

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
SURYA HYBRID UNTUK TOWER BTS ROOFTOP  
DI PASAR PALAKKA KABUPATEN BONE



SKRIPSI

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

MUH. IKSAN FACHRUDDIN 44222231  
RUSTAN EVENDI 44222250

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2023

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid* Untuk Tower BTS *Rooftop* di Pasar Palakka Kabupaten Bone" oleh Muh. Iksan Fachruddin NIM 44222231 dan Rustan Evendi NIM 44222250 dinyatakan layak untuk diujikan.

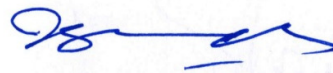
Makassar, 13 September 2023

Pembimbing I



Prof. Ir. Makmur Saeni, M.T., Ph.D.  
NIP. 19601231 199003 1 021

Pembimbing II



Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.  
NIP. 19780804 2001121 1 001

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi

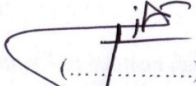
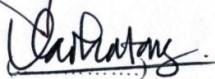
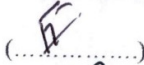
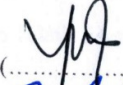



Ir. Chandra Buana, M.T.  
NIP. 19650319 199103 1 003

## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Sabtu tanggal 18 September 2023, tim penguji ujian sidang skripsi telah menerima skripsi mahasiswa: Muh. Iksan Fachruddin NIM 44222231 dan Rustan Evendi NIM 44222250 dengan judul “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid* Untuk Tower BTS *Rooftop* di Pasar Palakka Kabupaten Bone”.

Makassar, 18 September 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Laporan Tugas Akhir

- |   |            |   |
|---|------------|---|
| 1. Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D.           | Ketua      |   |
| 2. Marhatang, S.ST., M.T.                     | Sekretaris |  |
| 3. Dr. Ir. Firman, M.T.                       | Anggota    |  |
| 4. Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T.              | Anggota    |  |
| 5. Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D.        | Anggota    |  |
| 6. Prof. A.M. Shiddiq, S.T., M.Eng.Sc., Ph. D | Anggota    |  |

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya penulisan skripsi ini yang berjudul “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid* Untuk Tower BTS *Rooftop* di Pasar Palakka Kabupaten Bone”.

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. Kedua orang tua yaitu Ibu dan Bapak yang telah memberikan bantuan dan dukungan moril maupun materi demi penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung pandang.
3. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir. Chandra Bhuana, M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Pembangkit Energi.
5. Bapak Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D. sebagai pembimbing I dan

Bapak Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. sebagai pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Ibu Yiyin Klistafani, S.T., M.T. selaku Wali Kelas 4B D-4 Teknik Pembangkit Energi Spesialisasi Energi Terbarukan.
7. Bapak Andi Mattalatta, S.T. selaku Supervisor Territory Operation Bone (TO Bone) PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra).
8. Dosen dan tenaga kependidikan pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya dosen pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan dan pengalaman bagi penulis.
9. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya teman-teman pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi angkatan 2022 yang telah membantu dan memberikan ilmu serta dukungannya.
10. Semua pihak yang telah membantu untuk penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan 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

	hal.
HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
HALAMAN PENERIMAAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
SURAT PERNYATAAN.....	xv
RINGKASAN .....	xvii
<i>SUMMARY</i> .....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Ruang Lingkup Kegiatan .....	4
1.4 Tujuan Kegiatan .....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan Literatur.....	6
2.2 Landasan Teori .....	7
2.2.1 Kondisi Wilayah Indonesia .....	7
2.2.2 Potensi Energi Surya di Indonesia .....	8
2.2.3 Pembangkit Listrik .....	10

2.2.4 Energi Terbarukan.....	10
2.2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	11
2.2.6 Prinsip Kerja PLTS .....	13
2.2.7 Panel Surya.....	15
2.2.8 Sistem PLTS.....	16
2.3 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....	17
2.3.1 <i>Photovoltaic Cell</i> (PV).....	17
2.3.2 Inverter Hybrid.....	21
2.3.3 Baterai .....	23
2.3.4 Kabel .....	24
2.3.5 Combiner Box .....	25
2.4 Base Transceiver Station (BTS).....	25
2.5 Kabel Instalasi dan MCB .....	26
2.6 Teknik Perhitungan Komponen PLTS .....	29
2.7 Analisis Ekonomi .....	31
2.7.1 Analisis Kelayakan Investasi PLTS .....	34
2.8 Aplikasi PVsyst 7.3.....	37
2.9 Aplikasi HOMER Pro .....	39
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>42</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	42
3.2 Alat dan Bahan .....	43
3.3 Jenis Penelitian.....	43
3.4 Metode Pengumpulan Data .....	43
3.5 Perancangan Sistem PLTS .....	44
3.6 Analisis Teknis .....	46
3.7 Analisis Ekonomi .....	46
3.8 Diagram Blok .....	46
3.9 Diagram Alir Penelitian ( <i>Flowchart</i> ) .....	48
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>

4.1 Hasil Peninjauan Lokasi.....	49
4.1.1 Bangunan.....	49
4.1.2 Tower BTS <i>rooftop</i> Pasar Palakka Kab. Bone.....	50
4.1.3 Data Geografis.....	52
4.1.4 Data Gangguan Listrik di Wilayah pasar Palakka .....	52
4.2 Profil Beban Energi Listrik .....	54
4.2.1. Perhitungan Kebutuhan Energi Harian .....	54
4.3 Radiasi Sinar Matahari.....	55
4.4 Analisis Perhitungan PLTS .....	56
4.4.1 Perhitungan Jumlah Panel Surya.....	56
4.4.2 Perhitungan Kapasitas Inverter .....	58
4.4.3 Perhitungan Kapasitas Baterai.....	58
4.4.4 Sistem Proteksi dan Pengkabelan.....	59
4.5 Penentuan Komponen PLTS .....	63
4.6 Analisis Ekonomi PLTS .....	64
4.6.1 Menghitung Biaya Investasi.....	64
4.6.2 Menghitung Biaya Pemeliharaan dan Operasional .....	67
4.6.3 Menghitung Biaya Siklus Hidup (LCC).....	67
4.6.4 Menghitung Biaya Energi PLTS .....	69
4.7 Analisis Kelayakan Investasi PLTS .....	70
4.8 Analisis Perencanaan PLTS Menggunakan Software PVsyst 7.3 .....	76
4.8.1 Perencanaan PVsyst 7.3 .....	76
4.8.2 Hasil Simulasi PVsyst 7.3 .....	87
4.9 Analisis Perencanaan Menggunakan Software HOMER Pro .....	93
4.9.1 Simulasi PLTS pada HOMER PRO.....	93
4.9.2 Hasil Simulasi HOMER PRO .....	104
4.10 Perbandingan Analisis Kelayakan Ekonomi PLTS.....	108
4.11 Desain PLTS .....	109
4.12 Manajemen Resiko ( <i>Risk Management</i> ) .....	111
4.13 Manajemen Stakeholder .....	113
 BAB V PENUTUP.....	 116



5.1 Kesimpulan.....	116
5.2 Saran.....	117
DAFTAR ISI.....	119
LAMPIRAN.....	123



## DAFTAR TABEL

	hal.
Tabel 3.1 <i>Time Schedule</i> .....	39
Tabel 3.2 Alat Dan Bahan.....	40
Tabel 4.1 Pengukuran Komponen Tower BTS Rooftop.....	47
Tabel 4.2 Tabel Gangguan Listrik di Wilayah Pasar Palakka .....	50
Tabel 4.3 Kebutuhan Energi Harian .....	51
Tabel 4.4 Kebutuhan Energi Harian Hasil PLN.....	51
Tabel 4.5 Data Insolasi, Suhu, Diffuse Irradiation dan Kecepatan Angin.....	52
Tabel 4.6 Spesifikasi Baterai ZTE ZXDC48 FB101 .....	59
Tabel 4.7 Spesifikasi Inverter .....	59
Tabel 4.8 Spesifikasi Panel Surya.....	60
Tabel 4.9 Asumsi Rincian Biaya Dan Investasi.....	61
Tabel 4.10 Perhitungan DF, NCF Dan PVNCF, Dengan $I=9,27\%$ .....	66
Tabel 4.11 Perhitungan DF, NCF, Dengan $I=8,27\%$ .....	69
Tabel 4.12 Perhitungan DF, NCF, Dengan $I=10,27\%$ .....	70
Tabel 4.13 Perbandingan Analisis Ekonomi PLTS .....	102
Tabel 4.14 Manajemen Resiko.....	105
Tabel 4.15 Manajemen Stakeholder.....	107

## DAFTAR GAMBAR

	hal.
Gambar 2.1 Peta Wilayah Indonesia.....	8
Gambar 2.2 Potensi Tenaga Surya di Indonesia .....	9
Gambar 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	12
Gambar 2.4 Susunan Paralel Modul Surya .....	14
Gambar 2.5 Susunan Seri Modul Surya.....	14
Gambar 2.6 Struktur Modul Photovoltaik.....	15
Gambar 2.7 Sistem PLTS Hybrid .....	17
Gambar 2.8 Struktur Konstruksi Modul PV .....	18
Gambar 2.9 Modul PV Jenis <i>Monocrystalline</i> .....	19
Gambar 2.10 Modul PV Jenis <i>Polycrystalline</i> .....	20
Gambar 2.11 Modul Surya Jenis Thin Film.....	21
Gambar 2.12 <i>Smart Inverter Hybrid</i> .....	22
Gambar 2.13 Baterai .....	24
Gambar 2.14 Kabel .....	25
Gambar 2.15 Combiner Box.....	25
Gambar 2.16 Komponen Telekomunikasi Tower BTS Rooftop Palakka.....	26
Gambar 2.17 Tampilan Jendela Kerja PVsyst 7.3 .....	35
Gambar 2.18 Tampilan Awal <i>Software Homer</i> .....	38
Gambar 3.1 Diagram Blok .....	44
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian .....	45

Gambar 4.1 Lokasi Tower BTS Rooftop Pasar Palakka Kab. Bone.....	46
Gambar 4.2 Tower BTS Rooftop Pasar Palakka Kab. Bone.....	47
Gambar 4.3 Wiring Diagram Tower BTS Rooftop Pasar Palakka Kab. Bone .....	48
Gambar 4.4 Layout Sistem BTS .....	48
Gambar 4.5 Data Geografis Lokasi Tower BTS Rooftop Site WTP 186-MCR Pasar Palakka Menggunakan Aplikasi Global Solar Atlas .....	49
Gambar 4.6 Menu Utama PVsyst.....	72
Gambar 4.7 Menu Proyek PVsyst.....	72
Gambar 4.8 Menu <i>Geographical Coordinates</i> .....	73
Gambar 4.9 Tampilan Menu Monthly Meteo Berupa Data Iradiasi Matahari.....	73
Gambar 4.10 Menu Variant.....	74
Gambar 4.11 Menu <i>Orientation</i> .....	75
Gambar 4.12 Menentukan PV Module Dan Inverter.....	76
Gambar 4.13 Bata Beban .....	78
Gambar 4.14 <i>Hourly Distribution</i> .....	78
Gambar 4.15 <i>Adjustment</i> Sistem Penyimpanan Energi Listrik.....	79
Gambar 4.16 Evaluasi Ekonomi .....	80
Gambar 4.17 Financial Parameters .....	80
Gambar 4.18 Financial Results .....	81
Gambar 4.19 Hasil Simulasi PVsyst.....	82
Gambar 4.20 Produksi Energi Tahunan .....	83
Gambar 4.21 Loss Diagram PLTS Hybrid.....	84
Gambar 4.22 Grafik Rasio Kinerja PLTS Hybrid.....	85

