses* kabel DC ini berkisar 2%.

7. *Losses* Shading

Shading akan mempengaruhi output daya dari panel surya. Beberapa jenis panel surya sangat terpengaruh oleh shading dibandingkan yang lain. *Losses* akibat shading ini antara 3-4%.

8. *Losses* Kemiringan Panel Surya

Arah yang dihadapi panel surya, dan sudut pemasangannya, juga mempengaruhi *output* panel. Jika tidak diposisikan terhadap sudut dan arah optimal, maka panel tidak akan menghasilkan output terukur untuk lokasi itu. Arah panel surya yang paling optimal yaitu mengarah ke garis khatulistiwa. Sudut optimal panel surya berkisar 10° -20° tergantung dari lokasi pemasangan

panel surya. *Losses* akibat kemiringan panel surya ini rata-rata sebesar 0,4% setiap kenaikan 1° dari sudut optimalnya.

4.3.3 Losses Faktor Peningkatan Suhu yang Dihasilkan

Setiap kenaikan temperatur sebesar 1°C (dari temperatur standarnya) panel surya, maka hal tersebut akan mengakibatkan daya yang dihasilkan oleh panel surya akan berkurang sekitar 0,5%. Berdasarkan data Tabel 4.2 temperatur yang diperoleh 27,33 °C menunjukkan bahwa ada kenaikan suhu sebesar 2,33 °C dari suhu standar yang telah ditetapkan sebesar 25°C. Maka besardaya yang dapat berkurang saat temperatur di sekitar modul surya mengalami kenaikan 2,33 °C dari temperatur standarnya maka dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Losses Suhu} = 0,5\% \times \text{kenaikan suhu (}^\circ\text{C)} \times \text{Jumlah Panel Surya}$$

$$\text{Losses Suhu} = 0,5\% \times 2,33^\circ\text{C} \times 11$$

$$\text{Losses Suhu} = 12,81\%$$

Maka *losses* akibat kenaikan suhu sebesar 12,81%.

4.3.4 Sudut Kemiringan Optimal Panel Surya dan Sudut Atap

1. Sudut Optimal

Efisiensi maksimum dari panel surya akan meningkatkan jika sudutnya di saat terjadi sinar matahari selalu berada di 90°. Untuk mengetahui nilai ketinggian maksimum matahari (dalam derajat) ketika matahari mencapai langit (α), maka dari itu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (10)

Lat adalah garis lintang (*latitude*) lokasi instalasi modul surya yang terpasang (dalam satuan derajat), dan δ adalah sudut dari deklinasi matahari (23,45). Diketahui dalam penelitian ini garis Lat (*latitude*) adalah 8°.

$$a = 90^\circ + \text{lat} - \delta$$

$$a = 90^\circ + 8^\circ - 23,45^\circ$$

$$a = 74,55^\circ$$

Setelah mengetahui nilai dari α , maka sudut kemiringan modul surya (β) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (11) berikut:

$$\beta = 90^\circ - a$$

$$\beta = 90^\circ - 74,55^\circ$$

$$\beta = 15,45^\circ$$

Berdasarkan perhitungan orientasi kemiringan modul surya yang telah dilakukan, maka diperoleh sudut kemiringan optimal yang didapatkan yaitu sebesar $15,45^\circ$ menghadap ke utara karena lokasi terletak di selatan khatulistiwa.

2. Sudut Kemiringan Atap Kantor PT Intan Pratama Teknik dan *Losses* yang dihasilkan

Dalam perencanaan PLTS di kantor PT Intan Pratama Teknik ini Panel Surya akan dipasang di Atap bangunan. Dimana sudut PLTS yang terpasang mengikuti kemiringan atap yang akan dipasang. Diketahui atap yang akan di pasang panel surya menghadap ke arah barat dan timur dari hasil pengukuran kemiringan atap di kantor PT Intan Pratama Teknik sebesar 34° . Diketahui besar sudut optimal panel surya di kantor PT Intan Pratama Teknik sebesar $15,45^\circ$, yang memiliki selisih sebesar $18,55^\circ$ maka besar *losses* kemiringan dapat dihitung:

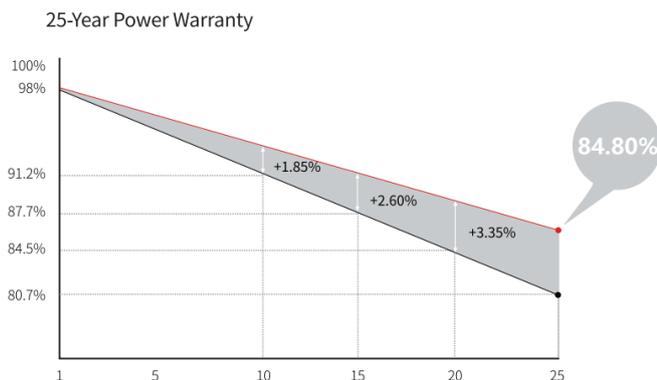
$$\text{Losses Kemiringan} = 0,4\% \times \text{selisih dari sudut optimal}$$

$$\text{Losses Kemiringan} = 0,4\% \times 18,55^\circ$$

$$\text{Losses Kemiringan} = 7,42\%$$

4.3.5 Nilai Degradasi dan Penurunan Performa PLTS Per-Tahun

Nilai Degradasi dan Penurunan Performa Panel Surya Per Tahun dengan rata-rata *output* panel surya turun 0,3-0,8 persen setiap tahun. Berikut grafik penurunan performa panel surya merk Longi selama 25 Tahun.



Grafik 4. 2 Penurunan Performa Panel Surya Per-Tahun

Berdasarkan Grafik 4.2 dapat diketahui bahwasannya penurunan degradasi setiap tahun turun sebesar 0,55% dengan garansi kinerja panel surya bertahan selama 25 tahun.

$$\text{Nilai degradasi 25 tahun} = 0,55\% \times 25 \text{ tahun}$$

Nilai degradasi 25 tahun = 13,75%

Sehingga nilai degradasi dan penurunan performa panel surya sebesar 13,75% dengan jangka waktu 25 tahun.

4.3.6 Penentuan Kapasitas PLTS yang akan Dipasang

Untuk memasang sebuah PLTS tentunya harus terlebih dahulu menentukan kapasitas PLTS yang akan digunakan dan mengetahui total *losses* yang akan mempengaruhi kinerja PLTS. Hal ini dibutuhkan agar PLTS yang dipasang sanggup atau memiliki daya yang cukup untuk mensuplai beban yang akan dipasang selama umur yang ditargetkan. Setelah mengetahui besar *losses* tiap faktor yang mempengaruhi daya output PLTS dan nilai degradasi PLTS selama 25 tahun, maka total *losses* yang mempengaruhi dalam penentuan kapasitas PLTS yaitu:

Tabel 4. 4 Total Losses yang Mempengaruhi Daya Output PLTS

No	Jenis Losses	Nilai (%)
1	Toleransi keluaran produsen	3%
2	Losses Efef kotoran pada panel surya	5%
3	Losses Peningkatan Suhu	11,65%
4	Losses Inverter	5%
5	Losses kabel DC	1%
6	Losses kabel AC	2%
7	Losses Shading	4%
8	Losses Kemiringan Atap	7,42%
9	Degradasi PLTS selama 25 tahun	13,75%
	Total Losses	52,82%

Berdasarkan Tabel 4.4 total *losses* panel surya sebesar 52,82% dan daya puncak sebesar 2654 W, maka kapasitas PLTS yang dibutuhkan selama 25 tahun:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas PLTS} &= \frac{\text{Daya Beban Puncak}}{\text{Prosentase Sisa } Wp} \\ \text{Kapasitas PLTS} &= \frac{2654 \text{ W}}{47,18\%} \\ \text{Kapasitas PLTS} &= 5624 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Kapasitas PLTS yang dapat dipasang sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM No. 2 Tahun 2024 maksimum 100% x daya terpasang dengan catatan terdapat kuota sesuai dengan kebutuhan. Sehingga untuk sistem ini PLTS yang dapat dipasang adalah maksimum 3500 Wp.

Sehingga jika telah berumur 25 tahun sisa kapasitas PLTS dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Kap.PLTS_{25th} &= Kap.PLTS_{Baru} - (Kap.PLTS_{Baru} \times Losses_{25th}) \\ Kap.PLTS_{25th} &= 3.500 \text{ Wp} - (3.500 \text{ Wp} \times 52,82\%) \\ Kap.PLTS_{25th} &= 3.500 \text{ Wp} - 1.849 \text{ Wp} \\ Kap.PLTS_{25th} &= 1.651 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Jadi, berdasarkan hasil ukur daya beban puncak ditambah total *losses* PLTS 25 tahun, didapatkan kapasitas PLTS minimal sebesar 1651 Wp. Quota pemasangan PLTS atas berpedoman kepada permen ESDM nomor 2 Tahun 2024 adalah 825.0 MW, sedangkan berdasarkan daya terpasang yang dimiliki konsumen adalah 3500 Watt. Maka di lokasi penelitian dapat dipasang PLTS maksimum 3500 Wp.

4.3.7 Pemilihan Inverter

Penggunaan *inverter* sangat diperlukan dalam perencanaan PLTS, hal ini dikarenakan *inverter* dapat merubah arus listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC). Pemilihan kapasitas *inverter* nantinya akan digunakan adalah mendekati dari kapasitas *output* dari modul surya atau lebih besar. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan, maka *inverter* yang digunakan yaitu merk Growatt New Energy MIN 4600TL-X.



Gambar 4. 6 Growatt New Energy, MIN 2500TL-X

Tabel 4. 5 Spesifikasi Inverter Growatt New Energy, MIN 2500TL-X

Spesifikasi	Keterangan
Recommended max <i>input</i> power (Ppv)	3.500 W
Maximum DC Current (Imax)	13,5 A
Nominal AC output power (PN)	2.500 W
Nominal AC current (Ln)	11,3 A
Nominal output voltage (VN(AC))	230 V
Maximum DC voltage (Vmax)	500 V
Efficiency	98,20%

4.3.8 Jumlah Modul Surya

Panel surya yang akan digunakan dalam perencanaan sistem ini memiliki kapasitas P_{MPP} sebesar 535 Wp per modul. Berdasarkan nilai tersebut, maka jumlah modul panel surya yang dibutuhkan sistem ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Jumlah panel surya} = \frac{3500}{535} = 6.5 = 7 \text{ panel}$$

Jumlah modul panel surya yang dibutuhkan dalam perencanaan ini yaitu maksimum 7 buah panel surya 535 Wp atau total minimal 3.745Wp, sehingga di umur 25 tahun sistem PLTS ini masih mampu melayani beban maksimal 1.651Watt.

Berdasarkan perhitungan di atas maka dapat dihitung keperluan luas atap yang dibutuhkan dalam pemasangan modul surya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Total luas modul surya} = \text{Luas 1 unit modul surya} \times \text{Jumlah Modul Surya}$$

$$\text{Total luas modul surya} = (2256 \times 1133) \times 7$$

$$\text{Total luas modul surya} = 17.8 \text{ m}^2$$

Jadi, total luas area atap yang dibutuhkan untuk memasang panel surya dengan kapasitas 3.500 Wp membutuhkan luas atap 17.8 m², sedangkan luas atap melebihi kebutuhan yaitu 19.13 m².

