

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)
HYBRID PADA KOMPLEKS PERUMAHAN CITRALAND MAKASSAR**



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan diploma empat
(D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

ILHAM AKBAR

44222235

MUHAMMAD ASWAR

44222252

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR

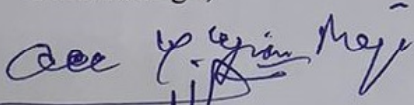
2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **Perencanaan Pembangkit Listrik (PLTS) Hybrid Padda Kompleks Perumahan Citraland Makassar** oleh Ilham Akbar NIM 442 22 235 dan Muhammad Aswar NIM 442 22 252 dinyatakan layak untuk diujikan.


Makassar, September 2023

Pembimbing I,




Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19590826 198803 1 002

Pembimbing II,



Prof. Dr. Ir. Firman, M.T.
NIP. 19641231 19941231 1 028

Mengetahui

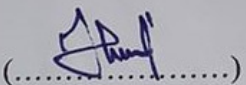



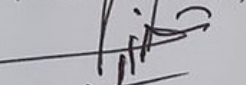



Ir. Chandra Buana, M.T.
NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, tim penguji seminar skripsi telah menerima hasil skripsi oleh mahasiswa Ilham Akbar 44222235 dan Muhammad Aswar 44222252 dengan judul **“PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) HYBRID PADA KOMPLEKS PERUMAHAN CITRALAND MAKASSAR”**

Makassar, September 2023

- | | | |
|---|---------------|--|
| 1. Prof.Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. | Ketua | 
(.....) |
| 2. Ir. Herman, M.T. | Sekretaris | 
(.....) |
| 3. Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T.,
M.Eng.Sc.,Ph.D. | Anggota I | 
(.....) |
| 4. Muh. Yusuf Yunus, S.ST,M.T. | Anggota II | 
(.....) |
| 5. Prof. Ir. Suryanto, M,Sc. Ph.D. | Pembimbing I | 
(.....) |
| 6. Prof. Dr. Ir. Firman, M.T. | Pembimbing II | 
(.....) |

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya, penulis skripsi ini yang berjudul **“Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Hybrid Pada Kompleks Perumahan Citraland Makassar”** dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
2. Bapak Dr. Ir. Syahrudin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Ir. Chandra Bhuana, M.T. selaku Ketua Program Studi D-4 Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Prof. Ir. Suryanto, M.Sc. Ph.D. sebagai pembimbing I dan Prof. Dr. Ir. Firman, M.T. sebagai pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatan untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Pihak Klien yang senantiasa membantu dan memudahkan sehingga kegiatan bisa terlaksana dengan baik.

6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin dan Seluruh Staf Politeknik Negeri Ujung Pandang.
7. Kedua orang tua, dan saudara yang tak kenal lelah memberikan doa dan dukungan baik moril maupun materil.
8. Teman-teman RPL D-4 Teknik Pembangkit Energi angkatan 2023.
9. Diri saya sendiri yang sudah berusaha untuk tidak menyerah dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Semua pihak yang terkait dalam penyelesaian skripsi ini.

Tiada lain harapan penulis, semoga Allah SWT membalas segala niat baik pada semua pihak yang terkait dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna dan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini dan demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembacanya.

Makassar, September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Persetujuan	ii
Halaman Penerimaan	iii
Kata Pengantar	iv
DAFTAR ISI.....	vi
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel.....	xii
Surat Pernyataan	xiii
Surat Pernyataan	xiv
Ringkasan	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Gambaran Umum PLTS.....	7
2.2 PLTS <i>Hybrid</i>	9
2.3 Standar dan Peraturan Instalasi PLTS Atap Sistem <i>Hybrid</i>.....	10
2.4 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Panel Surya.....	11
2.4.1 Radiasi Matahari	11
2.4.2 Sudut Kemiringan Modul Surya	12
2.4.3 Temperatur	13
2.4.4 Bayangan / Shading.....	14
2.5 Komponen PLTS <i>Hybrid</i>	15
2.5.1 Modul Surya.....	15
2.5.2 Solar Charge Controller	16
2.5.3 Inverter	17
2.5.4 Baterai	18
2.5.5 Penyangga Modul (<i>Support Modul</i>).....	19
2.6 Perhitungan PLTS	21

2.6.1 Perhitungan Luas Array Panel Surya	21
2.6.2 Menentukan Jumlah Panel Surya	22
2.6.3 Perhitungan Kapasitas Inverter	23
2.6.4 Perhitungan Jumlah dan Kapasitas Baterai	24
2.6.5 Perhitungan Energi yang Dihasilkan PLTS	25
2.7 Automatic Transfer Switch (ATS)	26
2.8 Studi Aspek Ekonomi	27
2.8.1 Biaya Siklus Hidup (<i>Life Cycle Cost</i>)	27
2.8.2 Biaya Investasi (<i>Capital Cost</i>)	27
2.8.3 Biaya Pemeliharaan dan Operasional	27
2.8.4 Net Present Cost (NPC)	29
2.8.5 Faktor Diskonto	29
2.8.6 Biaya Energi (<i>Cost of Energi</i>)	30
2.9 Studi Aspek Kelayakan	31
2.9.1 Net Present Value (NPV)	31
2.9.2 Internal Rate of Return	32
2.9.3 Profitability Index (PI)	33
2.9.4 <i>Payback Period</i> (PBP)	33
2.10 <i>Software</i> PVsyst	34
2.11 Manajemen Resiko	35
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	37
3.1.1 Tempat Penelitian	37
3.1.2 Waktu Penelitian	38
3.2 Alat dan Bahan	39
3.2.1 Alat	39
3.2.2 Bahan	39
3.3 Prosedur Langkah Kerja	39
3.3.1 Pengumpulan Data	41
3.4 Jenis Penelitian	41
3.5 Blok Sistem	42

3.6 Pengumpulan Data	44
3.6.1 Observasi.....	44
3.6.2 Studi Dokumentasi	44
3.6.3 Studi Beban	44

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Menentukan Lokasi Daerah Perencanaan PLTS <i>Hybrid</i>	45
4.2 Profil Beban Energi Listrik	46
4.3 Data Iklim.....	48
4.3.1 Data Intensitas Radiasi Matahari	49
4.3.2 Suhu	50
4.3.3 Tutupan Awan.....	52
4.3.4 Curah Hujan	53
4.4 Perhitungan Kapasitas Komponen PLTS.....	54
4.4.1 Menghitung Besar Energi yang akan Dibangkitkan	54
4.4.2 Menentukan Besaran Daya yang bisa Dibangkitkan	55
4.4.3 Memnghitung Jumlah Panel Terpasang.....	55
4.4.4 Penyusunan Array Panel Surya.....	56
4.4.5 Produksi Energi Listrik Tahunan	57
4.4.6 Faktor Temperatur dan Faktor Koreksi Temperatur	58
4.4.7 Menghitung Luas Array Panel	59
4.4.8 Menentukan Kapasitas dan Spesifikasi Inverter	60
4.4.9 Menghitung Kapasitas Baterai	60
4.5 Menentukan Komponen	61
4.5.1 Modul Surya.....	62
4.5.2 Inverter	64
4.5.3 Baterai	68
4.6 Pengkabelan.....	69
4.7 Diagram Blok Sistem	72

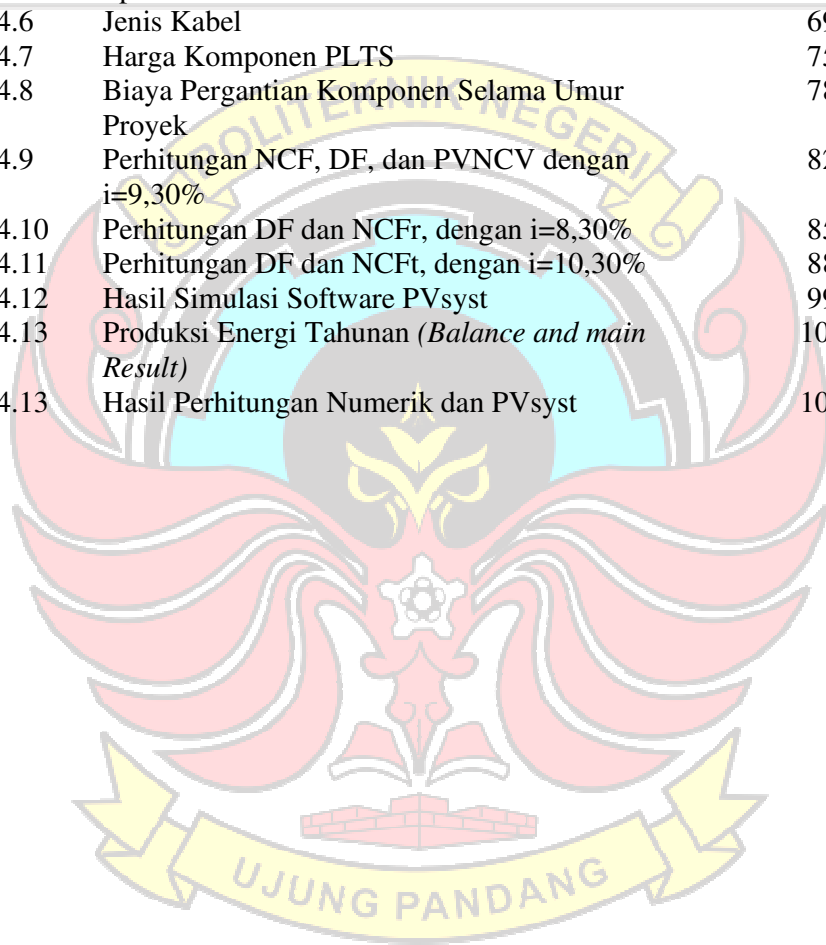
4.8 <i>Single Line Diagram</i>	73
4.9 Analisa Ekonomi	74
4.9.1 Menghitung Biaya Investasi PLTS	77
4.9.2 Menghitung Biaya.....	78
4.9.3 Menghitung Biaya Siklus Hidup.....	79
4.9.4 Analisis Kelayakan Investasi PLTS	85
4.10 Teknis Perencanaan PLTS Menggunakan PVsyst	90
4.10.1 Simulasi PVsyst	90
4.10.2 Hasil Simulasi PVsyst.....	99
4.11 Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik dan PVsyst.....	106
4.12 Manajemen Resiko	108
4.13 Desain Layout 3D	109
BAB IV PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	112
5.2 Saran.....	113
DAFTAR PUSTAKA	xvi
LAMPIRAN 1 DATA BEBAN.....	117
LAMPIRAN 2 SPESIFIKASI BATERAI.....	118
LAMPIRAN 3 SPESIFIKASI INVERTER.....	119
LAMPIRAN 4 SPESIFIKASI PANEL SURYA	120
LAMPIRAN 5 TINGKAT SUKU BUNGA	121
LAMPIRAN 6 SPESIFIKASI SPD	122
LAMPIRAN 7 HARGA LISTRIK PLN.....	123
LAMPIRAN 8 TINGKAT INFLASI.....	124

Daftar Gambar

	hal.
Gambar 2.1 Skema PLTS <i>Hybrid</i>	10
Gambar 2.2 Modul Surya Jenis <i>Monocrystalline & Polychristalline</i>	16
Gambar 2.3 <i>Solar Charge Controller</i>	17
Gambar 2.4 <i>Smart Solar Inverter</i>	18
Gambar 2.5 Baterai	19
Gambar 2.6 Contoh Aplikasi Rangka Panel Surya di Atap	20
Gambar 2.7 Jendela Tampilan Awal Aplikasi PVsyst 7.3	35
Gambar 3.1 Rumah Citraland Tallasa City Makassar	37
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian	40
Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem PLTS <i>Hybrid</i>	42
Gambar 4.1 Objek Perencanaan PLTS <i>Hybrid</i>	45
Gambar 4.2 Lokasi Lahan Perencanaan PLTS <i>Hybrid</i>	46
Gambar 4.3 Intensitas Radiasi Matahari	48
Gambar 4.4 Grafik Data Nilai Radiasi Dalam Setahun	49
Gambar 4.5 Suhu Rata-Rata Harian Tertinggi	51
Gambar 4.6 Suhu Rata-Rata Per Jam	52
Gambar 4.7 Persentase Waktu yang Dihilangkan di Setiap Pita Tutupan Awan	53
Gambar 4.8 Curah Hujan Rata-Rata	54
Gambar 4.9 Array Panel Surya	56
Gambar 4.10 Panel Surya	63
Gambar 4.11 Inverter	67
Gambar 4.12 Baterai	68
Gambar 4.13 Diagram Blok Sistem PLTS <i>Hybrid</i>	73
Gambar 4.14 <i>Single Line Diagram</i>	74
Gambar 4.15 Menu Utama PVsyst	90
Gambar 4.16 Menu Database	91
Gambar 4.17 Menu <i>Geographical Coordinate</i>	92
Gambar 4.18 Menu Varian	92
Gambar 4.19 Menu <i>Orientation</i>	93
Gambar 4.20 Menu Penentuan PV Modul dan Inverter	94
Gambar 4.21 Menu Penentuan Baterai	95
Gambar 4.22 Menu <i>Economic Evaluation</i>	96
Gambar 4.23 Menu <i>Financial Report</i>	97
Gambar 4.24 Grafik <i>Normalize Production</i>	98
Gambar 4.25 <i>Losses Diagram</i>	104
Gambar 4.26 <i>Cost of the System</i>	105
Gambar 4.27 Hasil <i>Financial Analysis</i>	110
Gambar 4.28 Tampak Depan Rumah	110
Gambar 4.29 3D Tampak Atas Rumah	111
Gambar 4.30 3D Tampak Samping Rumah	111

Daftar Tabel

	hal.
Tabel 3.1	Batas Waktu Kegiatan 38
Tabel 4.1	Estimasi Pemakaian Beban 47
Tabel 4.2	Tegangan Baterai yang Disupport oleh Inverter 61
Tabel 4.3	Spesifikasi Panel Surya 64
Tabel 4.4	Spesifikasi Inverter 67
Tabel 4.5	Spesifikasi Baterai 69
Tabel 4.6	Jenis Kabel 69
Tabel 4.7	Harga Komponen PLTS 75
Tabel 4.8	Biaya Pergantian Komponen Selama Umur Proyek 78
Tabel 4.9	Perhitungan NCF, DF, dan PVNCV dengan $i=9,30\%$ 82
Tabel 4.10	Perhitungan DF dan NCFr, dengan $i=8,30\%$ 85
Tabel 4.11	Perhitungan DF dan NCFt, dengan $i=10,30\%$ 88
Tabel 4.12	Hasil Simulasi Software PVsyst 99
Tabel 4.13	Produksi Energi Tahunan (<i>Balance and main Result</i>) 103
Tabel 4.13	Hasil Perhitungan Numerik dan PVsyst 107



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ilham Akbar

NIM : 44222235

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini, yang berjudul **“PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) HYBRID PADA KOMPLEKS PERUM,AHAN CITRALAND MAKASSAR”** merupakan gagasan, hasil karya saya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka skripsi ini.

Jika pernyataan saya diatas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September

2023

Ilham Akbar
44222235

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Aswar

NIM : 44222252

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini, yang berjudul **“PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) HYBRID PADA KOMPLEKS PERUMAHAN CITRALAND MAKASSAR”** merupakan gagasan, hasil karya saya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka skripsi ini.

Jika pernyataan saya diatas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September

2023

Muhammad Aswar
44222252

PERENCANAAN PLTS *HYBRID* PADA PERUMAHAN CITRALAND TALLASA CITY

RINGKASAN

Pemerintah Indonesia mengharapkan agar segenap komponen Masyarakat (swasta, kampus, pemerintah daerah, dan berbagai kelompok Masyarakat) untuk berpartisipasi dalam mendukung program kebijakan energi nasional. Salah satunya adalah program pengembangan PLTS Atap, baik pada sektor rumah tangga, ekowisata, sektor industri, maupun komersial dan sosial. KESDM menerangkan bahwa potensi PLTS Atap yang masih bisa dikembangkan di Indonesia mencapai 32,5 GW. Dengan adanya PLTS Atap, diharapkan biaya untuk pengadaan lahan PLTS dapat dikurangi, beriringan dengan program pemerintah untuk implementasi PLTS Atap yang ditargetkan mencapai 3,61 GW pada tahun 2025 yang juga sekaligus berpotensi mengurangi biaya bahan bakar per-unit kWh sebesar Rp.7,42 kWh dengan nilai rupiah gas total yang dapat dihemat sebesar Rp4,12 triliun per tahun.

Tujuan yang ingin dicapai pada proyek perencanaan ini yaitu merencanakan dan mendesain PLTS Atap sistem hybrid berdasarkan data konstruksi atap dan klimatologi Perumahan Citraland Makassar, mampu menentukan spesifikasi panel surya, spesifikasi inverter, serta sistem penyimpanan energi, serta menghitung dan menganalisis estimasi biaya dan kelayakan investasi. Perencanaan ini melakukan pengumpulan data metode observasi dan wawancara klien, sedangkan dalam penyajiannya menggunakan metode analisis deskriptif dengan perhitungan berdasarkan teori dan simulasi menggunakan PVsyst.

Berdasarkan hasil perhitungan numerik dan uji simulasi menggunakan software PVSyst pada perencanaan PLTS Hybrid rumah tinggal yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Panel surya yang digunakan yaitu jenis polycrystalline model CS3U-350P HE dengan pabrikan CSI Solar sebanyak 8 unit, konfigurasi panel surya terdiri dari 2 array yang terpasang secara 8 seri dan 4 Paralel. Inverter hybrid model SVP- 4kW pabrikan SAKO sebanyak 1 unit dengan kapasitas 4kW yang telah dilengkapi dengan PWM, SCC, dan ATS. Baterai yang digunakan yaitu baterai jenis LifePO4 dengan spesifikasi 24V 200Ah sebanyak 3 unit.

Biaya investasi awal yang digunakan untuk mengimplementasikan PLTS pada rumah tinggal yang terletak di Perumahan Citraland Tallasa City yaitu sebesar Rp 45.722.180, maka diperoleh payback priode dan IRR: Perhitungan Numerik , DPP= 5 tahun 1 bulan dan IRR = 16,79%. Simulasi PVSyst = 8 tahun 1 bulan dan IRR = 16,91% Dari hasil yang diperoleh pada perhitungan numerik, simulasi PVSyst maka dapat disimpulkan bahwa untuk mengimplementasikan PLTS dengan kebutuhan energi harian 17,325 kWh dinyatakan layak untuk dilaksanakan.

Kata Kunci : PLTS Atap, Inverter, Fotovoltaik, Baterai, Payback Period, IRR, PVsyst

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tanggal 23 April 2016, mewakili Presiden Joko Widodo, Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Dr. Siti Nurbaya menandatangani perjanjian Paris tentang perubahan iklim yang berlangsung di New York, Amerika Serikat. Perjanjian Paris merupakan kesepakatan global untuk menghadapi perubahan iklim. Indonesia menjadi salah satu dari 55 negara pertama yang melakukan ratifikasi sekaligus menegaskan komitmennya untuk mengurangi emisi secara signifikan dengan memaksimalkan pemanfaatan lahan, pertumbuhan ekonomi hijau dan kebijakan *Net Zero Emission* Indonesia 2060.

Pada sektor energi, pemerintah telah menerapkan kebijakan penggunaan bauran energi, dan mengembangkan sumber energi bersih sebagai arahan kebijakan nasional. Hal ini diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, dimana ditetapkan energi baru dan terbarukan paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan paling sedikit 31% pada tahun 2050. Penggunaan energi yang bersumber dari minyak bumi harus kurang dari 25% pada tahun 2025 dan kurang dari 20% pada tahun 2050. Batu bara minimal 30% pada tahun 2025 dan minimum 25% pada tahun 2050, dan gas minimal 22% pada 2025 dan minimum 24% pada tahun 2050.

Pemerintah Indonesia mengharapkan agar segenap komponen Masyarakat (swasta, kampus, pemerintah daerah, dan berbagai kelompok Masyarakat) untuk berpartisipasi dalam mendukung program kebijakan energi

nasional. Salah satunya adalah program pengembangan PLTS Atap, baik pada sektor rumah tangga, ekowisata, sektor industri, maupun komersial dan sosial. PLTS Atap adalah proses pembangkitan tenaga listrik menggunakan modul fotovoltaik, yang diletakkan di atap, dinding, atau bagian lain dari bangunan milik pelanggan PLN (Peraturan Menteri ESDM No.49 tahun 2018. Permen No.13 tahun 2019. Permen No.16 tahun 2019).

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menerangkan bahwa potensi PLTS Atap yang masih bisa dikembangkan di Indonesia mencapai 32,5 GW (SEI, 2022). Sektor rumah tangga mengambil potensi paling banyak yakni sebesar 19,8 GW, lalu diikuti sektor bisnis 5,9 GW, sektor industri 1,9 GW, dan sektor pemerintah sebesar 0,3 GW (SEI, 2022).

Direktur Aneka Energi terbaru Kementerian ESDM Andriah Feby Misna mengatakan pemanfaatan atap sebagai penempatan PLTS menjadi solusi untuk pembangunan PLTS yang biasanya memakan lahan cukup luas. Dengan adanya PLTS Atap, Andriah berharap biaya untuk pengadaan lahan PLTS dapat dikurangi, beriringan dengan program pemerintah untuk implementasi PLTS Atap yang ditargetkan mencapai 3,61 GW pada tahun 2025 yang juga sekaligus berpotensi mengurangi biaya bahan bakar per-unit kWh sebesar Rp.7,42 kWh dengan nilai rupiah gas total yang dapat dihemat sebesar Rp4,12 triliun per tahun.

Kebijakan PLTS juga berpihak kepada masyarakat luas, karena mengoptimalkan penghematan tagihan listrik bulanan dengan kapasitas terpasang sesuai daya langganan. Memasang PLTS atap berarti memiliki sumber

energi listrik selain listrik PLN, karena kebutuhan listrik dipenuhi oleh dua sumber, maka dengan memasang PLTS dapat membantu mengurangi tagihan listrik bulanan dari PLN. Selain itu, dengan memasang PLTS atap, pelanggan akan berkontribusi dalam pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya energi terbarukan, mengingat sumber daya energi fosil Indonesia diperkirakan akan habis pada 2030 (ESDM, 2018), maka menyegerakan untuk beralih ke energi terbarukan menjadi langkah strategis untuk ketahanan energi nasional. Pemanfaatan PLTS juga tidak menyumbang gas rumah kaca yang dapat meningkatkan suhu permukaan bumi, maka secara tidak langsung pemasangan PLTS telah berkontribusi mengurangi dampak perubahan iklim.

Berdasarkan uraian diatas, dalam rangka mewujudkan program pemerintah untuk mengurangi jejak karbon dan mencapai kondisi *Net Zero Emission* pada tahun 2060, pemerintah menerapkan lima prinsip utama, diantaranya yaitu peningkatan pemanfaatan listrik rumah tangga serta pengurangan energi fosil (KESDM, 2022). Maka, skripsi ini dibuat dalam bentuk Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Hybrid* pada Kompleks Perumahan Citraland Makassar. Perencanaan ini membatasi hanya pada satu unit rumah untuk dijadikan sebagai objek perancangan. Desain PLTS ini dilakukan dengan cara mengkombinasikan (*Hybrid*) dengan listrik PLN.

Perumahan Citraland Makassar merupakan proyek pengembangan properti seluas 120 hektar, dengan potensi iradiasi cahaya matahari tahunan sebesar 1871.2 kWh/m²/yr dan rata-rata temperatur harian 27.1°C (Meteonorm, Tallasa City (2010-2014)). Disamping itu, atap unit perumahan yang dijadikan

sampel perencanaan mempunyai luas atap sekitar 42 m² serta tidak memiliki gangguan berupa bayangan pohon maupun bayangan bangunan lain, sehingga sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai media pemasangan PLTS.

Pada penelitian ini akan menggunakan aplikasi PVsyst, yang merupakan paket perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisa data dari sistem PLTS secara lengkap. Alat desain yang berguna untuk desain dan estimasi sistem PLTS. Mensimulasikan sebagian besar parameter yang diperlukan oleh perancang sistem PLTS dan membantu menghasilkan laporan simulasi yang komprehensif. Beberapa variabel dalam penelitian ini meliputi radiasi matahari, spesifikasi baterai, spesifikasi panel surya, jumlah panel, kapasitas inverter, energi yang dibutuhkan beban, dan kelayakan ekonomi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun pokok pembahasan masalah yang akan dibahas pada skripsi ini adalah:

1. Bagaimana mendesain PLTS Atap sistem *Hybrid* berdasarkan data konstruksi atap dan kondisi klimatologi Perumahan Citraland Makassar ?
2. Bagaimana merencanakan spesifikasi panel surya, spesifikasi inverter, serta sistem penyimpanan energi ?
3. Bagaimana perhitungan dan analisis estimasi biaya dan kelayakan investasi?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari proyek capstone ini, sebagai berikut :

1. Pembuatan desain PLTS Atap dengan sistem *Hybrid* hanya untuk satu unit rumah pada perumahan Citraland Makassar, dengan total beban energi harian rata-rata adalah 8.491 kWh.
2. Data iradiasi, temperature, dan kecepatan angin diambil dari software *meteonorm*.
3. Perencanaan menggunakan aplikasi pendukung yaitu PVsyst
4. Perhitungan dan analisis perkiraan biaya menggunakan metode ekonomi Teknik untuk mengetahui kelayakan proyek.
5. Tidak termasuk pengerjaan konstruksi PLTS atap.

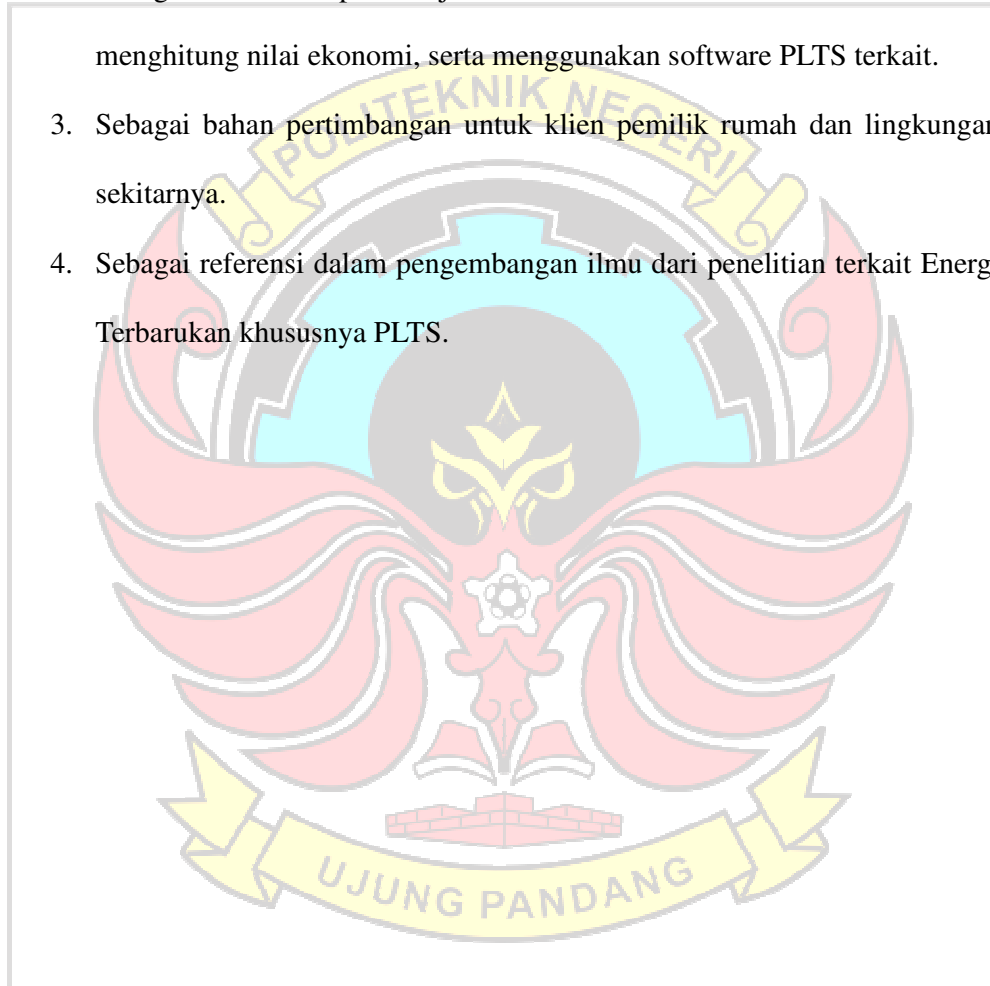
1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai antara lain:

1. Merencanakan dan mendesain PLTS Atap sistem *Hybrid* berdasarkan konstruksi atap dan data klimatologi Perumahan Citraland Makassar.
2. Menentukan spesifikasi panel surya, spesifikasi inverter, serta sistem penyimpanan energi.
3. Menghitung dan menganalisis estimasi biaya dan kelayakan investasi.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai bentuk kontribusi dalam program pengurangan emisi gas rumah kaca menuju NZE 2060 dan bentuk dukungan terhadap program Ketahanan Energi Nasional.
2. Sebagai media pembelajaran mahasiswa dalam merencanakan, menghitung nilai ekonomi, serta menggunakan software PLTS terkait.
3. Sebagai bahan pertimbangan untuk klien pemilik rumah dan lingkungan sekitarnya.
4. Sebagai referensi dalam pengembangan ilmu dari penelitian terkait Energi Terbarukan khususnya PLTS.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum PLTS

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber energi baru terbarukan, yaitu energi surya. Pengertian dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu pembangkit mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (Direct Current), yang dapat diubah menjadi listrik AC (Alternating Current). PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya yang dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik mulai dari skala kecil maupun skala besar, baik secara mandiri maupun secara hibrida (Alamsyah dkk., 2019).