Gambar 4.23 Biaya Sistem.....	86
Gambar 4.24 <i>Financial Analysis</i> .....	87
Gambar 4.25 <i>Detail Economic Result</i> .....	88
Gambar 4.26 Menu Utama HOMER PRO.....	89
Gambar 4.27 Menu Profil Beban .....	90
Gambar 4.28 Beban Listrik Per Jam Selama 24 Jam .....	91
Gambar 4.29 Input Data Radiasi Matahari .....	91
Gambar 4.30 Input Data Suhu Udara.....	92
Gambar 4.31 Menu <i>Economics</i> .....	93
Gambar 4.32 Menu Input Solar Panel.....	94
Gambar 4.33 Menu Input Baterai .....	95
Gambar 4.34 Menu Input Inverter .....	96
Gambar 4.35 Menu Input Grid.....	97
Gambar 4.36 Skematik Sistem PLTS Hybrid .....	98
Gambar 4.37 Hasil Simulasi <i>Electrical</i> .....	99
Gambar 4.38 Hasil Simulasi .....	99
Gambar 4.39 Detail Simulasi dan Optimasi HOMER PRO .....	100
Gambar 4.40 Grafik Software HOMER PRO.....	101
Gambar 4.41 Hasil Simulasi <i>Compare Economic</i> .....	101
Gambar 4.42 <i>2D Scene Near Shading</i> Lokasi Tower BTS di PVsyst 7.3 .....	103
Gambar 4.43 Penempatan 27 Panel di Atas Atap .....	103
Gambar 4.44 Konfigurasi PV.....	104
Gambar 4.45 Wiring Diagram PLTS <i>Hybrid</i> .....	104

## DAFTAR LAMPIRAN

	hal.
Lampiran 1. Dokumentasi .....	118
Lampiran 2. Hasil Simulasi Hybrid .....	120
Lampiran 3. Data Sheet Panel Surya .....	134
Lampiran 4. Data Sheet Baterai .....	136



## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh. Iksan Fachruddin

NIM : 44222231

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid* Untuk Tower BTS *Rooftop* di Pasar Palakka Kabupaten Bone” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

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 tersebut di atas tidak benar, penulis siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2023



Muh. Iksan Fachruddin

44222231

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rustan Evendi

NIM : 44222250

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid* Untuk Tower BTS *Rooftop* di Pasar Palakka Kabupaten Bone ” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

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 tersebut di atas tidak benar, penulis siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2023



Rustan Evendi

44222250



## Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid* Untuk Tower BTS *Rooftop* di Pasar Palakka Kabupaten Bone

### RINGKASAN

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi. Peningkatan juga dipicu oleh laju pertumbuhan kebutuhan energi sebesar 6,86% setiap tahunnya. Kebutuhan energi di Indonesia sebagian besar berasal dari energi fosil atau konvensional yang memiliki keterbatasan dan tidak ramah lingkungan yang syarat akan emisi. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif energi terbarukan dan ramah lingkungan.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari menjadi energi listrik menggunakan modul surya yang termasuk dalam energi hijau sehingga menjadi suatu pembangkit yang terbarukan dan merupakan salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan listrik yang ramah lingkungan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya (perangkat yang menyuplai tenaga listrik ke suatu beban listrik) yang dirancang untuk menyuplai kebutuhan energi listrik mulai dari skala kecil maupun besar, baik secara Off-Grid maupun On-Grid yang terhubung jaringan PLN serta secara Hybrid (dikombinasi dengan sumber energi listrik lain). Dan Salah satu daerah yang berpotensi dilakukan Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Untuk Tower BTS Rooftop di Pasar Palakka Kabupaten Bone yang memiliki lokasi dengan tingkat radiasi matahari sebesar 5.91 kWh/m<sup>2</sup>/hari.

Pada perencanaan ini menggunakan analisis kuantitatif dan *software* simulasi untuk mendesain sistem PLTS menggunakan PVsyst 7.3 serta *software* Homer Pro yang akan digunakan untuk mengetahui biaya produksi energi listrik yang dihasilkan. Dengan total kebutuhan energi per hari 74472 Wh/day dan panel surya yang digunakan tipe *Monocrystalline* dengan kapasitas panel surya 550 Wp sebanyak 27 unit. Baterai sebanyak 10 unit dan inverter hybrid sebanyak 1 unit. sehingga diperoleh biaya investasi awal dari hasil perhitungan numerik sebesar Rp 303.691.550 dengan nilai NPV Rp 62.148.591 bernilai positif dan IRR 11.62%. Pada simulasi PVsyst biaya investasi awal sebesar Rp 303.691.546 dengan nilai NPV Rp 135.816.021 bernilai positif dan IRR 12.07% sedangkan pada *software* Homer Pro biaya investasi awal sebesar Rp 303.691.550 dengan nilai NPV Rp 421.470.600 dan nilai IRR 36.2%. Sehingga perencanaan PLTS ini dikatakan layak, karena NPV bernilai positif (>0), dan nilai IRR lebih tinggi dari suku bunga dan pengembalian modal investasi yang kurang dari masa proyek 25 tahun.

***Planning Study of Hybrid Solar Power Plants for Rooftop BTS Towers at  
Palakka Market, Bone Regency***

**SUMMARY**

*The need for electrical energy is increasing along with population growth and technological developments. This increase was also triggered by the growth rate of energy demand of 6.86% every year. Most of the energy needs in Indonesia come from fossil or conventional energy which has limitations and is not environmentally friendly due to emissions requirements. Therefore, there is a need for renewable and environmentally friendly energy alternatives.*

*Solar Power Plant (SPP) is an electricity generation system that utilizes solar radiation into electrical energy using solar modules which are included in green energy so that it becomes a renewable generator and is one solution to meet people's needs for environmentally friendly electricity. SPP is basically a power supply (device that supplies electrical power to an electrical load) which is designed to supply electrical energy needs starting from small to large scale, both Off-Grid and On-Grid connected to the PLN network as well as Hybrid (combined with other electrical energy sources). And one of the areas that has the potential to plan a Hybrid Solar Power Plant for Rooftop BTS Towers is in Palakka Market, Bone Regency, which has a location with a solar radiation level of 5.91 kWh/m<sup>2</sup>/day.*

*This plan uses quantitative analysis and simulation software to design a SPP system using PVSyst 7.3 and Homer Pro software which will be used to determine the production costs of the electrical energy produced. With a total daily energy requirement of 74,472 Wh/day and the monocrystalline type of solar panels used with a solar panel capacity of 550 Wp is 27 units, 10 batteries and 1 hybrid inverter. so that the initial investment cost obtained from the numerical calculation results is IDR 303,691,550 with a positive NPV value of IDR 62,148,591 and an IRR of 11.62%. In the PVSyst simulation the initial investment cost is IDR 303,691,546 with a positive NPV value of IDR 135,816,021 and an IRR of 12.07%, while in the Homer Pro software the initial investment cost is IDR 303,691,550 with an NPV value of IDR 421,470,600 and an IRR value of 36.2%. So this PLTS planning is said to be feasible, because the NPV is positive (>0), and the IRR value is higher than the interest rate and return on investment capital which is less than the 25 year project period.*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi. Peningkatan juga dipicu oleh laju pertumbuhan kebutuhan energi sebesar 6,86% setiap tahunnya. Kebutuhan energi di Indonesia sebagian besar berasal dari energi fosil atau konvensional yang memiliki keterbatasan dan tidak ramah lingkungan yang syarat akan emisi. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif energi terbarukan dan ramah lingkungan (Sihotang, 2019). Pemerintah mendorong untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi diakibatkan berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi dan komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca sesuai dengan PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050 (DEN, 2019).

Wilayah Indonesia terletak pada garis khatulistiwa atau ekuator yaitu wilayah tengah yang membagi bola bumi menjadi bagian utara dan selatan (Widyanto dan Nur, 2022). Posisi ini menyebabkan ketersediaan sinar matahari di seluruh wilayah Indonesia hampir sepanjang tahun, kecuali pada musim hujan dan saat awan tebal menghalangi sinar matahari. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia memiliki potensi energi listrik surya dengan iradiasi surya sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> atau setara dengan 112.000 GWp

(IESR, 2012). Hal ini sangat potensial untuk dimanfaatkan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik, dikarenakan permasalahan terkait dengan pembakaran bahan bakar fosil untuk pembangkitan energi listrik yang dapat menimbulkan emisi gas rumah kaca.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari menjadi energi listrik menggunakan modul surya yang termasuk dalam energi hijau sehingga menjadi suatu pembangkit yang terbarukan dan merupakan salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan listrik yang ramah lingkungan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya (perangkat yang menyuplai tenaga listrik ke suatu beban listrik) yang dirancang untuk menyuplai kebutuhan energi listrik mulai dari skala kecil maupun besar, baik secara Off-Grid maupun On-Grid yang terhubung jaringan PLN serta secara Hybrid (dikombinasi dengan sumber energi listrik lain). Sistem PLTS memerlukan area terbuka dan bebas dari benda atau bayangan yang dapat menghalangi panel surya dalam menyerap dan menerima radiasi matahari. Salah satu kendala dalam pemanfaatan PLTS, khususnya untuk daerah perkotaan adalah keterbatasan lahan untuk penempatan panel surya. Dalam permasalahan ini salah satu solusi untuk keperluan penempatan panel surya dapat dilakukan dengan memanfaatkan atap bangunan (Mubarok, 2023).

Perkembangan teknologi komunikasi di Indonesia terus mengalami perkembangan yang cukup pesat. Perkembangan ini memacu peningkatan pembangunan menara pemancar (Base Transceiver Station-BTS) yang berguna memfasilitasi komunikasi nirkabel antara piranti komunikasi dan jaringan

operator. Dengan adanya menara tersebut memungkinkan terjadinya proses komunikasi, maupun pertukaran informasi (Mamarimbing. Dkk, 2020).