4.3.9 Menentukan Rangkaian Panel Surya

Penentuan rangkaian dilakukan untuk mengetahui banyak daya yang dikeluarkan panel surya secara keseluruhan, untuk memperbesar arus maka panel surya dirangkai secara paralel, dan jika ingin memperbesar tegangan maka panel surya dirangkai secara seri, adapun perhitungannya menggunakan persamaan (7), (8), dan (9) sebagai berikut:

Diketahui:

$$\text{Open Circuit Voltage (Voc)} : 49,35 \text{ V}$$

$$\text{Maximum Power Voltage (Vmp)} : 41,5 \text{ V}$$

$$\text{Maximum Power Current (Imp)} : 12,9 \text{ A}$$

$$\text{Maximum System Voltage} : 500 \text{ V}$$

$$\text{Minimum System Voltage} : 80 \text{ V}$$

1. Secara seri minimal

$$\text{Min modul seri per string} = \frac{80V}{49,35V} = 1,6 \approx 2 \text{ panel}$$

2. Secara seri maksimal

$$\text{Max modul seri per string} = \frac{500V}{41,5V} = 12,04 \approx 12 \text{ panel}$$

3. Secara paralel

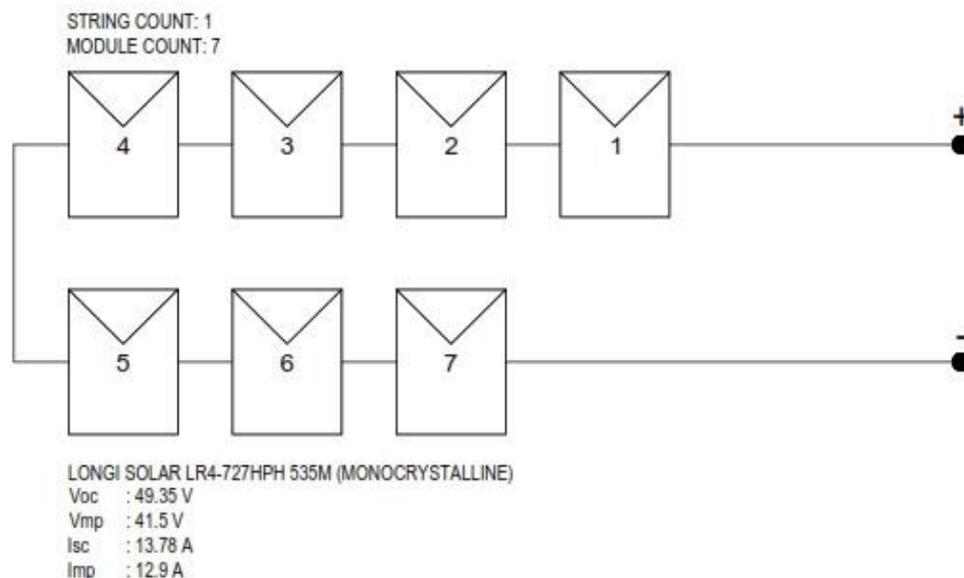
$$Max\ paralel = \frac{13,5A}{12,9A} = 1,04 \approx 1\ panel$$

Dengan demikian tegangan dan arus maksimum yang mampu dikeluarkan dari *array* tersebut adalah:

$$7 \times V_{max} = 7 \times 41,5V = 290,5\ V < 500\ Volt$$

$$1 \times I_{max} = 1 \times 12,9A = 12,9A$$

Berdasarkan hasil perhitungan konfigurasi seri-paralel modul panel surya dapat diketahui bahwa, dengan menggunakan panel surya tipe *LONGI 535 Wp Monocrystalline* dan *inverter* tipe Growatt New Energy MIN 2500TL-X, maka *inverter* dapat menampung modul surya yang dirangkai secara seri sebanyak 12 unit modul surya di setiap *port-string*, dan untuk rangkaian paralel yang akan terhubung ke *inverter* maksimal berjumlah 1 rangkaian di-setiap *port-string*. Maka dengan demikian, dalam perancangan ini menggunakan sistem rangkaian 1 *string* secara seri yang terdiri dari 7 unit panel 535 Wp. Untuk perhitungan total tegangan (V_{mp}) dan arus (I_{mp}) dapat dilihat total tegangan dari modul surya untuk *string* yang akan masuk ke *inverter* yaitu 500 V dengan dengan nilai arus sebesar 12,9A, tegangan tersebut lebih mendekati tegangan nominal *inverter* sebesar 290,5 Volt. Adapun gambar rangkaian 1 *string* modul surya yang akan digunakan dalam perancangan ini ditunjukkan Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Konfigurasi Seri-Paralel Modul Panel Surya

4.3.10 Kapasitas Maksimum Sistem PLTS PT Intan Pratama Teknik

Memperhatikan grafik 2.1 dan tegangan maksimum yang dapat dihasilkan oleh 7 panel surya yang terhubung seri maksimum 290,5 V, efisiensi maksimum inverter adalah 92%. Daya maksimum yang bisa dihasilkan inverter dalam sistem ini adalah:

$$P_{out} = P_{inverter} \times \eta$$

$$P_{out} = 3500 \times 92\%$$

$$P_{out} = 3.220$$

Sehingga jika telah berumur 25 tahun sisa kapasitas PLTS dapat dihitung sebagai berikut:

$$Kap.PLTS_{25th} = Kap.PLTS_{Baru} - (Kap.PLTS_{Baru} \times Losses_{25th})$$

$$Kap.PLTS_{25th} = 3.220 \text{ Wp} - (3.220 \text{ Wp} \times 52,82\%)$$

$$Kap.PLTS_{25th} = 3.220 \text{ Wp} - 1.700 \text{ Wp}$$

$$Kap.PLTS_{25th} = 1.519 \text{ Wp}$$

4.3.11 Sistem Proteksi

Sistem proteksi atau pengaman sangat diperlukan dalam rangkaian instalasi apapun, hal ini bertujuan untuk mengamankan komponen atau peralatan listrik dari kerusakan yang disebabkan dari lonjakan tegangan dan gangguan arus lebih.

1. Pemilihan *Rating* Pengaman *String*

Saat pemilihan *rating* pengaman hal yang harus diperhatikan adalah nilai arus harus 1,25 kali lebih tinggi dari arus total *string* modul photovoltaic yang terhubung. Dalam perencanaan ini menggunakan 1 *string*, dan diketahui nilai I_{sc} modul surya yaitu sebesar 13,92 A maka dapat ditentukan *rating* pengamannya dengan persamaan berikut:

$$Pengaman \text{ String} = I_{sc} \times 1,25$$

$$Pengaman \text{ String} = 13,92 \text{ A} \times 1,25$$

$$Pengaman \text{ String} = 17,4 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan *rating* pengaman yang telah dilakukan didapat nilai *rating* pengaman *string* adalah sebesar 17,4 A dan *rating* pengaman yang akan digunakan sebesar 20A MCB DC (tersedia di pasaran).

2. Pemilihan *Rating* Pengaman *Inverter*

Pemilihan *rating* pengaman untuk *inverter* akan menggunakan pengaman proteksi arus AC, dikarenakan agar dapat memutuskan gangguan arus lebih

keluaran dari *inverter* menuju ke panel distribusi. Nilai arus keluaran dari *inverter* diperoleh dari data yang tertera di spesifikasi *inverter* (*output current*) yaitu sebesar 11,3A. Berdasarkan teori yang ada bahwa untuk rating pengaman arus harus 1,25 kali lebih tinggi dari arus keluaran yang mengalir, maka dapat ditentukan rating pengamannya yaitu:

$$\text{Pengaman Inverter} = \text{Imaks Inverter} \times 1,25$$

$$\text{Pengaman Inverter} = 11,3A \times 1,25$$

$$\text{Pengaman Inverter} = 16,63A$$

Berdasarkan perhitungan rating pengaman yang telah dilakukan, diperoleh nilai arusnya sebesar 16,63A dan untuk rating pengaman *inverter* yang digunakan yaitu MCB AC 20A (tersedia di pasaran).

3. Pemilihan pengaman surja petir

Pemilihan pengaman pada surja petir akan menggunakan Surge Protection Device dengan karakteristik tegangan sistem DC hingga mencapai 1500 Volt, untuk pada penilitan ini tipe Surge Protection Device yang digunakan adalah SPD tipe 2 yang berfungsi untuk mengurangi tegangan lebih yang berasal dari berbagai sumber.

4.3.12 Pemilihan konstruksi sistim pentanahan

Pada bab ini, dibahas mengenai pemilihan konstruksi sistem pentanahan yang optimal untuk perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid. Sistem pentanahan merupakan komponen penting dalam setiap instalasi listrik, termasuk PLTS, karena berfungsi untuk melindungi sistem dan pengguna dari risiko yang terkait dengan arus bocor, lonjakan tegangan, dan gangguan lainnya. Pemilihan sistem pentanahan yang tepat dapat meningkatkan keamanan, efisiensi, dan keandalan dari sistem PLTS secara keseluruhan.

Ada beberapa jenis sistem pentanahan yang dapat dipertimbangkan dalam perencanaan PLTS On Grid, antara lain sistem pentanahan langsung, tidak langsung, *isolated grounding*, dan *protected grounding*. Sistem pentanahan langsung menghubungkan titik netral dari sumber tenaga listrik langsung ke tanah, yang memungkinkan arus bocor mengalir ke tanah dengan cepat, sehingga risiko bahaya listrik dapat diminimalkan. Di sisi lain, sistem pentanahan tidak langsung menggunakan impedansi atau resistansi antara titik netral dan tanah untuk mengurangi arus bocor, meskipun ini memerlukan perlindungan tambahan.

Isolated grounding menjaga agar titik netral tidak langsung terhubung ke tanah, melainkan hanya melalui komponen tertentu seperti kapasitor, yang dapat meningkatkan keamanan dalam kondisi tertentu. Sementara itu, protected grounding menambahkan perangkat proteksi antara titik netral dan tanah, memberikan lapisan keamanan tambahan terhadap gangguan listrik.

Pemilihan sistem pentanahan yang tepat untuk PLTS On Grid harus didasarkan pada beberapa kriteria utama, yaitu keamanan operasional, efisiensi dan stabilitas sistem, serta biaya dan ketersediaan material. Keamanan operasional menjadi prioritas utama karena sistem pentanahan harus mampu melindungi instalasi dari potensi bahaya seperti lonjakan tegangan dan hubungan singkat. Selain itu, sistem pentanahan harus dirancang sedemikian rupa agar efisiensi dan stabilitas PLTS dapat terjaga, dengan meminimalkan gangguan yang mungkin terjadi. Biaya dan ketersediaan material juga perlu diperhatikan, karena akan mempengaruhi keputusan dalam memilih jenis sistem pentanahan yang paling ekonomis dan praktis untuk diterapkan.