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

Terdapat 2 (dua) sistem utama pembangkit listrik PV adalah pada sistem on grid dan off grid, meskipun ada jenis sistem lain yang merupakan sistem hibrida (*Hybrid*) yang secara harfiah menggabungkan sistem on dan off grid

sebagai sebuah kesatuan sistem PLTS. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah ketika cahaya bersentuhan dengan sel surya dan diserap oleh bahan semikonduktor, terjadi pelepasan elektron. Apabila elektron tersebut bisa menempuh perjalanan menuju bahan semi-konduktor pada lapisan yang berbeda, terjadi perubahan sigma gaya-gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semikonduktor, menyebabkan aliran medan listrik. Dan menyebabkan elektron dapat disalurkan ke saluran awal dan akhir untuk digunakan pada perabot listrik.

Panel surya itu letakkan dengan posisi statis menghadap matahari. Karena matahari bergerak membentuk sudut selalu berubah, maka dengan posisi panel surya itu yang statis itu tidak akan diperoleh energi listrik yang optimal. Agar dapat terserap secara maksimum, maka sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya. Jadi, untuk mendapatkan energi listrik yang optimal, sistem sel surya itu masih harus dilengkapi pula dengan rangkaian kontroler optional untuk mengatur arah permukaan panel surya agar selalu menghadap matahari sedemikian rupa sehingga sinar matahari jatuh hampir tegak lurus pada panel suryanya.

Panel surya / solar cell sebagai komponen penting pembangkit listrik tenaga surya, mendapatkan tenaga listrik pada pagi sampai sore hari sepanjang ada sinar matahari. Umumnya kita menghitung maksimum sinar matahari yang diubah menjadi tenaga listrik sepanjang hari adalah 5 jam. Tenaga listrik pada pagi sampai sore disimpan dalam baterai, sehingga listrik dapat digunakan pada malam hari, dimana tanpa sinar matahari.

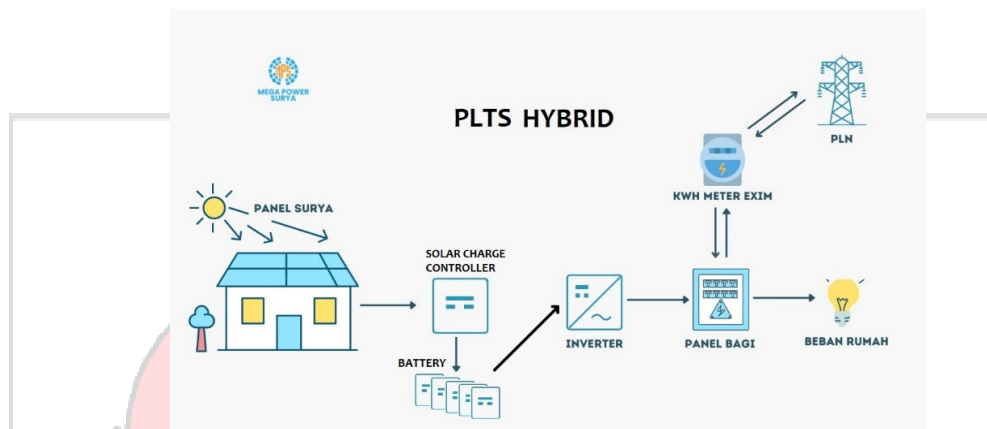
2.2 PLTS *Hybrid*

PLTS *Hybrid* merupakan pembangkit listrik yang menggabungkan sumber energi tenaga surya dengan dua atau lebih sumber energi lain (system pembangkit) untuk mendapatkan daya guna optimal dengan memadukan kelebihan dan menutupi kelemahan dari masing-masing sistem pembangkit.

Adapula yang mendefinisikan PLTS *Hybrid* adalah pembangkit listrik tenaga surya yang mengkombinasikan sistem pasokan energinya dengan baterai tenaga surya, jaringan PLN, dan genset. Singkatnya, PLTS *Hybrid* mengeliminasi semua kekurangan dari system on-grid dan offgrid, kemudian menggabungkan keunggulannya menjadi satu. Definisi sistem PLTS dengan teknologi *Hybrid* adalah jenis PLTS yang menggunakan teknologi *Hybrid* dimana sistem listrik yang dihasilkan panel surya dapat digabungkan dengan sumber listrik PLN yang diharapkan dapat memudahkan pengguna dalam mendapatkan dukungan sumber energi listrik optimal, dengan demikian kedua sistem ini akan saling menunjang ketika terjadi kekurangan daya listrik atau pemadaman (Fakhri, 2020).

Secara umum, prinsip operasi dari sistem PLTS terhubung ke jaringan listrik yang dikombinasikan dengan perangkat penyimpan daya (baterai) adalah sama dengan sistem PdaLTS terhubung ke jaringan listrik, tetapi mengatasi kekurangan dari sistem tersebut tanpa penyimpanan baterai dengan menggunakan inverter *Hybrid*. Pada kasus di mana sel surya tidak dapat menghasilkan listrik dan jaringan nasional mengalami masalah, listrik dari perangkat penyimpanan akan digunakan melalui inverter *Hybrid* untuk memasok perangkat beban yang diprioritaskan dan penting (Thanh, 2021). PLTS *Hybrid* sangat cocok untuk

memenuhi kebutuhan sumber energi listrik untuk perumahan, perkantoran dan bangunan lainnya.



Gambar 2.1 Skema PLTS Hybrid

2.3 Standar dan Peraturan Instalasi PLTS Atap Sistem Hybrid

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang biasa disebut Sistem PLTS Atap adalah proses pembangkitan tenaga listrik menggunakan modul fotovoltaik yang dipasang dan diletakkan pada atap, dinding, atau bagian lain dari bangunan milik pelanggan PLTS atap serta menyalurkan energi listrik melalui sistem sambungan listrik pelanggan PLTS atap (Bab I, Pasal 1). Sistem PLTS Atap meliputi modul surya, inverter, sambungan listrik, sistem pengamanan, dan Meter kWh Ekspor-Import. Sistem PLTS Atap dapat dilengkapi dengan baterai atau media penyimpanan energi listrik lainnya dengan tetap memenuhi ketentuan keselamatan ketenagalistrikan (Bab II, Pasal 3, Permen ESDM No. 26/2021).

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) kini Tengah merevisi Peraturan Menteri (Permen) ESDM No.26 tahun 2021. Adapun salah

satu poin penting yang diubah dalam peraturan ini yaitu terkait aturan ekspor kWh listrik. Pada Permen ESDM No.26/2021 ini, pengguna PLTS Atap bisa mengekspor kWh listrik hingga 100% dari kapasitas terpasang PLTS Atapnya. Maksudnya, pengguna PLTS Atap bisa menyalurkan listriknya ke jaringan milik PT PLN (Persero). Namun dalam revisi ini, nantinya pemakaian listrik dari PLTS Atap hanya bisa dimanfaatkan untuk kepentingan sendiri. Artinya, listrik yang dihasilkan oleh masyarakat dari PLTS Atap tidak bisa dialirkan atau diekspor kepada PT PLN (Persero).

Calon Pelanggan PLTS Atap harus mengajukan permohonan pembangunan dan pemasangan Sistem PLTS Atap kepada Pemegang IUPTLU (Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum) dengan tembusan kepada Dirjen EBTKE dan Dirjen Ketenagalistrikan sesuai dengan format peraturan menteri (Bab III, Pasal 7 Permen ESDM No. 26/2021).

2.4 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Panel Surya

2.4.1 Radiasi Matahari

Radiasi mempengaruhi variasi arus dan tegangan. Terdapat hubungan antara variasi pada radiasi dan variasi pada hubungan arus. Tegangan pada rangkaian terbuka tidak berubah secara drastis terhadap radiasi. Namun, bagaimanapun tetap terjadi sedikit peningkatan pada saat kenaikan radiasi. Semakin tinggi radiasi maka, semakin besar pula arus dan tegangan yang dihasilkan. Salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah radiasi yang sampai pada modul adalah terjadinya bayangan- bayangan yang dapat menghalangi

radiasi sampai kepada modul surya seperti bayangan pohon, bayangan awan, bayangan bangunan dan lain-lain (Hakim, 2020).

Intensitas penyinaran matahari mengacu pada jumlah energi yang diterima dari sinar matahari dalam bentuk radiasi pada suatu lokasi tertentu dalam satuan waktu tertentu. Semakin besar intensitas penyinaran matahari, maka semakin tinggi kinerja dari solar panel. Intensitas penyinaran matahari yang tinggi menyebabkan radiasi matahari yang tinggi, sehingga meningkatkan potensi energi yang dapat dihasilkan oleh panel surya.

2.4.2 Sudut Kemiringan Modul Surya

Sudut kemiringan memiliki dampak yang besar terhadap tingkat radiasi matahari yang diterima pada permukaan modul surya. Untuk sudut kemiringan tetap, daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan modul surya sama dengan lintang lokasi. Sistem pengaturan berfungsi untuk memberikan sebuah control dan pengaman dalam sistem PLTS sehingga sistem pembangkit tersebut dapat bekerja secara efisien dan optimal. Peralatan pengaturan pada sistem PLTS ini dapat dibuat secara manual, yaitu dengan cara selalu menempatkan kearah matahari. Dapat juga dibuat secara otomatis, mengingat sistem ini banyak dipergunakan untuk daerah terpencil yang dibuat dengan rangkaian elektronik. Tetapi jika ditinjau dari kepraktisan dan kemudahan perawatan, posisi pemasangan modul surya direkomendasikan secara tetap dengan sudut kemiringan tertentu.

Dalam menentukan arah dan sudut kemiringan dari modul surya seharusnya disesuaikan dengan letak geografis lokasi pemasangan modul surya tersebut. Penentuan ini berguna untuk membenarkan posisi penghadapan sebuah modul surya ke arah garis khatulistiwa. Pemasangan modul surya ke arah khatulistiwa dimaksudkan agar modul surya mendapatkan penyinaran yang optimal. Modul surya yang terpasang di khatulistiwa (lintang = 0°) diletakkan secara mendatar (*tiltangle* = 0°) akan menghasilkan energi maksimum (Hanif, dkk., 2012)

2.4.3 Temperatur

Kinerja sel surya dipengaruhi oleh suhu, jika semakin tinggi suhu sel maka akan semakin rendah produksi energinya. Sel surya dapat mencapai suhu tinggi ketika radiasi matahari berada pada titik terkuat di musim panas sekitar tengah hari yang mana suhu dapat mencapai 70°C . Panas yang hilang melalui bagian belakang modul dengan konveksi alami. Untuk alasan ini, penting untuk menghindari pemasangan sel surya dengan membatasi aliran udara dibawah modul. Sebagai aturan sederhana, kenaikan suhu sebesar 10°C akan menurunkan output daya yang efektif dari sistem modul surya sekitar 4% - 5% pada saat terjadi suhu yang tinggi, sel-sel surya yang beroperasi. Saat panas panel sel-sel surya meningkat, tegangan yang melintasi setiap sel akan jatuh dan Ketika tegangan menurun maka daya juga akan menurun (Hakim, 2020).

2.4.4 Bayangan/ *Shading*

Pemasangan modul surya juga mempertimbangkan bayangan yang menutupi permukaan modul surya. Lokasi terbaik adalah lokasi dengan kondisi yang terhindar dari objek penghalang pada modul surya yang dapat tertutupi oleh bayangan pepohonan, dedaunan yang jatuh, awan, bangunan tinggi maupun panel surya yang terpasang di dekatnya. Ketika modul tertutup oleh bayangan, maka sambungan P-N di dalam sel surya berhenti memproduksi energi dan menjadi beban pasif sehingga mengakibatkan penurunan kinerja. Sel ini berperilaku seperti sebuah diode yang memblokir arus yang diproduksi oleh sel-sel lainnya yang terhubung seri. Selain itu juga dapat menyebabkan panas berlebih dan kerusakan pada modul (Hakim, 2020).

2.4.5 Kebersihan Modul Surya

Faktor penting yang mempengaruhi besarnya foton yang diterima oleh sel surya adalah kebersihan modul surya. Hasil daya output dari modul surya yang dibersihkan lebih besar dibandingkan modul surya tidak dibersihkan, karena adanya debu dan kotoran pada permukaan modul, yang dapat mengurangi efisiensi penyerapan sinar matahari ke modul surya sehingga dapat mengurangi produksi energi.

2.5 Komponen PLTS Hybrid

2.5.1 Modul Surya

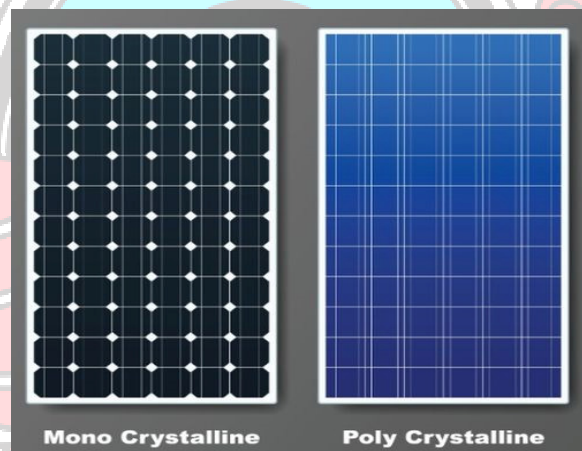
Modul surya merupakan komponen PLTS yang tersusun dari beberapa sel surya yang dirangkai sedemikian rupa, baik dirangkai seri maupun parallel dengan maksud dapat menghasilkan daya listrik tertentu dan disusun pada satu bingkai (frame) dan diberikan lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga disebut array. Modul surya yang terangkai seri dari sel-sel surya ditujukan untuk meningkatkan atau menggabungkan tegangan (VDC) yang dihasilkan setiap selnya. Sedangkan untuk arusnya dapat didesain sesuai kebutuhan dengan memperhatikan luar permukaan sel (Hakim, 2020). Berikut ini adalah jenis-jenis modul surya yang biasa digunakan adalah sebagai berikut (Fakhri, 2020):

1. Mono-crystalline

Modul surya jenis mono-crystalline ini terbuat dari silikon kristal tunggal. Dapat ditemukan secara alami, namun sangat jarang atau juga dapat tumbuh dibuat di laboratorium. Proses ini dinamakan dengan recrystallising, sehingga pembuatan dan harga dari modul jenis ini sangat mahal. Panel dari modul mono-crystalline ini lebih halus dibandingkan jenis poly-crystalline. Pada panel mono-crystalline memiliki efisiensi sebesar 15% pada suhu 250C dan menurun menjadi 12–15 % pada suhu 500C. Kelemahan dari jenis ini yakni tidak berfungsi dengan baik ditempat yang intensitas cahaya matahari kurang (bergantung dengan cuaca).

2. Poly-crystalline

Modul surya jenis poly-crystalline adalah jenis modul surya yang terbuat dari kristal silikon block-cast. Elektron yang ada akan terjebak dalam batas butir kristal individu dalam panel poly-crystalline, hal ini menyebabkan efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan mono-crystalline. Efisiensi yang dimiliki oleh modul jenis ini hanya berkisar 13,5% pada suhu 250C dan dapat mengalami penurunan hingga 15-25% pada suhu 500C. Tipe ini yang digunakan pada perancangan PLTS berbasis *Hybrid* dikarenakan jenis ini masih dapat menghasilkan daya listrik meskipun cuaca berawan maupun mendung.



Gambar 2.2 Modul Surya Jenis *Monocrystalline* & *Polycrystalline*

(Sumber: Sanspower)

2.5.2 Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charger Controller adalah salah satu komponen PLTS yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Solar charge controller mengatur over charging (kelebihan pengisian karena baterai sudah penuh). Solar *charger controller* juga digunakan

untuk melindungi baterai saat melakukan pengisian untuk menghindari arus berlebihan yang mengalir masuk ke baterai. Solar *charger controller* biasanya dilengkapi dengan enam terminal yang terdiri dari satu pasang terminal output input dari panel surya, satu pasang terminal output input terhubung ke baterai, dan 1 pasang terminal output input yang diteruskan ke beban (Mahesa, dkk.,2021).

Oleh karena itu peran SCC dalam sistem PLTS sangatlah penting, khususnya off grid yang menempatkan baterai sebagai backup satu-satunya saat malam tiba. Agar dapat memperoleh produksi solar panel yang maksimal maka diperlukan SCC yang handal sesuai dengan kebutuhan sistem. Ada beberapa pilihan SCC, diantaranya SCC tipe PWM dan tipe MPPT.



Gambar 2.3 Solar Charge Controller (Sumber: Tokopedia)

2.5.3 Inverter

Inverter merupakan peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan frekuensi 50/60 Hz. Pada PLTS, inverter satu phase (L-N) biasanya digunakan untuk sistem dengan beban yang kecil sedangkan untuk inverter tiga phase (R-S-T) digunakan untuk sistem dengan beban yang besar

maupun sistem yang terhubung dengan jaringan PLN (grid-connected). Agar gelombang yang dihasilkan berbentuk sinusoidal, teknik yang digunakan adalah pulse width modulation (PWM). Teknik PWM ini memungkinkan suatu pengaturan untuk menghasilkan frekuensi yang baik sesuai dengan nilai rms dari bentuk gelombang keluaran (Silaban, dkk., 2021).

Berdasarkan bentuk gelombang inverter dibagi menjadi empat yaitu:

1. *Square sine wave inverter*
2. *Modifies sine wave inverter*
3. *Pure sine wave inverter*
4. *Smart solar inverter*



Gambar 2.4 *Smart Solar Inverter* (Sumber: Citraweb.com)

2.5.4 Baterai

Baterai merupakan sebuah komponen yang digunakan pada sistem PLTS dengan fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya. Energi listrik yang disimpan pada baterai ditujukan sebagai sumber cadangan ketika modul surya sedang tidak menghasilkan energi listrik seperti pada saat malam hari dan cuaca mendung. Satuan kapasitas energi yang dihasilkan pada

baterai adalah ampere hour (Ah), dengan maksud arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam. Proses pengosongan baterai (discharge) tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimum karena akan mempegaruhi usia pakai (life time) dari baterai tersebut. Batas pengosongan dari baterai tersebut dengan depth of discharge (DOD) yang dinyatakan dalam satuan persen. Suatu baterai memiliki DOD 80% ini berarti bahwa hanya 80% dari energi yang tersedia dapat dipergunakan dan 20% tetap berada dalam cadangan. Semakin dalam DOD yang diberlakukan pada suatu baterai maka akan semakin pendek pula siklus dari baterai tersebut (Hakim, 2020).



Gambar 2.5 Baterai

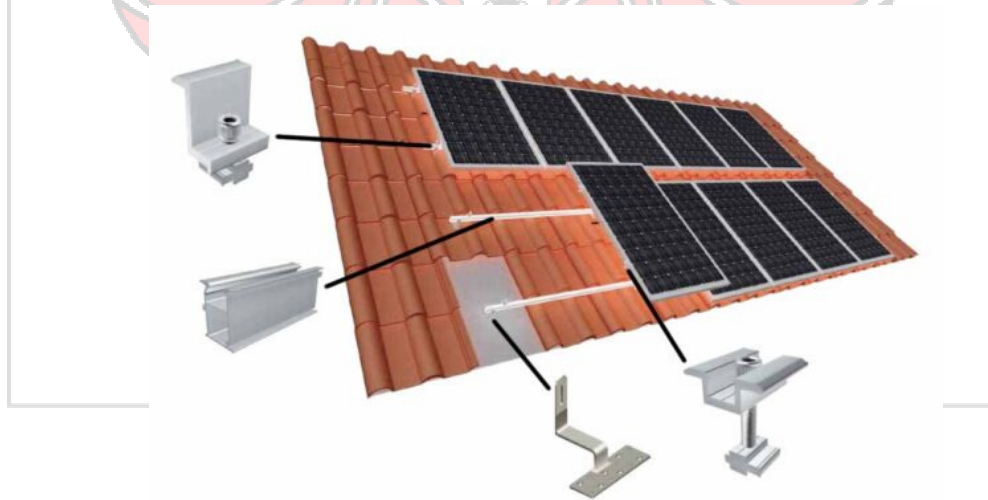
2.5.5 Penyangga Modul (*Support Module*)

Penyangga modul (*support module*) adalah salah satu peralatan pada PLTS yang berfungsi sebagai penopang panel surya (*modul photovoltaic*). Penyangga modul biasanya terbuat dari pipa galvanis atau pipa aluminium. Secara teknis,

besarnya sudut kemiringan panel surya ditentukan oleh disain kemiringan penyangga modul (Sampeallo, dkk., 2018).

Pertimbangan ini merupakan upaya untuk memilih peralatan atau struktur untuk menjaga posisi panel surya agar tidak bergerak. Selain itu juga untuk mengarahkan panel surya pada posisi yang ditentukan. Terdapat dua metode mounting panel surya untuk aplikasi PLTS atap, yaitu menggunakan rangka atau tanpa rangka, dengan menempelkan panel surya pada atap/genteng menggunakan baut atau metode pemasangan lainnya yang aman (ICED, 2020).

Dalam pemasangan penting untuk memastikan penyangga dipasang pada posisi yang tepat dan dengan jarak yang sesuai antara panel surya untuk mengoptimalkan kinerja sistem. Salah satu contoh struktur support module yang biasa digunakan sebagai penopang panel surya pada sistem PLTS atap dapat dilihat seperti Gambar 2.6



Gambar 2.6 Contoh Aplikasi Rangka Panel Surya di Atap

2.6 Perhitungan PLTS

Sebelum dilakukan simulasi pada Software PVsyst dan HOMER Pro, akan dilakukan perhitungan secara manual terkait jumlah komponen berdasarkan dengan jumlah beban harian. Adapun perhitungannya sebagai berikut:

2.6.1 Perhitungan Luas Array Panel Surya

Dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga surya, penting untuk mengetahui rencana luasan yang akan dibangunnya pembangkit listrik. Sebelum menentukan komponen lainnya, hal utama adalah menentukan luas area yang digunakan untuk mendapatkan penyusunan array yang tepat dan tidak memakan tempat yang berlebihan.

Efisiensi modul surya ditentukan berdasarkan spesifikasi pabrikan atau tipe modul surya yang ditentukan/diinginkan (yang telah ada dipasaran saat ini adalah modul surya dengan efisiensi 14-22%). Untuk mengetahui luas array dari modul surya dapat digunakan persamaan berikut (Hajir, 2021):

$$\text{Luas Array} = \frac{ET}{G_{av} \times \eta_{PV} \times FKT \times \eta_{out}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

Luas array = Luas permukaan array panel surya (m²)

ET = Total pemakaian energi (kWH/hari)

G_{av} = Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m² /hari)

η_{PV} = Efisiensi panel surya (%)

η_{out} = Efisiensi keluaran sistem (%)

FKT = Faktor koreksi temperatur (%)

Sebagai pertimbangan luas area efektif yang dihasilkan dengan cara ini dapat dibandingkan dengan spesifikasi dimensi (ukuran) modul surya pabrikan, berdasarkan modul surya yang dipilih.

2.6.2 Menentukan Jumlah Panel Surya

Kapasitas daya dari panel dapat ditentukan berdasarkan beberapa faktor yang sudah ada, seperti rata-rata total kebutuhan energi, nilai intensitas radiasi matahari untuk setiap wilayah berbeda-beda, dimana dapat diperoleh melalui dua cara yaitu pengukuran langsung dan melalui data sekunder. Data sekunder diperoleh dari badan atau otoritas yang memiliki kewenangan untuk menerbitkan data iradiasi. Misalnya, NASA, Solargis maupun dari data Meteonorm (ICED, 2020).

Setelah memperoleh nilai luas array modul surya, nilai PSI di Indonesia dan nilai efisiensi panel surya yang akan digunakan. Untuk mengetahui besar kapasitas daya maksimum pembangkit yang dapat dibangkitkan, digunakan persamaan berikut (Hajir, 2021):

$$\text{Kebutuhan Daya PLTS} = \frac{\text{jumlah total kebutuhan energi (Wh)}}{\text{Equivalen Sun Hours (h)}} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{\text{Kebutuhan Daya (W)}}{\text{Kapasitas Modul (Wp)}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Kapasitas daya maksimal panel surya ditentukan berdasarkan spesifikasi pabrikan untuk tipe modul surya yang diinginkan/ditentukan. Untuk mengetahui jumlah panel surya yang dibutuhkan agar dapat memasok daya maksimal yang dapat dibangkitkan dengan menggunakan persamaan berikut (Hajir, 2021):

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{P_{\text{wattpeak}}}{P_{\text{max}}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

P_{max} = Kapasitas daya maksimal panel surya (W_p)

2.6.3 Perhitungan Kapasitas Inverter

Untuk menghitung kapasitas inverter yang akan digunakan, total kebutuhan maksimum dikali dengan 125% atau 1,25. Inverter bekerja pada kondisi normal, rata-rata maupun dalam kondisi daya puncak, maka dari itu perlunya safety factor sebagai pengaman jika terjadi beban puncak dan sebagai daya cadangan untuk memenuhi kebutuhan starting listrik.

Pertimbangan memilih inverter supaya sesuai dengan daya yang dibutuhkan dilakukan menggunakan persamaan (2.5) (Hajir, 2021):

$$\text{Kapasitas inverter} = P_{\text{mpp}} \times \text{Safety factor} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

P_{mpp} = Daya Maksimal Array (W)

Safety factor = Faktor keamanan (1,25 atau 125%)

2.6.4 Perhitungan Jumlah dan Kapasitas Baterai

Proses pengisian dan pengosongan ini disebut satu siklus baterai. Tingkat kedalaman pengosongan (Depth of Discharge) baterai biasanya dinyatakan dalam persentase. Misalnya, suatu baterai memiliki DOD 80%, ini berarti bahwa hanya 80% dari energi yang tersedia dapat dipergunakan dan 20% tetap berada dalam cadangan. Pengaturan DOD berperan dalam menjaga usia pakai dari baterai tersebut. Semakin dalam DOD yang diberlakukan pada suatu baterai maka semakin pendek pula siklus hidup dari baterai tersebut. (Suhendar, 2022).

Besar kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk memenuhi konsumsi energi harian, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Satryawan, 2018):

$$C = \frac{EL \times N}{Vs \times DoD \times \eta} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

C = Kapasitas baterai yang dibutuhkan (Ah)

N = Jumlah hari otonom (hari)

EL = Energi rata-rata dimalam hari (kWh)

VS = Tegangan sistem (V)

DoD = Depth of Discharge (%)

η = Efisiensi baterai (%)

Untuk mengetahui banyaknya baterai yang disusun seri dan paralel untuk mendapatkan tegangan sistem yang diinginkan dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Baterai Seri} = \frac{\text{Tegangan Kerja Sistem}}{\text{Tegangan Kerja Battery}} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{Baterai Paralel} = \frac{\text{Kapasitas yang dibutuhkan}}{\text{Kapasitas Baterai}} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\text{Jumlah Baterai} = \text{Baterai seri} \times \text{Baterai Paralel} \dots\dots\dots (2.9)$$

2.6.5 Perhitungan Energi yang Dihasilkan PLTS

Hasil keluaran maksimum dari panel surya dapat ditentukan sesuai rating kapasitas dari panel surya yang dipasang. Sedangkan energi input panel surya yang terpasang dapat dihitung dengan persamaan (Mahesa, dkk., 2021):

$$P_i = \text{Jumlah Panel} \times \text{Kapasitas Panel} \times \text{ESH} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

$$P_i = \text{Daya input panel surya (W)}$$

Energi yang dihasilkan oleh panel surya sangat berpengaruh terhadap insolasi matahari yang ada. Setiap insolasi harian matahari sama dengan lama penyinaran efektif matahari per hari.

2.7 Automatic Transfer Switch (ATS)

Automatic Transfer Switch adalah sakelar yang bekerja secara otomatis mentransfer beban dari suplai daya utama ke suplai daya cadangan bila suplai utama ini gagal atau tegangan suplai utama mengalami drop dibawah minimal maka ATS akan melakukan perpindahan ke suplai cadangan. Pada intinya, ATS adalah service atau alat yang akan mengubah secara otomatis sumber tenaga listrik ke sumber tenaga yang lain bila terjadi suatu masalah pada sumber tegangan utama, sistem otomatisnya bekerja berdasarkan mekanisme pemindahan daya otomatis dari suplai daya utama ke suplai daya cadangan ketika terjadi pemutusan daya pada suplai utama (Burhan, 2020).