Tower BTS *Rooftop* yang ada di Pasar Palakka Kabupaten Bone masih mengandalkan power yang sumber utamanya masih berasal dari listrik PLN dan ketika listrik padam maka harus dibantu oleh genset. Namun akses jalan menuju lokasi tower sedikit terkendala karena lokasinya berada di atas atap di dalam wilayah padat penduduk dan tidak sedikit warga yang merasa terganggu dari suara genset tersebut. Berdasarkan kondisi tersebut pemanfaatan sinar matahari melalui perencanaan PLTS dengan sistem *Hybrid* merupakan langkah yang tepat untuk memenuhi kebutuhan kelistrikan pada Tower BTS *Rooftop* di Pasar Palakka Kabupaten Bone. Sehingga perencanaan pembangunan ini bisa menjadi peluang untuk menawarkan pembangunan PLTS pada unit yang lain dan masyarakat sekitar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan perencanaan PLTS Hybrid untuk Tower BTS *Rooftop* dengan menggunakan software PVsyst 7.3 dan software HOMER PRO?
2. Bagaimana menghitung *Capital Cost* PLTS Hybrid untuk Tower BTS *Rooftop*?

### 1.3 Ruang Lingkup Kegiatan

Adapun pembatasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Desain dan analisis ekonomi menggunakan *software* PVsyst dan HOMER PRO.
2. Kegiatan dilakukan di area Tower BTS *Rooftop* di Pasar Palakka Kabupaten Bone
3. Faktor yang mempengaruhi rasio performa pembangkit seperti rugi-rugi akan diperlihatkan oleh aplikasi PVsyst.
4. Pembahasan teknik berfokus pada spesifikasi dan komponen-komponen yang digunakan dalam simulasi.
5. Sistem PLTS hanya membahas sistem *Hybrid*.

### 1.4 Tujuan Kegiatan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka adapun yang menjadi tujuan dari kegiatan ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perencanaan PLTS Hybrid untuk Tower BTS *Rooftop* dengan menggunakan *software* PVsyst 7.3 dan HOMER PRO.
2. Menghitung *Capital Cost* PLTS Hybrid untuk Tower BTS *Rooftop*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai acuan dalam perencanaan PLTS Hybrid untuk Tower BTS *Rooftop*. yang diharapkan dapat menjadi referensi dalam pemaksimalan penyaluran listrik.

2. Meningkatkan keilmuan mahasiswa dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem *Hybrid* menggunakan *software* PVsyst dan Homer Pro.
3. Menjadi referensi tambahan dalam pembuatan maupun pengembangan pembangkit yang memanfaatkan energi baru terbarukan (EBT).



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tinjauan Literatur

Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi makhluk hidup dalam kehidupan sehari-hari. Energi terbagi menjadi dua, yaitu Energi Baru Terbarukan dan Energi Tak Terbarukan. Energi Baru Terbarukan merupakan energi yang didapatkan dari sumber daya alam yang tidak terbatas dan tidak akan pernah habis meskipun digunakan secara terus-menerus. Sedangkan Energi Tak Terbarukan merupakan energi yang terbentuk dari fosil bumi berjuta-juta lamanya. Berbeda dengan Energi Terbarukan, Energi Tak Terbarukan jumlahnya sangatlah terbatas dan akan habis apabila digunakan terus-menerus.

Di masa depan, energi baru terbarukan akan semakin memberikan peran yang sangat besar untuk memenuhi kebutuhan energi untuk makhluk hidup dalam kegiatan sehari-hari. Hal tersebut dikarenakan bahan bakar fosil yang merupakan energi tak terbarukan dimanfaatkan oleh pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam waktu yang lama dan menguras sumber energi sehingga cadangan energi semakin lama semakin sedikit (Anggara, dkk, 2014). Salah satu solusi untuk menghadapi hal tersebut ialah dengan menggunakan energi terbarukan, salah satunya adalah energi surya.

Energi surya tidak bisa lepas dari kehidupan makhluk hidup, baik itu manusia, hewan, maupun tumbuhan. Selain itu, energi surya menjadi faktor penting dalam proses fotosintesis tumbuhan yang akan menghasilkan oksigen,



dimana oksigen tersebut sangat penting agar manusia maupun hewan dapat bertahan hidup (Rizkasari, dkk, 2020).

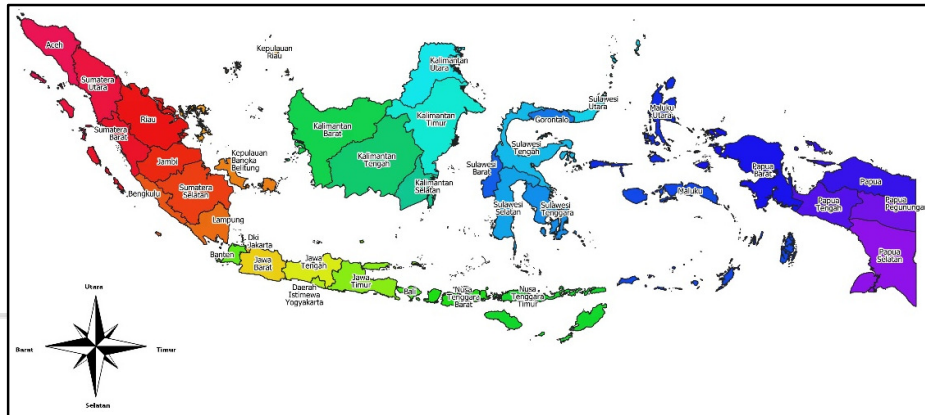
Keunggulan energi surya apabila dibandingkan dengan energi fosil adalah sebagai berikut (Sukmajati dan Hafidz, 2015).:

1. Energi surya mudah didapatkan karena berasal dari matahari itu sendiri.
2. Ramah lingkungan.
3. Sesuai dengan kondisi geografis yang bermacam-macam
4. Pemasangan, pengoperasian, serta perawatannya tidak sulit.
5. Energi listrik yang didapatkan dari energi surya bisa disimpan dalam baterai.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Kondisi Wilayah Indonesia**

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di kawasan Asia Tenggara dimana berada disekitar garis khatulistiwa. Menurut Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional Indonesia, jumlah pulau di nusantara adalah 13.466, dimana 922 di antaranya berpenghuni secara permanen. Negara ini memiliki luas total 1.904 569 km<sup>2</sup>, dari 6° LU hingga 11° LS dan dari 95° BT hingga 141° BT (Dang, 2017). Peta wilayah Indonesia disajikan pada Gambar 2.1.



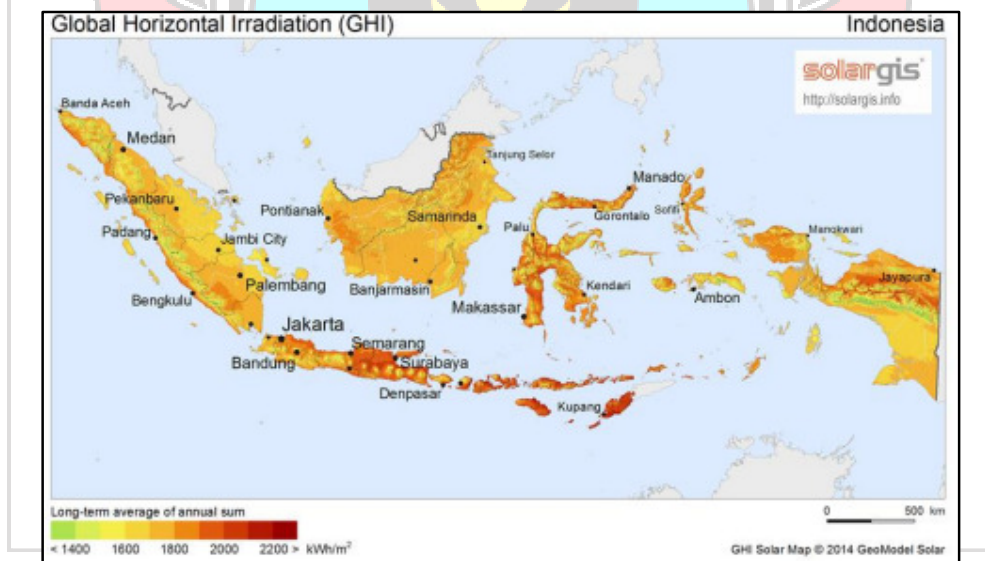
Gambar 2.1 Peta Wilayah Indonesia  
(Sumber: Media Indonesia, 2023)

Indonesia beriklim tropis yang memiliki dua musim yaitu musim hujan dan kemarau dimana musim hujan terjadi pada bulan Desember hingga Maret sedangkan musim kemarau terjadi pada bulan Juni hingga September (Handayani et al., 2015). Temperatur rata-rata Indonesia di daerah dataran pantai adalah 28 °C dan di daerah pegunungan yang lebih tinggi adalah 23°C. Jumlah curah hujan rata-rata adalah 238.35 mm/bulan (Dang, 2017). Temperatur dan lamanya waktu siang hari relatif konstan sepanjang tahun akibat kestabilan dari radiasi matahari sehingga energi matahari dapat menjadi sumber energi yang dapat diandalkan sebagai solusi bagi permasalahan energi di Indonesia.

### 2.2.2 Potensi Energi Surya di Indonesia

Energi surya adalah salah satu sumber energi terbarukan yang cukup menjanjikan dan memiliki potensi terbesar daripada sumber daya lainnya untuk memecahkan masalah energi dunia serta ramah lingkungan (Ab Kadir & Rafeeu, 2010). Ketersediaan energi matahari di permukaan tanah merupakan salah satu faktor pertimbangan penerapan sistem energi matahari di suatu wilayah.

Indonesia memiliki potensi besar di sektor pembangkit listrik tenaga surya. Dengan wilayah yang luas dan intensitas cahaya matahari yang tinggi, pasokan listrik dari tenaga surya bisa menjadi andalan. Sesuai data Outlook Energi Indonesia, BPPT, tahun 2015 menyebutkan bahwa potensi energi surya di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4,8 KWh/m<sup>2</sup> atau setara 112.000 GWp. Sedangkan yang telah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp. Untuk meningkatkan percepatan pengembangan energi surya ini maka pemerintah telah mengeluarkan roadmap yang menargetkan kapasitas PLTS terpasang hingga tahun 2025 mencapai 0,87 GW atau sekitar 50 MWp per tahun. Jumlah ini merupakan gambaran potensi pasar yang cukup besar dalam pengembangan energi surya pada masa datang.



Gambar 2.2 Potensi Tenaga Surya di Indonesia  
(Sumber: SolarGIS)

Gambar 2.2 di atas menunjukkan potensi tenaga surya di Indonesia. Potensi tenaga surya Indonesia secara umum berada pada tingkat satisfy (cukup) yang dapat dijadikan

sebagai salah satu patokan untuk menyusun perencanaan pembangunan sumber energi PLTS pada masa depan.

### 2.2.3 Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik ialah suatu tempat yang digunakan untuk membangkitkan listrik dengan cara memanfaatkan energi mekanik yang dikonversi menjadi energi listrik melalui turbin yang kemudian disambungkan ke generator sebagai pembangkit listrik (Zaini, dkk, 2020). Pembangkit listrik terdiri dari berbagai macam tergantung pemanfaatan energi mekaniknya di antaranya ialah : Pembangkit listrik tenaga air (PLTA), Pembangkit listrik tenaga gas uap (PLTGU), Pembangkit listrik tenaga Uap (PLTU) Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTPB), Pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) ,Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

### 2.2.4 Energi Terbarukan

Istilah "energi terbarukan" mengacu pada jenis energi alam yang dapat diregenerasi secara teratur dan digunakan tanpa batas waktu. Energi terbarukan dapat dibuat dengan menggunakan pergantian peristiwa inovatif yang semakin kompleks, sehingga dapat menjadi sumber energi pilihan. Energi terbarukan ini memiliki berbagai macam pemanfaatan energi alam diantaranya (Alkholish, 2023):

1. Energi matahari : Sumber energi ini berasal dari proses penangkapan energi radiasi matahari, atau sinar matahari, dan mengubahnya menjadi listrik, panas, atau air panas. Untuk mendapatkan listrik, panas matahari diserap oleh panel surya (solar panel) dan diubah menjadi listrik.