Dalam merancang sistem pentanahan, salah satu faktor yang penting adalah resistansi pentanahan, yang idealnya berada di bawah 5 ohm untuk memastikan keamanan. Untuk PLTS On Grid, biasanya digunakan batang pentanahan (ground rod), mesh grounding, atau plate grounding. Resistansi pentanahan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$R_g = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{8L}{d}\right)$$

$$R_g = \frac{100}{2\pi \times 2} \ln\left(\frac{8 \times 2}{0,02}\right)$$

$$R_g = \frac{100}{2 \times 3,1416 \times 2} \times 6,6846$$

$$R_g = \frac{100}{12,5664} \times 6,6846$$

$$R_g \approx 7,958 \times 6,6846 \quad R_g \approx 53,14 \text{ ohm}$$

Persyaratan grounding sistem maksimum 5 Ohm, kebutuhan grounding dapat dihitung sebagaimana perhitungan dibawah ini.

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{53,14} + \frac{1}{53,14} +$$

$$\frac{1}{53,14}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{11}{53,14}$$

$$R_{total} = \frac{53,14}{11} = 4,83 \text{ Ohm}$$

4.3.13 Pemilihan Kabel

Ukuran besar luas penampang kabel bergantung terhadap besar arus, tegangan, panjang penghantar dan rugi tegangan yang diharapkan. Berdasarkan aturan PM-65 2020 kabel listrik yang digunakan mempunyai ukuran atau kemampuan yang dapat meneruskan arus puncak tinggi dalam hal kejut, pengereman regeneratif tinggi, atau akselerasi tinggi, paling sedikit 1,5 (satu koma lima) kali peringkat arus kontinu motor atau pengontrol.

1. Ukuran Kabel Penghantar PLTS

$$L : 30 \text{ m}$$

$$N : 415\text{V} \times 12,9\text{A} = 5353,5 \text{ W}$$

$$ev : 5 \text{ V}$$

$$E : 415 \text{ V}$$

$$\gamma : 56,2 \text{ (tembaga)}$$

$$q = \frac{2 \cdot L \cdot N}{\gamma \cdot ev \cdot E}$$

$$q = \frac{2 \times 30 \times 5353,5}{56,2 \times 5 \times 415}$$

$$q = \frac{321210}{116615} = 2,75 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan perhitungan di atas, ukuran kabel penghantar untuk menghubungkan PLTS minimal sebesar $2,75 \text{ mm}^2$. Menyesuaikan dengan ukuran kabel yang ada dipasaran, maka menggunakan kabel dengan ukuran minimal 4 mm^2 .

2. Ukuran Kabel *Inverter*

$$L : 5 \text{ m}$$

$$N : 220\text{V} \times 20\text{A} = 3500 \text{ W}$$

$$ev : 5 \text{ V}$$

$$E : 220 \text{ V}$$

$$\gamma : 56,2 \text{ (tembaga)}$$

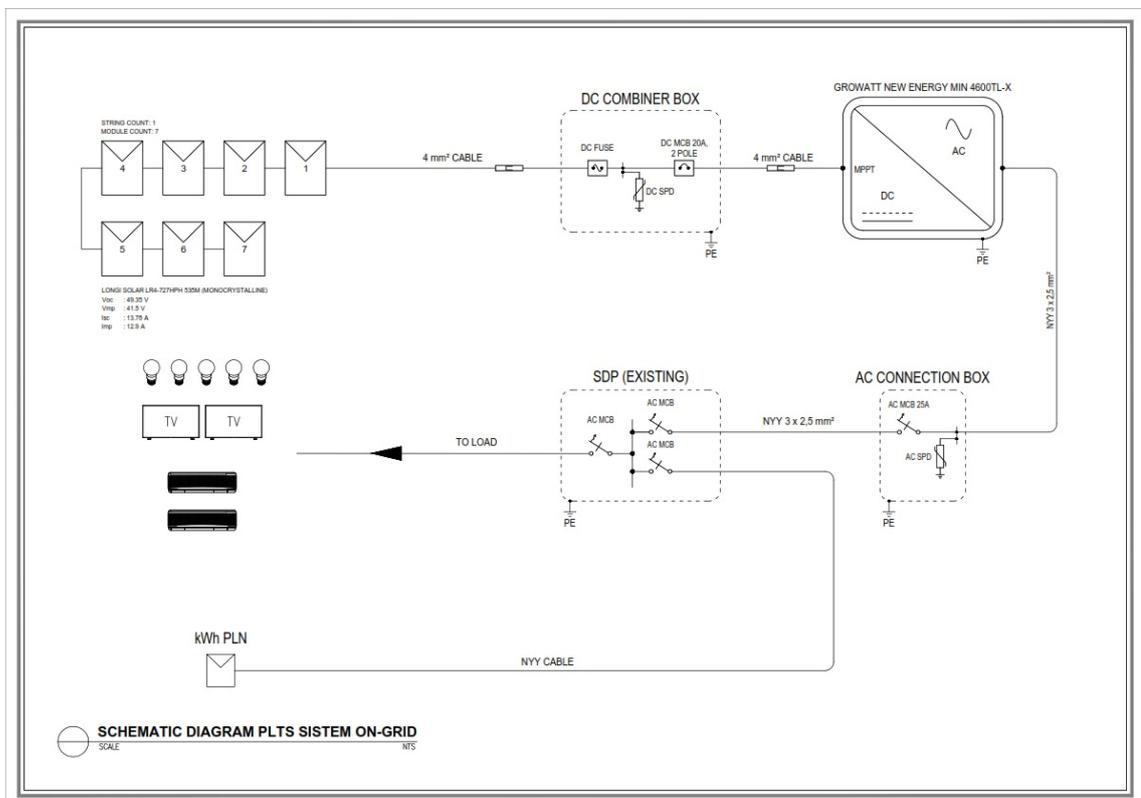
$$q = \frac{2 \cdot L \cdot N}{\gamma \cdot ev \cdot E}$$

$$q = \frac{2 \times 5 \times 3500}{56,2 \times 5 \times 220}$$

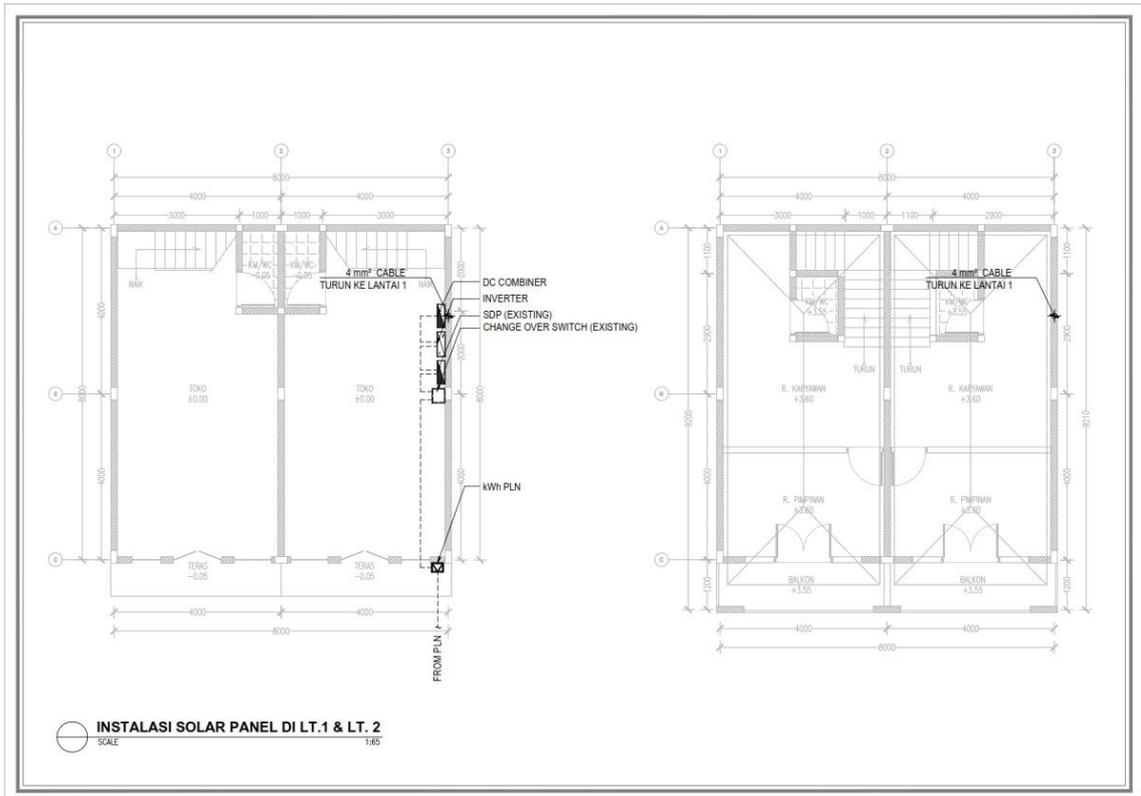
$$q = \frac{35000}{61820} = 0,57 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan perhitungan di atas, ukuran kabel penghantar untuk menghubungkan *Inverter* minimal sebesar $0,57 \text{ mm}^2$. Menyesuaikan dengan ukuran kabel yang ada dipasaran, maka kami menggunakan kabel NYY $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$.

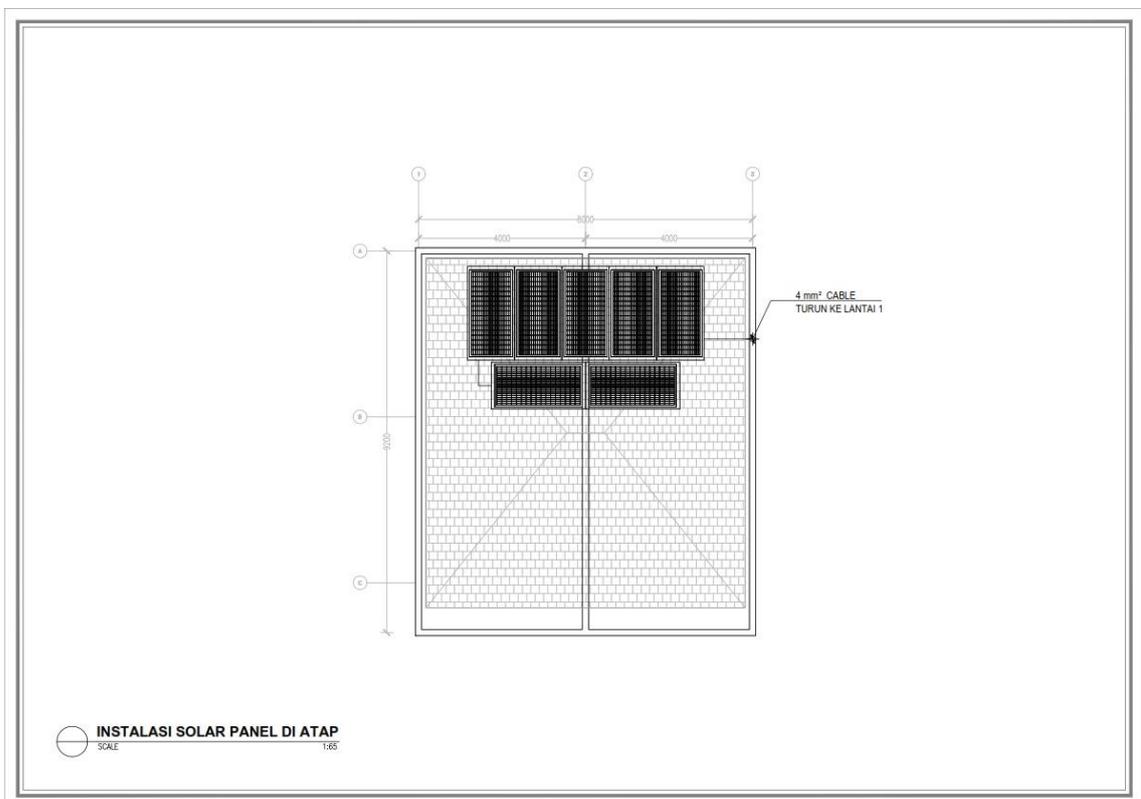
4.3.14 Desain Perancangan (PLTS *On-Grid*)