Dalam PLTS *Hybrid* dengan PLN sebagai sumber cadangan utama dan Genset sebagai sumber cadangan tambahan, ATS berperan penting dalam memastikan ketersediaan energi yang berkelanjutan dan mengoptimalkan penggunaan sumber listrik yang tersedia. ATS bekerja secara otomatis untuk beralih antara pasokan listrik dari PLN dan Generator. Ketika pasokan listrik dari PLN mencukupi, ATS akan memprioritaskan penggunaan energi dari PLN untuk membantu PLTS dalam pemenuhan kebutuhan energi pada beban dan hanya menggunakan pasokan dari Generator jika pasokan energi dari PLN mengalami pemadaman, dimana PLN akan menjadi sumber cadangan utama sedangkan Generator bertindak sebagai sumber cadangan tambahan. Secara luas ATS telah diaplikasikan di industri maupun perkantoran yang membutuhkan sistem kelistrikan dengan tingkat keandalan yang tinggi.

ATS ini dibedakan menurut kapasitas daya yang dibutuhkan, sistem fasa, Arus, dan tegangan yang digunakan. Semakin besar pemakaian antara listrik dan suplai cadangannya maka spesifikasi dari komponen ATS nya akan semakin besar pula, terutama pada rating arus masing – masing komponen (Burhan,2020).

2.8 Studi Aspek Ekonomi

2.8.1 Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Biaya siklus hidup suatu sistem adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem, selama kehidupannya. Pada system PLTS, biaya siklus hidup (LCC) ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal, biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional serta biaya penggantian Inverter.

2.8.2 Biaya Investasi (Capital Cost)

Capital Cost untuk rancangan sistem PLTS *Hybrid* di Perumahan Citraland Makassar adalah seluruh biaya untuk komponen sistem PLTS, biaya instalasi sistem PLTS *Hybrid*, dll. Yang termasuk kedalam komponen biaya sistem PLTS adalah pembelian panel dan inverter.

2.8.3 Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya operasional dan perawatan tetap system adalah biaya tahunan yang sesuai dengan ukuran atau konfigurasi system pembangkit. Biaya ini digunakan untuk menghitung biaya modal tahunan lainnya, yang juga mempengaruhi total biaya bersih sekarang dari tiap sistem.

Biaya operasional PLTS dihitung berdasarkan masa pakai baterai dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Biaya Operasional} = N_b \times \text{Biaya baterai} \dots\dots\dots (2.11)$$

Biaya pemeliharaan PLTS pertahun dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$A = 1\% \times I_a \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

A = Biaya Pemeliharaan

I_a = Total Investasi Awal

Biaya siklus hidup (LCC) diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$LCC = C + MPW \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

LCC = Biaya siklus hidup (Rp)

C = Biaya investasi awal + Biaya Pergantian Komponen (Rp)

MPW = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun umur proyek (Rp)

Nilai sekarang biaya tahunan yang akan dikeluarkan beberapa tahun mendatang (selama umur proyek), dengan jumlah pengeluaran yang tetap, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$MPW = A \frac{(1+i)^n}{i(1+i)^n} - 1 \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

Mpw = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek (Rp)

A = Biaya tahunan (Rp)

i = Tingkat Diskonto atau Suku bunga (%)

n = Umur proyek (tahun)

2.8.4 Net Present Cost (NPC)

Net present cost (NPC) merupakan semua biaya keseluruhan yang digunakan dalam pembangunan komponen baik dalam pemasangan maupun pengoperasian suatu proyek. Net present cost dapat diketahui dengan persamaan berikut (Haryanto, 2018):

$$NPC = \text{Capital Cost} + \text{Replacement Cost} + \text{O\&M Cost} + \text{Fuel Cost} - \text{Salvage} \dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

Capital Cost = Biaya Komponen (Rp)

Replacement Cost = Biaya Pergantian Komponen (Rp)

O&M Cost = Biaya Operasional dan Maintenance (Rp)

Fuel Cost = Biaya Bahan Bakar (Rp)

2.8.5 Faktor Diskonto

Faktor diskonto adalah faktor yang digunakan untuk mengvaluasi nilai sekarang dari penerimaan di masa mendatang sehingga dapat dibandingkan dengan pengeluaran pada masa sekarang. Adapun rumus faktor diskonto adalah sebagai berikut (Riskawati, 2022):

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

DF = Faktor Diskonto

I = Tingkat diskonto (%)

N = Periode dalam tahun (umur inverstasi)

2.8.6 Biaya Energi (Cost of Energy)

Menghitung Biaya energi merupakan perbandingan antara biaya total per tahun dari sistem dengan energi yang dihasilkannya selama periode yang sama. Dilihat dari sisi ekonomi, biaya energi PLTS berbeda dari biaya energi untuk pembangkit konvensional. Hal ini karena biaya energi PLTS, dipengaruhi oleh biaya-biaya seperti:

- a. Biaya awal (biaya modal) yang tinggi.
- b. Tidak ada biaya untuk bahan bakar.
- c. Biaya pemeliharaan dan operasional rendah.
- d. Biaya penggantian rendah (terutama hanya untuk baterai).

Perhitungan biaya energi suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal dan kWh produksi tahunan.

Faktor pemulihan modal adalah faktor yang digunakan untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian pembayaran atau biaya tahunan dengan jumlah yang sama. Faktor pemulihan modal diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

CRF = Faktor Pemulihan modal

i = Tingkat Diskonto (%)

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

Biaya energi (Cost of Energy) PLTS diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut (Riskawati,2022):

$$CoE = \frac{LCC + CRF}{A kWh} \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

COE = Cost of Energi atau Biaya Energi (Rp/kWh).

CRF = Faktor pemulihan modal

A kWh = Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun).

2.9 Studi Aspek Kelayakan

2.9.1 Net Present Value (NPV)

Net present value (NPV) menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilaisekarangkan atas dasar faktor diskonto. Teknik ini menghitung selisih antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Rumusnya adalah (Fachrezy, 2022):

$$\sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - IA \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan:

NCF_t = Net Cash Flow periode tahun ke-1 sampai tahun ke-n (Rp)

n = Umur investasi (tahun)

i = Suku bunga (%)

IA = Investasi Awal (Rp)

2.9.2 Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return adalah besarnya suku bunga yang menyamakan nilai sekarang dari investasi dengan hasil bersih yang diharapkan selama usaha berjalan. Untuk skenario dua nilai NPV yang telah diketahui sebelumnya, IRR dapat dirumuskan sebagai berikut (Fachrezy, 2022):

$$IRR = ir \frac{NPV_r}{NPV_t - NPV_r} (it - ir) \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

IRR = Internal Rate of Return (%)

NPV_r = Net Present Value dengan suku bunga rendah (Rp)

NPV_t = Net Present Value dengan suku bunga tinggi (Rp)

ir = Suku bunga rendah (%)

it = Suku bunga tinggi (%)

Dimana, NPV_r harus di atas 0 (NPV_r > 0) NPV_t harus di bawah 0 (NPV_t < 0).

2.9.3 Profitability Index (PI)

PI adalah perbandingan antara nilai keuangan data dalam investasi asli. Sistem ini juga disebut jumlah uang (biaya tunai). Sistem PI dihitung menggunakan persamaan berikut (Chandra, 2016):

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t(1+i)^{-t}}{II} \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan:

NCF_t = Net Cash Flow periode tahun ke-1 sampai tahun ke-n

II = Investasi awal (Rp)

n = Umur investasi (tahun)

i = Suku bunga (%)

Kriteria untuk menentukan suatu putusan investasi dapat diterima atau harus ditolak adalah sebagai berikut:

- a. Investasi dinilai layak, apabila PI bernilai lebih besar dari satu (>1).
- b. Investasi tidak layak, apabila PI bernilai lebih kecil dari satu (<1).

2.9.4 Pay Back Periode (PBP)

Periode balik modal (Pay Back Periode) merupakan rentang waktu yang dibutuhkan agar modal/investasi dapat kembali. Pay Back Periode (PBP) dapat dianalisis dengan kurva NPV atau dengan menggunakan persamaan berikut(Asrori, 2022):

$$PBP = \frac{\text{Modal Investasi Awal}}{\text{Profit}} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana, P (Profit) adalah laba bersih selama setahun. Laba bersih merupakan nilai jual listrik dikurangi biaya operasi dan perawatan (M) selama satu tahun. Suatu Investasi dinilai layak, jika $PBP < n$ atau tahun kembali modal dibawah umur proyek (n). Semakin jauh dibawah umur proyek semakin besar potensi keuangan suatu proyek.

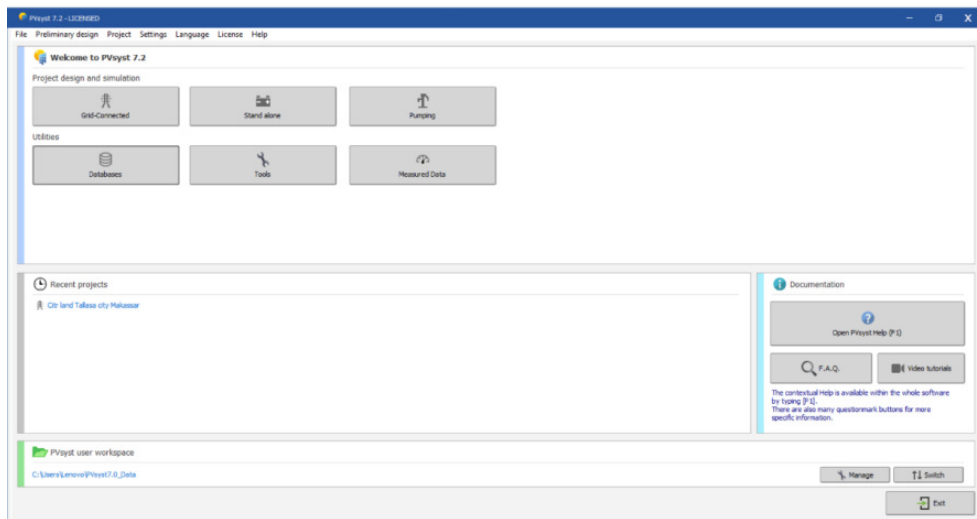
2.10 Software PVsyst

PVsyst dikembangkan di Universitas Geneva, oleh fisikawan Swiss Andre Mermoud dan insinyur listrik Michel Villoz, perangkat lunak ini dianggap sebagai standar untuk desain dan simulasi sistem PV di seluruh dunia. Pengembang mengklaim perangkat lunak ini dirancang untuk digunakan berbagai kalangan seperti arsitek, insinyur, peneliti dan mahasiswa.

PVsyst merupakan paket software/perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisa data dari sistem PLTS secara lengkap. Alat desain yang berguna untuk desain dan estimasi sistem PLTS. Mensimulasikan sebagian besar parameter yang diperlukan oleh perancang sistem PLTS dan membantu menghasilkan laporan simulasi yang komprehensif.

PVsyst terbagi dalam sistem terinterkoneksi jaringan (grid-connected), sistem berdiri sendiri (stand-alone), sistem pompa (pumping), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (DC-grid). PVsyst juga dilengkapi database dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen-komponen PLTS. Beberapa contoh sumber data meteorologi yang dapat digunakan pada PVsyst yaitu bersumber dari Meteonorm Y 6.1 (interpolasi 1960-1990 atau 1981-

2000), NASA-SSE (1983-2005), PVGIS (untuk Eropa dan Afrika), Satel-Light (untuk Eropa), TMY2/3 dan Solaer Anywhere (untuk USA), EPW (untuk Kanada), RetScreen, Helioclim, dan solar GIS (berbayar).



Gambar 2.7 Jendela tampilan awal aplikasi PVsyst 7.3

2.11 Manajemen Risiko

Manajemen risiko adalah proses sistematis dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengendalikan risiko yang terkait dengan suatu kegiatan proyek. Tujuan dari manajemen risiko adalah untuk mengurangi atau meminimalkan dampak negatif risiko yang mempengaruhi kinerja dan keandalan sistem yang dirancang sehingga sistem PLTS dapat bekerja secara maksimal (Daffa Abbas, 2023).

Adapun langkah-langkah manajemen risiko sebagai berikut:

1. Identifikasi Risiko: Tim perencana harus mengidentifikasi risiko-risiko

potensial melalui analisis mendalam terhadap aspek-aspek proyek atau kegiatan yang mungkin menghadirkan tantangan atau masalah. Risiko-risiko ini dapat mencakup berbagai bidang seperti teknis, keuangan, lingkungan, operasional, dan hukum/regulasi

2. Analisis Risiko: tim perencana menganalisa risiko-risiko yang telah diidentifikasi dan dianalisis untuk menilai dampaknya serta kemungkinan terjadinya. Dalam analisis risiko, penting untuk mempertimbangkan skala dampak, probabilitas terjadinya, dan waktu ketika risiko dapat terjadi. Hal ini membantu dalam memprioritaskan risiko dan menentukan tingkat risiko yang harus ditangani

3. Evaluasi Risiko: Tim perencana menganalisis risiko, risiko-risiko dievaluasi dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti tingkat risiko, ketersediaan sumber daya, dan potensi dampak. Evaluasi risiko membantu dalam menentukan tindakan yang perlu diambil untuk mengelola risiko tersebut.

4. Pengendalian Risiko: Tim perencana harus merancang langkah-langkah pengendalian dan mplementasikannya. Pengendalian risiko dapat meliputi menghindari risiko, mengurangi risiko, mentransfer risiko melalui asuransi atau perjanjian kontrak, atau menerima risiko dengan pemahaman dan persiapan yang memadai.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian perencanaan ini dilakukan di Perumahan Citraland Tallasa City di Jl. Jalur Lingkaran Barat No.90, Kapasa, Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Pada lokasi tersebut memiliki kordinat dengan Latitude $5^{\circ}06'19.9''S$ dan Longitude $119^{\circ}29'15.5''E$



Gambar 3.1 Rumah Citraland Tallasa city Makassar

3.1.2 Waktu Penelitian

Tabel 3.1 Batas waktu kegiatan

No.	WaktuKegiatan	Kegiatan
1.	06 Juni 2023 – 15 Juni 2023	Pengamatan dan Persiapan Peralatan serta
2.	16 Juni 2023 – 30 Juni 2023	Proses Pengambilan data di Unit dan Dokumentasi kegiatan
3.	01 Juli 2023 – 15 Juli 2023	Proses Analisis Data dan Penyusunan Laporan Lanjutan
4.	16 Juli 2023 – 20 Juli 2023	Proses Penerapan dan Konsultasi hasil Analisis dengan pihak PLN unit
5.	21 Juli 2023 – 15 Agustus 2023	Proses Penyusunan Tambahan Data dan Laporan yang diperlukan
6.	September 2023	Finalisasi dan Peresentasi

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Dalam penelitian ini, diperlukan penggunaan alat dan bahan tertentu untuk melakukan analisis yang mendukung kelancaran dalam penelitian. Alat dan bahan

yang digunakan pada penelitian ini diantaranya:

- Laptop dan smartphone sebagai Human Machine Interface
- Software PVsyst V7.3 memiliki kemampuan dalam menghitung nilai dan mensimulasikan data yang diperlukan untuk perencanaan PLTS.
- Software Fushion 360. Untuk menggambar Desain Layout 3D

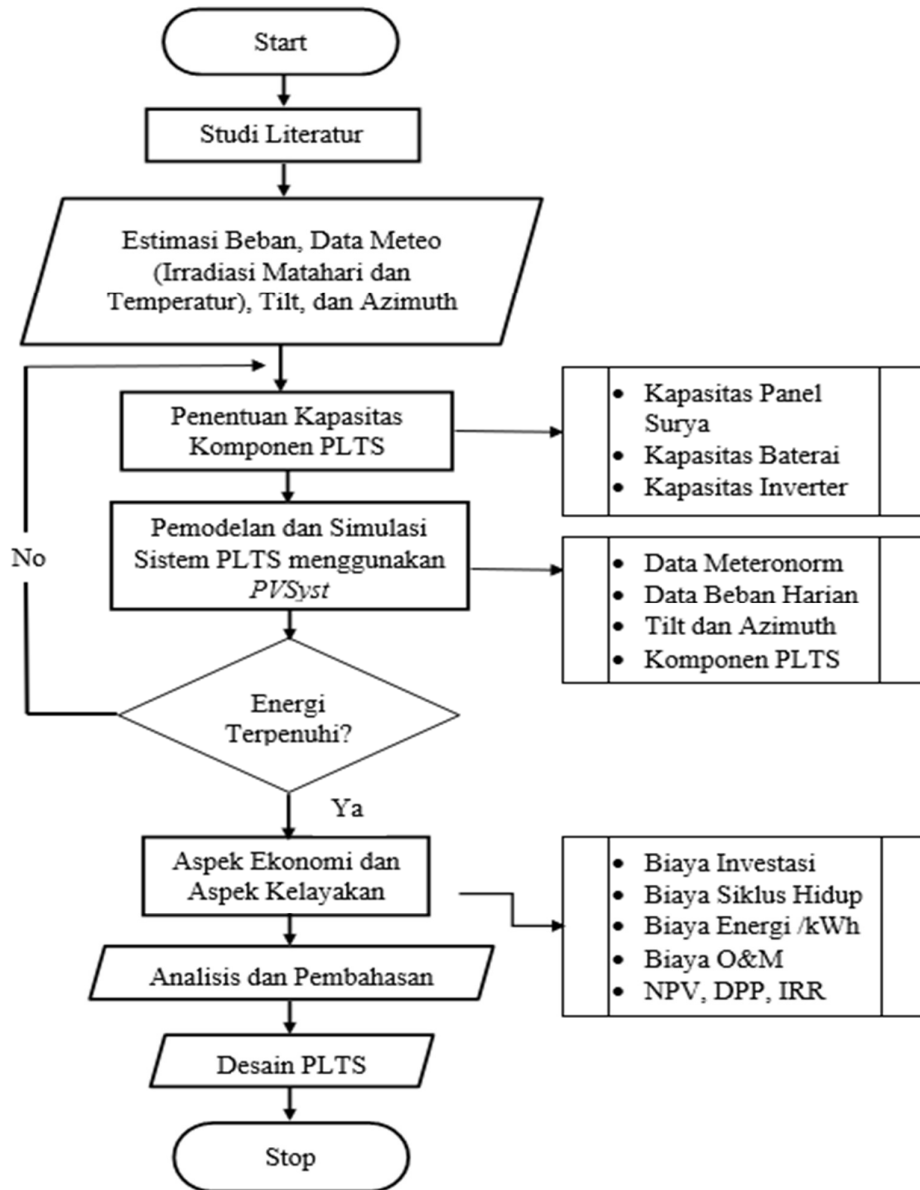
3.2.2 Bahan

Dalam penelitian ini terdapat bahan pendukung yang telah diperoleh dan dikumpulkan oleh peneliti. Bahan-bahan tersebut meliputi:

1. Data populasi dan bangunan pada lokasi penelitian
2. Data konsumsi beban listrik pada lokasi penelitian.
3. Data iklim berupa radiasi matahari dan suhu di lokasi penelitian.
4. Data harga dan spesifikasi setiap komponen PLTS *Hybrid* yang ingin direncanakan di lokasi penelitian.

3.3 Prosedur Langkah Kerja

Berikut prosedur/Langkah kerja pada penelitian ini, dibagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut :



Gambar 3.2 Flowchart tahap penelitian

3.3.1 Pengumpulan Data

Adapun beberapa tahapan dalam proses pengumpulan data, yaitu:

1. Teknik Observasi (Field Research) Penulis melakukan penelitian secara langsung di lapangan terhadap obyek penelitian untuk memperoleh data-data yang akan diperlukan dalam penulisan tugas ini nantinya. 35
2. Studi Literatur Penulis mengumpulkan data-data dengan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur yang ada sesuai dengan masalah yang diteliti.
3. Wawancara (Interview) Salah satu teknik pengumpulan data yang dilakukan oleh peneliti untuk memperoleh informasi tentang objek penelitian dalam hal ini adalah salah satu rumah di perumahan citraland Makassar yakni dengan wawancara langsung dengan pemilik rumah.

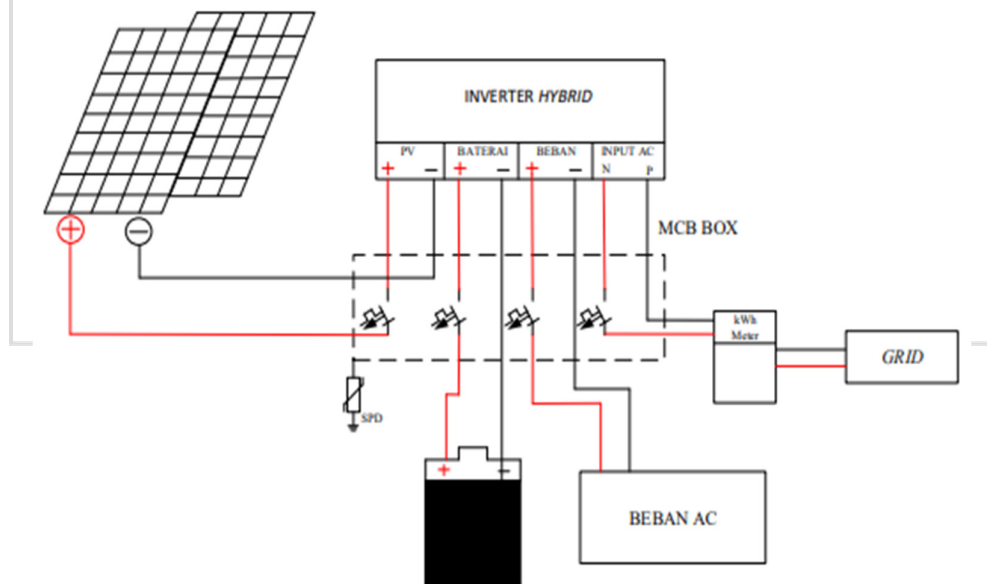
3.4 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian yang menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengumpulkan dan menganalisis data terkait dengan aspek tertentu dalam implementasi PLTS *Hybrid* seperti analisis performa energi, estimasi produksi energi dan evaluasi ekonomi dengan data numerik yang terukur. Pendekatan ini melibatkan pengumpulan data kuantitatif, analisis statistik, penggunaan alat atau perangkat lunak untuk permodelan dan perhitungan serta pengumpulan sampel kebutuhan listrik. Data yang terkumpul akan dianalisis secara objektif untuk mendapatkan hasil yang dapat diinterpretasikan. Hasil analisis ini akan digunakan untuk mengambil keputusan atau membuat

rekomendasi terkait perencanaan PLTS *Hybrid* pada Atap Rumah di Perumahan Citraland Makassar.

3.5 Blok Sistem

Pemanfaatan energi matahari di perumahan Citraland Makassar menjadi sebuah PLTS memiliki potensi yang cukup besar. Dengan potensi pemanfaatan energi matahari dan penggunaan konsumsi energi listrik yang besar di perumahan tersebut, dipilih sebuah sistem yaitu PLTS *Hybrid*. Dimana sumber energi listrik yang digunakan guna mencukupi kebutuhan energi listrik di perumahan citra land tidak hanya dicakup oleh PLTS saja, namun juga baterai sebagai pemasok daya di malam hari atau sebagai pemasok daya cadangan.



Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem *PLTS Hybrid*

Dalam sistem seperti ini, panel surya (PV) menghasilkan energi listrik dari sinar matahari yang kemudian digunakan untuk mengisi daya pada baterai cadangan yang akan diatur oleh inverter. Di inverter tersebut akan mengubah arus listrik DC yang dihasilkan panel surya menjadi arus AC sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan beban listrik. Pada sistem ini digunakan inverter smart atau dapat juga disebut inverter *Hybrid* yang merupakan inverter dua arah yang memungkinkan konversi AC-DC dan DC-AC, sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan beban listrik. Dalam hal ini, penggunaan Solar Charger Controller tidak diperlukan karena fungsi pengisian baterai dapat diatur oleh inverter.

3.6 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian ini. Data-data yang dimaksud berupa penentuan intensitas cahaya matahari (iradiasi), menentukan komponen-komponen yang akan digunakan, serta melakukan studi pada beban.

3.6.1 Observasi

Observasi adalah aktivitas yang dilakukan untuk mengamati secara langsung suatu objek tertentu yang bertujuan memperoleh sejumlah data dan informasi terkait objek tersebut. Melalui metode pengumpulan data ini, dapat dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap kondisi dan faktor-faktor yang mempengaruhi perencanaan dalam perancangan PLTS *Hybrid*.

3.6.2 Studi Dokumentasi

Studi dokumentasi dilakukan untuk mencari sumber data-data tertulis, gambar maupun elektronik termasuk data sekunder di lapangan yang berkaitan dengan perancangan yang akan dilakukan seperti data iklim, titik koordinat, harga dan spesifikasi komponen. Namun, penting untuk melakukan evaluasi kritis terhadap data sekunder yang digunakan untuk memastikan keandalan, validitas, dan relevansinya dengan tujuan penelitian. Serta melakukan pengamatan visual pada lokasi yang akan dijadikan sebagai studi kasus dalam pembuatan desain perencanaan, serta mengidentifikasi komponen-komponen yang akan digunakan dalam perancangan PLTS *Hybrid* dengan penambahan sistem inverter, baterai, dan lainnya.

3.6.3 Studi Beban

Pengumpulan data dengan studi beban listrik melibatkan pengumpulan informasi mengenai pola dan besaran konsumsi energi listrik di rumah yang menjadi objek perencanaan PLTS yang bertujuan untuk memahami karakteristik penggunaan energi listrik di lokasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Menentukan Lokasi Daerah Perencanaan PLTS *Hybrid*

Rumah yang berada di perumahan Citraland Makassar, Jl. Jalur Lingkaran Barat Selatan No.90, Kapasa, Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Rumah berada pada koordinat 213° BD $5^{\circ}6'21''$ S Lintang Selatan dan $119^{\circ}29'15''$ T Lintang Timur



Gambar 4.1 Objek Perencanaan PLTS *Hybrid*

Panjang bangunan = 6 Meter

Lebar bangunan = 6 Meter

Tinggi = 11 Meter

Kemiringan atap = 31°

Luas Bangunan = 36m^2

Daya yang terpasang = 5.500 Va



Gambar 4.2 Lokasi Lahan Perencanaan PLTS *Hybrid*

Koordinat lokasi: -5.105520, 119.487625

4.2 Profil Beban Energi Listrik

Beban harian pada rumah di perumahan citraland Makassar adalah beban konsumsi kebutuhan energi listrik yang terdiri dari beban Lampu, Komputer, Kulkas, Printer, TV, Mesin cuci. Penggunaan beban energi dalam penelitian ini didasarkan pada estimasi kebutuhan energi pada saat siang hari dan malam hari, dengan tujuan agar pemakaian beban di rumah dapat terpenuhi sepanjang hari. Estimasi pemakaian beban di rumah perumahan Citraland Makassar dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Estimasi Pemakaian Beban

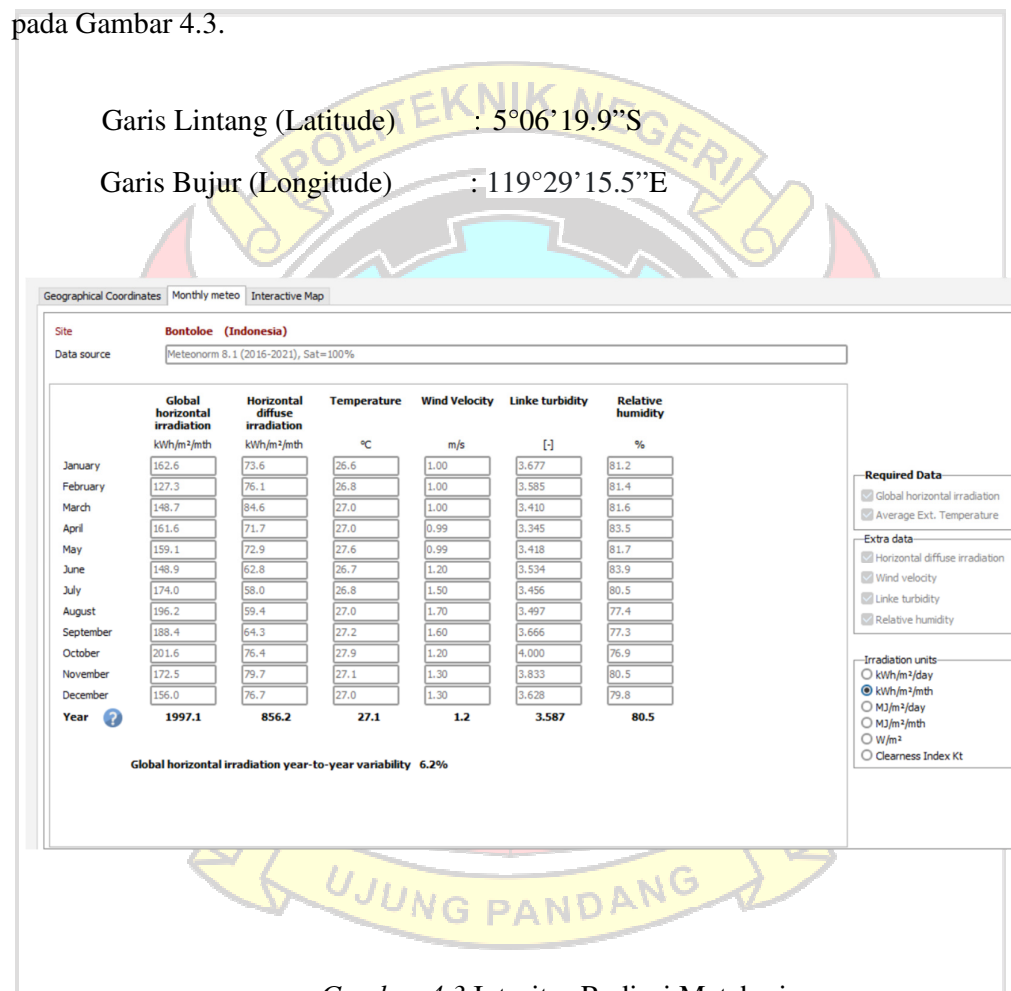
No.	Jenis Peralatan / Beban	Jumlah (Unit)	Daya (Watt)	Daya Total (Watt)	Operasi per Hari (Jam)		Kebutuhan Energi Harian per Beban (Wh)		Kebutuhan Energi Harian Total (Wh)
					Siang	Malam	Siang	Malam	
1	AC	1	350	350	1	3	350	1050	1400
2	Pompa Air	1	125	125	2		250		250
3	Kulkas	1	150	150	12	12	1800	1800	3600
4	Lampu	8	12	96	3	5	288	480	768
5	TV	1	48	48	1	3	48	144	192
6	Laptop	1	45	45	1	2	45	90	135
7	Rice cooker	1	350	350	1	2	350	700	1050
8	Printer	1	12	12	1	1	12	12	24
10	Kipas	1	46	46	3	4	138	184	322
11	Mesin cuci	1	250	250	2	1	500	250	750
Total							3.781	4.710	8.491

Tabel 4.1 menunjukkan pemakaian energi listrik yang sesuai kebutuhan dan jenis peralatan yang digunakan dalam satuan Watt Energi, dengan total pemakaian perharinya sebesar 8,491kWh. Sedangkan total pemakaian pada siang hari 4.710 Wh dan Malam 3.781Wh.