2. Energi angin: Udara bergerak melalui angin. Tenaga angin sudah ada sejak lama. Misalnya, pabrik di Belanda menggunakan tenaga angin untuk menggerakkan turbin yang menghasilkan listrik. Generator digerakkan oleh turbin untuk menghasilkan listrik.

3. Energi pasang surut: Pasang surut air laut menyediakan energi ini.

Diketahui bahwa energi ini juga digunakan di Eropa dan di pantai timur Amerika Serikat. Turbin pantai membantu konversi energi pasang surut menjadi energi mekanik untuk pembangkit listrik.

4. Gelombang energi: Energi ini juga digunakan untuk menghasilkan listrik. Namun infrastruktur yang dibutuhkan untuk mengembangkan energi gelombang ini sangat mahal.

5. Energi panas laut: Setiap bagian air laut memiliki suhu yang berbeda; bagian dalamnya terasa dingin, dan permukaannya terasa panas karena terkena sinar matahari. Menggunakan teknologi mutakhir, perbedaan suhu ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik.

#### 2.2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya atau disingkat PLTS merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energinya untuk menghasilkan energi listrik. PLTS menggunakan fotovoltaik sebagai bentuk

teknologi terbaru. Skema sistem PLTS terbagi menjadi dua macam yaitu sistem

on grid dan off grid. Berkembangnya dunia kelistrikan menambah satu jenis skema sistem dari PLTS yaitu sistem hybrid. Dimana skema pembangkitan daya

tidak hanya dilakukan oleh PLTS namun dikombinasikan dengan pembangkit listrik eksisting.



Gambar 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya  
(Sumber: ICAsolar, 2023)

Prinsip kerja PLTS sistem terpusat dapat diuraikan sebagai berikut (Irfan, 2017):

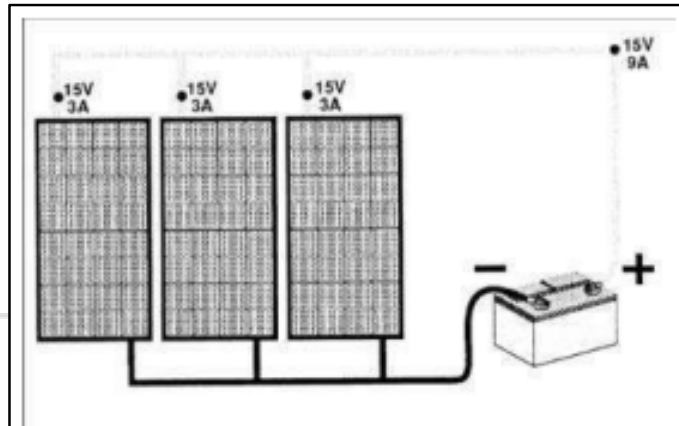
1. Sumber energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya (PV) pada siang hari akan disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi listrik dari PV ke baterai diatur oleh Solar Charge Controller agar tidak terjadi over charge. Besar energi yang dihasilkan oleh PV sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh PV.
2. Selanjutnya energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai beban melalui inverter saat dibutuhkan. Inverter mengubah tegangan DC pada sisi baterai menjadi tegangan AC pada sisi beban.

### 2.2.6 Prinsip Kerja PLTS

Prinsip kerja PLTS yaitu berdasarkan prinsip photovoltaic yang mengkonversikan energi matahari ke energi listrik. Karena panel surya merupakan bahan semikonduktor maka pada panel surya terdiri dari lapisan tipe N, lapisan tipe P-N junction dan lapisan tipe P. Lapisan tipe N memiliki elektron berlebih (bermuatan negatif), dan lapisan tipe P memiliki hole yang berlebih (bermuatan positif). P-N junction sebagai tempat terbentuknya medan listrik. Ketika terdapat intensitas sinar matahari mengenai panel surya maka muatan positif dari semikonduktor tipe-p berinteraksi dengan muatan elektron tipe-n, sehingga elektron akan berpindah dari semikonduktor tipe-n ke semikonduktor tipe-p sehingga pada semikonduktor tipe-n menjadi kutub positif. Begitupun sebaliknya, semikonduktor tipe-p akan menjadi kelebihan elektron atau menjadi kutub negatif. Karena terdapat elektron dan hole yang terus berpindah-pindah maka terbentuk medan listrik yaitu saat intensitas sinar matahari mengenai susunan p-n junction. (Septiana, 2013)

- 1) Sistem Instalasi Pada *Solar Cell*
  - a. Solar Cell dengan menggunakan rangkaian Paralel

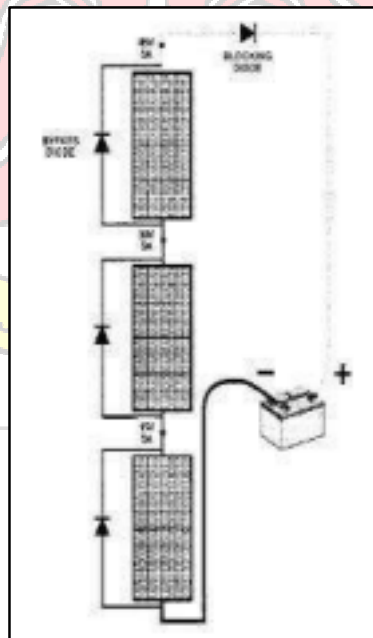
Rangkaian paralel pada Solar Cell berarti kutub positif (+) sel surya harus terhubung dengan kutub positif (+) lainnya, begitu juga dengan kutub negatif (-) sel surya harus terhubung dengan kutub negatif (-) lainnya. Tujuan pemasangan solar cell secara paralel yaitu untuk memperbesar arus listrik dari keluaran setiap modul surya.



Gambar 2.4 Susunan Paralel Modul Surya  
(Sumber: Zumrodi, 2015)

b. Solar Cell dengan menggunakan rangkaian seri

Rangkaian seri pada Solar Cell berarti kutub positif (+) sel surya yang pertama harus terhubung dengan kutub negatif (-) sel surya yang kedua dan begitu seterusnya. Tujuan pemasangan solar cell secara seri yaitu untuk memperbesar tegangan sesuai dengan yang di inginkan.



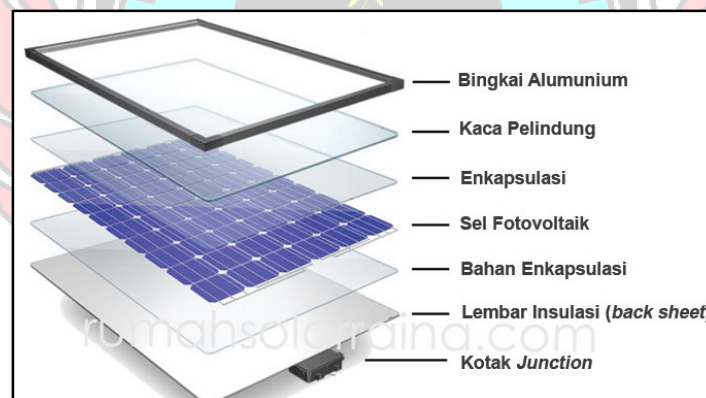
Gambar 2.5 Susunan Seri Modul Surya  
(Sumber: Zumrodi, 2015)



### 2.2.7 Panel Surya

Modul panel surya adalah kumpulan sel photovoltaik yang saling terhubung atau saling koneksi secara seri dalam sebuah tempat. Sel- sel tersebut dilapisi agar terhindar dari kontak langsung lingkungan maupun benda – benda mekanik yang dapat merusak sel photovoltaik. Karena sel photovoltaik berupa sel sel tipis maka sel ini rentan akan terjadinya retak maka dari itu perlunya lapisan lapisan yang membuat sel ini kuat. Kinerja dari sel fotovoltaiik ini tergantung dari sinaran radiasi matahari yang diubah menjadi listrik.

Oleh karena itu banyak lapisan yang terpasang di modul panel surya, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6 berikut ini:



Gambar 2.6 Struktur Modul Photovoltaik  
(Sumber: rumahsolarraina, 2023)

Bagian – bagian dari modul photovoltaik adalah sebagai berikut:

- Bingkai atau frame bahan yang digunakan untuk menghindari korosi dan terbuat dari aluminium anodized.
- Kaca pelindung melindungi sel photovoltaik dari lingkungan sekitar dan sebagai kekokohan sel photovoltaik itu sendiri. Dan disini kaca pelindung merupakan bahan yang paling proporsi tertinggi daripada yang lain.

c. Enkapsulasi atau laminasi adalah lapisan dari photovoltaik dan kaca pelindung. Bahan yang digunakan dalam laminasi adalah ethylene-vinyl acetate (EVA). Kegunaan dari laminasi antara lain adalah mencegah kerusakan mekanisme sel photovoltaik dan melindungi sel photovoltaik terhadap modul lainnya.

d. Sel photovoltaik merupakan komponen utama dari modul photovoltaik tersebut. Sel *photovoltaic* terbuat dari bahan semikonduktor yang dapat mengubah energi menjadi listrik dari tangkapan sinar matahari.

e. Lembar insulasi (*backsheet*) melindungi modul photovoltaik dan mengisolasi sel – sel dari kelembaban dan cuaca, lebar insulasi terbuat dari bahan plastik.

f. Kotak penghubung (*junction box*) sebagai penghubung antara modul photovoltaik ke beban (Ramadhani, 2018).

#### 2.2.8 Sistem PLTS

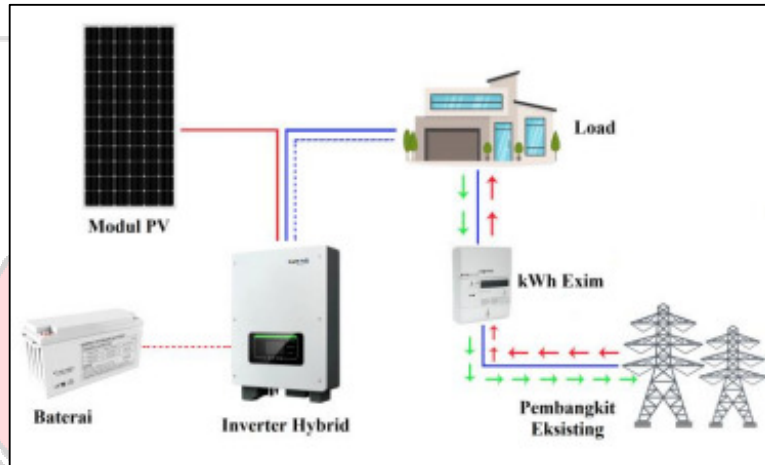
Sistem PLTS sendiri memiliki banyak sistem yang bisa digunakan salah satunya sistem PLTS Hybrid.