Gambar 4. 8 Schematic Diagram PLTS Sistem On-Grid

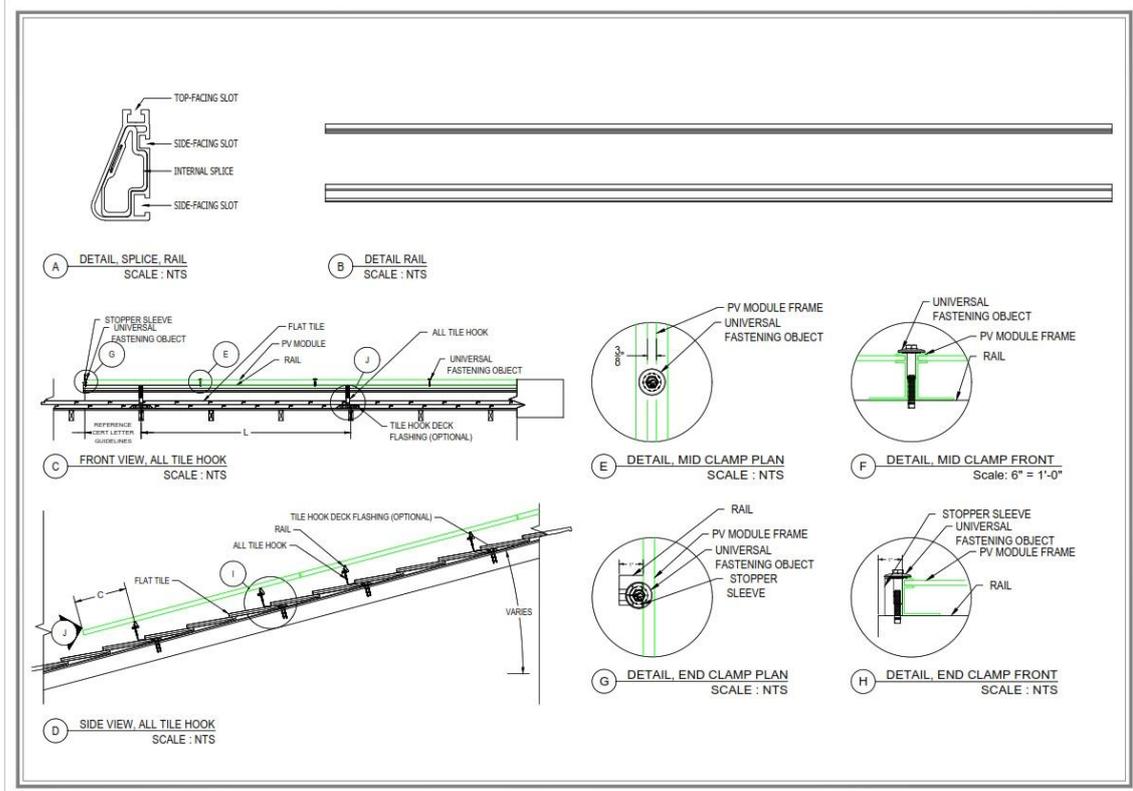


Gambar 4. 9 Instalasi Panel Surya di Lantai 1 & Lantai 2

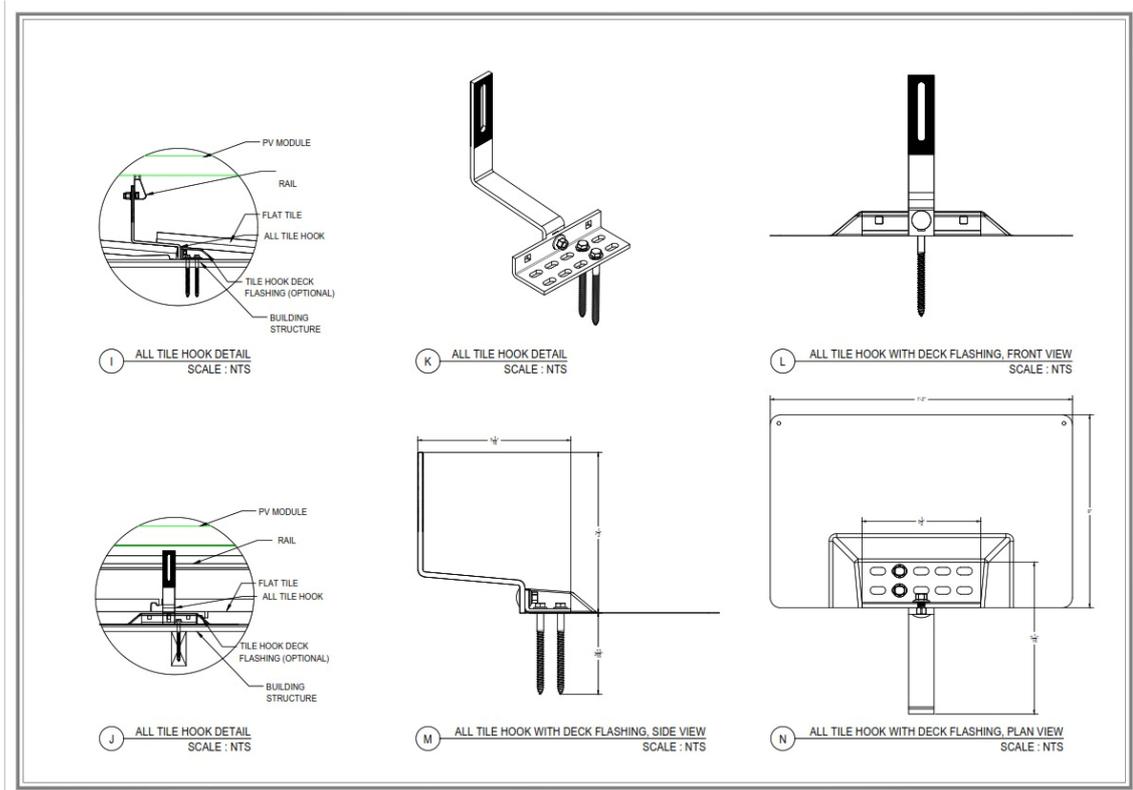


Gambar 4. 10 Instalasi Panel Surya di Atap

Pemasangan panel surya pada atap bangunan dipasang pada sisi utara atap bangunan dan juga pada sisi utara, panel surya akan cenderung mendapatkan lebih sedikit bayangan dari objek seperti pohon atau bangunan lain yang mungkin ada di sekitarnya, yang dapat mengurangi efisiensi panel.



Gambar 4. 11 Detail Pemasangan Panel Surya Atap



Gambar 4. 12 Detail Material Untuk Pemasangan Panel Surya Atap

4.4 Analisis Ekonomi

4.4.1 Daya dan Energi yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS

Berikut ini akan dianalisa energi yang dihasilkan oleh panel surya berkaitan dengan data radiasi matahari yang terendah dan yang tertinggi. Apabila data yang digunakan adalah radiasi matahari terendah 4,89 maka energi yang dihasilkan PLTS dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{out} = P_i \times \text{Radiasi matahari minimum}$$

$$P_{out} = 3,22 \text{ kW} \times 4,77$$

$$P_{out} = 15,134 \text{ kWh}$$

Jadi, energi yang dihasilkan PLTS pada saat radiasi matahari terendah adalah 15,134 kWh. Jika menggunakan data radiasi matahari tertinggi yaitu 6,98 maka:

$$P_{out} = P_i \times \text{Radiasi matahari maximum}$$

$$P_{out} = 3,22 \text{ kW} \times 6,98$$

$$P_{out} = 22,48 \text{ kWh}$$

Jadi, energi yang dihasilkan PLTS pada saat radiasi matahari tertinggi adalah 22,48 kWh. Jika ingin menghitung energi yang dihasilkan rata-rata pertahun, maka data

radiasi yang digunakan adalah radiasi rata-rata, atau disebut *Peak Sun Hour* (PSH) dengan nilai 5,87.

$$\begin{aligned} P_{out} &= P_i \times \text{PSH} \\ &= 3,22 \text{ kW} \times 5,87 \text{ h} \\ &= 18,901 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\text{Energi yield} = \text{energi output} \times 365 \text{ hari}$$

$$\text{Energi yield} = 18,901 \text{ kWh} \times 365 \text{ hari} = 6.898,87 \text{ kWh/tahun}$$

4.4.2 Performance Ratio

Performance Ratio (PR) adalah sebuah indikator yang mengukur kualitas suatu sistem berdasarkan total energi yang dihasilkan selama satu tahun. Jika nilai PR sistem berada dalam rentang 70-90%, maka sistem tersebut dianggap memenuhi standar yang layak. Berikut perhitungan untuk mencari nilai *performance ratio* dari sistem PLTS ini menggunakan persamaan (4.22), (4.23) dan (4.24).

$$PR = \frac{E_{yield}}{E_{ideal}}$$

$$E_{yield} = \text{energi output} \times 365 \text{ hari}$$

$$E_{yield} = (3.500 \times 5,87) \times 365 \text{ hari}$$

$$E_{yield} = 7.498.925 \text{ Wh/tahun} \approx 7.498,93 \text{ kWh/tahun}$$

$$E_{ideal} = P_{array\ STC} \times H_{tilt}$$

$$\begin{aligned} H_{tilt} &= \text{PSH} \times 312 = \left(5,87 \times \frac{1000W}{m^2} \right) \times 365 \text{ hari} \\ &= 2.142,55 \text{ kwh/m}^2 \end{aligned}$$

$$E_{ideal} = \text{daya spesifikasi panel surya} \times \text{jumlah panel surya} \times H_{tilt}$$

$$E_{ideal} = 535 \text{ Wp} \times 7 \text{ panel} \times 2.142,6 \text{ kwh/m}^2$$

$$E_{ideal} = 8.023.850 \text{ Wh/tahun} \approx 8.023,85 = \text{kWh/tahun}$$

Sehingga diperoleh PR sebesar:

$$PR = \frac{7.498,93 \text{ kWh/tahun}}{8.023,85 \text{ kWh/tahun}} = 0,93 \approx 93\%$$

Jadi, dari hasil perhitungan performa ratio diatas didapat ratio sebesar 93%.

4.4.3 Estimasi Biaya Investasi

Berikut adalah estimasi biaya komponen untuk sistem PLTS di Kantor PT Intan Pratama Teknik, berikut tabel rincian untuk sistem PLTS di Kantor PT Intan Pratama Teknik.