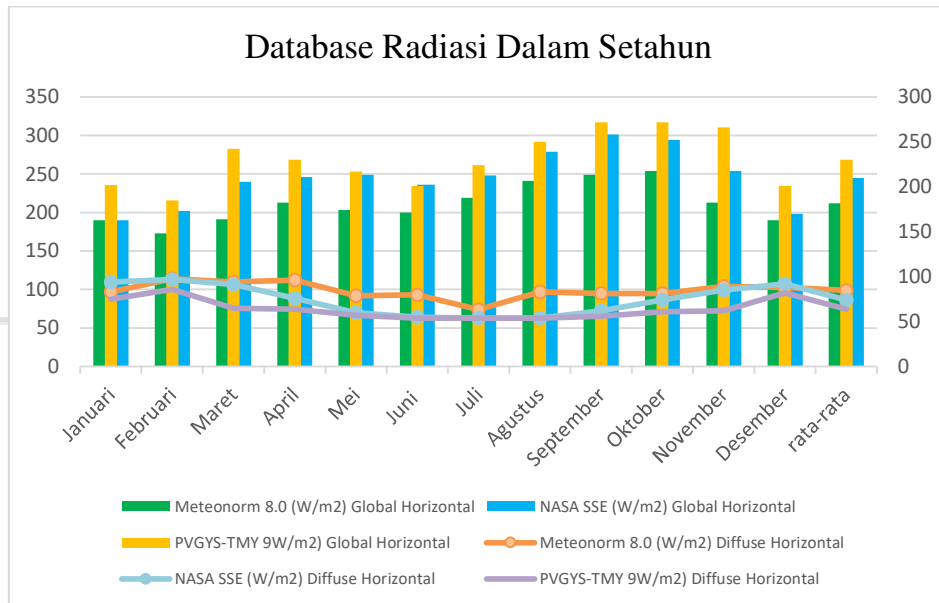
4.3 Data Iklim

4.3.1 Data Intensitas Radiasi Matahari

Adapun data iradiasi matahari dan suhu udara yang didapatkan pada software PVsyst (*Meteronorm 8.1, 2016-2021*), maka diperoleh data meteo seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Intesitas Radiasi Matahari



Gambar 4.4 Grafik Data Nilai Radiasi Dalam setahun

Sumber : <https://id.weatherspark.com/y/133108/Cuaca-Rata-rata-pada-bulan-in-Kota-Makassar-Indonesia-Sepanjang-Tahun#Figures-Temperature>

Data radiasi berdasarkan tiga satelit berbeda dimana untuk database meteonorm 8.1 rata-rata dalam setahun menghasilkan Radiasi Global Horizontal sebesar 212 W/m^2 dengan data radiasi yang tertinggi berada pada bulan oktober dengan tingkat radiasi 254 W/m^2 dan radiasi terendah berada pada bulan februari dengan tingkat radiasi 173 W/m^2 . Sedangkan rata-rata dalam setahun Radiasi Diffuse Horizontal sebesar 99 W/m^2 dengan data radiasi yang tertinggi berada pada bulan februari dengan tingkat radiasi 114 W/m^2 dan radiasi terendah berada pada bulan juli dengan tingkat radiasi 74 W/m^2 .

Data dari NASA SSE rata-rata dalam setahun menghasilkan Radiasi Global Horizontal sebesar 245 W/m^2 dengan data radiasi yang tertinggi berada pada bulan september dengan tingkat radiasi 301 W/m^2 dan radiasi terendah

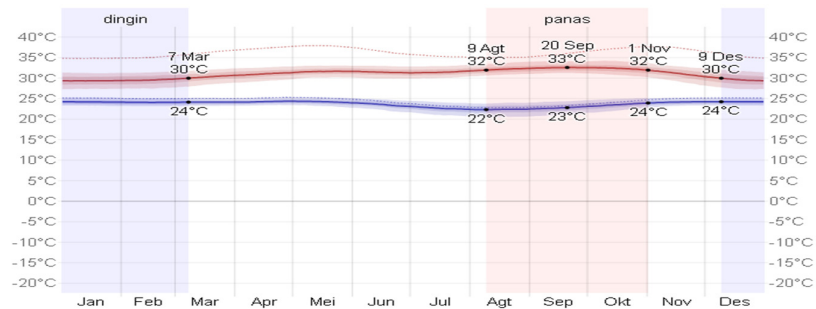
berada pada bulan januari dengan tingkat radiasi 190 W/m^2 . Sedangkan rata-rata dalam setahun Radiasi Diffuse Horizontal sebesar 74 W/m^2 dengan data radiasi yang tertinggi berada pada bulan februari dengan tingkat radiasi 97 W/m^2 dan radiasi terendah berada pada bulan juli dan agustus dengan tingkat radiasi 54 W/m^2 .

Data dari PVGYS-TMY rata-rata dalam setahun menghasilkan Radiasi Global Horizontal sebesar 230 W/m^2 dengan data radiasi yang tertinggi berada pada bulan september dan oktober dengan tingkat radiasi 272 W/m^2 dan radiasi terendah berada pada bulan februari dengan tingkat radiasi 185 W/m^2 . Sedangkan rata-rata dalam setahun Radiasi Diffuse Horizontal sebesar 64 W/m^2 dengan data radiasi yang tertinggi berada pada bulan februari dengan tingkat radiasi 86 W/m^2 dan radiasi terendah berada pada bulan juni, juli dan agustus dengan tingkat radiasi 54 W/m^2 .

4.3.2 Suhu

Musim panas berlangsung selama 4 bulan, dari 9 Agustus sampai 1 November, dengan suhu standar 30°C dan suhu tertinggi harian rata-rata di atas 32°C . Bulan terpanas dalam setahun di Kota Makassar adalah Oktober, dengan rata-rata suhu terendah 32°C dan tertinggi 34°C .

Musim dingin berlangsung selama 3 bulan, dari 9 Desember sampai 7 Maret, dengan suhu tertinggi harian rata-rata di bawah 30°C . Bulan terdingin dalam setahun di Kota Makassar adalah Januari, dengan rata-rata terendah 24°C dan tertinggi 29°C .



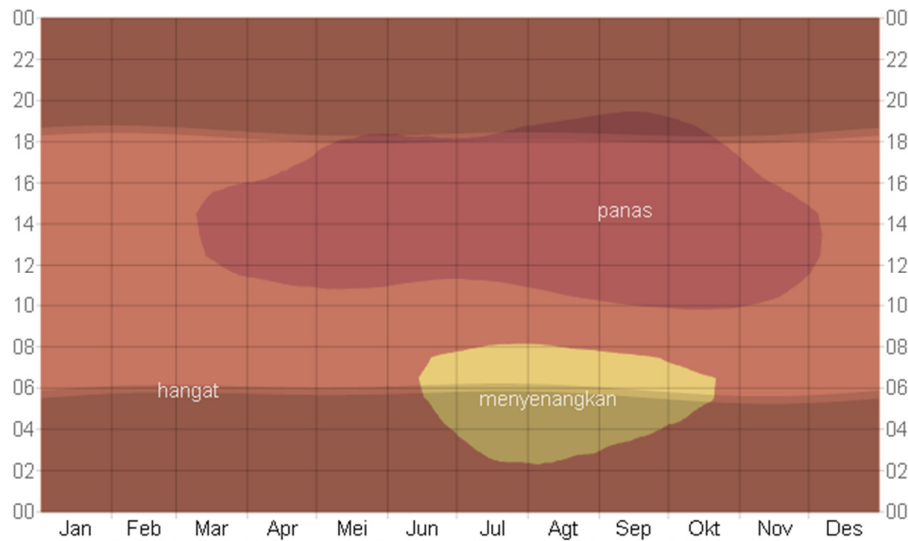
Gambar 4.5 Suhu rata-rata harian tertinggi

Ket: (garis merah) dan terdingin (garisbiru), dengan pita persentil ke-25 hingga ke-75 dan ke-10 hingga ke-90. Garis putus-putus tipis adalah suhu rata-rata yang dirasakan.

Sumber : <https://id.weatherspark.com/y/133108/Cuaca-Rata-rata-pada-bulan-in-Kota-Makassar-Indonesia-Sepanjang-Tahun#Figures-Temperature>

Gambar di bawah ini menunjukkan karakterisasi ringkas dari seluruh tahun suhu rata-rata per jam. Sumbu horizontal adalah hari dalam setahun, sumbu vertikal adalah jam dalam sehari, dan warna adalah suhu rata-rata untuk jam dan hari itu.

Rata-rata	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
Tinggi	29°C	30°C	30°C	31°C	32°C	31°C	31°C	32°C	33°C	32°C	31°C	30°C
Suhu	26°C	26°C	27°C	27°C	28°C	27°C	27°C	27°C	28°C	28°C	27°C	26°C
Rendah	24°C	24°C	24°C	24°C	24°C	24°C	23°C	22°C	23°C	24°C	24°C	24°C



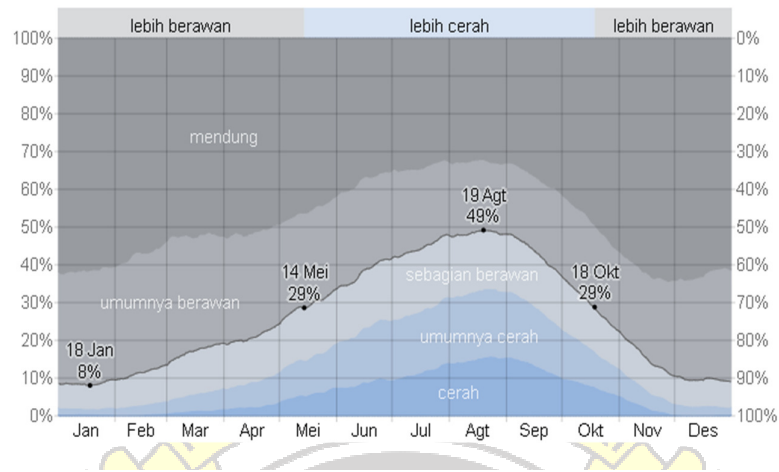
Gambar 4.6 Suhu rata-rata per jam, diberi kode warna ke dalam pita. Lapisan berbayang menunjukkan malam dan aram sipil.

Sumber : <https://id.weatherspark.com/y/133108/Cuaca-Rata-rata-pada-bulan-in-Kota-Makassar-Indonesia-Sepanjang-Tahun#Figures-Temperature>

4.3.3 Tutupan Awan

Di Kota Makassar, persentase rata-rata langit yang tertutup awan mengalami variasi musiman signifikan sepanjang tahun. Masa cuaca lebih cerah setiap tahun di Kota Makassar dimulai sekitar 14 Mei dan berlangsung selama 5,1 bulan, berakhir sekitar 18 Oktober. Bulan paling cerah dalam setahun di Kota Makassar adalah Agustus, di mana rata-rata langit cerah, sebagian besar cerah, atau berawan sebagian 48% saat itu.

Masa lebih berawan tahun ini dimulai sekitar 18 Oktober dan berlangsung selama 6,9 bulan, berakhir sekitar 14 Mei. Bulan paling berawan dalam setahun, di Kota Makassar adalah Januari, dengan rata-rata langit mendung atau sebagian besar berawan 91% sepanjang waktu

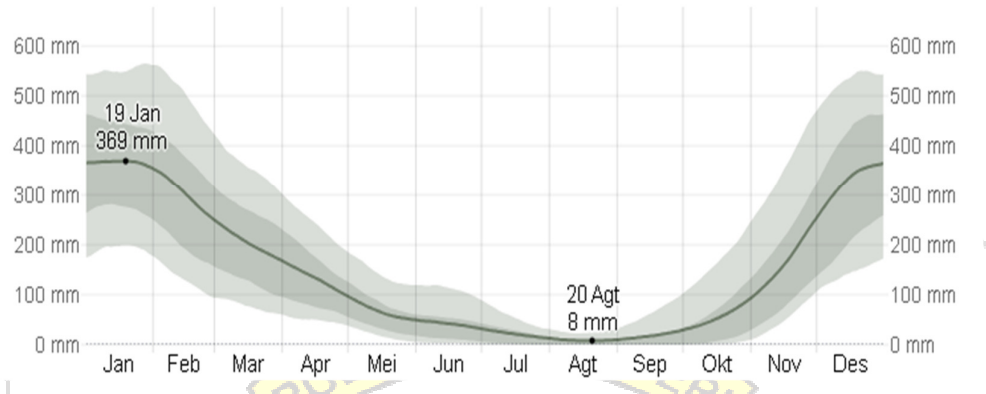


Gambar 4.7 Persentase waktu yang dihabiskan di setiap pita tutupan awan, yang dikategorikan menurut persentase langit yang tertutup awan.

Sumber : <https://id.weatherspark.com/y/133108/Cuaca-Rata-rata-pada-bulan-in-Kota-Makassar-Indonesia-Sepanjang-Tahun#Figures-Temperature>

4.3.4 Curah Hujan

Untuk menunjukkan variasi dalam bulan-bulan dan bukan hanya total bulanan, kami menunjukkan curah hujan yang terakumulasi selama periode 31-hari bergeser yang berpusat di sekitar setiap hari dalam setahun. Kota Makassar mengalami variasi musiman *ekstrim* dalam curah hujan bulanan. Curah hujan sepanjang tahun in Kota Makassar. Bulan dengan curah hujan terbanyak di Kota Makassar adalah *Januari*, dengan rata-rata curah hujan *369 milimeter*. Bulan dengan curah hujan paling sedikit di Kota Makassar adalah *Agustus*, dengan curah hujan rata-rata *8 milimeter*.



Gambar 4.8 Curah hujan rata-rata (garis padat) terakumulasi selama periode geser 31 hari yang berpusat pada hari tersebut, dengan pita persentil ke-25 hingga ke-75 dan ke-10 hingga ke-90. Garis putus-putus tipis adalah curah salju rata-rata yang sesuai.

Sumber : <https://id.weatherspark.com/y/133108/Cuaca-Rata-rata-pada-bulan-in-Kota-Makassar-Indonesia-Sepanjang-Tahun#Figures-Temperature>

4.4 Perhitungan Kapasitas Komponen PLTS

4.4.1 Menghitung Besar Energi yang akan dibangkitkan

Berdasarkan permen ESDM no 49 tahun 2018, kapasitas PLTS atap maksimum 100% dari daya kontrak pelanggan. Daya yang terpasang pada unit perencanaan sebesar 5.500VA/ 4.400W. Kapasitas yang akan dibangkitkan adalah sebesar 100% dari pemakaian rata-rata setiap harinya.

$$ET = 100\% \times \text{Pemakaian rata-rata energi listrik}$$

$$ET = 100\% \times 8,491 \text{ kWh/hari}$$

$$ET = 8,491 \text{ kWh/hari}$$

4.4.2 Menentukan besaran daya yang bisa dibangkitkan

Berdasarkan total konsumsi energi listrik harian pada rumah tinggal yang akan dibangkitkan sebesar 8,191 kWh/hari dan Equivalent Sun Hours (ESH) di Indonesia yaitu 4,5 jam per hari, maka kebutuhan daya yang akan dibangkitkan PLTS, adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Daya PLTS} &= \frac{\text{Jumlah Total Kebutuhan Energi (Wh)}}{\text{Equivalent Sun Hours (h)}} \\ &= \frac{8,491 \text{ kWh}}{4,5 \text{ h}} \\ &= 1,88 \text{ kW} \end{aligned}$$

4.4.3 Menghitung jumlah panel terpasang

Berdasarkan besar kebutuhan daya yang akan dibangkitkan dan kapasitas modul panel surya yang akan digunakan yaitu sebesar 350 Wp. Maka jumlah panel surya yang diperlukan, adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{\text{Kebutuhan Daya (kW)}}{\text{Kapasitas Modul Surya (Wp)}} \\ &= \frac{1,88 \text{ kW}}{350 \text{ Wp}} \end{aligned}$$

$$= 5,37$$

$$= 6 \text{ unit (pembulatan)}$$

Sehingga jumlah panel surya yang akan digunakan dan cocok untuk beban objek rumah tersebut adalah 6 unit panel surya 350 Wp dengan tipe *Monocrystalline* dengan spesifikasi nilai V_{mp} 35,14V dan I_{mp} 9,97 A.

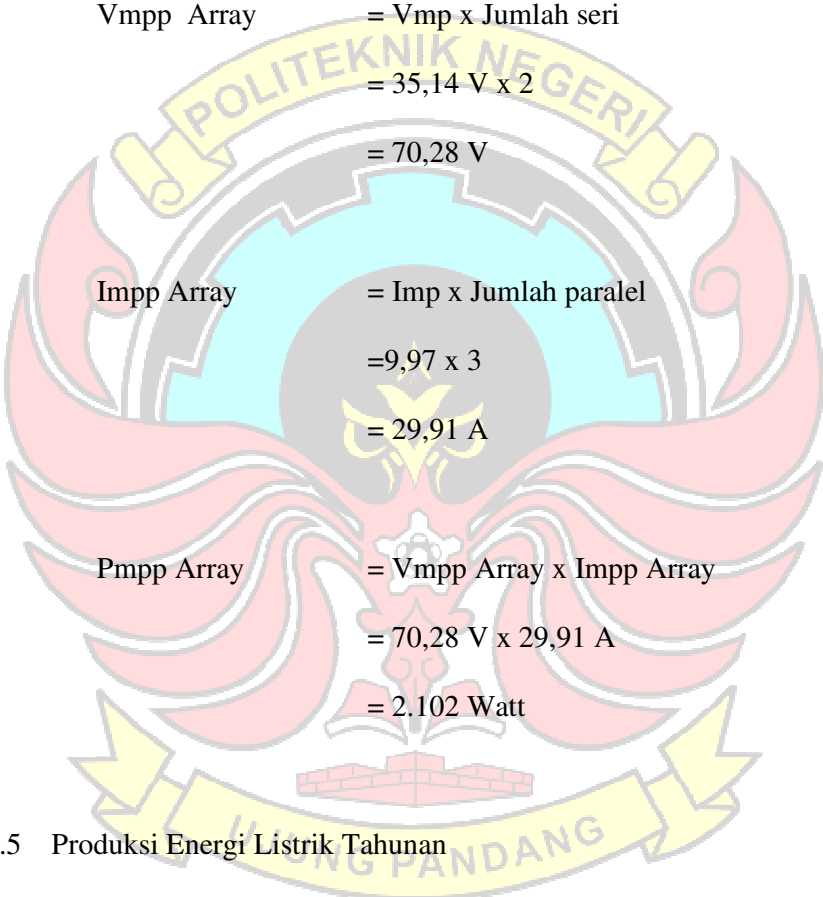
4.4.4 Penyusunan Array Panel Surya

Dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga surya, penting untuk merancang susunan array modul panel surya dengan mempertimbangkan tegangan kerja yang diinginkan serta batasan luas pada atap rumah. Array pada PLTS merupakan susunan atau kumpulan dari beberapa panel surya yang terhubung secara seri atau paralel. Penyusunan array pada PLTS dapat meningkatkan tegangan dan daya total yang dihasilkan sehingga memungkinkan penggunaan kabel yang sesuai serta beban listrik dapat didistribusikan secara seimbang di seluruh array. Berikut adalah susunan seri dan paralel modul surya dalam array yang akan mendapatkan tegangan, arus dan daya.



Gambar 4.9 Array Panel surya

Berdasarkan perencanaan penyusunan array PLTS atap rumah yang menjadi objek penelitian terdapat total 6 unit PV, memiliki 2 array (kelompok) dengan 2 disusun secara seri dan 3 disusun parallel maka didapatkan tegangan array sebesar 70,28 VDC yang di sesuaikan dengan tegangan rating inverter pada kisaran 30 – 80 VDC dan rating arus maksimum sebesar 70 A .



$$\begin{aligned} V_{mpp \text{ Array}} &= V_{mp} \times \text{Jumlah seri} \\ &= 35,14 \text{ V} \times 2 \\ &= 70,28 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{mpp \text{ Array}} &= I_{mp} \times \text{Jumlah paralel} \\ &= 9,97 \times 3 \\ &= 29,91 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{mpp \text{ Array}} &= V_{mpp \text{ Array}} \times I_{mpp \text{ Array}} \\ &= 70,28 \text{ V} \times 29,91 \text{ A} \\ &= 2.102 \text{ Watt} \end{aligned}$$

4.4.5 Produksi Energi Listrik Tahunan

$$\begin{aligned} A \text{ kWh} &= \text{Jumlah Panel Surya} \times \text{Kapasitas Panel Surya} \times \text{ESH} \times 365 \\ &= 6 \times 350 \times 4,5 \times 365 \\ &= 3.449 \text{ kWh/yr} \end{aligned}$$

4.4.6 Faktor Temperatur dan Faktor Koreksi Temperatur

Berdasarkan Jurnal ‘Pengaruh Efek Suhu Terhadap Kinerja Panel Surya’, Panel surya akan bekerja secara optimal pada suhu 25°C, semakin besar suhu panel surya akan berdampak pada daya yang dihasilkan oleh panel surya (Puteri K.T dan Mahendra W, 2020). Berdasarkan data dari Meteorologi 8.1 (2016-2021) pada perumahan Citraland Tallasa City, suhu rata-rata paling besar sekitar 27,9 °C, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Kenaikan temperatur} &= \text{Suhu rata-rata tertinggi} - \text{Suhu Standar} \\ &= 27,9 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 2,9 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Pengaruh suhu mempengaruhi keluaran dari setiap panel surya maka dari itu perlu mengetahui dengan melihat rata-rata intensitas matahari dengan mencari daya maksimal jika menggunakan panel dengan ukuran daya maksimal 350 Wp. Setiap kenaikan suhu pada panel surya 1°C (dari 25°C) mengalami penurunan daya sebesar -0,40%/°C sesuai dengan spesifikasi panel surya yang digunakan. Sehingga daya yang dapat dibangkitkan panel surya dengan mempertimbangkan faktor temperatur adalah dengan menggunakan beberapa persamaan berikut :

$$\begin{aligned} P \text{ saat } \Delta t &= \eta P_{\text{max}} \times P \times \Delta t \text{ (}^\circ\text{C)} \\ &= 0,40\% \times 350 \text{ Wp} \times 2,9 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 4,06 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dengan mengetahui Δt , maka dapat diketahui keluaran maksimal Ketika menggunakan panel surya dengan kapasitas 350 Wp.

$$\begin{aligned}
 P_{\max t'} &= P_{\max} - P_{\text{saat } \Delta t} \\
 &= 350 \text{ W} - 4,06 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$= 345,94 \text{ Watt}$$

Untuk menghitung faktor koreksi temperatur dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{FKT} &= \frac{P_{\max t'}}{550} \\
 &= \frac{345,94}{350} \\
 &= 0,98
 \end{aligned}$$

4.4.7 Menghitung Luas Array Panel

Luas array dalam perencanaan panel surya di atap rumah objek penelitian dipengaruhi oleh beberapa faktor dari efisiensi panel (η_{PV}) sebesar 21,13%, efisiensi inverter+baterai, sehingga (η_{out}) sebesar 95%, Nilai Insolasi Matahari sebesar 5,188 kWh/m²/hari yang didapatkan dari data source Meteonom 8.1 (2016-2021).

$$\text{Luas Array} = \frac{ET}{G_{av} \times \eta_{PV} \times \text{FKT} \times \eta_{out}}$$

$$= \frac{8,491 \text{ kWh/hari}}{5,47 \frac{\text{kWhm}^2}{\text{hari}} \times 0,2133 \times 0,98 \times 0,98}$$

$$= 7,57 \text{ m}^2$$

Setelah melakukan perhitungan, diperoleh luas array sebesar 7,57 m², Dan dari hasil observasi diperoleh luas atap rumah objek penelitian yang akan dilakukan pemasangan panel surya sebesar 42 m². Sehingga, dapat disimpulkan bahwa, secara teknis penerapan panel surya pada rumah objek penelitian tersebut layak dilakukan.

4.4.8 Menentukan Kapasitas dan Spesifikasi Inverter

Setelah menghitung jumlah array dan daya masing masing tiap array yang dapat dibangkitkan, langkah selanjutnya adalah menghitung dan menentukan kapasitas inverter dengan menggunakan safety factor sebesar 1,25 dengan menggunakan Persamaan 2.5 :

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas Inverter} &= P_{mpp} \times \text{safety factor} \\
 &= 2.120 \text{ W} \times 1,25 \\
 &= 2.650\text{W} \approx 2,6 \text{ Kw}
 \end{aligned}$$

4.4.9 Menghitung Kapasitas Baterai

Baterai merupakan komponen yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi. kapasitas baterai yang di pakai adalah:

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{EL \times N}{Vs \times DoD \times \eta} \\
 &= \frac{4.710 \times 1}{24 \times 0,8 \times 0,95}
 \end{aligned}$$

$$= 258,22 \text{ Ah}$$

Adapun tegangan baterai yang di-support oleh inverter yang akan digunakan yaitu sebesar 24 VDC, seperti yang ditunjukkan seperti pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Tegangan baterai yang di *support* oleh inverter

MODEL	SVP-3K
BATTERY	
Battery voltage	24 VDC
Floating Charge Voltage	27 VDC
Overcharge Protection	32VDC

$$\begin{aligned} \text{Baterai Seri} &= \frac{\text{Tegangan Kerja Sistem}}{\text{Tegangan Kerja Battery}} \\ &= \frac{24 \text{ V}}{24 \text{ V}} \\ &= 1 \approx 1 \text{ Buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Baterai Paralel} &= \frac{\text{Kapasitas yang dibutuhkan}}{\text{Kapasitas Baterai}} \\ &= \frac{258,22 \text{ Ah}}{200 \text{ Ah}} \\ &= 1,29 \approx 2 \text{ Buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Baterai} &= \text{Baterai seri} \times \text{Baterai Paralel} \\ &= 1 \times 2 = 2 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan baterai yang dibutuhkan dalam perencanaan PLTS *Hybrid* pada rumah objek penelitian dibutuhkan sebanyak 2 buah baterai dengan tegangan 24 volt dan kapasitas sebesar 200 Ah.