##### a. Sistem Hybrid

PLTS hybrid adalah gabungan sistem PLTS dengan sistem pembangkit listrik lain yang bertujuan untuk menjaga kesinambungan

suplai energi dan mengoptimalkan penggunaan energi hijau. Sama seperti skema sistem sebelumnya, PLTS pada sistem hybrid tidak menggunakan energi matahari sebagai satu satunya sumber energinya untuk menyuplai daya ke beban. Dengan skema sistem hybrid, PLTS menggabungkan

sumber pembangkit tenaga listrik eksisting. Pembangkit listrik yang digunakan PLN antara lain PLTU, PLTG PLTA, PLTP, PLTD, PLTB, dan lainnya. Karena kombinasi beberapa pembangkit inilah sehingga disebut hybrid. Gambar 2.7 di bawah ini menunjukkan skema sistem PLTS hybrid.



Gambar 2.7 Sistem PLTS Hybrid  
(Sumber: Fardhan, 2022)

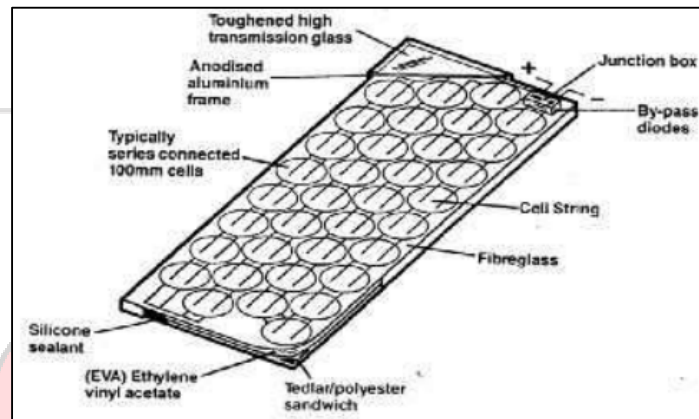
### 2.3 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS adalah suatu pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya 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) apabila diperlukan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik dari yang kecil sampai dengan yang besar, baik secara mandiri maupun hibrida (Go Green Solar, 2023).

#### 2.3.1 Photovoltaic Cell (PV)

Energi listrik dapat dibangkitkan dengan mengubah sinar matahari melalui sebuah proses yang dinamakan photovoltaic. Photo merujuk kepada cahaya dan

voltaic merujuk kepada tegangan. Terminologi ini digunakan untuk menjelaskan sel elektronik yang memproduksi energi listrik arus searah dari energi radian matahari seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut ini.



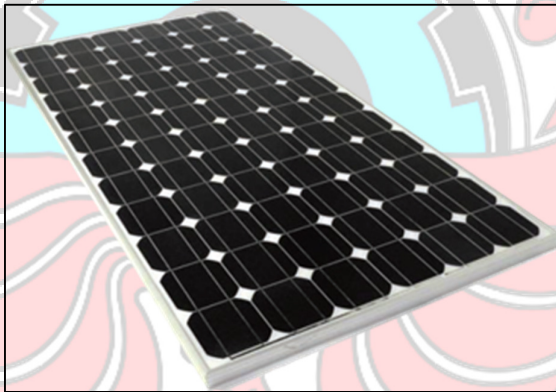
Gambar 2.8 Struktur Konstruksi Modul PV  
(Sumber: Chenni, dkk, 2007)

PV cell dibuat dari material semikonduktor terutama silikon yang dilapisi oleh bahan tambahan khusus. Jika cahaya matahari mencapai cell maka elektron akan terlepas dari atom silikon dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energi listrik dapat dibangkitkan. Sel surya selalu didesain untuk mengubah cahaya menjadi energi listrik sebanyak-banyaknya dan dapat digabung secara seri atau paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan (Chenni, dkk, 2007).

Secara umum perkembangan sel surya dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain sebagai berikut:

a. *Monocrystalline*

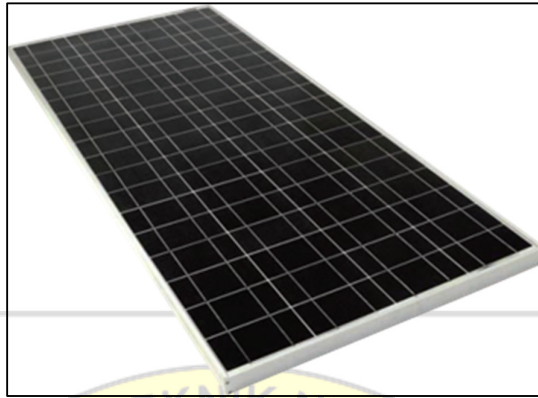
Merupakan sel surya yang memiliki susunan kristal teratur. Dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Monokristal dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 15-20%. Jenis sel surya monocrystalline dikenal paling awet, dan kebanyakan pabrik yang menjual akan memberikan garansi 25 tahun. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang, efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan atau mendung (ICAsolar, 2023).



Gambar 2.9 Modul PV jenis *Monocrystalline*  
(Sumber: ICAsolar, 2023)

b. *Polycrystalline*

Merupakan sel surya yang memiliki susunan kristal acak. Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan dilakukan secara perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul di atas lapisan silikon. Sel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal (sekitar 13-16%), sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah (Fischbach, 2008).



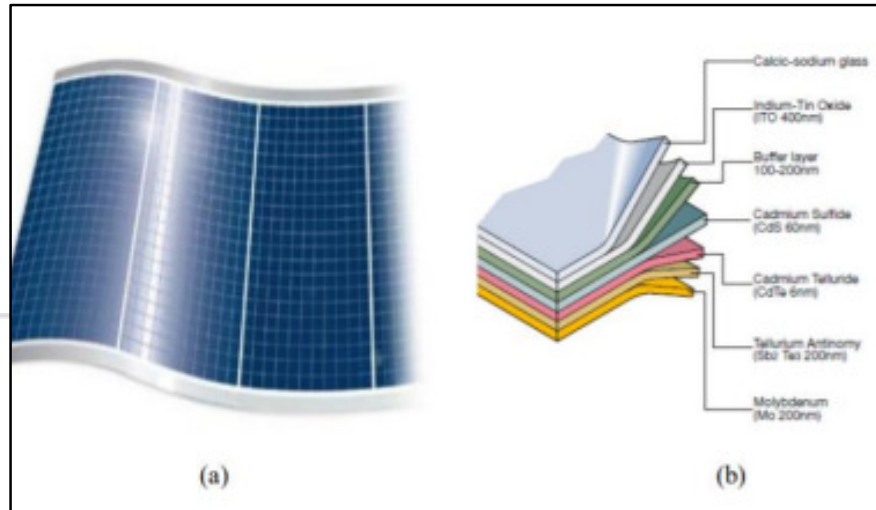
Gambar 2.10 Modul PV jenis *Polycrystalline*  
(Sumber: ICAsolar, 2023)

c. *Amorphous Silicon*

Amorphous Silicon telah digunakan sebagai bahan sel surya photovoltaic pada kalkulator. tipe panel dengan harga yang paling murah akan tetapi efisiensinya paling rendah, yaitu antara 9-10,4% (Wiryadinata dan Munarto, 2013).

d. Sel surya silikon terpadu (*Thin Film Cells*)

Merupakan panel surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystal silikon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8,5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokrystal dan polikrystal. Inovasi terbaru adalah thin film triple junction PV dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% (Fischbach, 2008).



Gambar 2.11 Modul Surya Jenis *Thin Film*  
(Sumber: Oktarina, 2021)

### 2.3.2 Inverter Hybrid

Inverter adalah alat elektronik yang berfungsi untuk merubah arus DC menjadi arus AC. Inverter diperlukan karena arus yang keluar dari panel surya adalah arus DC, penggunaan inverter ditujukan untuk mensuplai beban yang memerlukan arus AC untuk dapat digunakan. Pemilihan inverter bergantung kepada beban dan juga pada konfigurasi PLTS (Kristiawan, dkk, 2019).

Sistem PLTS mengubah radiasi surya menjadi arus listrik searah. Keperluan inverter yakni untuk mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik, apabila terdapat beban yang memerlukan arus listrik bolak-balik. Tegangan input pada inverter adalah tegangan yang sama dengan tegangan baterai dan tegangan keluaran solar panel (Syaeful Anwar, 2021).



Gambar 2.12 *Smart Inverter Hybrid*  
(Sumber: Powmr.com, 2013)

Inverter dapat mengisi baterai dari energi yang dihasilkan panel surya atau listrik PLN, berikut ini cara kerja inverter hybrid:

1. Panel surya menghasilkan listrik DC yang dialirkan ke inverter
2. Inverter kemudian mengubah listrik DC menjadi AC dan mengirimkannya ke elektronik
3. Inverter juga bisa mengirim energi yang tidak terpakai elektronik ke baterai untuk disimpan
4. Inverter dapat pula menerima energi dari jaringan listrik PLN untuk dialirkan ke elektronik dan baterai
5. Saat inverter mendapat pasokan dari jaringan PLN dan mengirimkannya ke baterai maka listrik dikonversi dari AC menjadi DC

Sebuah perangkat inverter hybrid bisa bekerja dalam banyak fungsi, alat tersebut bisa menggantikan inverter on grid, inverter off grid, dan solar charge controller (SCC). Oleh karena itu, inverter hybrid seringkali disebut sebagai inverter multimode yang mampu mengelola input dan output dari berbagai sumber.



### 2.3.3 Baterai

Baterai berfungsi untuk menyimpan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang tidak segera digunakan oleh beban, bertujuan untuk digunakan pada saat periode radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Dua peran penting baterai dalam sistem PLTS, yaitu untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh solar panel dan untuk menyimpan kelebihan daya yang dihasilkan oleh panel surya.

Adapun fungsi dari baterai yaitu antara lain sebagai berikut (Ramadhani, 2018):

1. Sebagai suplai bagi beban dengan tegangan dan arus yang stabil melalui inverter baterai, juga dalam hal terjadi putusnya pasokan daya dari modul fotovoltaik.
2. Bertindak sebagai cadangan untuk mengatasi perbedaan antara daya yang tersedia dari modul fotovoltaik dan permintaan dari beban.
3. Menyediakan cadangan energi untuk digunakan saat hari dengan cuaca berawan atau pada kondisi darurat. Penentuan kapasitas baterai harus memperhitungkan hari-hari ketika sistem berjalan penuh tanpa pasokan daya dari modul fotovoltaik untuk memenuhi kebutuhan listrik.
4. Memasok daya ke komponen elektronika daya seperti *solar charge controller* dan inverter.