Tabel 4. 6 Estimasi Biaya PLTS *Rooftop* sistem *On-Grid* Kantor PT Intan Pratama Teknik

No	Komponen	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Sub total Harga
A. Komponen Utama					
1	Panel Surya Longi Solar LR4-72HPH 535M	7	unit	Rp 2.950.000,00	Rp 20.650.000,00
2	Inverter Growatt MIC 2500TL-X	1	unit	Rp 12.500.000,00	Rp 12.500.000,00
Total Harga A					Rp 33.150.000,00
B. Komponen Sistem Penyangga					
3	Aluminium Rail 4600 mm	4	batang	Rp 350.000,00	Rp 1.400.000,00
4	L Feet Bracket 84 x 40 mm	40	pcs	Rp 20.000,00	Rp 800.000,00
5	Hanger Bolt M8 x 100 mm	40	pcs	Rp 1.500,00	Rp 60.000,00
6	Mid Clamp 40 mm	25	pcs	Rp 10.000,00	Rp 250.000,00
7	End Clamp 40 mm	10	pcs	Rp 12.500,00	Rp 125.000,00
8	Grounding Lug	11	pcs	Rp 15.000,00	Rp 165.000,00
Total Harga B					Rp 2.800.000,00
C. Perangkat Proteksi Sisi DC					
9	Panel Box 30 x 40 x 17 cm	1	pcs	Rp 200.000,00	Rp 200.000,00
10	Fuse Link 20 A + Fuse Holder 20 A	2	pcs	Rp 75.000,00	Rp 150.000,00
11	DC MCB 2P 20 A	1	pcs	Rp 687.500,00	Rp 687.500,00
12	DC SPD 2P 40 kA 1000 V	1	pcs	Rp 139.500,00	Rp 139.500,00
Total Harga C					Rp 1.177.000,00
D. Perangkat Proteksi Sisi AC					
13	Panel Box 60 x 40 x 18 cm	1	pcs	Rp 400.000,00	Rp 400.000,00
14	MCB 1 Phase 25 A	1	pcs	Rp 60.000,00	Rp 60.000,00
16	AC SPD 1 Phase 2P 40kA	1	pcs	Rp 140.000,00	Rp 140.000,00
17	Digital Energy Meter	1	pcs	Rp 100.000,00	Rp 100.000,00
Total Harga D					Rp 700.000,00
E. Pengkabelan					
22	Kabel 12AWG 4mm2 (Red) / 10 m	5	roll	Rp 500.000,00	Rp 2.500.000,00
23	Kabel 12AWG 4mm2 (Black) / 10 m	5	roll	Rp 500.000,00	Rp 2.500.000,00
24	Kabel NYY 3 x 2,5 mm2 / 50m	1	roll	Rp 1.200.000,00	Rp 1.200.000,00
25	Kabel NYAF 2,5 mm2 (Y/G) / 100m	1	roll	Rp 580.000,00	Rp 580.000,00
26	Kabel NYA 1 x 2,5 mm2 (Y/G) / 50m	1	roll	Rp 337.000,00	Rp 337.000,00
Total Harga E					Rp 7.117.000,00
F. Komponen/Peralatan Lainnya					
27	Konektor MC4 4 mm2	20	pcs	Rp 15.000,00	Rp 300.000,00
28	Klip Kabel 10 mm	200	pcs	Rp 7.500,00	Rp 1.500.000,00
29	Terminal Block Kabel 10 mm2	10	pcs	Rp 18.000,00	Rp 180.000,00
30	Gland Kabel PG 9	20	pcs	Rp 900,00	Rp 18.000,00
31	Cable Gland for Flexible Conduit	20	pcs	Rp 4.000,00	Rp 80.000,00
32	Flexible Conduit 3/4" Liquid Tight Metallic	2	roll	Rp 35.000,00	Rp 70.000,00
33	Kabel Skun Ring 4 mm + Isolasi	10	pcs	Rp 28.440,00	Rp 284.400,00
34	Din Rail MCB 1 meter	1	batang	Rp 15.000,00	Rp 15.000,00
35	Busbar Plat Tembaga 40 cm	1	batang	Rp 300.000,00	Rp 300.000,00
36	Instalasi Grounding	1	Lot	Rp 2.000.000,00	Rp 2.000.000,00
Total Harga F					Rp 4.747.400,00
37	Jasa Distribusi Barang, Jasa Instalasi dan Pemasangan	5,3	kWp	Rp 2.500.000,00	Rp 13.250.000,00
38	Belanja tidak terduga (5% dari Total Harga A)	1	Lot	Rp 1.657.500,00	Rp 1.657.500,00
Investasi Awal					Rp 64.598.900,00

Setelah didapatkan estimasi biaya, selanjutnya akan dilakukan perhitungan LCC, COE, *Payback Period*, NPV, IRR, PI dan *Gross B/C* yang dibahas di bawah ini.

4.4.4 Perhitungan Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Dari tabel 4.6 dapat dilihat, untuk membuat PLTS yang dirancang membutuhkan total investasi awal sebesar Rp. 64.598.900,00. Selain biaya tersebut perlu diperhatikan

juga biaya pemeliharaan dan operasional. Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS, umumnya digunakan sebesar 1 - 2% dari total biaya investasi awal ditambah dengan biaya perbaikan inverter. Biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan adalah sebagai berikut:

$$M = 1\% \times \text{Biaya Investasi Awal}$$

$$M = 1\% \times \text{Rp } 64.589.900$$

$$M = \text{Rp } 645.899$$

4.4.5 *Life Cycle Cost (LCC)*

PLTS yang dibangun dalam penelitian ini dapat beroperasi 25 tahun dasar penentuan umur proyek ini mengacu kepada jaminan yang diberikan oleh produsen panel surya. Besarnya tingkat diskonto (i) diasumsikan 6,25% mengacu dengan tingkat suku bunga kredit Bank Indonesia pada tahun 2024 yaitu rata-rata sebesar 6,25%.

$$OP_{NS} = OP_{\text{tahunan}} \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

$$OP_{NS} = \text{Rp } 645.899 \left[\frac{(1+0,0625)^{25} - 1}{0,0625 \times (1+0,0625)^{25}} \right]$$

$$OP_{NS} = \text{Rp } 645.899 \times 12,48$$

$$OP_{NS} = \text{Rp } 8.060.820$$

Penggantian komponen sistem PLTS sangat dianjurkan karena setiap komponen memiliki umur pakai. Salah satu komponen tersebut adalah inverter. Inverter yang digunakan diketahui memiliki umur pakai hingga 10-15 tahun lamanya, oleh karena itu diasumsikan bahwa penggantian inverter dilakukan di tahun ke-15, agar kinerja atau efisiensi dari inverter digunakan secara maksimal. Setelah memperoleh besar biaya operasi dan pemeliharaan nilai sekarang (OP_{NS}), maka dapat dilakukan perhitungan biaya siklus hidup (LCC) sebagai berikut:

$$LCC = IA + OP_{NS} + R_{pw}$$

$$LCC = \text{Rp } 64.598.900 + \text{Rp } 8.060.820 + 12.500.000$$

$$LCC = \text{Rp } 85.150.720$$

4.4.6 *Cost Of Energy*

Menghitung biaya energi ditentukan oleh faktor pemulihan modal (CRF) dan kWh produksi tahunan.

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$CRF = \frac{0,0625(1+0,0625)^{25}}{(1+0,0625)^{25} - 1}$$

$$CRF = 0,0801$$

Sedangkan kWh produksi tahunan nilainya sebagai berikut:

$A \text{ kWh} = \text{kWh produksi perhari} \times \text{jumlah hari selama setahun}$

$$A \text{ kWh} = 18,9 \text{ kWh/hari} \times 365 \text{ hari}$$

$$A \text{ kWh} = 6.898,5 \text{ kWh/tahun}$$

Maka besar biaya energi (COE):

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}}$$

$$COE = \frac{Rp 85.150.720 \times 0,0801}{6.898,5 \text{ kWh}}$$

$$COE = Rp 989 / \text{kWh}$$

4.4.7 Kelayakan Investasi

Menghitung kelayakan investasi PLTS digunakan biaya tarif yang dibebankan oleh PLN di bulan agustus 2024 yaitu golongan R-2/TR daya 3.500-5.500 VA, sehingga diperoleh tarif sebesar Rp 1.699,53 /kWh. Dengan biaya energi tersebut dan total kWh produksi tahunan sebesar 6.898,5 kWh, maka arus kas masuk: $Rp 1.699,53 \times 6.898,5 = Rp 11.724.208$ sedangkan pengeluaran tahunannya sebesar Rp. 645.899 berdasarkan biaya pemeliharaan dan operasional tahunan PLTS.

4.4.8 Payback Period

Total investasi yang dibutuhkan untuk pembuatan PLTS adalah Rp 85.150.720 maka lama ROI dengan menggunakan metode *Payback Period* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Jumlah Investasi}}{\text{Aliran Kas Bersih}}$$

$$\text{Payback Period} = \frac{Rp 85.150.720}{Rp 11.724.208}$$

$$\text{Payback Period} = 7,3 \text{ Tahun} \approx 7 \text{ Tahun 3 Bulan}$$

4.4.9 Net Present Value

Perhitungan *Net Present Value* (NPV) dengan formula sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - IA$$

Pergantian inverter dilakukan pada tahun ke-15 dengan nilai dianggap saat pembelian inverter yaitu sebesar Rp 12.500.000. Sehingga, perhitungan NPV dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 7 Perhitungan Net Present Value

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar		Arus Kas Bersih (Net Cash Flow)	DF (Discount Factor), I = 6.25%	Present Value NCF	Kumulatif PVNCF
			Maintenance	Penggantian Komponen Inverter				
0	Rp 64.598.900				-Rp 64.598.900	1,00	0	0
1		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,94	Rp 10.426.643,49	Rp 10.426.643,49
2		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,89	Rp 9.813.311,52	Rp 20.239.955,00
3		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,83	Rp 9.236.057,90	Rp 29.476.012,90
4		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,78	Rp 8.692.760,38	Rp 38.168.773,28
5		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,74	Rp 8.181.421,53	Rp 46.350.194,81
6		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,70	Rp 7.700.161,44	Rp 54.050.356,25
7		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,65	Rp 7.247.210,77	Rp 61.297.567,01
8		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,62	Rp 6.820.904,25	Rp 68.118.471,26
9		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,58	Rp 6.419.674,59	Rp 74.538.145,85
10		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,55	Rp 6.042.046,67	Rp 80.580.192,53
11		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,51	Rp 5.686.632,16	Rp 86.266.824,69
12		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,48	Rp 5.352.124,39	Rp 91.618.949,08
13		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,45	Rp 5.037.293,54	Rp 96.656.242,62
14		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,43	Rp 4.740.982,16	Rp 101.397.224,77
15		Rp 11.724.208	Rp 645.899	Rp 12.500.000	-Rp 1.421.691	0,40	Rp (572.626,21)	Rp 100.824.598,56
16		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,38	Rp 4.199.624,33	Rp 105.024.222,90
17		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,36	Rp 3.952.587,61	Rp 108.976.810,50
18		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,34	Rp 3.720.082,45	Rp 112.696.892,96
19		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,32	Rp 3.501.254,07	Rp 116.198.147,03
20		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,30	Rp 3.295.297,95	Rp 119.493.444,98
21		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,28	Rp 3.101.456,90	Rp 122.594.901,88
22		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,26	Rp 2.919.018,26	Rp 125.513.920,13
23		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,25	Rp 2.747.311,30	Rp 128.261.231,43
24		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,23	Rp 2.585.704,75	Rp 130.846.936,18
25		Rp 11.724.208	Rp 645.899		Rp 11.078.309	0,22	Rp 2.433.604,47	Rp 133.280.540,66
Total		Rp 293.105.193	Rp 16.147.475	Rp 12.500.000	Rp 199.858.818		Rp 133.280.540,66	

Sehingga dengan biaya investasi awal sebesar Rp 64.598.900 didapatkan nilai NPV sebagai berikut:

$$NPV = Rp 133.280.541 - Rp 64.598.900$$

$$NPV = Rp 68.681.641$$

Hasil perhitungan NPV yang bernilai positif sebesar Rp 68.681.641 (>0). Maka dapat disimpulkan investasi PLTS untuk di Kantor PT Intan Pratama Teknik sangat dapat diterima. Jika dibandingkan dengan usia panel surya yang diperkirakan mencapai 25 tahun dan dari hasil analisis ROI yang didapat, perancangan PLTS ini sangat *feasible* untuk dibuat.