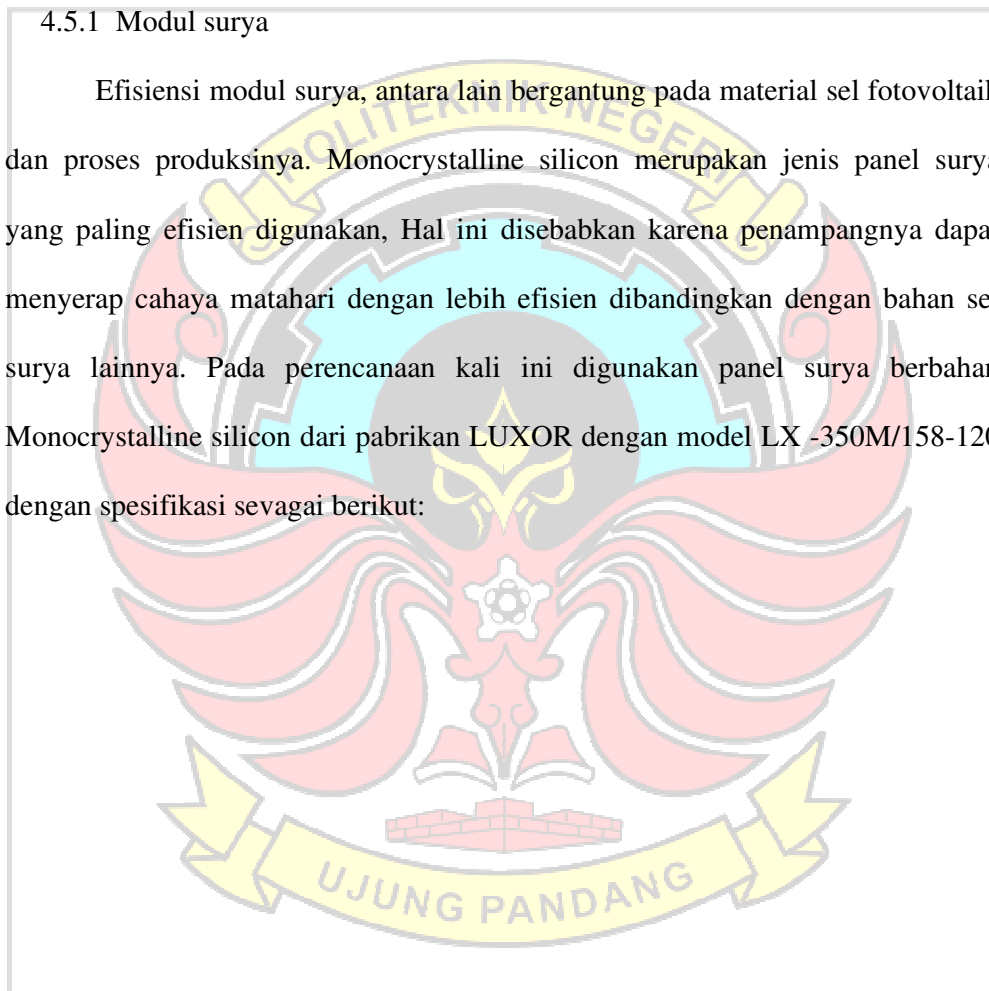
4.5 Menentukan Komponen

Kemudian dilakukan pemilihan komponen utama pada penelitian ini, yaitu panel surya, inverter, SCC, dan baterai untuk desain sistem PLTS *Hybrid* yang

akan dirancang. Pemilihan komponen yang akan dipilih disesuaikan dengan profil beban energi listrik. Dalam menentukan komponen tersebut juga akan memasukkan harga yang sesuai dengan harga komponen aslinya. Berikut ini merupakan komponen utama sistem PLTH yang akan dirancang:

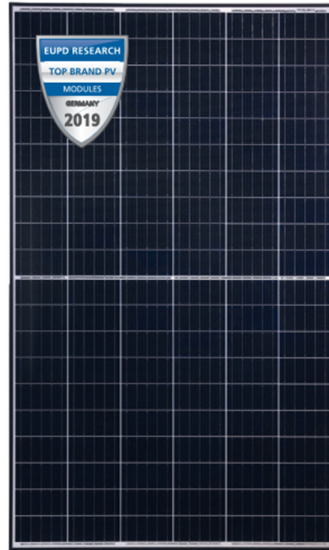
4.5.1 Modul surya

Efisiensi modul surya, antara lain bergantung pada material sel fotovoltaik dan proses produksinya. Monocrystalline silicon merupakan jenis panel surya yang paling efisien digunakan, Hal ini disebabkan karena penampangnya dapat menyerap cahaya matahari dengan lebih efisien dibandingkan dengan bahan sel surya lainnya. Pada perencanaan kali ini digunakan panel surya berbahan Monocrystalline silicon dari pabrikan LUXOR dengan model LX -350M/158-120 dengan spesifikasi sebagai berikut:



Solar Module
Manufacturer
Since 2004

LUXOR
the sunshine people



- + REDUCED LOSSES DURING PARTIAL SHADING
- + HIGHER YIELD: MORE REFLECTION ON CELL SURFACE
- + APPLICATIONS: INDUSTRIAL, COMMERCIAL AND RESIDENTIAL POWER PLANTS
- + ECO: ESPECIALLY ECONOMIC AND RELIABLE



product guarantee¹



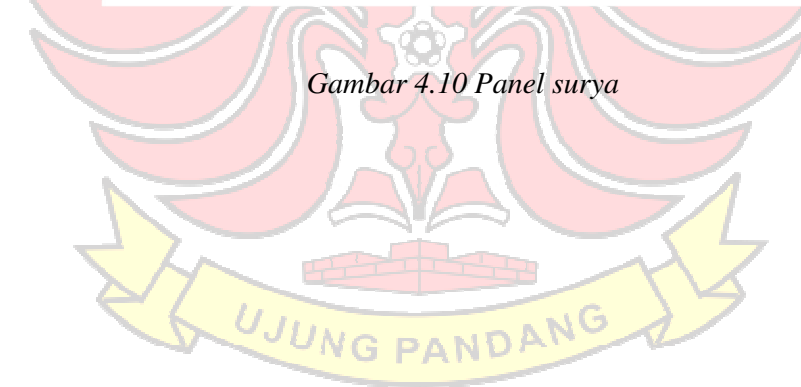
linear performance guarantee²



ECO LINE HALF CELLS
M120 / 340 - 360 W

MONOCRYSTALLINE MODULE FAMILY, BLACK FRAME

Gambar 4.10 Panel surya



Tabel 4.3 Spesifikasi Panel Surya

Max. Power [W]	350
Efficiency [%]	21,13
Max. Power Voltage, V_{mp} [V]	35,14
Max. Power Current, I_{mp} [A]	9,97A
Open Circuit Voltage, V_{oc} [V]	41,79
Short Circuit Current, I_{sc} [A]	10,44
Weight [Kg]	19
Dimension of Module [mm]	1684 x 1002 x 35
Pmax Temperature Coefficient [%/°C]	-0.40
Operating temperature [°C]	40 – 85
Isc Temperature Coefficient [%/°C]	+0.05
Maximum system voltage [VDC]	1000 or 1500
Maximum return current [A]	25
Operating Temperature [°C]	-40~+85
NOCT [°C]	45±2

4.5.2 Inverter

Inverter yang akan digunakan dalam perencanaan PLTS merupakan produksi dari SAKO model: SPV 3KW / 24V . Inverter terpasang secara *indoor*,

Inverter berfungsi untuk merubah arus dan tegangan listrik DC (Direct Current) yang dihasilkan PLTS menjadi arus dan tegangan listrik AC (Alternating Current). Pada pemilihan inverter, diupayakan kapasitas kerjanya mendekati kapasitas daya yang dilayani. Hal ini agar efisiensi kerja inverter menjadi maksimal.

Berdasarkan besar kapasitas daya yang harus dilayani, maka dalam perencanaan ini digunakan 1 buah inverter pure sine wave 3 kW dengan maksimal tegangan input sebesar 80 VDC disesuaikan dengan keluaran dari panel. Spesifikasi inverter dapat dilihat pada Lampiran . Adapun kelebihan dari inverter SAKO SVP-3KW sebagai berikut:

a) Dilengkapi dengan

1. Pure Sine Wave yang merupakan jenis inverter yang memiliki output berbentuk gelombang yang hampir menyerupai gelombang sinusoidal murni (bahkan lebih baik dibandingkan dengan gelombang sinusoidal sempurna pada jaringan listrik dalam hal ini PLN) dengan total harmonic distortion (THD) $> 3\%$, sehingga cocok untuk semua alat elektronik.
2. Pulse Width Modulation (PWM) Solar Charge Controller atau pengontrol pengisian daya, yang berfungsi mencegah pengisian energi baterai yang berlebihan dengan membatasi jumlah dan laju pengisian daya ke baterai dan pengurusan baterai dengan mematikan sistem jika daya yang tersimpan turun di bawah kapasitas 30 persen dan mengisi baterai pada level voltase yang benar.

3. ATS (Automatic Transfer Switch) merupakan sistem keamanan berupa saklar yang bekerja secara otomatis yang berfungsi untuk mengendalikan dua sumber aliran listrik, baik dari sumber aliran listrik utama (PLTS) menuju sumber aliran listrik cadangan (PLN) atau sebaliknya.

b) Mode Operasional

Pada inverter SAKO tersedia beberapa penggunaan mode yaitu:

1. Prioritas solar panel, jika solar panel mati atau kekurangan energi listrik maka disuplai atau menggunakan PLN.
2. Prioritas PLN, jika PLN mati maka energi listrik disuplai menggunakan solar panel atau baterai.
3. Prioritas solar panel, jika solar panel mati maka energi listrik disuplai dari baterai sebelum menggunakan PLN.



Gambar 4.11 Inverter

Tabel 4.4 Spesifikasi Inverter

Rated output Power	3KW
PV Array MPPT Voltage	30-80 VDC
Max PV Array Voltage	80 VDC
Nominal Frequency	50/60 Hz
Peak Efficiency	98%
Transfer time	10ms Computer, 20ms typical
System DC Voltage	24V
Max solar input power	50 Amp, 1200W
Power Factor	0.8 (lagging) – 0.8 (leading)
Operating temperature range	0°C – 50°C

4.5.3 Baterai

Baterai bertindak sebagai penyimpan energi sementara (buffer) untuk mengatasi perbedaan antara pasokan listrik dari modul fotovoltaik dan permintaan listrik. Baterai memiliki keterbatasan umur pakai yang bergantung pada perilaku penggunaan serta temperatur pengoperasian. Adapun rata-rata usia baterai lithium-ion usia pakai hingga 10 tahun, semakin besar DoD (depth of discharge) maka semakin kecil jumlah siklus umur pakainya. Juga, semakin tinggi temperatur ruangan, maka semakin berkurang siklus umur pakainya. Perlu diperhatikan juga pengaturan tegangan pengisian. Tegangan yang tinggi saat pengisian baterai diatas batas yang ditetapkan dapat menyebabkan pengisian berlebih pada baterai.



Gambar 4.12 Baterai

Tabel 4.5 Spesifikasi Baterai

Model	Victron Energy LiFePO4
Nominal Voltage	24
Nominal Capacity	200Ah

Charge current	Recommendation ≤ 100 A
----------------	-----------------------------

4.5 Pengkabelan

Menurut PUIL (2016), dalam menentukan ukuran kabel yang dibutuhkan

pada perencanaan PLTS dapat mengacu pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Jenis Kabel

Jenis Kabel	Luas Penampang mm ²	Kuat Hantar Arus Inti Tunggal	
		Di tanah A	Di udara A
NY Y	1,5	40	26
NY BY	2,5	54	35
NY F	4	70	46
NY FG b Y	6	90	58
NY RG b Y	10	122	79
NY CY	16	160	105
NY CW Y	25	206	140
NY SY	35	249	174
	50	296	212

4.5.1 Pemilihan Kabel dan Sistem Proteksi

a) Instalasi Listrik Panel Surya ke Inverter

Dalam menentukan ukuran kabel penghubung panel surya ke inverter dapat menggunakan *short circuit current* (I_{sc}) yaitu 9,51 A. Dengan demikian total *short circuit current* (I_{sc}) dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{scTotal} = I_{scstring\ 1} + I_{scstring\ 2} + I_{scstring\ 1}$$

$$= 9,51\ A + 9,51\ A + 9,51\ A$$

$$= 28,53\ A$$

Dengan menggunakan persamaan diperoleh nilai KHA sebagai berikut:

$$KHA = 125\% \times \text{Arus Maksimum}$$

$$= 125\% \times 25,53 \text{ A}$$

$$= 31,91 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka diperoleh nilai KHA yaitu 31,91 A. Dengan mengacu pada Tabel 4.6 maka ukuran kabel yang digunakan yaitu sebesar 2,5 mm² dengan jenis kabel yaitu NYY dan untuk Gawai Proteksi (MCB) DC yaitu sebesar 20 A.

Mengacu pada total Isc yang dihasilkan panel surya (d disesuaikan dengan besar arus listrik yang mengalir) maka dipilih Miniature Circuit Breaker (MCB) DC yaitu sebesar 20A. Berdasarkan nilai Voc array sebesar 70,28 VDC (tegangan *open circuit*) SPD DC yang akan dihitung dengan persamaan:

$$V_{rating} = V_{oc} \times \text{safety factor}$$

$$= 70,28 \text{ VDC} \times 1.25$$

$$= 87,85 \text{ VDC}$$

Dari perhitungan di atas maka Surge Protection Device (SPD) dipilih dengan kapasitas 90 VDC.

b) Inverter Terhubung ke Baterai

Penggunaan daya minimum pada siang hari yaitu sebesar 12 W , daya maksimum yang dihasilkan panel surya yaitu sebesar 2102 W, dan tegangan

baterai yaitu sebesar 24 V, maka arus maksimum yang mengalir ke baterai dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{\max} = \frac{\text{Daya maksimum panel surya (W)} - \text{daya minimum beban (W)}}{\text{Tegangan baterai}}$$

$$= \frac{2102W - 12W}{24V}$$

$$= 87,08 \text{ A}$$

Dari perhitungan diatas dan mengacu pada Tabel 4.11 maka ukuran kabel yang digunakan yaitu sebesar 16 mm² dengan jenis kabel yaitu NYY. Mengacu pada besar arus listrik yang mengalir, maka dipilih MCB DC yaitu sebesar 80 A.

c) Inverter Terhubung ke Beban

Penggunaan daya maksimum yang dihasilkan panel surya yaitu sebesar 2102 W, dan tegangan keluaran inverter 230V, maka arus maksimum yang mengalir ke beban dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{\text{Daya maksimum panel surya (W)}}{\text{Vout Inverter (V)}}$$

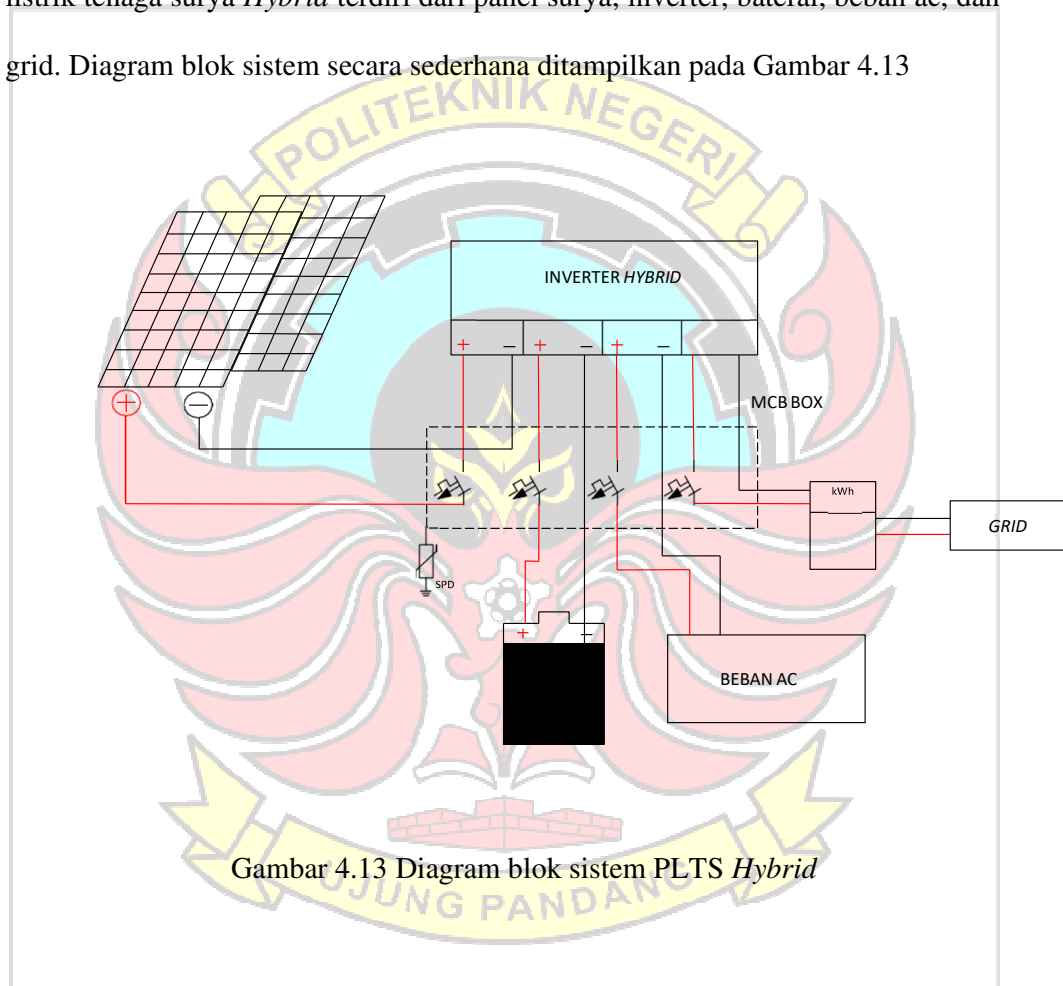
$$I = \frac{2102W}{230V}$$

$$= 9,13A$$

Dari perhitungan diatas dan mengacu pada Tabel 4.6 maka ukuran kabel yang digunakan yaitu sebesar 1,5 mm² dengan jenis kabel yaitu NYY. Mengacu pada besar arus listrik yang mengalir, maka dipilih MCB DC yaitu sebesar 10 A.

4.7 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem merupakan penyederhanaan dari gambaran keseluruhan sistem rangkaian yang mewakili hubungan satu atau lebih rangkaian yang memiliki kesatuan kerja yang tersendiri. Pada perencanaan ini pembangkit listrik tenaga surya *Hybrid* terdiri dari panel surya, inverter, baterai, beban ac, dan grid. Diagram blok sistem secara sederhana ditampilkan pada Gambar 4.13

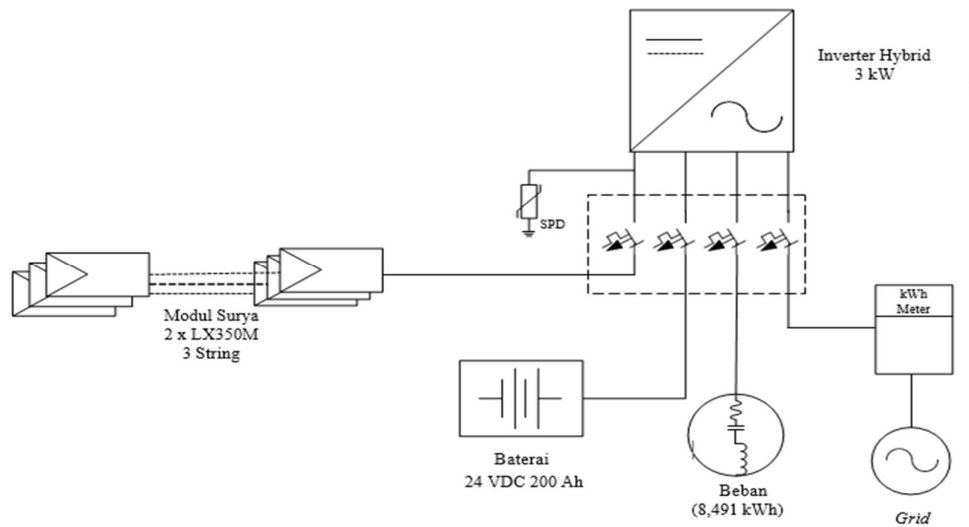


Gambar 4.13 Diagram blok sistem PLTS *Hybrid*

4.8 Single Line Diagram

Single line diagram menunjukkan sistem kelistrikan dari sumber listrik ke pengguna listrik. Pada perencanaan ini, sumber listriknya adalah PLTS dan PLN, sedangkan pengguna listrik dapat didefinisikan sebagai beban statis yang

terdiri dari induktor, kapasitor, dan resistor untuk kebutuhan rumah tangga, dapat dilihat pada gambar 4.14



Gambar 4.14 Single Line Diagram

4.9 Analisa Ekonomi

4.9.1 Menghitung Biaya Investasi PLTS

Biaya investasi awal untuk PLTS yang akan didesain mencakup biaya-biaya seperti: biaya komponen PLTS, biaya komponen pendukung PLTS, biaya pengiriman serta biaya instalasi PLTS. Biaya untuk komponen PLTS ini terdiri dari biaya untuk pembelian panel surya, inverter, dan baterai.

Berdasarkan hasil perhitungan numerik diatas dan harga komponen yang diperoleh dari situs online maka biaya investasi PLTS dapat dilihat pada Tabel

berikut.

Tabel 4.7 Harga Komponen PLTS

No.	Komponen	Unit	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Rp
1	PV 350 Wp	6	3.200.000	19.200.000
2	Inverter 3 Kw	1	5.000.000	5.000.000
3	Battery 24V 200Ah	2	4.100.000	8.200.000
4	Rel Mounting Bracket	4	549.000	2.196.000
5	Midle Clamp Bracket	24	18.000	432.000
6	End Clamp Bracket	16	15.000	240.000
7	Kabel 2x1,5mm ²	1	400.000	400.000
8	Kabel 2x 16mm ²	1	795.000	795.000
9	Konektor Tenaga Surya	3	95.000	285.000
10	MCB 20 A	1	134.000	134.000
11	MCB 40 A	1	319.000	319.000
12	Mur	20	5.000	250.000
13	Penjepit Baterai	4	1.300	5.200
14	SPD DC 90V	1	220.000	220.000
15	Siku L	1	40.000	40.000

Total				38.471.700
Instalasi				
15	Transportasi	1	300.000	300.000
16	Pemasangan	2	1.000.000	2.000.000
Total				2.300.000
Biaya Investasi Awal PLTS				40.771.700

4.9.2 Menghitung Biaya

Pemeliharaan dan Operasional Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal. Berdasarkan acuan tersebut maka pada penelitian ini, besar persentase untuk biaya pemeliharaan dan operasional per tahun PLTS yang mencakup biaya untuk pekerjaan pembersihan panel surya, biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan dan instalasi akan ditetapkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal. Penentuan persentase 1% didasarkan 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 (Suhendar,2022). Berdasarkan biaya investasi awal, maka besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan

diimplementasikan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$= 1\% \times \text{Rp. 40.771.700}$$

$$= \text{Rp. 407.717 per tahun}$$

4.9.3 Menghitung Biaya Siklus Hidup

Biaya siklus hidup (LCC) untuk PLTS yang akan didesain pada rumah tinggal, ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal (C), biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional (M_{PW}) dan (R_{PW}) biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian selama umur proyek. PLTS yang akan didesain pada perencanaan ini, diasumsikan beroperasi selama 20 tahun. Penetapan umur proyek ini mengacu kepada *life time* PLTS yang berada pada perencanaan di *software PVSyst*.

Besarnya tingkat diskonto (i) yang dipergunakan untuk menghitung nilai sekarang pada perencanaan ini adalah sebesar 9,30%. Penentuan tingkat diskonto ini mengacu kepada tingkat suku bunga kredit bank bulan Agustus tahun 2023.

Besar nilai sekarang (*present value*) untuk biaya pemeliharaan dan operasional (M_{PW}) PLTS selama umur proyek 20 tahun dengan tingkat diskonto 9,30%, dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$M_{PW} = M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

$$= \text{Rp } 407.707 \left[\frac{(1+9,27)^{20} - 1}{9,27 (1+9,27)^{20}} \right]$$

$$= \text{Rp. } 3.643.643$$

Besar nilai sekarang (*present value*) untuk biaya penggantian selama umur proyek (R_{PW}), dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Biaya Penggantian Komponen Selama Umur Proyek

Komponen	Umur Komponen (Tahun)	Pergantian	Total Harga
Baterai	10	2	Rp 8.200.000
Inverter	10	1	Rp 5.000.000
Jumlah Biaya Penggantian Komponen			Rp13.200.000

Berdasarkan biaya investasi awal (C), perhitungan M_{PW} dan biaya penggantian baterai dan inverter, maka biaya siklus hidup (LCC) untuk PLTS yang akan didesain selama umur proyek 20 tahun dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$LCC = C + M_{PW} + R_{PW}$$

$$= \text{Rp } 40.771.700 + \text{Rp } 3.643.643 + \text{Rp } 13.200.000$$

$$= \text{Rp } 57.615.343$$

4.7.4 Menghitung Biaya Energi PLTS

Perhitungan biaya energi (*cost of energy*) suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan kWh produksi tahunan PLTS yang didesain.

Faktor pemulihan modal untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian biaya tahunan, diperhitungkan dengan menggunakan persamaan:

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

$$= \frac{9,30\% (1+9,30\%)^{20}}{(1+9,30\%)^{20} - 1}$$

$$= 0,1119$$

Berdasarkan hasil perhitungan LCC yaitu Rp 57.615.343 CRF yaitu 0,1119 dan produksi energi listrik tahunan yaitu kWh maka besar biaya energi (COE) untuk PLTS yang didesain pada rumah tinggal dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned} COE &= \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \\ &= \frac{Rp 57.615.343 \times 0,1119}{3.449 \text{ kWh}} \\ &= Rp 1.869 \text{ per kWh} \end{aligned}$$

4.9.4 Analisis Kelayakan Investasi PLTS

Kelayakan investasi PLTS yang akan didesain pada Rumah Perumahan Citraland Makassar ditentukan berdasarkan hasil perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Discounted Payback Period* (DPP).

Perhitungan NPV, PI dan DPP ditentukan oleh besar arus kas bersih (*Net Cash Flow*), faktor diskonto (*discount factor*) dan nilai sekarang arus kas bersih (*Present Value Net Cash Flow*). Arus kas bersih (NCF) dihasilkan dengan mengurangi arus kas masuk dengan arus kas keluar. Sedangkan untuk nilai

sekarang arus kas bersih (PVNCF) dihasilkan dengan mengalikan arus kas bersih dengan tingkat diskonto. Tabel 4.9 menunjukkan hasil perhitungan arus kas bersih, faktor diskonto dengan tingkat diskonto (i) sebesar 9,30% dan nilai sekarang arus kas bersih.

Arus kas masuk tahunan PLTS yang akan didesain pada Rumah Perumahan Citraland Makassar dihasilkan dengan mengalikan kWh produksi energi listrik tahunan PLTS dengan biaya energi. Dengan kWh produksi energi listrik tahunan PLTS sebesar 1.869 kWh. Untuk arus kas keluar tahunan PLTS ditentukan berdasarkan biaya pemeliharaan dan operasional tahunan PLTS.

Untuk tahun pertama dengan biaya energi sebesar Rp 1.869/kWh maka besar arus kas masuk tahunan adalah sebesar Rp 6.447.051. Untuk arus kas keluar tahunan PLTS adalah sebesar Rp 407.717.

Berdasarkan hasil perhitungan arus kas bersih (NCF), factor diskonto dan nilai sekarang arus kas bersih (PVNCF), maka NPV, PI dan DPP untuk PLTS yang akan diimplementasikan dapat diperhitungkan, untuk tahun ke-2 hingga tahun ke-20, arus kas masuk dan arus kas keluar tahunan PLTS diasumsikan mengalami kenaikan 10% pertahun.