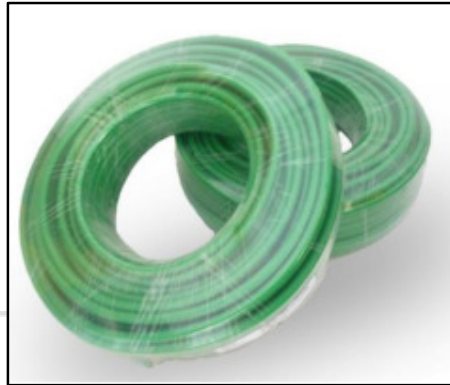
Gambar 2.13 Baterai  
(Sumber: *Builder Future Construction*. 2023)

Hal-hal yang perlu diperhatikan untuk menentukan kapasitas baterai adalah:

- a. Hal hal yang perlu diperhatikan untuk menentukan kapasitas baterai adalah: DOD (*Deep of Discharge*), yaitu kedalaman kapasitas yang dapat digunakan pada baterai, yakni 80%. DOD ini ditentukan oleh pabrik produksi baterai tersebut.
- b. *Autonom days*, yaitu parameter keadaan di mana lamanya (hari) jika cuaca buruk selama beberapa hari atau keadaan di mana energi matahari tidak maksimal, sehingga modul surya tidak memperoleh suplai energi yang cukup. Di Indonesia penetapan hari otonomi adalah selama 3 hari.

#### 2.3.4 Kabel

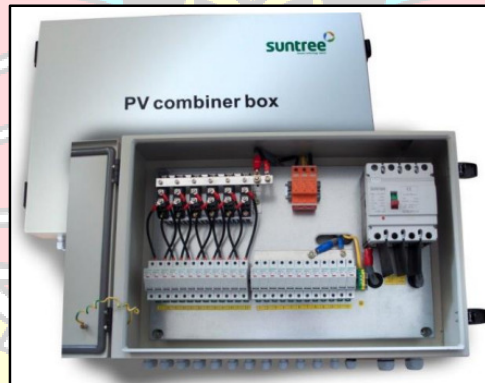
Kabel berfungsi untuk menghantarkan arus ke beban yang terhubung. Dalam pemilihan kabel, harus diketahui besar beban yang terhubung sehingga kapasitas kabel memadai. Kabel yang digunakan harus terbuat dari bahan yang memenuhi tujuan penggunaan dan telah sesuai dengan standar yang berlaku.



Gambar 2.14 Kabel  
(Sumber: Oktarina, 2021)

#### 2.3.5 Combiner Box

Combiner Box adalah sebuah komponen yang menghubungkan beberapa kabel menjadi lebih rapi dan berfungsi sebagai pemutus koneksi untuk pengaman jika diadakan proses maintenance maupun inspeksi (Fikriyadi, 2015).



Gambar 2.15 Combiner Box  
(Sumber: Oktarina, 2021)

#### 2.4 Base Transceiver Station (BTS)

BTS adalah kependekan dari Base Transceiver Station. Terminologi ini termasuk baru dan mulai populer di era booming seluler saat ini. BTS berfungsi menjembatani perangkat komunikasi pengguna dengan jaringan menuju jaringan lain. Satu cakupan pancaran BTS dapat disebut Cell. Komunikasi seluler adalah

komunikasi modern yang mendukung mobilitas yang tinggi. Dari beberapa BTS kemudian dikontrol oleh satu Base Station Controller (BSC) yang terhubung dengan koneksi microwave ataupun serat optic. BTS berfungsi sebagai interkoneksi antara infrastruktur sistem seluler dengan Out Station, BTS harus selalu memonitor Out Station yang masuk ataupun yang keluar dari sel BTS tersebut (Santoso, 2016).



Gambar 2.16 Komponen Telekomunikasi Tower BTS Rooftop Palakka

## 2.5 Kabel Instalasi dan MCB

### 1) SPD (*Surge Protection Device*)

SPD adalah perangkat yang melindungi perangkat dan peralatan elektronik dari lonjakan petir. Sistem PLTS tanpa adanya SPD apabila terjadi petir yang menyambar didekat sistem akan membuat kerusakan pada perangkat dan subsistem pengkondisi daya karena adanya perbedaan tegangan potensial antara peralatan dan tanah. Adapun SPD DC dapat dihitung melalui persamaan berikut (Firmansyah, 2023).

$$V_{rating} = V_{oc} PV \times \text{Faktor Kali} \dots \dots \dots (2-$$

1)



## 2) MCB dan Kabel

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) adalah perangkat pelindung yang secara otomatis membuka atau menutup sirkuit ketika arus melebihi arus pengenal yang ditentukan mengalir tanpa merusak peralatan. Itu juga bertindak sebagai pembatas arus dan beralih untuk beban.

Adapun rumus untuk menentukan nilai arus maksimal yang mengalir pada beban dapat dihitung sebagai berikut.

### a. MCB DC

$$I_{\max} = I_{SC} \times \text{Jumlah String} \dots\dots\dots(2-2)$$

### b. MCB AC

$$I_{\max} = \frac{P}{V \times \cos \pi} \dots\dots\dots(2-3)$$

Dimana :

$I_{sc}$  = Arus short circuit (A)

P = Daya Inverter (W)

V = Tegangan listrik

$\cos \pi$  = faktor daya inverter

## 3) Pengkabelan

Adapun pemilihan KHA kabel dan KHA gawai proteksi (MCB atau sekering) yang digunakan, dapat dilihat berdasarkan standar PUIL 2011/Amd.1 sebagai berikut:

a. Kabel NYY

Tabel 2.1 Besaran KHA kabel NYY dan sejenisnya

Jenis Kabel	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	KHA Terus Menerus					
		Inti tunggal		2-inti		3-inti dan 4-inti	
		Tanah (A)	Udara (A)	Tanah (A)	Udara (A)	Tanah (A)	Udara (A)
	1.5	40	26	31	20	26	18,5
	2.5	54	35	41	27	27	25
	4	70	46	54	37	44	34
	6	90	58	68	48	56	43
NYY	10	122	79	92	66	76	60
NYBY	16	160	105	121	89	98	80
NYFGbY							
NYRGbY	25	206	140	153	118	128	106
NYCY	35	249	174	187	145	157	131
NYCWY	50	296	212	222	176	185	159
NYSY							
NYCEY	70	365	269	272	224	228	202
NYSEY	95	438	331	328	271	275	244
NYHSY	120	499	386	375	314	313	282
NYKY							
NYKBY	150	561	442	419	361	353	324
NYKFGbY	185	637	511	475	412	399	371
NYKHGbY	240	743	612	550	484	464	436
	300	834	707	525	590	524	481
	400	986	859	605	710	600	560
	500	1125	1000	-	-	-	-

## 2.6 Teknik Perhitungan Komponen PLTS

Beberapa hal yang perlu diperhatikan sebelum merancang panel surya adalah sebagai berikut (Julisman, dkk. 2017)

1. Mencari total beban listrik harian:

$$\text{Energi Beban} = \text{Daya} \times \text{Lama Pemakaian} \dots \dots \dots (2-$$

4)

2. Menentukan jumlah panel surya yang dibutuhkan:

$$\text{Jumlah panel surya} = \frac{\text{Energi total beban harian}}{\text{Maksimal peak per hari} \times \text{kapasitas panel}} \dots\dots\dots(2-$$

5)





3. Menentukan kebutuhan daya

$$\text{Kebutuhan daya} = \frac{\text{Jumlah Total Kebutuhan Energi (Wh)}}{\text{Jam Efektif Matahari (h)}} \dots\dots\dots(2-$$

6)

4. Menentukan kapasitas baterai

$$\text{Kapasitas Baterai (Ah)} = \frac{\text{Total Beban Pemakaian Harian}}{\text{DoD} \times \text{Vdc}} \dots\dots\dots(2-$$

7)

5. Menentukan jumlah baterai yang dibutuhkan

$$\text{Jumlah baterai dibutuhkan} = \text{jumlah seri} \times \text{jumlah paralel} \dots\dots\dots(2-$$

8)

Dimana:

DoD = Depth of Discharge (80%)

Vdc = Tegangan nominal baterai (V)

### 2.7 Analisis Ekonomi

Analisis kelayakan memiliki beberapa metode diantaranya analisis keuntungan dan biaya (Benefit Cost Ratio), nilai sekarang (Net Present Value), laju pengembalian modal (Internal Rate of Return) dan Return on Investment (ROI). Untuk menghitung beberapa metode analisis ekonomi tersebut, terdapat beberapa aspek yang harus dihitung.

1. Biaya Investasi PLTS

Biaya investasi awal PLTS mencakup biaya-biaya seperti: biaya umum, biaya pekerjaan mekanikal dan elektrikal dan biaya pekerjaan sipil.

2. Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Adapun besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan adalah sebagai berikut: (Al-Qutub, 2010)

$$M = 1\% \times \text{Total biaya investasi [Rp]} \dots\dots\dots(2-9)$$

3. Biaya siklus hidup (Life Cycle Cost).

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

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

$$LCC = C + MPW + RPW \dots\dots\dots(2-10)$$

Dimana:

LCC = Biaya siklus hidup (Life Cycle Cost).

C = Biaya investasi awal

MPW = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek.

RPW = biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian selama umur proyek.

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

(Al-Qutub, 2010)

$$M_{PW} = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{1(1+i)^n} \right] \dots \dots \dots (2-11)$$

Dimana:

MPW = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek.

A = Biaya tahunan

i = Tingkat diskonto

n = Umur proyek

#### 4. Faktor Diskonto

Faktor diskonto (Discount factor) adalah faktor yang digunakan untuk menilai sekarang penerimaan di masa mendatang sehingga dapat dibandingkan dengan pengeluaran pada masa sekarang. Adapun rumus faktor diskonto adalah sebagai berikut:

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \dots \dots \dots (2-12)$$

Dimana:

DF = Faktor Diskonto

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

#### 5. Biaya Energi (Cost of Energy)

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

mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian biaya tahunan.

Faktor pemulihan modal diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut: (Al-Qutub, 2010)

$$CRF = \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \dots\dots\dots(2-13)$$

Dimana:

CRF = Capital Recovery Factor

i = Tingkat diskonto

n = Periode tahun investasi

Menurut Wengqiang dkk, (2004), perumusan biaya energi adalah sebagai berikut:

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{AKWH} \dots\dots\dots(2-$$

14)

Dimana:

COE = Cost of Energy / Biaya Energi (Rp/kWh)

LCC = Biaya siklus hidup (Life Cycle Cost).

CRF = Faktor Pemulihan Modal, berdasarkan pada discount rate (i).

AKWH = Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun)

### 2.7.1 Analisis Kelayakan Investasi PLTS

Kelayakan investasi PLTS ditentukan berdasarkan hasil perhitungan Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI) dan Payback Period (PP).

#### 1.) Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilai sekarang atas dasar faktor diskon (discount factor). Untuk menghitung Net Present Value (NPV) dipergunakan rumus sebagai berikut: (Halim, 2009)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \dots\dots\dots(2-15)$$

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut:

- a. Investasi dinilai layak, jika NPV bernilai positif (> 0).
- b. Investasi dinilai tidak layak, jika NPV bernilai negatif (< 0).