4.4.10 Internal Rate of Return

Parameter IRR adalah parameter yang digunakan untuk mendapatkan tingkat bunga yang menyamakan total nilai sekarang penerimaan arus kas yang diharapkan dengan total nilai sekarang yang diperlukan untuk investasi, dimana untuk menghitung nilai IRR yaitu dengan mencari tingkat suku bunga yang menghasilkan nilai *Net Present Value* (NPV) positif dibandingkan dengan tingkat suku bunga yang menghasilkan nilai

Net Present Value negatif, kemudian nilai IRR dibandingkan dengan tingkat suku bunga pengembalian investasi yang berlaku atau *Minimum Attractive Rate of Return* (MARR). Untuk kriteria keputusannya ditentukan oleh nilai IRR yang didapatkan, jika nilai IRR lebih besar dari nilai suku bunga pengembalian investasi yang berlaku atau MARR maka proyek diterima dan sebaliknya proyek ditolak apabila nilai IRR lebih kecil dari nilai suku bunga pengembalian investasi yang berlaku atau MARR. Berikut adalah hasil dari perhitungan nilai NPV negatif dan nilai NPV positif seperti Tabel 4.9 sebagai berikut.

Tabel 4. 8 Nilai NPV Positif dan NPV Negatif

No	Nama	Bunga	Nilai NPV
1	Nilai NPV Positif	6,25%	Rp 68.681.641
2	Nilai NPV Negatif	17%	-Rp 1.904.886

Dari data hasil perhitungan NPV negatif dan NPV positif diatas didapatkan hasil bahwa Bunga yang menghasilkan nilai NPV positif adalah 6,25% atau 0,0625 dengan nilai NPV positif sebesar Rp 68.681.641 sedangkan bunga untuk menghasilkan nilai NPV negatif adalah 17% atau 0,17 dengan nilai NPV negatif sebesar -Rp 1.904.886 digunakan untuk mencari nilai IRR yaitu tingkat diskonto yang membuat nilai NPV sama dengan nol. Dari data perhitungan NPV tersebut, kemudian selanjutnya dapat menghitung nilai dari IRR sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$IRR = i^1 + \left\{ \frac{NPV^1}{NPV^1 - NPV^2} (i^1 - i^2) \right\}$$

$$IRR = 6,25\% + \left\{ \frac{68.681.641}{(133.280.541 - 62.694.014)} (6,25\% - 17\%) \right\}$$

$$IRR = 6,25\% + (0,97) \times (10,75\%)$$

$$IRR = 6,25\% + 10,46\%$$

$$IRR = 16,71\%$$

Dari hasil perhitungan IRR diatas menunjukkan hasil sebesar 16,71%, kemudian nilai IRR dibandingkan dengan nilai tingkat suku bunga pengembalian investasi atau *Minimum Attractive Rate of Return* (MARR), dimana nilai IRR ini lebih besar dari nilai tingkat suku bunga pengembalian investasi atau *Minimum Attractive Rate of Return* (MARR) sebesar 6,25%, sesuai dengan kriteria penilaian parameter IRR dengan hasil tersebut maka investasi dan tarif penjualan listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *rooftop* sistem *on-grid* di Kantor PT Intan Pratama Teknik dapat dikatakan layak karena nilai dari $IRR > 6,25\%$ sesuai dengan kriteria dari parameter IRR.

4.4.11 Profitability Index

Parameter *Profitability Index* atau PI adalah perbandingan antara nilai sekarang penerimaan arus kas dengan nilai sekarang pengeluaran arus kas, ini juga dikenal dengan nama parameter *Benefit Cost Ratio*. Perhitungan PI memerlukan data biaya investasi keseluruhan atau biaya *Life Cycle Cost* (LCC) dari sistem pembangkit listrik tenaga listrik (PLTS) *rooftop* sistem *on-grid* di Kantor PT Intan Pratama Teknik dan biaya penerimaan kas bersih dari PLTS selama umur pakai yaitu 25 tahun. Perhitungan sebelumnya diketahui biaya LCC sistem pembangkit listrik tenaga surya adalah sebesar Rp 85.150.720 dan untuk keuntungan dari penjualan energi listrik adalah sebesar Rp 133.280.541 selama 25 tahun masa pakai dari PLTS *rooftop* sistem *on-grid* di Kantor PT Intan Pratama Teknik. Sehingga perhitungan *Profitability Index* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Profitability Index} = \frac{\text{Present Value Penerimaan}}{\text{Present Value Pengeluaran}}$$

$$\text{Profitability Index} = \frac{\text{Rp } 133.280.541}{\text{Rp } 85.150.720}$$

$$\text{Profitability Index} = 1,56$$

Dari perhitungan diatas, didapat nilai dari *Profitability Index* adalah sebesar 1,56. Sesuai dengan kriteria dari parameter *Profitability Index* yaitu proyek dinyatakan diterima apabila nilai PI nya sama atau lebih besar dari 1, sedangkan sebaliknya proyek ditolak apabila nilainya lebih kecil dari 1. Dari hasil diatas diketahui bahwa nilai dari $PI > 1$ yaitu bernilai 1,56, ini artinya investasi proyek pembangunan PLTS *rooftop* sistem *on-grid* dengan menggunakan harga tarif penjualan listrik Rp 989/kWh dinyatakan layak untuk diterima dan dijalankan sesuai dengan analisis kelayakan penilaian parameter *Profitability Index* tersebut.

4.4.12 Gross Benefit Ratio (Gross B/C)

Parameter *Gross Benefit Ratio* (*Gross B/C*) adalah parameter yang digunakan sebagai analisa kelayakan ekonomi dengan parameter yang digunakan adalah nilai perbandingan antara *Present Value* (*PV benefit*) dengan *Present Value* biaya (*PV cost*). Nilai *PV benefit* dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) selama 25 tahun adalah senilai Rp 133.280.541 dan nilai dari *PV cost* adalah sebesar Rp, 85.150.720 dengan data tersebut dapat menghitung nilai *Gross B/C* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Gross\ B/C = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Bt}{(1+i)^t}}{\sum_{t=n}^n \frac{Ct}{(1+i)^t}}$$

$$Gross\ B/C = \frac{\frac{133.280.541}{(1+0,0625)^{25}}}{\frac{85.150.720}{(1+0,0625)^{25}}}$$

$$Gross\ B/C = \frac{\frac{133.280.541}{4,55}}{\frac{85.150.720}{4,55}}$$

$$Gross\ B/C = \frac{29.292.427}{18.714.444}$$

$$Gross\ B/C = 1,57$$

Dari hasil perhitungan diatas, didapat nilai dari *Gross B/C* sebesar 1,57. Sesuai dengan kriteria penilaian parameter *Gross B/C* yaitu proyek dinyatakan diterima atau layak apabila nilai *gross B/C* nya lebih besar dari 1, sebaliknya proyek ditolak apabila nilai *gross B/C* lebih kecil dari 1 dan proyek dinyatakan dalam keadaan *Break Even Point* (BEP) apabila nilai *gross B/C* = 1.

Dari hasil perhitungan diatas nilai *gross B/C* adalah sebesar 1,57 atau nilainya lebih besar dari 1, ini artinya investasi proyek pembangunan PLTS *rooftop* sistem *on-grid* di Kantor PT Intan Pratama Teknik dengan menggunakan harga tarif penjualan listrik Rp.989/kWh dinyatakan layak untuk diterima dan dijalankan sesuai dengan analisis kelayakan penilaian parameter *Gross B/C* tersebut.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa dan perencanaan dari latar belakang dan rumusan masalah untuk perencanaan pemasangan sistem PLTS *Rooftop* di Kantor PT Intan Pratama Teknik, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kantor PT Intan Pratama Teknik memiliki potensi dalam perancangan sistem PLTS *on-grid* dengan inverter sebesar 3500 Watt, didukung dengan panel surya dengan kapasitas 535 Wp sebanyak 7 buah dengan 1 string terhubung seri, menghasilkan tegangan maksimum 290,6 Volt, mengakibatkan efisiensi inverter hanya mencapai 92%.
2. Sistem PLTS yang dirancang di Kantor PT Intan Pratama Teknik menghasilkan daya Listrik maksimum 3.220 Watt, dengan energi sebesar 6.898,5 kWh/tahun.
3. Berdasarkan analisis ekonomi dengan perhitungan manual, PLTS dengan sistem *on-grid* mendapat hasil LCC (*Life Cycle Cost*) sebesar Rp 85.150.720 yang terdiri dari biaya investasi awal, biaya operasi dan pemeliharaan serta biaya penggantian inverter dalam periode 25 tahun masa proyek. PLTS dengan sistem *on-grid* mendapat hasil *Net Present Value* Rp 68.681.641, *Internal Rate of Return* sebesar 16,71%, *Profitability Index* senilai 1,56 dan *Gross B/C* senilai 1,57. *Payback Period* dicapai dalam periode 7 tahun 3 bulan. Sisa masa proyek yang ada merupakan keuntungan dalam perancangan di Kantor PT Intan Pratama Teknik. Berdasarkan hasil perhitungan manual, perencanaan PLTS sistem *on-grid* di Kantor PT Intan Pratama Teknik dikategorikan layak (*feasible*).

5.2 Saran

Penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, untuk pengembangan penelitian ini di masa mendatang dapat melakukan:

1. Setelah dalam umur beberapa tahun pihak PT Intan Pratama Teknik perlu memperhatikan penurunan kemampuan system PLTS untuk mensuplai beban maksimum, karena hingga tahun ke-25 sistem ini hanya mampu memikul beban maksimum sebesar 1651 Wp.
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan beberapa parameter simulasi aplikasi *software* agar dapat membandingkan data yang lebih relevan.