Tabel 4.9 Perhitungan NCF, DF dan PVNCF dengan $i = 9,30\%$

Tahun	Investasi Awal	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Faktor Diskonto	NCF	PVNCF
					9,30%		
0	Rp 40.771.700						
1		Rp 6.447.051	Rp 407.717	Rp 6.039.334	0,915	Rp 5.525.466	Rp 5.525.466
2		Rp 7.091.757	Rp 448.489	Rp 6.643.268	0,837	Rp 5.560.853	Rp 11.086.319
3		Rp 7.800.932	Rp 493.338	Rp 7.307.595	0,766	Rp 5.596.467	Rp 16.682.787
4		Rp 8.581.025	Rp 542.671	Rp 8.038.354	0,701	Rp 5.632.309	Rp 22.315.096
5		Rp 9.439.128	Rp 596.938	Rp 8.842.190	0,641	Rp 5.668.381	Rp 27.983.477
6		Rp 10.383.041	Rp 656.632	Rp 9.726.409	0,587	Rp 5.704.683	Rp 33.688.160
7		Rp 11.421.345	Rp 722.296	Rp 10.699.049	0,537	Rp 5.741.218	Rp 39.429.378
8		Rp 12.563.479	Rp 794.525	Rp 11.768.954	0,491	Rp 5.777.987	Rp 45.207.365

9		Rp 13.819.827	Rp 873.978	Rp 12.945.850	0,449	Rp 5.814.992	Rp 51.022.357
10		Rp 15.201.810	Rp 961.375	Rp 14.240.435	0,411	Rp 5.852.233	Rp 56.874.590
11		Rp 16.721.991	Rp 1.057.513	Rp 15.664.478	0,376	Rp 5.889.713	Rp 62.764.304
12		Rp 18.394.190	Rp 1.163.264	Rp 17.230.926	0,344	Rp 5.927.433	Rp 68.691.737
13		Rp 20.233.609	Rp 1.279.591	Rp 18.954.019	0,315	Rp 5.965.395	Rp 74.657.132
14		Rp 22.256.970	Rp 1.407.550	Rp 20.849.420	0,288	Rp 6.003.600	Rp 80.660.731
15		Rp 24.482.667	Rp 1.548.305	Rp 22.934.363	0,263	Rp 6.042.049	Rp 86.702.780
16		Rp 26.930.934	Rp 1.703.135	Rp 25.227.799	0,241	Rp 6.080.745	Rp 92.783.525
17		Rp 29.624.027	Rp 1.873.449	Rp 27.750.579	0,221	Rp 6.119.688	Rp 98.903.213
18		Rp 32.586.430	Rp 2.060.793	Rp 30.525.636	0,202	Rp 6.158.881	Rp 105.062.094
19		Rp 35.845.073	Rp 2.266.873	Rp 33.578.200	0,185	Rp 6.198.325	Rp 111.260.419
20		Rp 39.429.580	Rp 2.493.560	Rp 36.936.020	0,169	Rp 6.238.021	Rp 117.498.440
Total						Rp 117.498.440	Rp 117.498.440

1. *Net Present Value (NPV)*

Pada tabel 4.9 menunjukkan bahwa total nilai sekarang arus kas bersih yang merupakan hasil perkalian antara arus kas bersih dengan faktor diskonto.

NPV dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} NPV &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF}{(1+i)^n} - C \\ &= \text{Rp } 117.498.440 - \text{Rp } 40.771.700 \\ &= \text{Rp } 76.726.740 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan NPV yang bernilai positif Rp 76.726.740 (> 0), menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan diimplementasikan pada Rumah Citraland Makassar layak.

2. *Profitability Index (PI)*

Tabel 4.9 menunjukkan bahwa total nilai sekarang arus kas bersih sebesar sebesar Rp 117.498.440 Sehingga dengan biaya investasi awal (*Initial Investment*) sebesar Rp 40.771.700, maka besar nilai PI dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NCF_t(1+i)^{-t}}{C}$$

$$= \frac{\text{Rp } 76.726.740}{\text{Rp } 40.771.700}$$

$$= 1,32$$

Hasil perhitungan PI yang bernilai 1,32 (> 1), menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan diimplementasikan pada Rumah Perumahan

Citraland Makassar layak untuk dilaksanakan.

3. *Discounted Payback Period (DPP)*

DPP diperoleh dengan menghitung berapa tahun nilai sekarang arus kas bersih kumulatif akan sama dengan nilai investasi awal.

Pada Tabel 4.9 menunjukkan tahun ke-7, nilai sekarang arus kas bersih kumulatif mendekati nilai investasi awal dengan kekurangan sebesar Rp 1.342.322 yaitu dari Rp 40.771.700 – 39.429.378 Dalam tahun ke-8, nilai sekarang arus kas bersih adalah sebesar Rp 5.777.987. Sehingga untuk dapat menutupi kekurangan investasi awal sebesar Rp 5.777.987, maka lama waktu yang diperlukan sekitar sekitar 3 bulan ($\text{Rp } 1.342.322 / \text{Rp } 5.777.987 = 0,23$ dari 12 bulan

Dhasilkannya DPP sekitar 7 tahun 3 bulan, menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan diimplementasikan pada rumah tinggal layak untuk dilaksanakan. Hal ini karena DPP yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih kecil dari periode umur proyek yang ditetapkan, yaitu selama 20 tahun.

4. *Internal Rate Return (IRR)*

Untuk menentukan nilai IRR digunakan metode interpolasi antara suku bunga untuk menghasilkan nilai NPV positif. Pada perencanaan ini menggunakan suku bunga yaitu sebesar 9,30%. Untuk mengitung IRR

digunakan tingkat suku bunga yang lebih rendah dan tingkat suku bunga yang lebih tinggi dari tingkat suku bunga yang telah ada, dimana suku bunga rendah yang digunakan adalah 8,30% dan suku bunga tinggi adalah 10,30%

Tabel 4.10 Perhitungan DF dan NCFr, dengan $i = 8,30\%$

Tahun	Investasi Awal	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Faktor Diskonto	NCFr
					8,30%	
0	Rp 40.771.700					
1		Rp 6.447.051	Rp 407.717	Rp 6.039.334	0,923	Rp 5.576.486
2		Rp 7.091.757	Rp 448.489	Rp 6.643.268	0,853	Rp 5.664.021
3		Rp 7.800.932	Rp 493.338	Rp 7.307.595	0,787	Rp 5.752.930
4		Rp 8.581.025	Rp 542.671	Rp 8.038.354	0,727	Rp 5.843.234
5		Rp 9.439.128	Rp 596.938	Rp 8.842.190	0,671	Rp 5.934.956
6		Rp 10.383.041	Rp 656.632	Rp 9.726.409	0,620	Rp 6.028.118
7		Rp 11.421.345	Rp 722.296	Rp 10.699.049	0,572	Rp 6.122.743
8		Rp 12.563.479	Rp 794.525	Rp 11.768.954	0,528	Rp 6.218.852

9	Rp 13.819.827	Rp 873.978	Rp 12.945.850	0,488	Rp 6.316.470
10	Rp 15.201.810	Rp 961.375	Rp 14.240.435	0,451	Rp 6.415.621
11	Rp 16.721.991	Rp 1.057.513	Rp 15.664.478	0,416	Rp 6.516.328
12	Rp 18.394.190	Rp 1.163.264	Rp 17.230.926	0,384	Rp 6.618.615
13	Rp 20.233.609	Rp 1.279.591	Rp 18.954.019	0,355	Rp 6.722.509
14	Rp 22.256.970	Rp 1.407.550	Rp 20.849.420	0,327	Rp 6.828.033
15	Rp 24.482.667	Rp 1.548.305	Rp 22.934.363	0,302	Rp 6.935.213
16	Rp 26.930.934	Rp 1.703.135	Rp 25.227.799	0,279	Rp 7.044.076
17	Rp 29.624.027	Rp 1.873.449	Rp 27.750.579	0,258	Rp 7.154.648
18	Rp 32.586.430	Rp 2.060.793	Rp 30.525.636	0,238	Rp 7.266.956
19	Rp 35.845.073	Rp 2.266.873	Rp 33.578.200	0,220	Rp 7.381.026
20	Rp 39.429.580	Rp 2.493.560	Rp 36.936.020	0,203	Rp 7.496.887
Total				9,603	Rp 129.837.722

Tabel 4.11 Perhitungan DF dan NCFt dengan $i = 10,30\%$

Tahun	Investasi Awal	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Faktor Diskonto	NCFt
		10%	10%		10,30%	
0	Rp 40.771.700					
1		Rp 6.447.051	Rp 407.717	Rp 6.039.334	0,907	Rp 5.475.371
2		Rp 7.091.757	Rp 448.489	Rp 6.643.268	0,822	Rp 5.460.479
3		Rp 7.800.932	Rp 493.338	Rp 7.307.595	0,745	Rp 5.445.627
4		Rp 8.581.025	Rp 542.671	Rp 8.038.354	0,676	Rp 5.430.816
5		Rp 9.439.128	Rp 596.938	Rp 8.842.190	0,613	Rp 5.416.045
6		Rp 10.383.041	Rp 656.632	Rp 9.726.409	0,555	Rp 5.401.314
7		Rp 11.421.345	Rp 722.296	Rp 10.699.049	0,503	Rp 5.386.623
8		Rp 12.563.479	Rp 794.525	Rp 11.768.954	0,456	Rp 5.371.972

9	Rp 13.819.827	Rp 873.978	Rp 12.945.850	0,414	Rp 5.357.361
10	Rp 15.201.810	Rp 961.375	Rp 14.240.435	0,375	Rp 5.342.790
11	Rp 16.721.991	Rp 1.057.513	Rp 15.664.478	0,340	Rp 5.328.259
12	Rp 18.394.190	Rp 1.163.264	Rp 17.230.926	0,308	Rp 5.313.767
13	Rp 20.233.609	Rp 1.279.591	Rp 18.954.019	0,280	Rp 5.299.314
14	Rp 22.256.970	Rp 1.407.550	Rp 20.849.420	0,253	Rp 5.284.900
15	Rp 24.482.667	Rp 1.548.305	Rp 22.934.363	0,230	Rp 5.270.526
16	Rp 26.930.934	Rp 1.703.135	Rp 25.227.799	0,208	Rp 5.256.191
17	Rp 29.624.027	Rp 1.873.449	Rp 27.750.579	0,189	Rp 5.241.895
18	Rp 32.586.430	Rp 2.060.793	Rp 30.525.636	0,171	Rp 5.227.638
19	Rp 35.845.073	Rp 2.266.873	Rp 33.578.200	0,155	Rp 5.213.420
20	Rp 39.429.580	Rp 2.493.560	Rp 36.936.020	0,141	Rp 5.199.240
Total				8,342	Rp 106.723.549

$$NPV_r (8,30\%) = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^n} - C$$

$$= \text{Rp } 129.837.722 - \text{Rp } 40.771.700$$

$$= \text{Rp } 89.065.849$$

$$NPV_t (10,30\%) = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^n} - C$$

$$= \text{Rp } 106.723.549 - \text{Rp } 40.771.700$$

$$= \text{Rp } 65.951.849$$

$$IRR = ir + \left(\frac{NPV_r}{NPV_r - NPV_t} \right) (it - ir)$$

$$= 8,30\% + \left(\frac{\text{Rp } 89.065.849}{\text{Rp } 89.065.849 - \text{Rp } 65.951.849} \right) (10,30\% - 8,30\%)$$

$$= 16,01\%$$

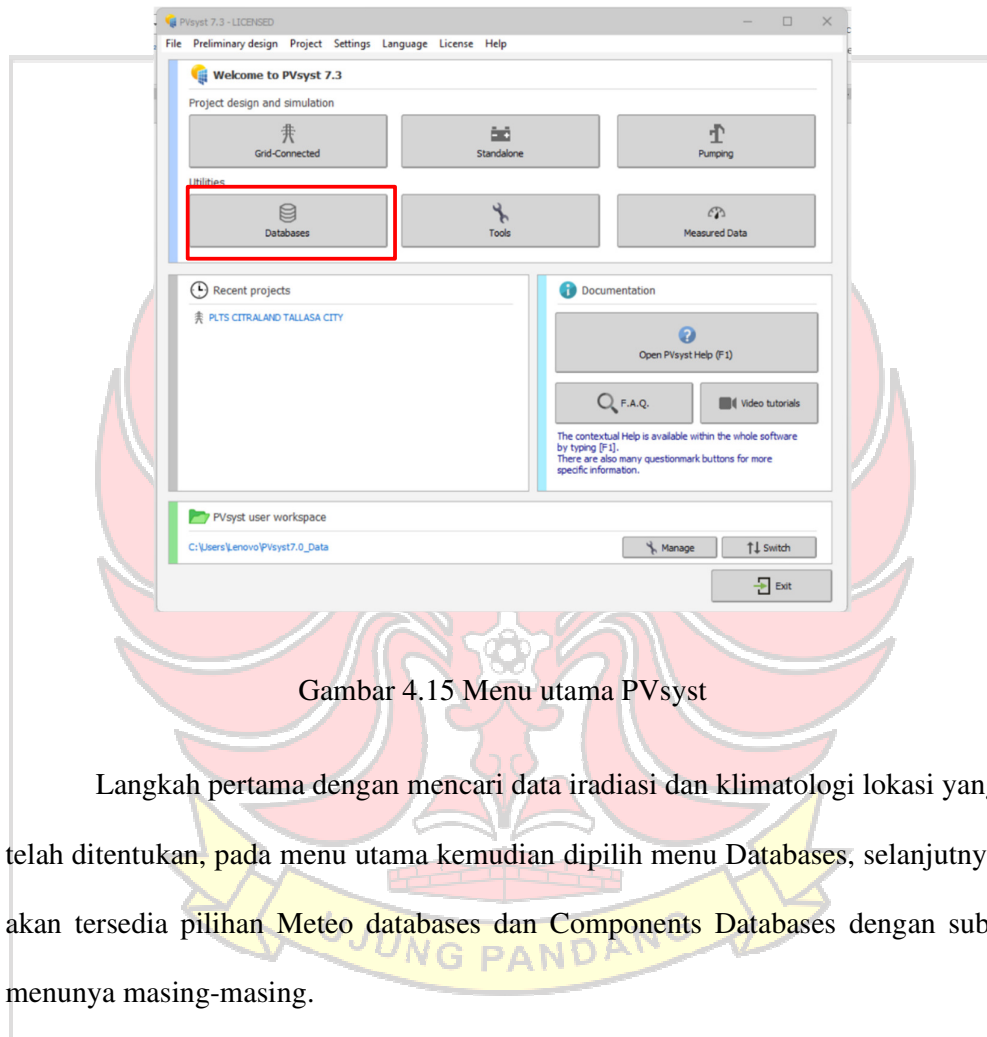
Dari nilai yang didapat yaitu 16,01 %, maka dinyatakan layak karena lebih

besar dari suku bunga.

4.10 Teknis Perencanaan PLTS Menggunakan PVSyst

4.10.1 Simulasi PVSyst

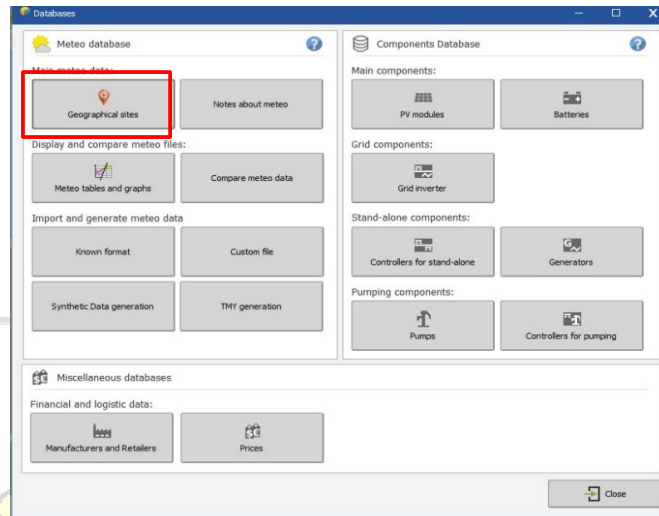
1) Menu Utama PVSyst



Gambar 4.15 Menu utama PVSyst

Langkah pertama dengan mencari data iradiasi dan klimatologi lokasi yang telah ditentukan, pada menu utama kemudian dipilih menu Databases, selanjutnya akan tersedia pilihan Meteo databases dan Components Databases dengan sub-menunya masing-masing.

Pada Kategori Meteo database selanjutnya dipilih menu Geographical Sites

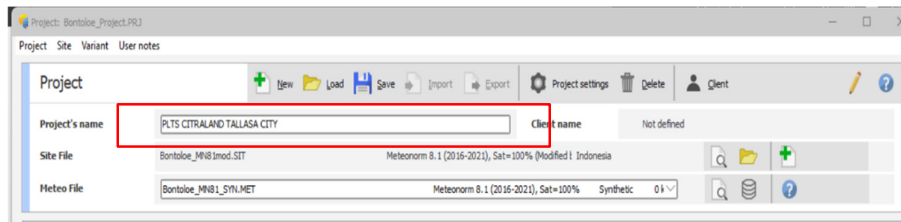


Gambar 4.16 Menu *database*

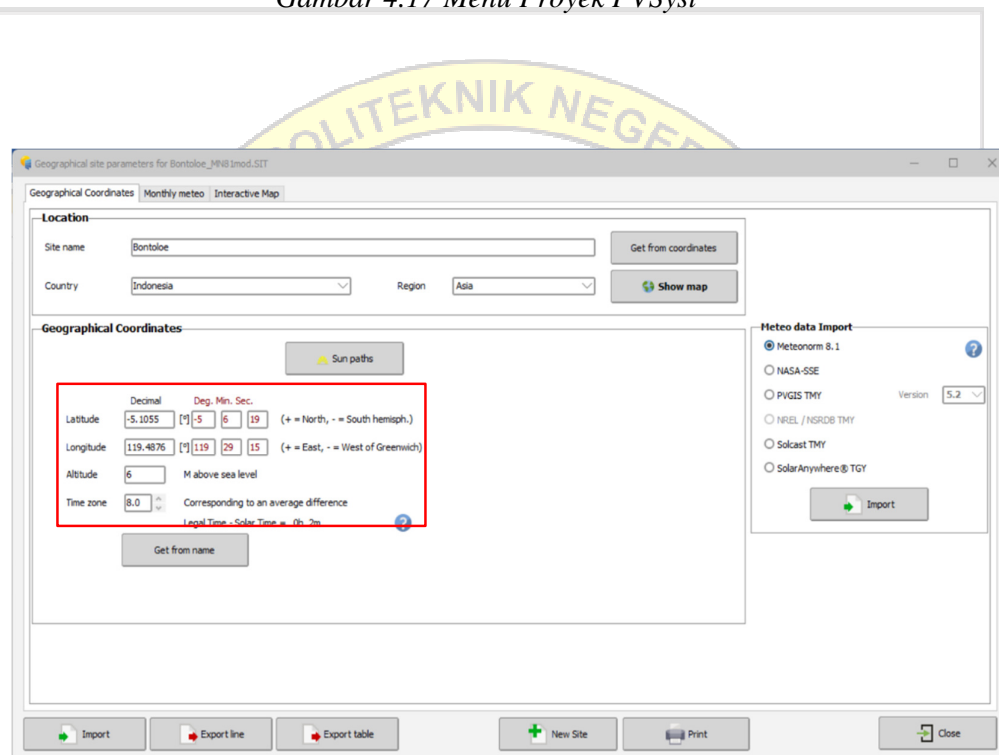
Perencanaan PLTS untuk rumah tinggal klien ini merupakan PLTS *Hybrid*, sehingga pada software PVSyst dipilih menu Grid-Connected, lebih cocok karena sistem ini langsung terhubung (interkoneksi) pada jaringan jala-jala listrik PLN, kemudian menentukan site (lokasi) yang sesuai dengan lokasi rumah klien.

2) Menu Proyek

Memberi nama dari proyek yang akan dilakukan dan memberi nama pemilik dari rumah tinggal tersebut. Menentukan koordinat lokasi dari rumah tinggal klien pada menu pertama sebuah proyek. Setelah selesai, lalu menyimpan file proyek tersebut.



Gambar 4.17 Menu Proyek PVSyst



Gambar 4.18 Menu Geographical Coordinates

Gambar 4.18 pada menu ini kita dapat mencari dan menentukan lokasi titik koordinat dari Rumah yang menjadi objek perencanaan yaitu Latitude -5.105520° S, Longitude 119.487625° E. Dapat juga dilakukan dengan menentukan langsung pada menu Interactive Map yang dimiliki oleh software PVSyst. Pada perencanaan ini menggunakan data input meteo yaitu Meteonorm 8.1

3) Menu Variant

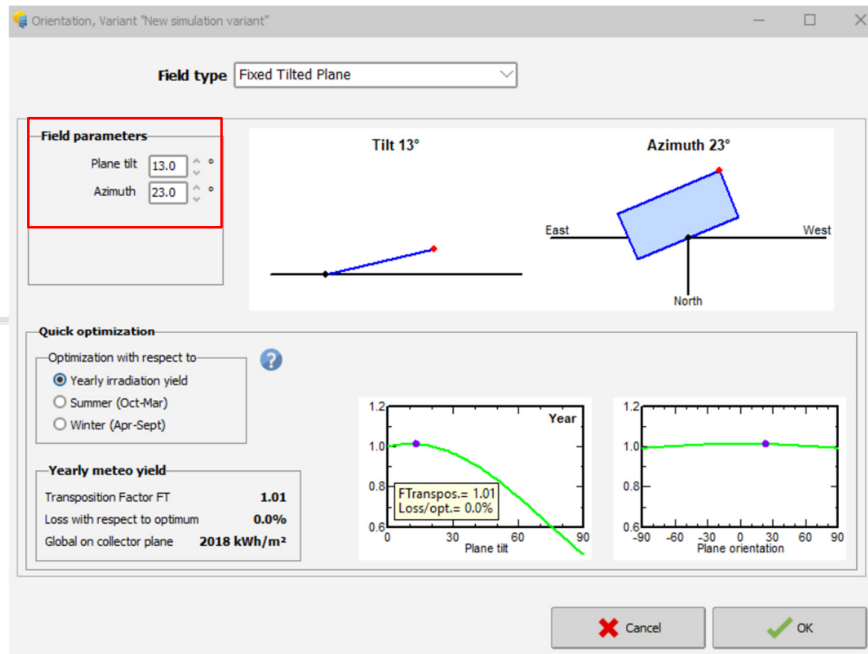


Gambar 4.19 Menu *Variant*

Menu Variant ini merupakan bagian inti dari sebuah proyek PVSyst ini. Dimana pada bagian Main parameters untuk menentukan Orientation, System, Detailed Losses, Self-consumption, dan Storage. Pada menu Optional digunakan untuk menentukan Horizon, Near Shadings, Energy Management, dan Economic Evaluation. Pada bagian Simulation merupakan langkah akhir untuk melihat hasil dari simulasi dan mendapatkan laporan hasil dari simulasi yang telah dikerjakan.

4) Orientation

Agar energi tetap berada pada nilai yang optimal maka permukaan panel surya harus dipertahankan tegak lurus terhadap sinar matahari yang jatuh ke permukaan panel surya, oleh karena itu penentuan tilt angle sangat penting untuk mempertahankan energi matahari yang dihasilkan.



Gambar 4.20 Menu *Orientation*

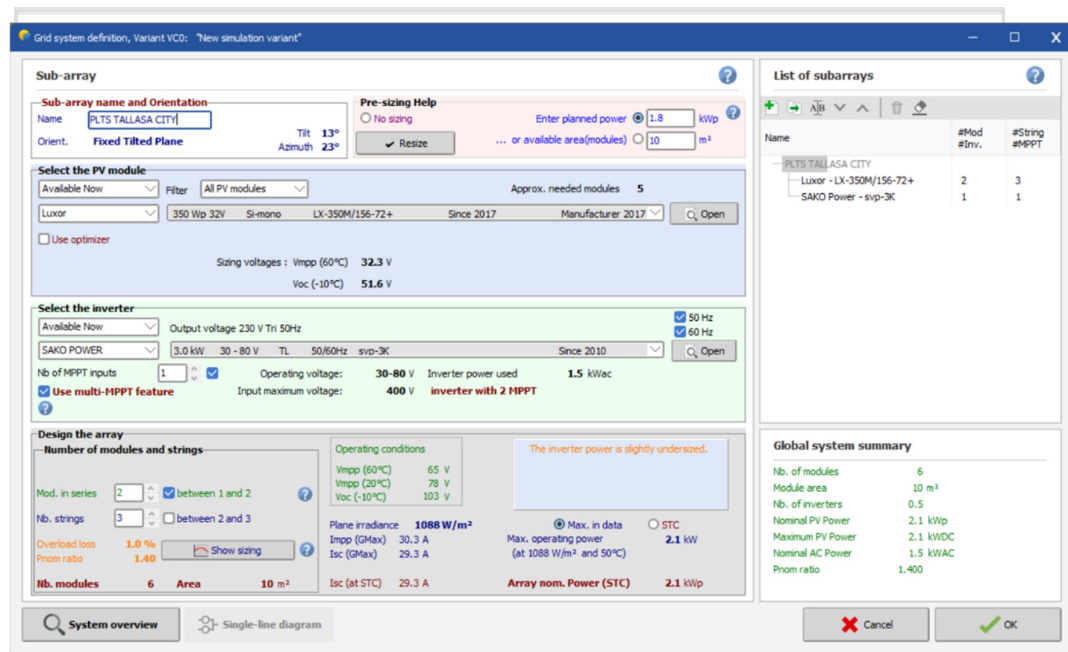
Adapun cara peletakan panel surya yang digunakan yaitu Fixed Tilted Plane dimana deretan panel sel surya diletakan pada struktur penyangga sel surya (rangka tersendiri) atau menyatu ke struktur atap. Pemasangan secara tetap sering dilakukan karena paling mudah dalam pelaksanaan dan biaya sedikit.

Tilt (derajat kemiringan panel) adalah posisi yang paling terbaik untuk menempatkan sebuah panel agar menyerap radiasi matahari dengan optimal, sehingga energi yang dihasilkan oleh panel surya maksimal. Azimuth (derajat kemiringan objek) adalah posisi rumah tinggal klien terhadap arah mata angin.

Untuk menentukan sudut kemiringan panel dan objek pada software PVSyst, maka dilakukan penginputan pada main parameter orientation, dimana pada menu ini akan diperlihatkan titik tilt dan titik azimuth posisi panel surya. Derajat kemiringan atau tilt pada parameter ini dapat diubah dengan menggerakkan titik

merah sampai mendapatkan losses 0,0%, sehingga didapatkan nilai tilt sebesar 13° dan titik azimuth 23° menghadap utara (data diperoleh dengan pengukuran langsung menggunakan kompas).

5) System



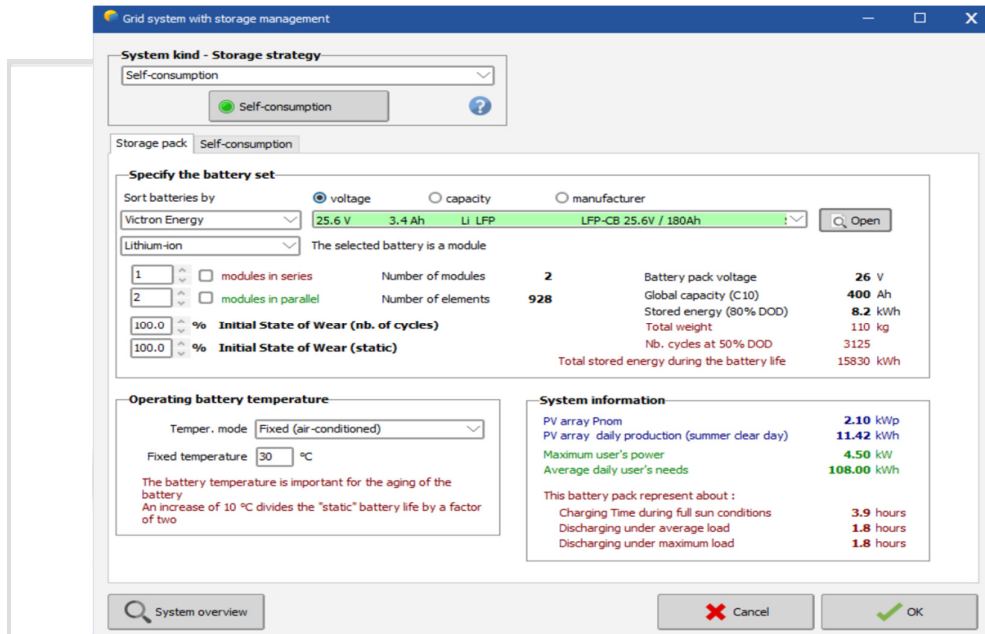
Gambar 4.21 Menu Penentuan PV Module dan Inverter

Parameter system ini merupakan parameter untuk menentukan komponen-komponen dengan menggunakan datasheet yang tersedia pada software PVSyst yang akan digunakan pada proyek PLTS

Pada parameter ini terlebih dahulu memasukkan kebutuhan daya yang akan dibangkitkan atau dengan memasukkan luas daerah yang tersedia untuk pemasangan panel surya, kemudian menentukan panel surya pada menu PV

Module serta menentukan kapasitas inverter pada menu Select the inverter sesuai dengan spesifikasi yang akan digunakan.

6) Energy Storage



Gambar 4.22 Menu Penentuan Baterai

Pada bagian energy storage ini merupakan bagian untuk menentukan kapasitas baterai yang akan digunakan. Baterai merupakan komponen utama pada PLTS dengan sistem *Hybrid* yang berfungsi untuk menyimpan kelebihan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Sehingga listrik tetap dapat digunakan pada malam hari.