2.) Profitability Index (PI)

Profitability Index merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Teknik ini juga sering disebut dengan model rasio manfaat biaya (benefit cost ratio). Teknik Profitability Index dihitung dengan rumus sebagai berikut: (Halim, 2009)

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NCF_t(1+i)^{-t}}{I} \dots\dots\dots(2-16)$$

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut:

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

3.) Discounted Payback Period (DPP)

Payback Period adalah periode lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek (investasi) (Halim, 2009). Teknik DPP dirumuskan sebagai berikut:

$$DPP = \text{Year before recovery} + \frac{\text{Investment Cost}}{NPV \text{ Kumulatif}} \dots\dots\dots(2-$$

17)

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah:

- a. Investasi dinilai layak, jika DPP memiliki periode waktu lebih pendek dari umur proyek (periode cutoff).
- b. Investasi dinilai tidak layak, jika DPP memiliki periode waktu lebih panjang dari umur proyek (periode cutoff).

Dimana:

$NCF_t$  = Net Cash Flow periode tahun ke-1 sd ke-n.

$I$  = Investasi awal (Initial Investment).

$i$  = Discount factor

$n$  = Periode dalam tahun (umur investasi).

Year before recovery = Jumlah tahun sebelum tahun pengembalian final

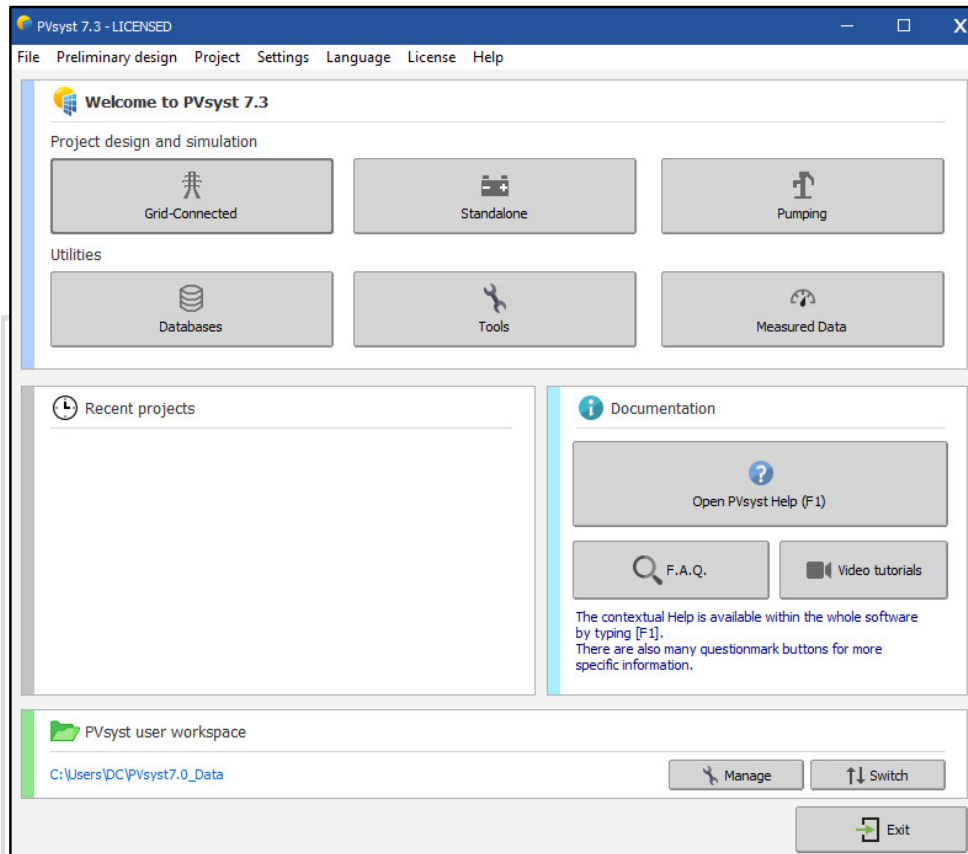
Investment Cost = Biaya investasi awal.

NPV Kumulatif = Jumlah kas bersih nilai

## 2.8 Aplikasi PVsyst 7.3

PVsyst adalah sebuah program yang dirancang untuk memberikan analisis sistem fotovoltaik dengan menggunakan data cuaca dan iklim. Program ini digunakan untuk menganalisis efisiensi, biaya investasi, produksi energi, dan lain-lain. PVsyst juga dapat memberikan simulasi visual sistem fotovoltaik sehingga dapat melihat bagaimana sistem tersebut akan beroperasi di lingkungan tertentu. PVSyst dikembangkan oleh Universitas Genewa, yang terbagi ke 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 PVsyst yaitu bersumber dari MeteoNorm V7.1 (interpolasi 1960-1990 atau 1981-2000) NASA-SSE (1983-2005), PVGIS (untuk Eropa dan Afrika), Satel-Light (untuk Eropa), TMY2/3 dan SolarAnywhere (untuk USA), EPW (untuk Kanada), RetScreen, Helioclim dan Solar GIS (berbayar) (Saputra, 2019).

Perangkat lunak ini sangatlah populer untuk menganalisis sistem fotovoltaik, selain itu sangat fleksibel dan memungkinkan analisis yang lebih detail daripada program lainnya.



Gambar 2.17 Tampilan Jendela Kerja PVsyst 7.3





## 2.9 Aplikasi HOMER Pro

Perangkat lunak HOMER PRO adalah suatu perangkat lunak yang digunakan untuk optimasi model sistem pembangkit listrik skala kecil (micropower), perangkat lunak ini mempermudah evaluasi desain sistem pembangkit listrik untuk berbagai jenis pembangkit listrik skala kecil baik yang tersambung ke jaringan listrik atau pun tidak. Perangkat lunak ini melakukan perhitungan keseimbangan energi ini dalam setahun untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak, apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik di bawah kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya instalasi dan sistem operasi selama masa proyek. Sistem perhitungan biaya seperti biaya modal, penggantian, dan operasi dan pemeliharaan. HOMER bekerja berdasarkan 3 hal yaitu, simulasi, optimasi, dan analisis sensitivitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara berurutan demi mendapatkan hasil yang optimal.

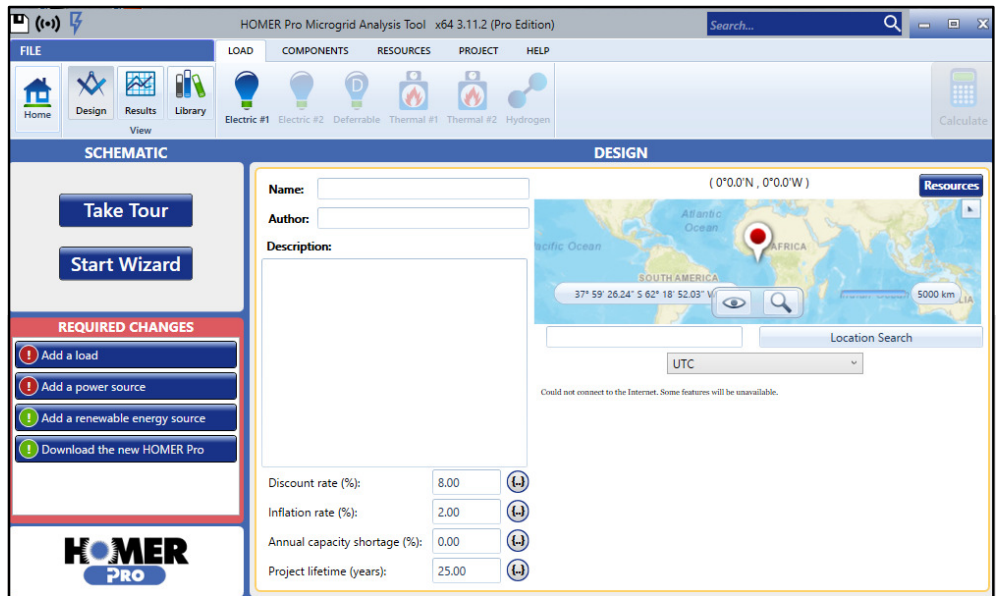
- 1.) Tahap pertama adalah simulasi, dimana tahap ini menentukan bagaimana konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen-komponen sistem, dan strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen-komponen tersebut dapat bekerja bersama dalam periode waktu tertentu.

- 2.) Tahap selanjutnya adalah proses optimasi, proses optimasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan. Proses simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan teroptimal dalam konfigurasi sistem. Pada daftar hasil optimasi. HOMER mengurutkan nilai Net Present

Cost (NPC) yang terendah hingga tertinggi. Sebuah sistem dikatakan optimal, apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan. HOMER mensimulasikan konfigurasi sistem yang berbeda-beda, apabila konfigurasi sistem tidak layak, maka HOMER tidak akan menampilkan hasil optimasi sistem tersebut. Di dalam proses optimasi, juga terdapat sistem konfigurasi dari komponen, dan strategi pengisian baterai yang harus digunakan.

- 3.) Terakhir adalah tahap analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas ini akan menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukan (input) berbeda-beda. Pengguna dapat menunjukkan analisis sensitivitas dengan memasukkan beberapa nilai variabel sensitivitas.

Pada tahap ini, pengguna HOMER dapat memasukkan rentang nilai untuk nilai variabel tunggal ataupun nilai variabel ganda yang dinamakan variabel sensitivitas. Contohnya termasuk harga listrik pada jaringan transmisi, harga bahan bakar, suku bunga pertahun, dan lain-lain dimana parameter tersebut dapat berubah setiap tahunnya (Windarta, dkk, 2019).



Gambar 2.18 Tampilan Awal *Software* HOMER



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Kompleks Pasar Palakka Kelurahan Bulu Tempe, Kecamatan Tanete Riattang Barat, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Adapun penelitian ini juga dilaksanakan dari bulan Juni hingga bulan September 2023.

Tabel 3.1 *Time Schedule*

Jenis Kegiatan	Waktu Pelaksanaan																															
	Maret				April				Mei				Juni				Juli				Agustus				September							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Penyusunan Proposal	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Seminar Proposal Skripsi													■																			
Pengamatan dan Persiapan Instrument														■	■																	
Pengambilan Data dan Dokumentasi Kegiatan															■	■																
Mengolah data yang diperoleh dilapangan																	■	■	■	■												
Menyusun dan Bimbingan Hasil Penelitian																	■	■	■	■	■	■	■	■								
Ujian Sidang Skripsi																													■			

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada proses perancangan ini yaitu:

Tabel 3.2 Alat dan Bahan

No.	Nama Alat	Jumlah	Satuan	Spesifikasi (Merek)
1	Meteran	1	Unit	Onda
2	Pulpen	1	Unit	Snowman
3	Tang Ampere	1	Unit	MT87
4	Kompas	1	Unit	
5	Body harness	1	Unit	
6	Helm	2	Unit	
7	Baju Rompi	2	Unit	
8	Sepatu Safety	2	Unit	Kings
9	Laptop	1	Unit	Lenovo
10	Printer	1	Unit	Epson

### 3.3 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Metode kuantitatif merupakan metode yang berisi tentang pengolahan data berupa angka. Dimana pada penyusunan penelitian ini akan mengumpulkan data primer kemudian dilakukan perencanaan PLTS menggunakan perangkat lunak PVsyst 7.3 dan HOMER Pro.