3. Dari segi kelayakan investasi, juga dapat dipertimbangkan biaya perawatan, pajak dan kerusakan sistem.
4. Waktu dalam penyusunan skripsi ini bisa lebih tersedia lebih banyak dan teratur agar mendapat menganalisa lebih dalam dan detail terkait perencanaan sistem PLTS *On-grid*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Tarigan, “Simulasi sistem plts atap dan harga satuan energi listrik untuk skala rumah tangga di surabaya,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 18, no. 2, pp. 86–93, 2022, doi: 10.17529/jre.v18i2.25535.
- [2] F. Hidayat, B. Winardi, and A. Nugroho, “Analisis ekonomi perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (plts) di departemen teknik elektro universitas diponegoro,” *Transient*, vol. 7, no. 4, p. 875, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.875-882.
- [3] G. Bali, “Bali energi bersih,” *PERGUB BALI No. 45 Tahun 2019*, 2019.
- [4] S. Yuliananda, G. Sarya, and R. Retno Hastijanti, “Pengaruh perubahan intensitas matahari terhadap daya keluaran panel surya,” *J. Pengabd. LPPM Untag Surabaya Nop.*, vol. 01, no. 02, pp. 193–202, 2015.
- [5] R. M. Rizki and I. Abdi Bangsa, “Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya (plts) pada gedung uphb pt pembangkit jawa bali unit muara karang,” *Aisyah J. Informatics Electr. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 67–75, 2023, doi: 10.30604/jti.v5i1.128.
- [6] F. R. Firaldi, R. S. Wibowo, and S. Anam, “Studi kelayakan teknis dan ekonomi pemasangan plts atap on-grid pada sistem kelistrikan gedung perpustakaan its,” *J. Tek. ITS*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.12962/j23373539.v12i1.113225.
- [7] J. Windarta, S. Handoko, K. N. Irfani, S. M. Masfuha, and C. H. Itsnareno, “Analisis teknis dan ekonomis pembangkit listrik tenaga surya off-grid menggunakan software pvsyst untuk usaha mikro kecil dan menengah (umkm) coffeeshop remote area,” *Teknik*, vol. 42, no. 1, pp. 290–298, 2021, doi: 10.14710/teknik.v42i3.40242.
- [8] M. Zulni and S. Bandri, “Planning on solar power plant 900 va power grid using micropower homer household application perencanaan pembangkit listrik tenaga surya ongrid daya 900 va menggunakan homer dayamikro aplikasi rumah tangga,” vol. 3, no. June, pp. 29–35, 2023.
- [9] A. Ardiansyah, I. N. Setiawan, and I. W. Sukerayasa, “Perancangan plts atap on grid system pada kantor badan perencanaan pembangunan daerah penelitian dan pengembangan kota probolinggo,” *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 4, p. 200, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i04.p23.
- [10] H. H. N. Jannah, U. I. F. Styana, A. Kurniawan, and F. Hindarti, “Analisis teknik dan ekonomi perencanaan plts rooftop technical analysis and economic planning plts rooftop on-grid system in sdn 1 temuwuh,” pp. 55–69, 2023.
- [11] K. N. SIBARANI, “Analisis efisiensi output panel surya terhadap perubahan intensitas radiasi matahari pada panel surya di plts 2 kwp uhn medan.,” vol. 11, no. 1, pp. 1–5, 2023, [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>

- [12] P. Harahap, "Pengaruh temperatur permukaan panel surya terhadap daya yang," *Pengaruh Temp. Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya*, vol. 2, no. 2, pp. 73–80, 2020.
- [13] E. Roza and M. Mujirudin, "Perancangan pembangkit tenaga surya fakultas teknik uhamka," *Ejournal Kaji. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 16–30, 2019, [Online]. Available: <http://download.garuda.ristekdikti.go.id/article.php?article=984946&val=11994&title=PERANCANGAN PEMBANGKIT TENAGA SURYA FAKULTAS TEKNIK UHAMKA>
- [14] I. G. N. Janardana and I. W. Arta Wijaya, "Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya sebagai catu daya listrik pada kelompok usaha pertanian," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, p. 53, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i01.p7.
- [15] M. Alayubby, "Analisa pengaruh efek intensitas cahaya matahari terhadap panel surya off grid type monocrystalline berbasis pulse width modulation," pp. 27–28, 2022.
- [16] U. Sultan and M. Salahudin, "Analisa kebersihan panel surya terhadap keluaran plts on-grid 200 kwp bandara," vol. 10, no. 4, pp. 253–262, 2023.
- [17] I.- Irawati, S. Sunardi, and A. Nurwanto, "Rancang bangun alat pakan ikan otomatis berbasis catuan panel surya," *JEIS J. Elektro dan Inform. Swadharma*, vol. 3, no. 1, pp. 22–30, 2023, doi: 10.56486/jeis.vol3no1.288.
- [18] V. Arnando, muhammad ridho Falmansyah, D. Alfian, and Liliana, "System design of on-grid plts barbershop gaul with helioscope desain sistem plts on-grid pada barbershop gaul dengan menggunakan helioscope," *Desain Sist. PLTS On-Grid pada Barbershop Gaul dengan menggunakan Helioscope*, vol. 3, no. June, pp. 47–57, 2023.
- [19] F. P. Baumgartner, "Euro Realo Inverter Efficiency: Dc-Voltage Dependency," *20 th Eur. Photovolt. Sol. ENERGY Conf.*, no. June, pp. 6–10, 2005, [Online]. Available: www.ntb.ch/pv,
- [20] R. Putra, B. Nainggolan, and P. Jannus, "Plts penerangan area parkir pltu suralaya," *Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta*, no. 2685–9319, pp. 1–10, 2023.
- [21] S. S. Muhammad Rifky Fauzan, Hermagasantos Zein, "Desain ulang sistem pentanahan untuk proteksi tegangan lebih pada array ground mounted area di plts 1mw cirata," *Pros. 14th Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 14, pp. 283–290, 2023.
- [22] A. Y. Putra, R. Laba Papidunan, Y. Songli, and H. E. Patoding, "Pembangkit listrik tenaga surya untuk kompresor angin dan alat pemanas pada pres ban," vol. 1, no. 2, 2024.
- [23] B. Hendratno and A. Cholilurrahman, "Perencanaan dan pemasangan instalasi listrik bangunan rumah tinggal bertingkat di graha family blok i nomor 33 surabaya," *J. ITATS*, pp. 2–3, 2015.
- [24] A. Pranoto, H. Tumaliang, and G. M. C. Mangindaan, "t," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 3, pp. 189–198, 2018.

- [25] M. Fadhil Akkas, I. Raharjo, and A. Sunawar, "Perancangan instalasi listrik menggunakan solar cell di cikaracak adventure camp," *J. Electr. Vocat. Educ. Technol.*, vol. 7, no. 1, 2022.
- [26] B. Demeianto *et al.*, "Rancang bangun panel automatic transfer switch (ats) pada pembangkit listrik tenaga surya sebagai catu daya kincir air pada tambak perikanan," *Aurelia*, vol. 4, no. 2, pp. 203–218, 2022.
- [27] I. ISMAIL, "Optimalisasi kualitas air ballast pada proses ballast exchange guna menghindari terjadinya pencemaran lingkungan di kapal mv jk pioneer," 2021.
- [28] R. Sinaga, "Sistem plts on-grid", [Online]. Available: <https://bumienergisurya.com/plts-pembangkit-listrik-tenaga-surya-on-grid-1300w/>
- [29] E. Eko Prasetyo, "Aplikasi internet of things (iot) untuk pemantauan dan pengendalian beban listrik di ruangan," *J. Tek. STTKD*, vol. 4, no. 2, pp. 28–35, 2017.
- [30] R. Oklantama and Suwitno, "Prakiraan kebutuhan energi listrik di wilayah pt. Pln (persero) rayon bangkinang menggunakan prangkat lunak leap (long-range energy alternatives planning system)," vol. 4, no. 2, pp. 1–8, 2017.
- [31] Karuniawan Eriko Arvin, Sugiono Friska Ayu Fitriani, Larasati Pangestuningtyas Diah, and Pramurti Adeguna Ridlo, "Analisis potensi daya listrik plts atap di gedung direktorat politeknik negeri semarang dengan perangkat lunak pvsyst," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 75–80, 2023.
- [32] Sukadana Wayan, Ade Pujana Gusti Ngurah, Yasa Sugara Wayan, and Asna Made, "Desain sistem pembangkit listrik tenaga Surya (plts) atap on grid system pada Pt. Balifoam nusa megah bali," vol. Vol. 6, No, no. 45, pp. 151–160, 2024, [Online]. Available: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>
- [33] S. G. Ramadhan and C. Rungkati, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti," *Semin. Nas. Cendekiawan*, pp. 1–11, 1974.
- [34] I. K. Widi Astawa, I. A. Dwi Giriantari, and I. W. Sukerayasa, "Studi ekonomis penggunaan plts rooftop 3 kwp frameless with on-grid system pada pelanggan r/4400 va," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 4, p. 73, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i04.p9.
- [35] M. F. Hiswandi, F. Iswahyudi, and W. M. Soeroto, "Analisis Kelayakan Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Dengan Sistem on-Grid Di Pabrik Minuman Siap Saji," *Sebatik*, vol. 27, no. 1, pp. 22–29, 2023, doi: 10.46984/sebatik.v27i1.2246.

LAMPIRAN



POLITEKNIK NEGERI BALI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI BALI

Jl. Bukit Jimbaran, Kuta Selatan Badung Bali, 80361

FORM BIMBINGAN SKRIPSI Tahun Ajaran 2023/2024

Nama Mahasiswa : **Putu Krisna Dipayana**

NIM : **2315374006**

Program Studi : **Program Studi Sarjana Terapan Teknik Otomasi**

Judul Skripsi : **Analisis Teknis dan Ekonomis Perencanaan PLTS Rooftop On-Grid
Di PT Intan Pratama Teknik**

No	Hari/Tanggal	Materi Bimbingan dan Bab	Tanda Tangan
1	Senin, 3 Juni 2024	Mengajukan Judul dan rumusan masalah awal	
2	Jumat, 7 Juni 2024	Perubahan judul proposal	
3	Jumat, 14 Juni 2024	Perubahan objek penelitian	
4	Selasa, 18 Juni 2024	Mengirimkan Draft Proposal BAB I sampai dengan BAB III	
5	Rabu, 19 Juni 2024	Revisi latar belakang penelitian serta tambahkan penelitiann yang berkaitan dengan objek penelitian	
6	Senin, 24 Juni 2024	Revisi pada metode penilitan penambahan pengolahan data, jenis data dan diagram alir	
7	Selasa, 2 Juli 2024	Revisi rumusan masalah sinkron dengan tujuan penelitian	
8	Senin, 12 Agustus 2024	Mengirimkan laporan skripsi BAB 1-5	
9	Kamis, 15 Agustus 2024	Revisi BAB 4 mengenai analisis ekonomis	
10	Kamis, 22 Agustus 2024	Revisi BAB 4 mengenai perhitungan kelayakan investasi dan table NPV	
11	Kamis, 22 Agustus 2024	Revisi BAB 4 mengenai perhitungan COE	



POLITEKNIK NEGERI BALI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO POLITEKNIK NEGERI BALI

Jl. Bukit Jimbaran, Kuta Selatan Badung Bali, 80361

12			

*) Bimbingan dilakukan minimal 8 kali

Bukit Jimbaran, 24 Agustus 2024

Pembimbing,

(Ni Made Karmiathi, S.T., M.T.)
NIP. 197111221998022001



POLITEKNIK NEGERI BALI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI BALI