8) Economic Evaluation

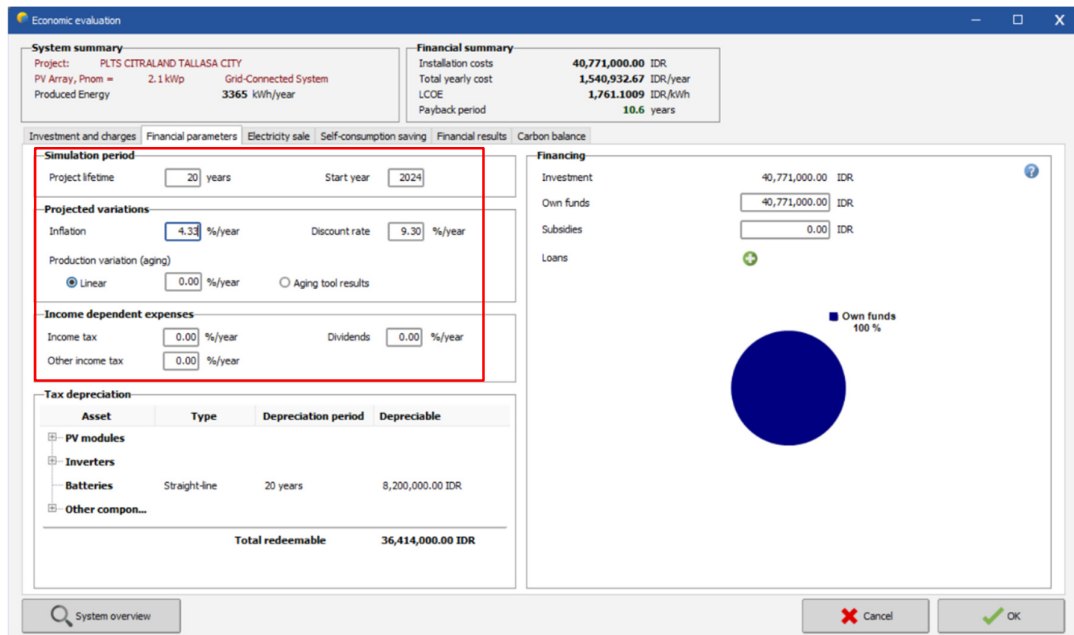
Economic Evaluation dapat dilakukan berdasarkan parameter yang ditentukan dan hasil simulasi. Parameter ekonomi dapat diakses pada menu Investment and charges dan menu Financial Parameters. Hal ini memungkinkan untuk menentukan biaya instalasi awal dan biaya operasi tahunan untuk menghitung biaya energi yang dihasilkan LCOE (Levelized Cost Of Energy). Pengaturan tersebut dapat memperkirakan profitabilitas jangka panjang berdasarkan biaya awal, biaya tahunan, parameter keuangan, dan tarif. Ini memberikan hasil keuangan terperinci seperti IRR (Internal Of Return), periode pengembalian dan NPV (Net Present Value).

The screenshot displays the 'Economic evaluation' software interface. At the top, the 'System summary' shows project details: 'Project: PLTS CITRALAND TALLASA CITY', 'PV Array, Pnom = 2.1 kWp', and 'Produced Energy 3370 kWh/year'. The 'Financial summary' section provides key metrics: 'Installation costs 40,771,000.00 IDR', 'Total yearly cost 2,034,031.13 IDR/year', 'LCOE 1,888.1727 IDR/kWh', and 'Payback period 11.2 years'. Below these are tabs for 'Investment and charges', 'Financial parameters', 'Electricity sale', 'Self-consumption saving', 'Financial results', and 'Carbon balance'. The 'Values' section is set to 'Global' with 'Currency' as 'IDR - Indonesian Rupiah'. Two tables are highlighted with red boxes: 'Installation costs' and 'Operating costs (yearly)'. The 'Installation costs' table lists items like PV modules, inverters, batteries, and other components with their respective quantities, unit prices, and total costs. The 'Operating costs (yearly)' table lists annual expenses such as maintenance, land rent, insurance, bank charges, administrative costs, taxes, and subsidies, all currently set to 0.00 except for maintenance at 1,320,000.00 IDR. The total operating costs (OPEX) are 1,320,000.00 IDR/year. At the bottom, there are buttons for 'System overview', 'Cancel', and 'OK'.

Description	Quantity	Unit price	Total
PV modules			22,254,000.00 IDR
Inverters			5,000,000.00 IDR
Batteries	2.00	4,100,000.00	8,200,000.00 IDR
Other components			3,017,000.00 IDR
Studies and analysis			0.00 IDR
Installation			2,300,000.00 IDR
Insurance			0.00 IDR
Land costs			0.00 IDR
Loan bank charges	0.00	0.00	0.00 IDR
Taxes			0.00 IDR
Total installation cost			40,771,000.00 IDR
Depreciable asset			36,414,000.00 IDR

Description	Yearly cost
Maintenance	1,320,000.00 IDR
Land rent	0.00 IDR
Insurance	0.00 IDR
Bank charges	0.00 IDR
Administrative, account...	0.00 IDR
Taxes	0.00 IDR
Subsidies	0.00 IDR
Operating costs (OPEX)	1,320,000.00 IDR/year

Gambar 4.23 Menu *economic evaluation*



Gambar 4.24 Menu *financial report*

Pada bagian Financial Parameters ini terbagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut:

- a. Simulation priod: Bagian ini untuk menentukan umur dan waktu mulai proyek
- b. Projected variations: Bagian ini untuk menentukan tingkat inflasi dan tingkat sukubunga
- c. Financing: Bagian ini mendefinisikan sumber dana yang digunakan untuk membiayai investasi. Pvsyst memungkinkan untuk menentukan tiga sumber

investasi: Dana sendiri, Subsidi dan Pinjaman. Jumlah total dana pembiayaan harus sama dengan total biaya instalasi yang ditentukan dalam

4.10.2 Hasil Simulasi PVSyst

Laporan dibawah ini merupakan hasil simulasi PLTS pada software PVSyst dengan parameter-parameter yang telah diinput sebelumnya. Hasil simulasi akan dijelaskan menu biaya instalasi dan operasi. pada Tabel 4.13.

Tabel 4.12 Hasil simulasi *software PVSyst*

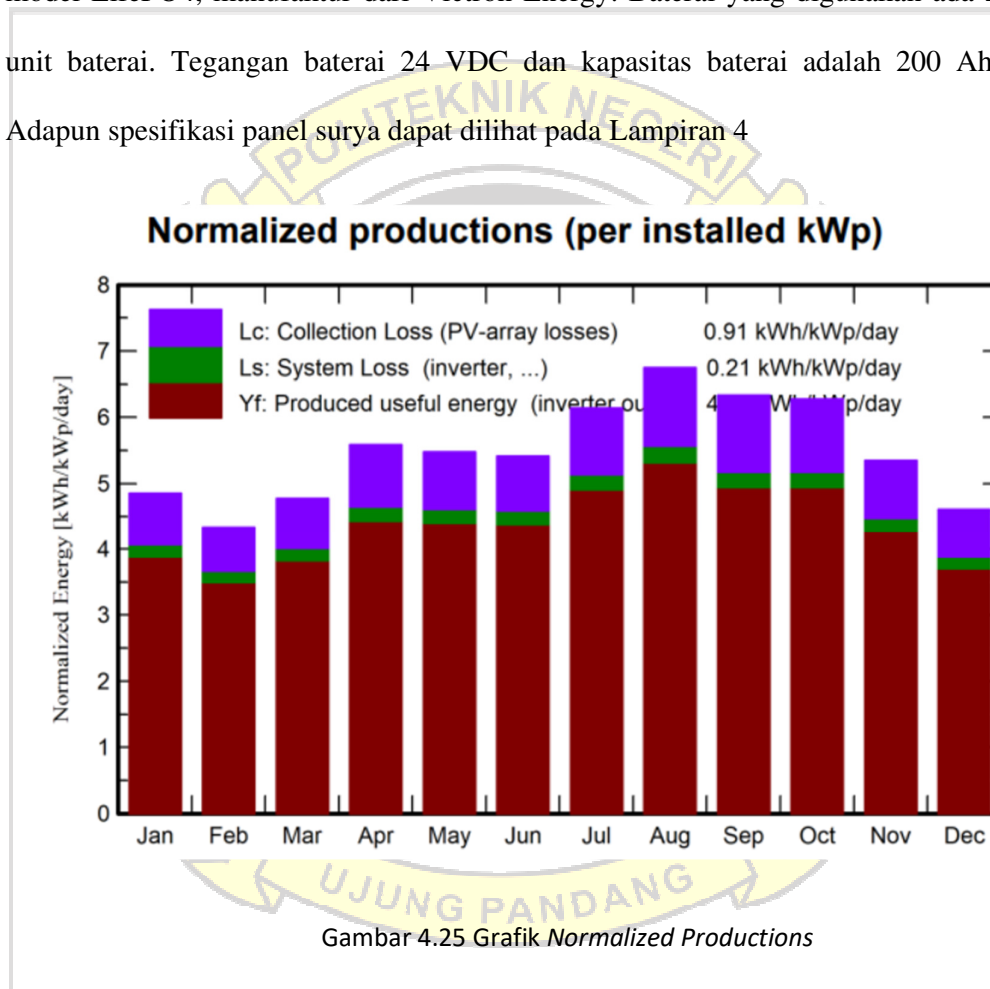
General Parameters	
Tilt/ Azimuth	13/23°
User's Needs Average	8,191 kWh/day
Near Shadings	No Shading
PV Array Characteristic	
PV Module	
Manufactur	LUXOR
Model	LX-350M
Unit Nom. Power	350WP
Number of PV modules	6 units
Nominal STC	2100 Wp
Modules	3 String x 2 In Series
Module Area	10 m ²
Inverter	
Manufactur	SAKO Power
Model	SVP-3K

UnitNom. Power	3.00kWac
Number of Inveter	1 unit
Operating Voltage	30 – 80 V
Baterai	
Manufactur	Victron Energy
Model	Victron 24V/200Ah LifePo
Nominal Capacity	200 Ah
Nb. Of units	2 Units
Main Results	
Produced Energi	3370 kWh/yr
Used Energi	39420kWh/yr

Dengan usulan beban membutuhkan rata – rata energi yaitu 8,491 kWh/hari, sehingga panel surya yang digunakan jenis monochristiline model LX-350M dengan pabrikan LUXOR sebanyak 6 unit, 2 unit yang terpasang seri dan 3 unit yang terpasang paralel yang akan menghasilkan daya sebesar 2,1 kWp, tegangan array sebesar 70,28 VDC. PLTS ini dapat memproduksi energi listrik sebesar 3370 kWh per tahun dan energi yang terpakai oleh konsumen sebesar 39420 kWh per tahun. Modul surya diletakkan pada kemiringan 13° dan titik azimuth 23° . Rumah tinggal klien terletak pada 213° BD 5°6'21''S Lintang Selatan dan 119°29'15''T Lintang Timur

Menggunakan meteo data meteonorm 8.1. Luas area yang dibutuhkan untuk pemasangan modul adalah 10 m² . Adapun spesifikasi panel surya dapat

dilihat pada Lampiran 3. Inverter yang dibutuhkan pada perencanaan ini yaitu model SVP-3K dengan pabrikan SAKO Inverter *Hybrid* sebanyak 1 unit dengan daya sebesar 3kW. Adapun spesifikasi inverter dapat dilihat pada Lampiran 6. Baterai yang dibutuhkan pada rancangan ini adalah jenis lithium ion dengan model LifePO4, manufaktur dari Victron Energy. Baterai yang digunakan ada 2 unit baterai. Tegangan baterai 24 VDC dan kapasitas baterai adalah 200 Ah. Adapun spesifikasi panel surya dapat dilihat pada Lampiran 4



Gambar 4.24 menunjukkan rugi-rugi yang terdapat pada hasil simulasi ini yaitu PV-array losses dan system losses yang terjadi di inverter dan baterai. PV array losses di dapat sebesar 0,91 kWh/kWp/hari dan system losses sebesar 0,21

kWh/kWp/hari. Setelah ada rugi-rugi maka energi yang dapat disuplai sebesar 4,39 kWh/kWp/hari.

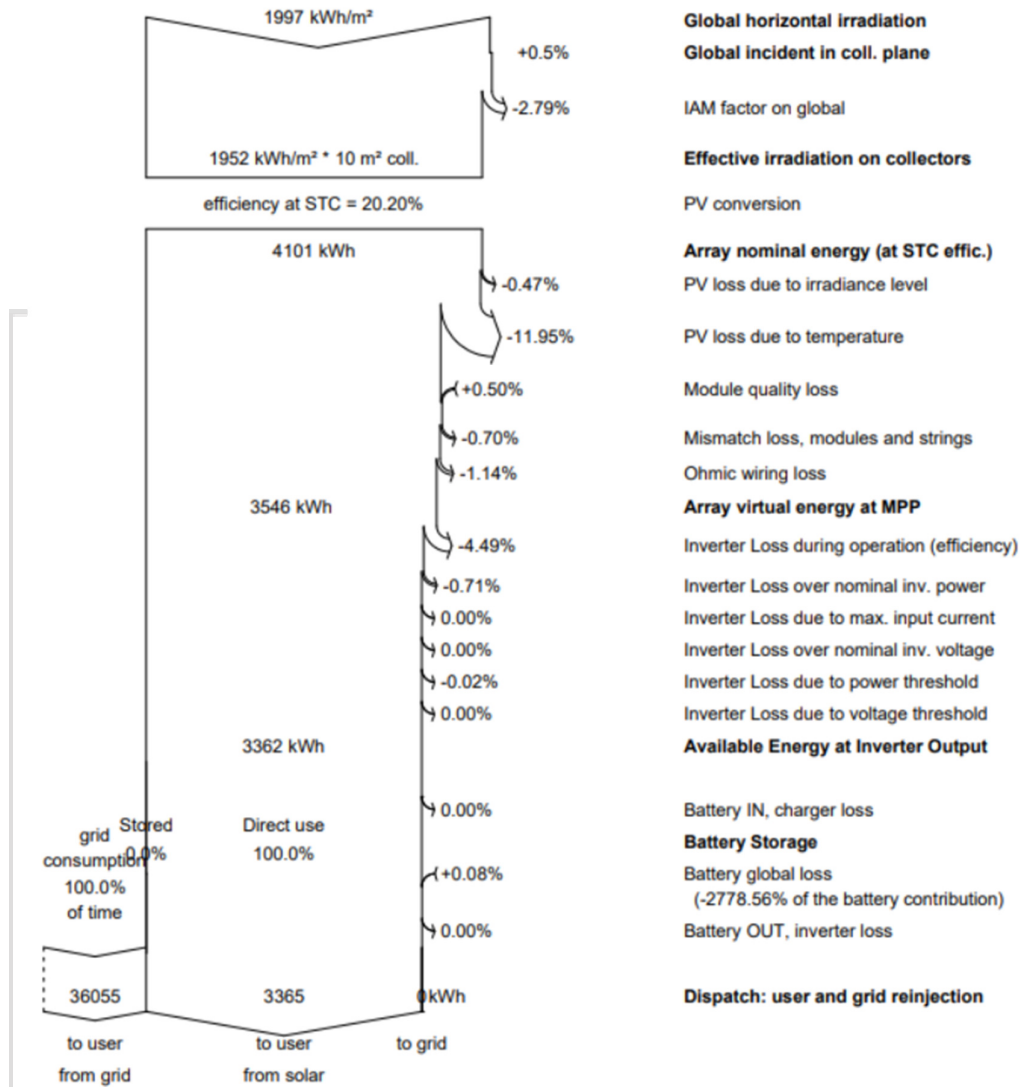
Tabel 4.13 Produksi Energi Tahunan (*Balances and Main Results*)

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	EFrGrid kWh
January	162.6	73.63	26.57	150.6	145.0	265.3	3348	255.7	3092
February	127.3	76.06	26.82	121.5	117.3	215.7	3024	205.8	2818
March	148.7	84.58	26.96	148.2	143.5	261.2	3348	249.3	3099
April	161.6	71.68	27.00	167.6	163.3	293.1	3240	279.8	2960
May	159.1	72.86	27.57	169.9	165.9	300.6	3348	287.1	3061
June	148.9	62.81	26.70	162.4	158.7	289.5	3240	276.4	2964
July	174.0	57.98	26.82	190.4	186.1	334.7	3348	319.7	3028
August	196.2	59.44	27.03	209.3	204.7	362.6	3348	346.4	3002
September	188.4	64.32	27.24	189.9	185.5	326.4	3240	311.6	2928
October	201.6	76.36	27.90	194.6	189.3	337.2	3348	322.0	3026
November	172.5	79.75	27.14	160.4	155.0	282.4	3240	269.7	2970
December	156.0	76.70	27.02	143.0	137.5	253.2	3348	241.4	3107
Year	1997.1	856.18	27.07	2007.9	1951.8	3521.9	39420	3364.9	36055

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid

Dari Tabel 4.13 dapat diketahui rata-rata energi efektif yang dapat dihasilkan oleh array sebesar 3521.9 kWh/tahun, rata-rata energi yang digunakan oleh user sebesar 39420 kWh/tahun, serta rata-rata energi yang digunakan dari jaringan PLN sebesar 36055 kWh/tahun.



Gambar 4.26 Losses Diagram

Gambar 4.25 ini merupakan loss diagram dari hasil simulasi PLTS ini.

Dimana global horizontal irradiation yaitu 1997 kWh/m² /tahun dan mendapatkan loss sehingga nilai effective irradiation on collectors yaitu 1952 kWh/m² /tahun. Array nominal energy yang dihasilkan yaitu 4101 kWh/tahun namun akibat beberapa faktor yang mempengaruhi seperti rugi akibat level iradiasi, rugi akibat

suhu yang tinggi dan rugi-rugi lainnya yang mempengaruhi inverter dan baterai sehingga energi yang tersuplai dari panel surya ke beban yaitu 3365 kWh/tahun dan energi yang tersuplai dari grid ke beban yaitu 36055 kWh/tahun.

Cost of the system			
Installation costs			
Item	Quantity units	Cost IDR	Total IDR
PV modules			
LX-350M/156-72+	6	3,200,000.00	19,200,000.00
Supports for modules	6	509,000.00	3,054,000.00
Inverters			
svp-3K	1	5,000,000.00	5,000,000.00
Batteries	2	4,100,000.00	8,200,000.00
Other components			
Accessories, fasteners	24	40,000.00	960,000.00
Wiring	1	1,195,500.00	1,195,500.00
Combiner box	1	124,200.00	124,200.00
Monitoring system, display screen	1	318,000.00	318,000.00
Measurement system, pyranometer	2	100,000.00	200,000.00
Surge arrester	1	220,000.00	220,000.00
Installation			
Global installation cost per battery	2	1,000,000.00	2,000,000.00
Transport	1	300,000.00	300,000.00
		Total	40,771,700.00
		Depreciable asset	36,414,000.00
Operating costs			
Item			Total IDR/year
Maintenance			
Provision for inverter replacement			500,000.00
Provision for battery replacement			820,000.00
O & M			407,717.00
Total (OPEX)			1,727,717.00
Including inflation (4.33%)			2,662,295.57
System summary			
Total installation cost		40,771,700.00 IDR	
Operating costs (incl. inflation 4.33%/year)		2,662,295.57 IDR/year	
Produced Energy		3370 kWh/year	
Cost of produced energy (LCOE)		2,053.214 IDR/kWh	

UJUNG PANDANG

Gambar 4.27 Cost Of The System

Biaya dari sistem PLTS ini terdapat pada Gambar 4.26 Sesuai dengan harga komponen tersebut dapat diperkirakan investasi awal pada perencanaan ini yaitu Rp 40.771.000. Biaya maintenance sistem yang meliputi biaya pergantian

inverter, biaya pergantian baterai dan biaya O & M yaitu Rp 1.727.717 per tahun.

Biaya produksi energi yaitu sebesar Rp 2.053 per kWh.

Financial analysis			
Simulation period			
Project lifetime	20 years	Start year	2024
Income variation over time			
Inflation			4.33 %/year
Production variation (aging)			0.00 %/year
Discount rate			9.30 %/year
Financing			
Own funds			40,771,700.00 IDR
Return on investment			
Payback period			10.0 years
Net present value (NPV)			49,586,443.03 IDR
Internal rate of return (IRR)			18.56 %
Return on investment (ROI)			121.6 %

Gambar 4. 28 Hasil *Financial Analysis*

Gambar 4.27 menunjukkan analisis finansial dari simulasi perencanaan PLTS pada PVSyst. Project lifetime ini yaitu 20 tahun yang dimulai dari tahun 2024. Tingkat inflasi yaitu sebesar 4.33% per tahun dan tingkat suku bunga yaitu sebesar 9.30 % per tahun. Sumber dana yang digunakan diasumsikan dari dana sendiri (pemilik rumah tinggal/ klien) yaitu berjumlah Rp 40.771.700. Payback Period yaitu 9,4 tahun, Net Present Value (NPV) yaitu Rp 49.586.7443, Internal Rate of Return (IRR) yaitu 18,56%.

4.11 Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik dan PVSyst

Berdasarkan hasil perhitungan numerik dan hasil simulasi software (PVSyst 7.3) yang telah dilakukan diatas maka diperoleh hasil perbandingan yang dapat dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Numerik dan *PVSyst*

	Perhitungan Numerik	<i>PVSyst</i>
Energi Produksi (kWh/Thn)	3.499	3.370
Luas Array (m ²)	7,57	10
Biaya O & M / Thn	Rp 407.717	Rp 407.717
Biaya Energi (COE) /kWh	Rp 1.869	Rp 2.053
<i>Net Present Value</i>	Rp 76.726.740	Rp 49.586.443
<i>Payback Priode</i> (Tahun)	7,4	11,2
<i>Internal Rate Of Return</i> (IRR) (%)	16,01%	18,56%

Pada Tabel 4.13 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan numerik diperoleh energi produksi yaitu sebesar 3.499 kWh/tahun dengan COE yaitu sebesar Rp 1.869/kWh, dengan payback priode yaitu 7,4 tahun atau setara 7 tahun 4 bulan dan IRR sebesar 15,94 %. Hasil simulasi *PVSyst* diperoleh energi produksi yaitu sebesar 3.370 kWh/tahun dengan biaya energi Rp 2.053/kWh dengan payback priode yaitu 11,2 atau setara 11 tahun 2 bulan dan IRR sebesar

18,56%.

4.12 Manajemen Resiko

Dari hasil penelitian ditemukan bahwa dalam perencanaan PLTS Hybrid terdapat resiko yang perlu diperhatikan dan memerlukan strategi atau solusi mitigasi yang sesuai. Pada Tabel 4.14 menunjukkan manajemen resiko yang terkait dengan perencanaan PLTS Hybrid.

Tabel 4.14 Manajemen Resiko

No.	Deskripsi Risiko	Tingkat Risiko	Dampak	Tindakan Pengendalian
1	Kurangnya Sumber Daya Manusia	Tinggi	Keterlambatan Proyek	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Memperbarui perkiraan biaya dan jadwal proyek secara berkala. ➢ Membangun tim proyek yang terampil dan efisien. ➢ Mengidentifikasi kemungkinan outsourcing pekerjaan
2	Testing dan Commissioning Tidak Disetujui	Tinggi	Target Waktu Penyelesaian Tidak Tercapai	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Menggunakan SDM yang berkompeten
3	Peralatan Tidak Sesuai Dengan Spesifikasi Teknis	Tinggi	Tahapan Selama Konstruksi Akan di Reschedule.	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Melakukan Pengawasan Selama Tahap Detail Engineering.
4	Perubahan Cuacayang Tidak Menentu	Sedang	Penurunan Produksi Energi	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Analisis data cuaca dan peramalan cuaca untuk perencanaan produksi. ➢ Pemilihan lokasi yang strategis untuk mengurangi efek cuaca.
5	Kegagalan SistemPLTS	Sedang	Gangguan Pasokan Energi ke Beban Listrik	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Melakukan perawatan rutin dan pemeliharaan peralatan. ➢ Memiliki backup dari <i>Grid</i> untuk mengatasi kegagalan sistem ➢ Pelatihan personel untuk mendeteksi dan menangani kegagalan.
6	Pemanfaatan Potensi Belum Optimum	Sedang	Rendahnya Produksi Energi dan Pemborosan	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Memanfaatkan beberapa m² luasan atap yang belum dimanfaatkan secara efisien agar tidak kekurangan

			Sumber Daya	maupun kelebihan energi ➤ yang signifikan.
7	Bencana Alam (Angin Kencang, Banjir, Gempa)	Sedang	Kerusakan Fisik dan Kerugian Finansial	➤ Desain PLTS Atap harus mempertimbangkan faktor- faktor berikut.
8	Perubahan Kebijakan Regulasi	Rendah	Dampak Finansial	➤ Memantau perubahan kebijakan regulasi yang berpotensi terjadi. ➤ Diversifikasi sumber pendapatan untuk ➤ mengurangi risiko.

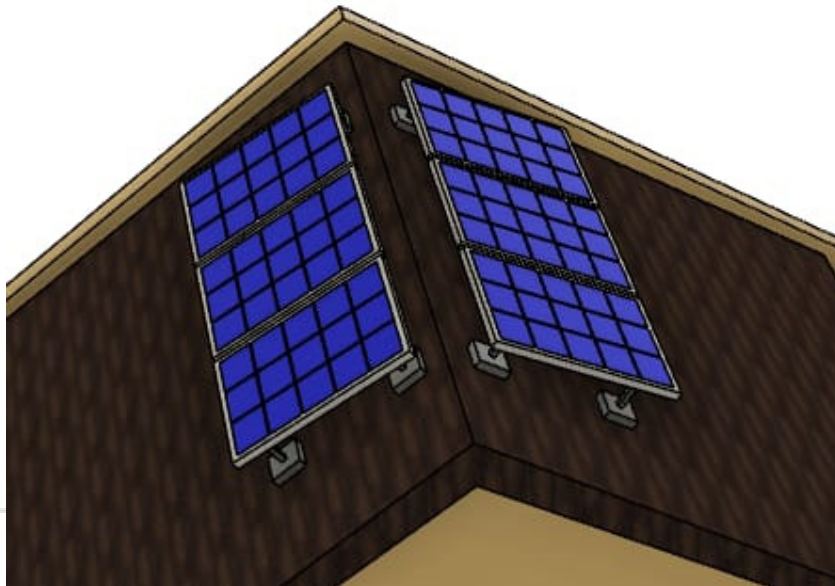
Manajemen resiko merupakan bagian integral dari pengambilan keputusan yang cerdas dan efektif dalam lingkungan yang penuh ketidak pastina. Dengan mengelola resiko dengan baik sehingga dapat mengurangi dampak negatif resiko seperti kegagalan system, meningkatkan kendala operasional dan meningkatkan peluang untuk mencapai tujuan yang diinginkan.