Jl. Bukit Jimbaran, Kuta Selatan Badung Bali, 80361

FORM BIMBINGAN SKRIPSI Tahun Ajaran 2023/2024

Nama Mahasiswa : Putu Krisna Dipayana

NIM : 2315374006

Program Studi : Program Studi Sarjana Terapan Teknik Otomasi

Judul Skripsi : Analisis Teknis dan Ekonomis Perencanaan PLTS Rooftop On-Grid
Di PT Intan Pratama Teknik

No	Hari/Tanggal	Materi Bimbingan dan Bab	Tanda Tangan
1	Senin, 3 Juni 2024	Mengajukan Judul dan rumusan masalah awal	
2	Kamis, 6 Juni 2024	Perubahan rumusan masalah dan diskusi tentang kondisi awal Lokasi penelitian	
3	Sabtu, 15 Juni 2024	Konfirmasi perubahan Lokasi penelitian	
4	Selasa, 25 Juni 2024	Mengirimkan Draft Proposal BAB I sampai dengan BAB III dan revisi rumusan masalah, penelitian sebelumnya pada BAB II dan landasan teori	
5	Kamis, 27 Juni 2024	Revisi penulisan dan penambahan materi tentang inverter dan pentanahan	
6	Sabtu, 29 Juni 2024	Revisi tentang efisiensi inverter dan penulisan daftar pustaka	
7	Senin, 12 Agustus 2024	Mengirimkan Draft skripsi BAB 4-5	
8	Sabtu, 17 Agustus 2024	Revisi BAB 4-5 terkait dengan kapasitas penggunaan PLTS	
9	Selasa, 20 Agustus 2024	Revisi BAB 4 terkait penulisan Analisa Ekonomi	

*) Bimbingan dilakukan minimal 8 kali

Bukit Jimbaran, 22/8/24

Pembimbing,

(Dr. Ir. NWayan Jondra, M.Si.)
NIP. 196807061994031003



POLITEKNIK NEGERI BALI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI BALI

Jl. Bukit Jimbaran, Kuta Selatan Badung Bali, 80361

**PERNYATAAN TELAH MENYELESAIKAN
BIMBINGAN SKRIPSI**

Tahun Ajaran 2023/2024

Kami yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa,

Nama Mahasiswa : Putu Krisna Dipayana

NIM : 2315374006

Program Studi : Program Studi Sarjana Terapan Teknik Otomasi

**Judul Skripsi : Analisis Teknis dan Ekonomis Perencanaan PLTS Rooftop On-Grid
Di PT Intan Pratama Teknik**

telah menyelesaikan bimbingan skripsi dan untuk selanjutnya dapat meneruskan ke seminar hasil dan sidang skripsi.

Demikian pernyataan ini dibuat untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Bukit Jimbaran, ²²..... 2024

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1:

(Ni Made Karmiathi, S.T., M.T.)

NIP. 197111221998022001

Dosen Pembimbing 2:

(Dr. Ir. I Wayan Jondra, M.Si.)

NIP. 196807061994031003

Diketahui Oleh:

Koordinator Program Studi Teknik Otomasi

(Putri Alit Widyastuti Santiary, ST., MT.)

NIP. 197405172000122001

Hi-MO **5_m**

LR5-72HPH 535~555M

- Based on M10-182mm wafer, best choice for ultra-large power plants
- Advanced module technology delivers superior module efficiency
 - M10 Gallium-doped Wafer
 - Smart Soldering
 - 9-busbar Half-cut Cell
- Excellent outdoor power generation performance
- High module quality ensures long-term reliability

12

12-year Warranty for Materials and Processing

25

25-year Warranty for Extra Linear Power Output

Complete System and Product Certifications

IEC 61215, IEC 61730, UL 61730

ISO9001:2015: ISO Quality Management System

ISO14001: 2015: ISO Environment Management System

ISO45001: 2018: Occupational Health and Safety

TS62941: Guideline for module design qualification and type approval

LONGI



21.7%
MAX MODULE
EFFICIENCY

0~3%
POWER
TOLERANCE

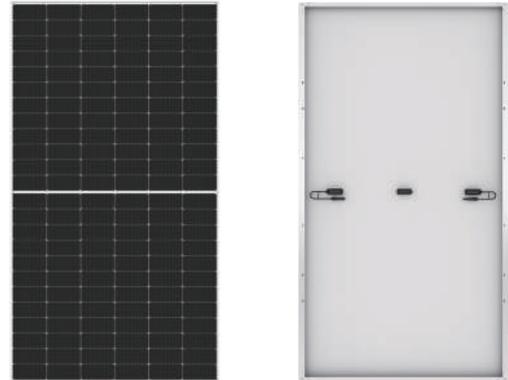
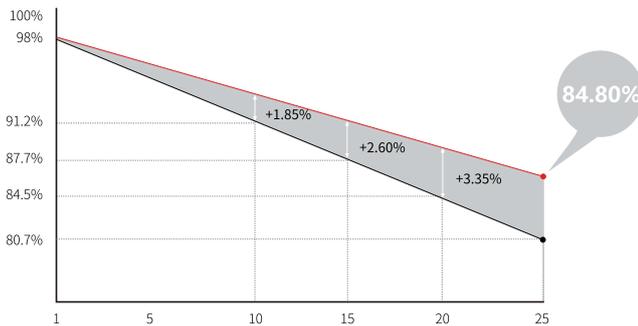
<2%
FIRST YEAR
POWER DEGRADATION

0.55%
YEAR 2-25
POWER DEGRADATION

HALF-CELL
Lower operating temperature

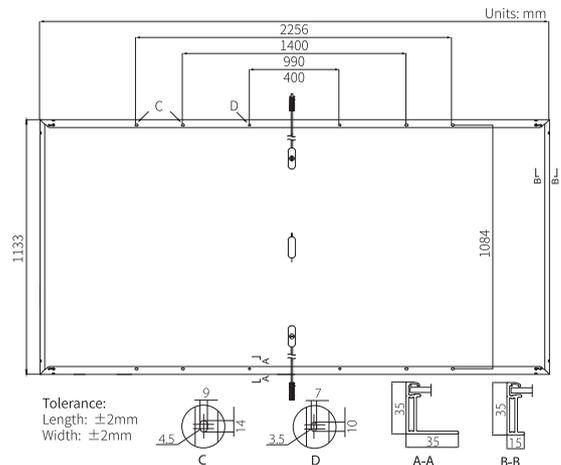
Additional Value

25-Year Power Warranty



Mechanical Parameters

Cell Orientation	144 (6×24)
Junction Box	IP68, three diodes
Output Cable	4mm ² , +400, -200mm/±1400mm length can be customized
Glass	Single glass, 3.2mm coated tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Weight	27.2kg
Dimension	2256×1133×35mm
Packaging	31pcs per pallet / 155pcs per 20' GP / 620pcs per 40' HC



Electrical Characteristics

STC : AM1.5 1000W/m² 25°C NOCT : AM1.5 800W/m² 20°C 1m/s Test uncertainty for Pmax: ±3%

Module Type	LR5-72HPH-535M		LR5-72HPH-540M		LR5-72HPH-545M		LR5-72HPH-550M		LR5-72HPH-555M	
	STC	NOCT								
Maximum Power (Pmax/W)	535	399.9	540	403.6	545	407.4	550	411.1	555	414.8
Open Circuit Voltage (Voc/V)	49.35	46.40	49.50	46.54	49.65	46.68	49.80	46.82	49.95	46.97
Short Circuit Current (Isc/A)	13.78	11.14	13.85	11.20	13.92	11.25	13.98	11.31	14.04	11.35
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	41.50	38.55	41.65	38.69	41.80	38.83	41.95	38.97	42.10	39.11
Current at Maximum Power (Imp/A)	12.90	10.38	12.97	10.43	13.04	10.49	13.12	10.56	13.19	10.61
Module Efficiency(%)	20.9		21.1		21.3		21.5		21.7	

Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ 3%
Voc and Isc Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	25A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type 1 or 2 IEC Class C

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of Isc	+0.050%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.265%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.340%/°C

MIN 2500~6000 TL-X

- Maximum efficiency 98.4%
- Dual MPP trackers
- Type II SPD on DC side
- Supports export control
- Touch key and OLED display
- Data storage up to 25 years



P O W E R
- I N G O
T O M O -
R R O W O

GROWATT

www.ginverter.com

Datasheet	MIN 2500TL-X	MIN 3000TL-X	MIN 3600TL-X	MIN 4200TL-X	MIN 4600TL-X	MIN 5000TL-X	MIN 6000TL-X
Input Data (DC)							
Max. recommended PV power (for module STC)	3500W	4200W	5040W	5880W	6440W	7000W	8100W
Max. DC voltage	500V	500V	550V	550V	550V	550V	550V
Start voltage	100V						
Nominal voltage	360V						
MPP voltage range	80V-500V	80V-500V	80V-550V	80V-550V	80V-550V	80V-550V	80V-550V
No. of MPP trackers	2						
No. of PV strings per MPP tracker	1						
Max. input current per MPP tracker	13.5A*						
Max. short-circuit current per MPP tracker	16.9A						
Output data (AC)							
AC nominal power	2500W	3000W	3600W	4200W	4600W	5000W	6000W
Max. AC apparent power	2500VA	3000VA	3600VA	4200VA	4600VA	5000VA	6000VA
Nominal AC voltage (range*)	230V (180-280V)						
AC grid frequency (range*)	50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)						
Max. output current	11.3A	13.6A	16A	19A	20.9A	22.7A	27.2A
Adjustable power factor	0.8leading...0.8lagging						
THDi	<3%						
AC grid connection type	Single phase						
Efficiency							
Max. efficiency	98.2%	98.2%	98.2%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%
European efficiency	97.1%	97.1%	97.2%	97.5%	97.5%	97.5%	97.5%
MPPT efficiency	99.9%						
Protection Devices							
DC reverse polarity protection	yes						
DC switch	yes						
AC/DC surge protection	Type III / Type II						
Insulation resistance monitoring	yes						
AC short-circuit protection	yes						
Ground fault monitoring	yes						
Grid monitoring	yes						
Anti-islanding protection	yes						
Residual-current monitoring unit	yes						
AFCI protection	Optional						
General Data							
Dimensions (W / H / D)	375/350/160mm						
Weight	10.8kg						
Operating temperature range	-25°C ... +60°C						
Noise emission (typical)	≤35 dB(A)						
Nighttime power consumption	< 1W						
Topology	Transformerless						
Cooling	Natural convection						
Protection degree	IP65						
Relative humidity	0-100%						
Altitude	4000m						
DC connection	H4/MC4(Optional)						
AC connection	Connector						
Display	OLED+LED/WIFI+APP						
Interfaces: RS485 / USB/WI-FI/ GPRS/ RF/LAN	Yes/Yes/Optional/Optional/Optional /Optional						
Warranty: 5 years / 10 years	Yes /Optional						
CE, IEC62109, VDE0126-1-1, AS4777, AS/NZS 3100, VDE-AR-N4105, CQC, IEC61683, IEC60068, IEC61727, IEC62116, INMETRO							

* Only the latest version with max. input current 13.5A per MPP tracker, for details please contact Growatt.

* The AC voltage and frequency range may vary depending on specific country grid standard. All specifications are subject to change without notice.