4.13 Desain Layout 3D

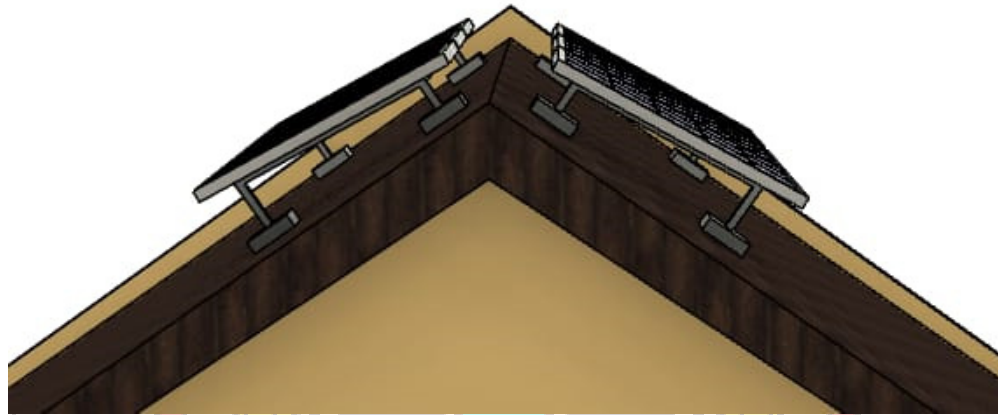
Perencanaan sistem PLTS *Hybrid* ini dilakukan dengan melakukan gambar ulang tata letak dari penempatan komponen seperti panel surya, inverter, dan baterai, serta berbagai komponen lainnya dengan menggunakan software Sketchup Pro. Adapun penggambaran tata letak perencanaan ini dalam bentuk 3D dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.29 3D Tampak Depan Rumah



Gambar 4.30 3D Tampak Atas Rumah



Gambar 4.31 3D Tampak Samping Rumah



Gambar 4.32 3D Tampak Belakang Rumah

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

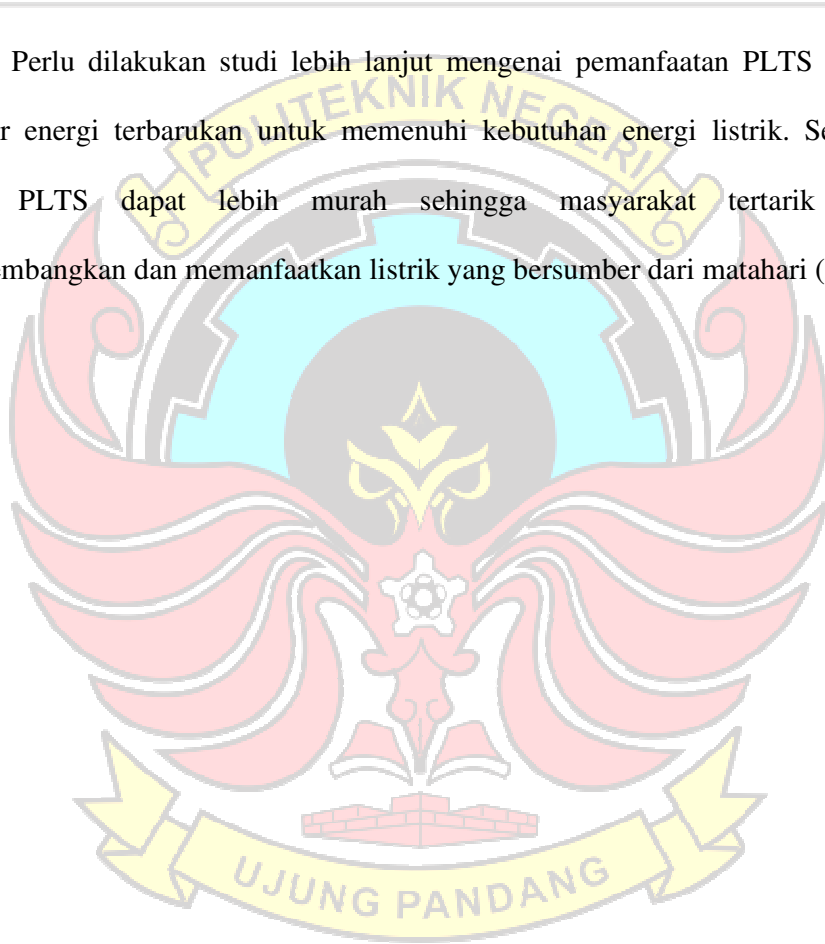
Berdasarkan hasil perhitungan numerik dan uji simulasi menggunakan software PVSyst pada perencanaan PLTS *Hybrid* rumah tinggal yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Panel surya yang digunakan yaitu jenis monocrystalline model ECO LINE HALF CELLS M120/340-360W dengan pabrikan Luxor sebanyak 6 unit, setiap unit panel surya memiliki kapasitas 350Wp dengan nilai $V_{mp} = 35,14$ V dan $I_{mp} = 9,97$ A. Konfigurasi panel surya terdiri dari 2 array. Instalasi panel surya yang terhubung ke inverter menggunakan kabel jenis NYY dengan ukuran $2 \times 1,5$ mm², MCB DC yaitu sebesar 10 A, dan SPD DC 90VDC.
- 2) Inverter yang digunakan adalah jenis inverter *Hybrid* model SVP- 3K pabrikan SAKO sebanyak 1 unit dengan kapasitas 3kW yang telah dilengkapi dengan PWM, SCC, dan ATS. Instalasi inverter yang terhubung ke beban menggunakan kabel jenis NYY dengan ukuran $2 \times 1,5$ mm², MCB DC yaitu sebesar 10 A. Baterai yang digunakan yaitu baterai jenis LifePO4 dengan spesifikasi 24V 200Ah sebanyak 2 unit. Instalasi inverter yang terhubung ke baterai menggunakan kabel jenis NYY dengan ukuran 2×16 mm², MCB DC yaitu sebesar 80 A.
- 3) Biaya investasi awal yang digunakan untuk mengimplementasikan PLTS pada salah satu rumah di kompleks Perumahan Citraland Tallasa City, yaitu sebesar Rp 40.771.700, maka diperoleh payback priode dan IRR: DPP= 7 tahun 3 bulan dan

IRR = 16,01%. Disimpulkan bahwa untuk mengimplementasikan PLTS dengan kebutuhan energi harian 8,491 kWh dinyatakan layak untuk dilaksanakan.

5.2 Saran

Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai pemanfaatan PLTS sebagai sumber energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Sehingga biaya PLTS dapat lebih murah sehingga masyarakat tertarik untuk mengembangkan dan memanfaatkan listrik yang bersumber dari matahari (PLTS).



L

A



N

LAMPIRAN 1 DATA BEBAN

a) Rice cooker



b) Mesin Cuci



c) Pompa air



POMPA AIR LISTRIK		MODEL: DB-125
		Nomor Seri:
Tegangan	: 220 V	Tinggi total maks.: 33 m
Frekuensi	: 50 Hz	Suhu cairan maks.: 35 °C
Daya Keluaran	: 125 W	Kapasitas maks. 30 l/min
Daya masukan	:	Pipa: 25mm(1") x 1"
Lilitan	: B	Kapasitor: 6 µF/450V
Daya hisap maks.	: 9m	IPX4 P P M : 2850
Tinggi dorong	: 24m	

d) kipas angin



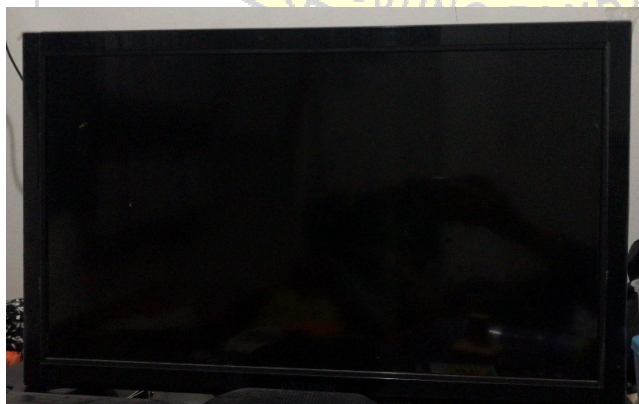
Hachida KIPAS ANGIN BERDIRI 1P'	
NO.MODEL	SF 1602
TEGANGAN	220 V~
FREKUENSI	50-60 Hz
DAYA	45 W
DIBUAT DI INDONESIA	

e) AC



SHARP SPLIT TYPE ROX	
MODEL	
Rated voltage	220 V ~ Refri
Rated frequency	50 Hz
Phase	Single
Climate designation	T1
Rated input	360 W
Rated current	2.0 A
Maximum operating pressure	Hi 4.15MPa Lo 2.50MPa
IPX 4	

f) TV



LAMPIRAN 2 SPESIFIKASI BATERAI

Battery specification								
VOLTAGE AND CAPACITY	LFP-Smart 12,8/50	LFP-Smart 12,8/100	LFP-Smart 12,8/160	LFP-Smart 12,8/180	LFP-Smart 12,8/200	LFP-Smart 12,8/330	LFP-Smart 25,6/100	LFP-Smart 25,6/200-a
Nominal voltage	12,8 V	12,8 V	12,8 V	12,8 V	12,8 V	12,8 V	25,6 V	25,6 V
Nominal capacity @ 25°C*	50 Ah	100 Ah	160 Ah	180 Ah	200 Ah	330 Ah	100 Ah	200 Ah
Nominal capacity @ 0°C*	40 Ah	80 Ah	130 Ah	150 Ah	160 Ah	260 Ah	80 Ah	160 Ah
Nominal capacity @ -20°C*	25 Ah	50 Ah	80 Ah	90 Ah	100 Ah	160 Ah	50 Ah	100 Ah
Nominal energy @ 25°C*	640 Wh	1280 Wh	2048 Wh	2304 Wh	2560 Wh	4220 Wh	2560 Wh	5120 Wh
*Discharge current ≤1C								
CYCLE LIFE (capacity ≥ 80 % of nominal)								
80 % DoD	2500 cycles							
70 % DoD	3000 cycles							
50 % DoD	5000 cycles							
DISCHARGE								
Maximum continuous discharge current	100 A	200 A	320 A	360 A	400 A	400 A	200 A	400 A
Recommended continuous discharge current	≤50 A	≤100 A	≤160 A	≤180 A	≤200 A	≤300 A	≤100 A	≤200 A
End of discharge voltage	11,2 V	11,2 V	11,2 V	11,2 V	11,2 V	11,2 V	22,4 V	22,4 V
Internal resistance	2mΩ	0,8mΩ	0,9mΩ	0,9mΩ	0,8mΩ	0,8mΩ	1,6mΩ	1,5mΩ
OPERATING CONDITIONS								
Operating temperature	Discharge: -20°C to +50°C Charge: +5°C to +50°C							
Storage temperature	-45°C to +70°C							
Humidity (non-condensing)	Max. 95 %							
Protection class	IP 22							
CHARGE								
Charge voltage	Between 14 V/28 V and 14,4 V/28,8 V (14,2 V/28,4 V recommended)							
Float voltage	13,5 V/27 V							
Maximum charge current	100 A	200 A	320 A	360 A	400 A	400 A	200 A	400 A
Recommended charge current	≤30 A	≤50 A	≤80 A	≤90 A	≤100 A	≤150 A	≤50 A	≤100 A
OTHER								
Max storage time @ 25°C*	1 year							
BMS connection	Male + female cable with M8 circular connector, length 50cm							
Power connection (threaded inserts)	M8	M8	M8	M8	M8	M10	M8	M8
Dimensions (hxxwxd) mm	199 x 188 x 147	197 x 321 x 152	237 x 321 x 152	237 x 321 x 152	237 x 321 x 152	265 x 359 x 206	197 x 650 x 163	237 x 650 x 163
Weight	7 kg	14 kg	18 kg	18 kg	20 kg	27 kg	28 kg	39 kg
* When fully charged								

LAMPIRAN 3 SPESIFIKASI INVERTER

SVP Series

SVP SERIES HYBRID SOLAR INVERTER,
HIGH FREQUENCY



MAIN FEATURES

- Solar Charger and AC Charger Built Inside, Compliant to Grid Power or Generator Power
- LCD Configurable Priority of AC/Solar Charge Via LCD Setting
- Auto Restart While AC is Recovering, Auto Charge and Switch, Unattended Operation
- Selectable Input Voltage Range for Home Appliances and Personal Computers
- Smart Battery Charger and Management for Optimized Battery Performance

Solar System Connection



Back Panel

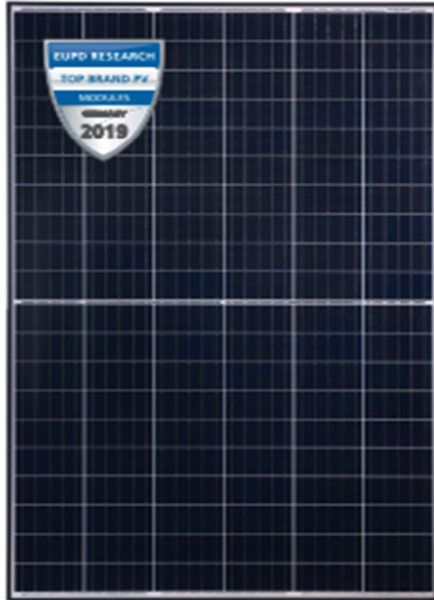


MODEL	SVP-1K	SVP-2K	SVP-3K
The rated power	1KW	2KW	3KW
INPUT			
Voltage	230 VAC		
Selectable Voltage	170-280VAC (For Personal Computers), 90-280VAC (For Home Appliances)		
RangeFrequency Range	50Hz/60Hz (Auto sensing)		
OUTPUT			
AC Voltage Regulation (Batt. Model)	230VAC \pm 5%		
Surge Power	2000VA	4000VA	6000VA
Efficiency(Peak)	90%	93%	
Transfer Time	10ms (For Personal Computers), 20ms (For Home Appliances)		
Wave form	Pure sine wave		
BATTERY			
Battery voltage	12VDC	24VDC	
Floating Charge Voltage	13.5VDC	27VDC	
Overcharge Protection	16VDC	32VDC	
SOLAR CHARGER&AC CHARGER			
PWM Range Operation Vol.	16-22VDC	32-44VDC	
Maximum PV Array Open Circuit Vol.	40VDC	60VDC	
Standby Power Consumption	2W		

LAMPIRAN 4 SPESIFIKASI PANEL SURYA

Solar Module
Manufacturer
Since 2004

 **LUXOR**
the sunshine people



- + REDUCED LOSSES DURING PARTIAL SHADING
- + HIGHER YIELD: MORE REFLECTION ON CELL SURFACE
- + APPLICATIONS: INDUSTRIAL, COMMERCIAL AND RESIDENTIAL POWER PLANTS
- + ECO: ESPECIALLY ECONOMIC AND RELIABLE



ECO LINE HALF CELLS
M120 / 340 - 360 W

MONOCRYSTALLINE MODULE FAMILY, BLACK FRAME



Longlife tested



Power proofed



Safety provided



Selection of components



Cross-binding degree test



Performance surplus of 0.1p to 6.53 Wp



100% PID free cells



Special packing to avoid micro cracks in the cells



German warranty

ECO LINE HALF CELLS M120 / 340 - 360 W

Monocrystalline module family

Module type LX-XXXM/158-120+ | XXX - Rated power P_{mpp}

Electrical data at STC

	340.00	345.00	350.00	355.00	360.00
Rated power P _{mpp} [Wp]	340.00	345.00	350.00	355.00	360.00
P _{mpp} range to	346.49	351.49	356.49	361.49	366.49
Rated current I _{mpp} [A]	9.87	9.92	9.97	10.02	10.07
Rated voltage V _{mpp} [V]	34.50	34.82	35.14	35.47	35.80
Short-circuit current I _{sc} [A]	10.34	10.39	10.44	10.49	10.54
Open-circuit voltage U _{oc} [V]	41.02	41.40	41.79	42.18	42.57
Efficiency at STC up to	20.53%	20.83%	21.13%	21.42%	21.72%
Efficiency at 200 W/m ²	19.93%	20.21%	20.50%	20.80%	21.10%

Electrical data at NOCT

	251.28	255.25	259.28	263.35	267.49
Power at P _{mpp} [Wp]	251.28	255.25	259.28	263.35	267.49
Rated current I _{mpp} [A]	7.89	7.94	7.99	8.04	8.09
Rated voltage V _{mpp} [V]	31.84	32.16	32.47	32.77	33.08
Short-circuit current I _{sc} [A]	8.34	8.38	8.43	8.47	8.52
Open-circuit voltage U _{oc} [V]	37.86	38.23	38.59	38.97	39.34

Specification as per STC (Standard test conditions): irradiance 1000W/m² | module temperature 25°C | Air Mass = 1.5
 NOCT (nominal operating cell temperature): irradiance 800W/m² | wind speed 1m/sec | ambient temperature 20°C | cell operating temperature 45 +/-2°C | Air Mass = 1.5

Limiting values

Max. system voltage [V]	1000 V or 1500 V
Max. return current [I]	25 A
Operating Temperature	-40 to 85°C
Safety class	II
Max. tested pressure load [Pa] ²	5400
Max. tested tensile load [Pa] ²	2400

Temperature coefficient

Temperature coefficient [V II P]	-0.30% /°C 0.055% /°C -0.40% /°C
--------------------------------------	--------------------------------------

Specifications

Number of cells (matrix)	120 (6 x 20) 158 mm x 79 mm
Module dimensions (LxWxH) ³ Weight	1684 mm x 1002 mm x 35 mm 19 kg
Front-side glass	3,2 mm tempered highly transparent, anti-reflection solar glass
Frame	stable, anodised aluminium frame
Junction Box	At least IP67
Cable	symmetrical cable lengths > 1.1 m and 1.1 m, 4 mm ² solar cable
Diodes	3 Schottky Diodes
Plug-in connection	MC4 or equivalent (IP67)
Hail test (max. hailstorm)	Ø 45 mm impact velocity 23 m/s ± 83 km/h

The specifications and average values can vary slightly. Relevant is the corresponding data of the individual measurement. Specifications are subject to change without notice. Measurement tolerance depending on equipment: rated power +/-3%, other values +/-10%. All information given in this data sheet corresponds to DIN EN 50380. A potential light-induced degradation of the power after commissioning is not considered here. Further information in the installation manuals.

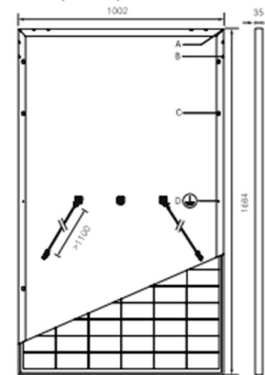
¹ The specific warranty conditions are given under www.luxor-solar.com/download.htm

² Horizontal mounted

³ Tolerance L/W = +/-3 mm, H +/-2mm, the dimensions given in the order confirmation will be decisive

⁴ Location and dimensions of holes on request

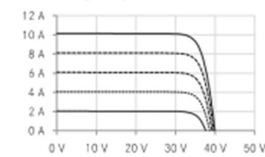
Back - / Front -/ Side view³



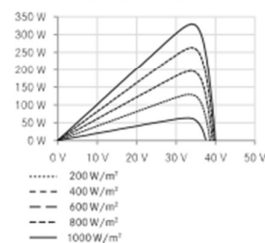
- Drilled holes⁴
- A: 4 x drainage
 - B: 16 x ventilation
 - C: 8 x mounting
 - D: 2 x earthing

Electrical characteristics

UI-diagram e.g. LX-340M/158-120+



UP-diagram e.g. LX-340M/158-120+



LAMPIRAN 5 TINGKAT SUKU BUNGA

Kelompok Bank	Suku Bunga Kredit Rupiah Menurut Kelompok Bank						
	2023	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni
Bank Persero - Modal Kerja	8.51	8.73	8.83	8.85	-	-	-
Bank Persero – Investasi	8.86	9.05	9.20	9.27	-	-	-
Bank Persero – Konsumsi	9.65	9.63	9.60	9.59	-	-	-
Bank Pemerintah Daerah - Modal Kerja	8.79	8.90	8.93	8.94	-	-	-
Bank Pemerintah Daerah – Investasi	9.20	9.15	9.09	9.14	-	-	-
Bank Pemerintah Daerah – Konsumsi	10.63	10.61	10.58	10.56	-	-	-
Bank Swasta Nasional - Modal Kerja	9.27	9.31	9.32	9.25	-	-	-
Bank Swasta Nasional – Investasi	8.35	8.39	8.42	8.43	-	-	-
Bank Swasta Nasional – Konsumsi	10.58	10.69	10.72	10.69	-	-	-
Bank Asing dan Bank Campuran	6.71	6.85	6.90	6.89	-	-	-

Modal Kerja							
Bank Asing dan Bank Campuran	8.08	8.20	8.19	8.26	-	-	-
– Investasi							
Bank Asing dan Bank Campuran	23.72	22.82	23.06	23.17	-	-	-
– Konsumsi							
Bank Umum - Modal Kerja	8.75	8.89	8.95	8.92	-	-	-
Bank Umum – Investasi	8.62	8.72	8.80	8.84	-	-	-
Bank Umum – Konsumsi	10.38	10.39	10.39	10.37	-	-	-

Sumber: Bank Indonesia

Source Url: <https://www.bps.go.id/indicator/13/383/1/suku-bunga-kredit-rupiah-menurut-kelompok-bank.html>

Access Time: Juli 15, 2023, 4:07 pm

LAMPIRAN 6 SPESIFIKASI SPD

DC Surge Protector SPD SXRR Indoor AAR Terminal
90 Vdc, 120 Vac, Single-Mode, 20 kA SASD, GDT

1101-764
SXRR 120V



Features

- SASD and SASD/GDT Hybrid Surge Protection Options
- Suppression Status Indicator
- AAR Terminal Mount

Applications

- Railroad Circuits

Description

DC surge protector (also known as SPD or lightning protector) 1101-764 from Transector is an AAR terminal style SPD that utilizes state of the art SASD, GDT technology to protect critical equipment that operates on a 90 Vdc electrical service. This surge protector provides effective protection against electrical transient surges that are generated both by external lightning events and by internal switching events and supports long-term system reliability by safely shunting high amounts of transient energy while maintaining a very low clamping voltage. Transector DC surge protectors are available in stock with same day shipping.

Electrical Specifications

Description	Minimum	Typical	Maximum	Units
Service Voltages (DC)		90		Vdc
Service Voltages (AC)		120		Vac
Maximum Continuous Operating Voltage (MCOV)				
MCOV DC			90	Vdc
MCOV AC			130	Vac

Surge Protection Specification

Description	Minimum	Typical	Maximum	Units
Surge Protection Technology		SASD, GDT		
Surge Protection Modes		Signal to GND		
Response Time			20	ns
8/20µs Surge Current			20	kA
VPL 8/20µs L-G			450 @ 20kA	Vpk



LAMPIRAN 7 HARGA LISTRIK PLN



PENETAPAN PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)

JANUARI - MARET 2023

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	R-1/TR	900 VA-RTM	*)	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.444,70	1.444,70
3.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.444,70	1.444,70
4.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.699,53	1.699,53
5.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.699,53	1.699,53
6.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.444,70	1.444,70
7.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
8.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****)	-
10.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.699,53	1.699,53
11.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.415,01 Blok LWBP = 1.415,01 kVArh = 1.522,88 ****)	-
12.	P-3/TR		*)	1.699,53	1.699,53
13.	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

Catatan :

*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.

***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

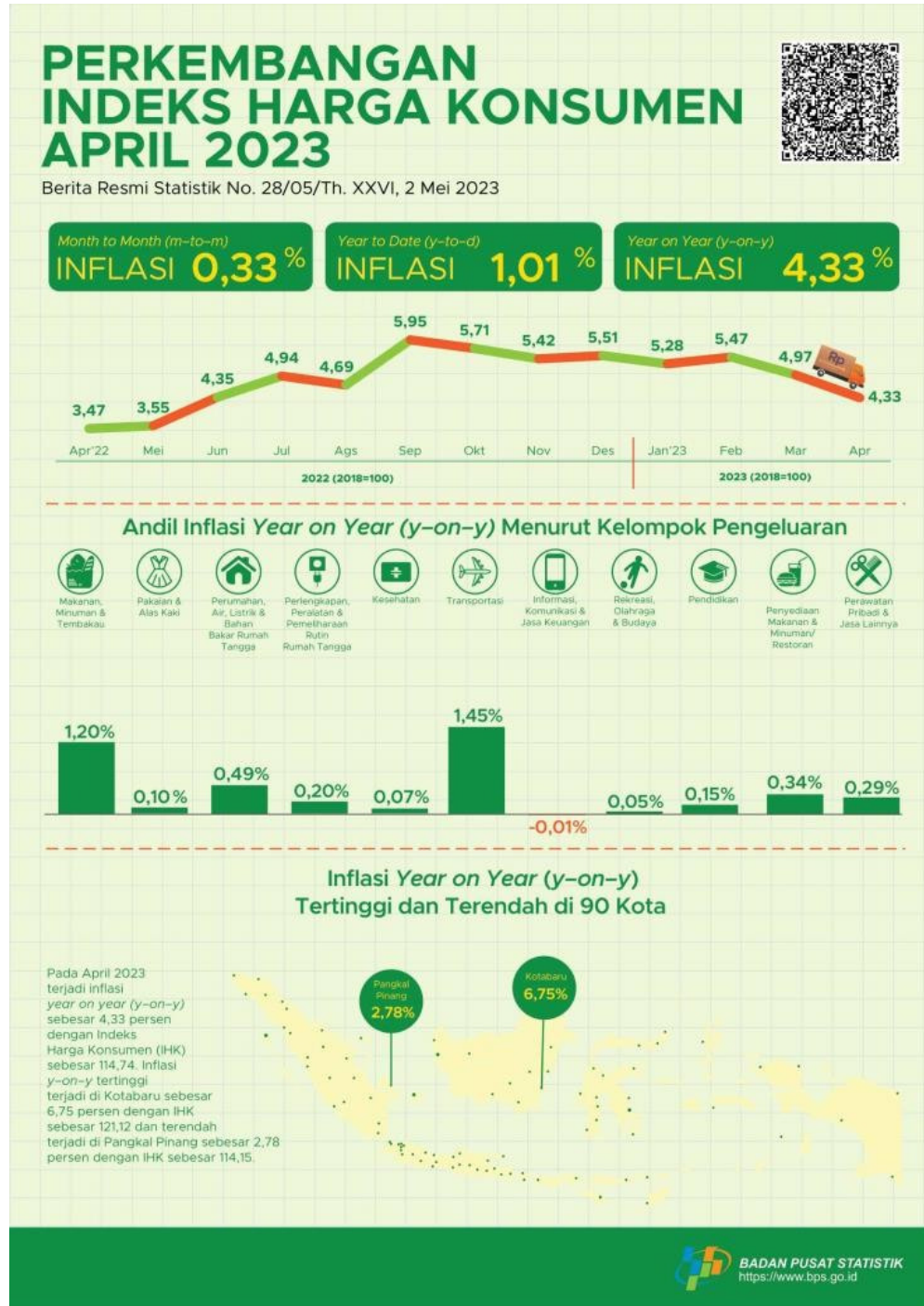
****) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

*****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.
LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

LAMPIRAN 8 TINGKAT INFLASI



DAFTAR PUSTAKA

Alamsyah, T., Hiendro, A., & Abidin, Z. (2019) Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel MonoCrystalline dan Poly-Crystalline Di Kota Pontianak dan Sekitarnya. Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjung Pura.

Asrori, A., dkk. 2022. Kajian Kelayakan Solar Rooftop On-Grid untuk Kebutuhan Listrik Bengkel Mesin di Polinema. ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, 10(4), 830.

Burhan, Ahmad Zakky. 2020. Rancang Bangun Panel ATS (Automatic Transfer Switch) Antara PLTS (OFF Grid) Dengan Jaringan PLN. Skripsi. Jakarta: Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN.

Chandra, Yudi. 2016. Analisis Ekonomi Energi Perencanaan Pembangunan PLTS (Studi Kasus Gedung Kuliah Politeknik Negeri Ketapang): Jurnal Elka, Vol. 8, No. 1

Fachrezy, Muhammad Dendy. 2022. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Off-Grid di Desa Terpencil Kabupaten Indragiri Hulu. Pekanbaru: Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Fakhri Albeni, 2020. Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya dan PLN. Skripsi. Sumatera Barat: Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah

Haryanto, Bobby. 2018. Optimasi Pembangkit Hybrid PLN-Solar Cell Pada Aplikasi Home Industry. Skripsi. Yogyakarta: Jurusan Teknik Tlektro, Universitas Islam Indonesia.

Hajir, Noor. 2021. Analisa Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Dengan Sistem Hybrid Di PT Koloni Timur. Skripsi. Semarang: Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung.

Hakim, Krisna. 2020. Desain dan analisa unjuk kerja pembangkit listrik tenaga surya 15 Kw dengan memaksimalkan final yield dan performance ratio pada perkantoran skala kecil-sedang. Skripsi. Surakarta: Prodi Teknik Elektro, Universitas Sebelas Maret.

Hanif, M, dkk. 2012. Studying Power Output of PV Solar Panels at Different Temperatures and Tilt Angles. Pakistan.

Hajir Noor, M Haddin, dan A. Suprajitno. 2022. Analisa Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap dengan Sistem Hybrid di PT. Koloni Timur. Semarang : Fakultas Teknologi Industri : Universitas Islam Sultan Agung.

<https://www.suryaenergi.com/pengembangan-plts-atap-di-sektor-rumah-tangga-dan-industri-masih-harus-dikembangkan/> (diakses pada 5 september 2023)

Indonesian Clean Energy Development (ICED) dan United Stated Agency for International development (USAID), Juni 2020. Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia. <https://drive.esdm.go.id/>, diakses 5 September 2023.

Mahesa, Aditya Gilang, dkk. 2021. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Hybrid Sebagai Sumber Alternatif. Jurnal Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak.

Muh Daffa Abbas, dkk 2023 Studi Perancangan PLTS Hybrid Dengan Penambahan Sistem Automatic Transfer Switch Pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang. Skripsi. Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Navies, Alvin. 2021. Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Biomass-Biogas (Studi Kasus: PT. Perkebunan Nusantara V Sei Galuh). Skripsi. Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi. Pekanbaru: Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2021 Tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Yang Terhubung Pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Umum. <https://drive.esdm.go.id/>, diakses 2 September 2023.

Press release KLHK https://ppid.menlhk.go.id/siaran_pers/browse/298 (diakses pada 3 september 2023)

Riskawati, R. 2022. Studi Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Hybrid Untuk Penerapan Daerah Terisolir (Studi Kasus: Pulau Barrang Lompo)= Hybrid Electric Power System Planning Study for Isolated Area Application (Case Study: Barrang Lompo Island). Makassar: Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin.

Silaban, Irwan Octopianus, dkk. 2021. Perancangan PLTS Atap Pada Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara Dengan Arsitektur Rumah Adat Batak Toba. Jurnal SPEKTRUM, Vol. 8, No. 2, pp 270-180.

Sampeallo Agusthinus S., dkk. 2018. Analisa Kinerja PLTS 25 KWP Di gedung Labolatorium Riset Terpadu Lahan Kering Kepulauan Undana Terhadap Variasi Beban. Jurnal Media Elektro, Vol. VII No. 1 ISSN: 2252-6692.

Suhendar. 2022. Dasar Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Tangerang: Media Edukasi Indonesia (Anggota IKAPI).

Standar Nasional Indonesia. Panduan Studi Kelayakan Pembangunan Listrik Tenaga Surya (PLTS) Fotovoltaik. Jakarta. BSN.

Standar Nasional Indonesia. 2020. Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS ATAP di Indonesia. Jakarta. USAID dan KESDM

Satryawan, Hari. 2018. Perancangan Solar Home System di Daerah Terpencil Nusa Tenggara Barat. Skripsi. Teknik Elektro: Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