### 3.4 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah:

- Pengumpulan Data Primer

Data primer yaitu melakukan pengumpulan data melalui pengukuran.

Pengukuran yang dilakukan diantaranya adalah pengukuran luasan *rooftop*

tower BTS Pasar Palakka Kab. Bone dan pengukuran penggunaan beban harian yang bertujuan untuk mengetahui nilai nilai yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian.

- Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder, yaitu melakukan pengumpulan data melalui data dari buku, jurnal dan lembaga terkait lainnya untuk mengetahui data – data diantaranya data Iradiasi, pada lokasi pembangkitan dan spesifikasi komponen PLTS yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian.

- Metode Observasi

Metode observasi yaitu melihat langsung kondisi di lapangan untuk mempelajari keadaan di lapangan mengenai pelaksanaan penelitian.

### **3.5 Perancangan Sistem PLTS**

Dalam perancangan PLTS ini, peneliti membuat rancangan sesuai dengan tipe bangunan dan daya yang terpasang. Perancangan ini mencakup menghitung kapasitas sistem PLTS yang terpasang, pemilihan komponen yang digunakan dengan pertimbangan standar dan garansi sistem beserta menghitung ukuran setiap komponen pada PLTS. Setelah melakukan perancangan ini, kemudian membuat layout gambar sistem yang akan dipasang. Adapun langkah – langkah perencanaan PLTS berikut ini.

- 1.) Langkah – langkah Perencanaan PLTS

Penelitian ini dimulai dengan tinjauan literatur sistem solar cell.

Dengan menggunakan PVsyst untuk mendapatkan gambaran tentang

jumlah energi yang akan dihasilkan, memperkirakan total daya dari area yang tersedia, dan akses ekonomi dari perencanaan sistem instalasi PLTS.

Yaitu terdiri dari langkah – langkah berikut:

- Pengkajian data radiasi matahari untuk lokasi, yang membantu untuk memperkirakan jumlah listrik yang dihasilkan.

- Pengkajian area yang tersedia, yang membantu untuk berapa luas area yang bisa dimanfaatkan untuk pembangkit PLTS.

- Pengkajian konfigurasi sistem PLTS, pemilihan konfigurasi yang cocok untuk lokasi pembangkitan.

- Mendapatkan informasi dan pemilihan PV Cell, Inverter, Controller dan lain-lain yang dibutuhkan dalam PLTS dari berbagai sumber. Informasi ini mencakup spesifikasi teknis secara lengkap dari masing-masing peralatan.

- Desain PLTS

Desain PLTS ini berada di atas rooftop dengan sistem *Flat Plane Arrays*, solar panel dipasang fix pada sudut dan arah tertentu untuk menangkap radiasi cahaya matahari dari atap gedung.

Hal tersebut bertujuan untuk memanfaatkan atap gedung dengan sudut kemiringan atap selain itu tipe *Flat Plane Arrays* ini lebih murah dibandingkan sistem Tracking Plate Arrays. Besarnya PLTS yang akan

dibangkitkan menyesuaikan dengan luasnya atap yang tersedia untuk memasang banyaknya solar panel yang dapat terinstal.

- Simulasi

Simulasi adalah suatu proses peniruan dari sesuatu yang nyata beserta keadaan sekelilingnya. Pada penelitian ini dilakukan simulasi menggunakan bantuan beberapa *Software*.

### **3.6 Analisis Teknis**

Setelah melakukan rancangan sistem PLTS ini, dapat dianalisis secara teknis yaitu berdasarkan energi listrik yang dihasilkan dan menghitung performa sistem, analisis teknis ini didapatkan dari hasil simulasi.

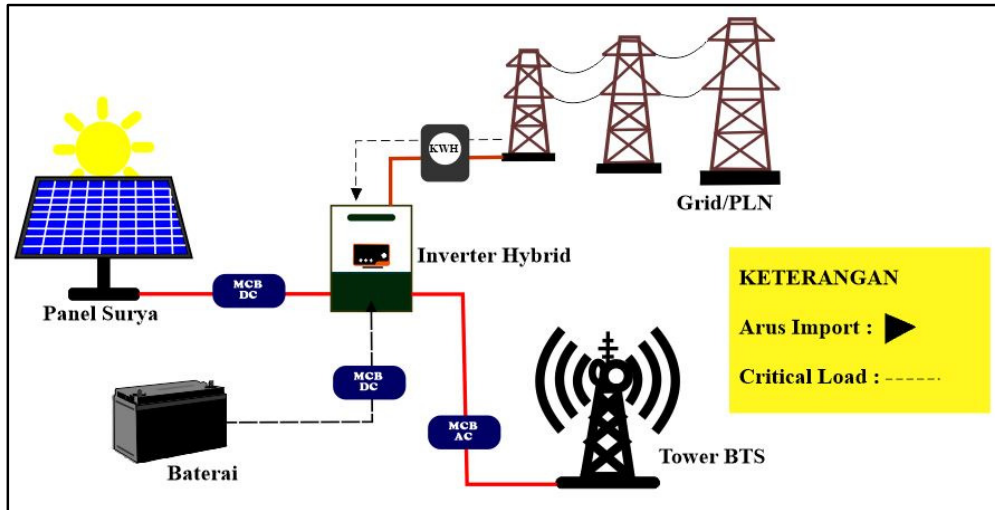
### **3.7 Analisis Ekonomi**

Analisis ini mencakup biaya modul untuk memasang sistem PLTS. Berdasarkan harga komponen yang beredar di pasaran, kemudian menghitung biaya kembali modal berdasarkan kelayakan investasi PLTS yang ditentukan dari hasil perhitungan *Payback Periode* (PP), *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate Of Return* (IRR), *Profitability Index* (PI) dan *Return Of Investment* (ROI).

### **3.8 Diagram Blok**

Diagram blok ini bertujuan untuk menjadi acuan perencanaan perangkat. Pada perencanaan alat ini penulis merancang sistem dalam blok-blok sebagai gambaran untuk memudahkan penulis dalam merangkainya menjadi sebuah rangkaian terpadu. Adapun diagram blok penelitian ini seperti pada Gambar 3.1.

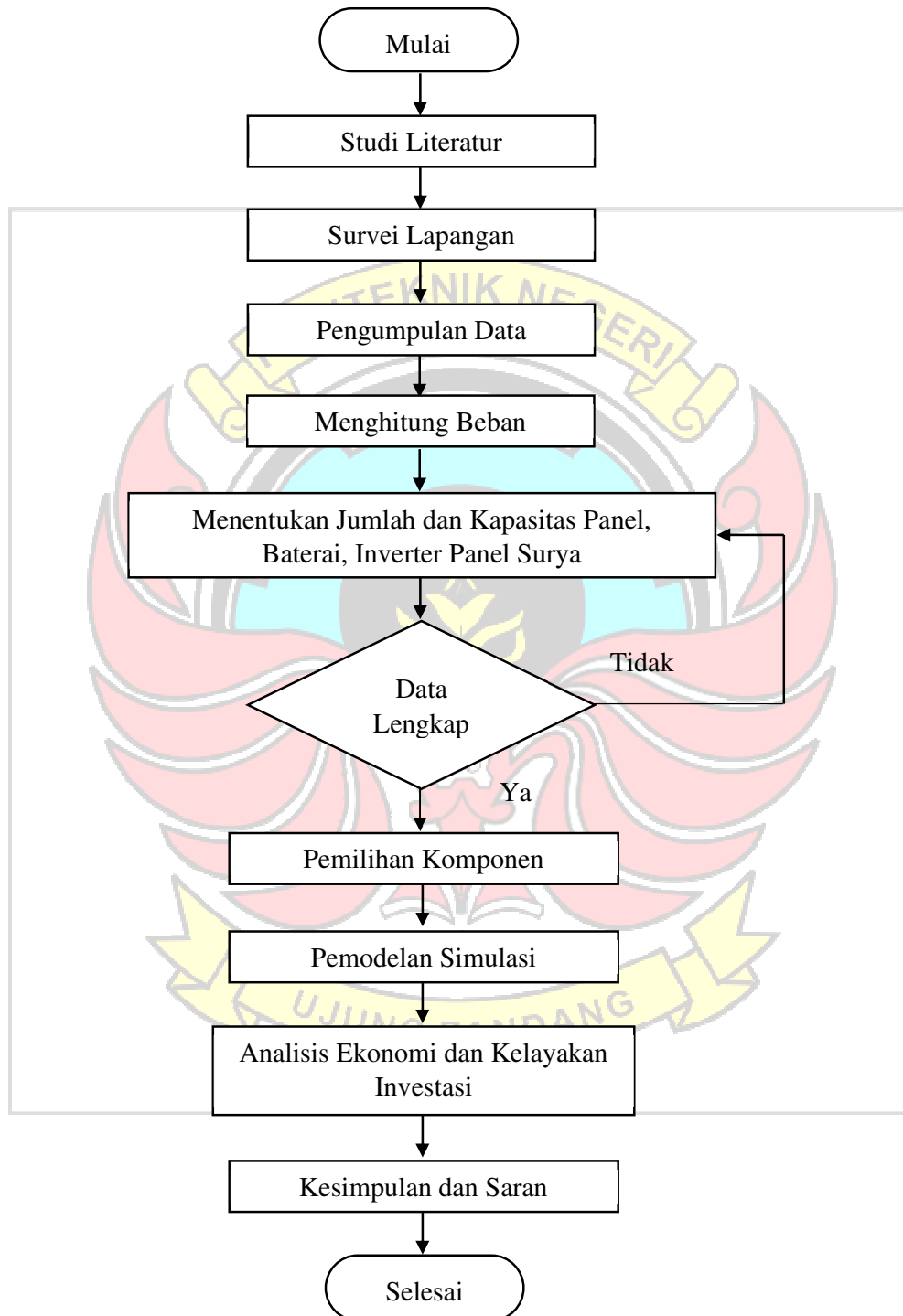




Gambar 3.1 Diagram Blok



### 3.9 Diagram Alir Penelitian (*Flowchart*)



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Peninjauan Lokasi

#### 4.1.1 Bangunan

Tower BTS *rooftop* Pasar Palakka Kab. Bone berada di atas bangunan 3 lantai dengan dimensi bangunan: panjang 25 m, lebar 4,7 m dan tinggi 12 m. Lokasi bangunan tersebut berada di Kompleks Pasar Palakka Kelurahan Bulu Tempe, Kecamatan Tanete Riattang Barat, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Bangunan ini disewa oleh pihak PT. Telkomsel Indonesia Tbk untuk menempatkan Tower BTS tersebut dan kemudian dikelola oleh PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Territory Operation Bone (TO Bone).



Gambar 4.1 Lokasi tower BTS *rooftop* Pasar Palakka Kab. Bone

#### 4.1.2 Tower BTS *rooftop* Pasar Palakka Kab. Bone

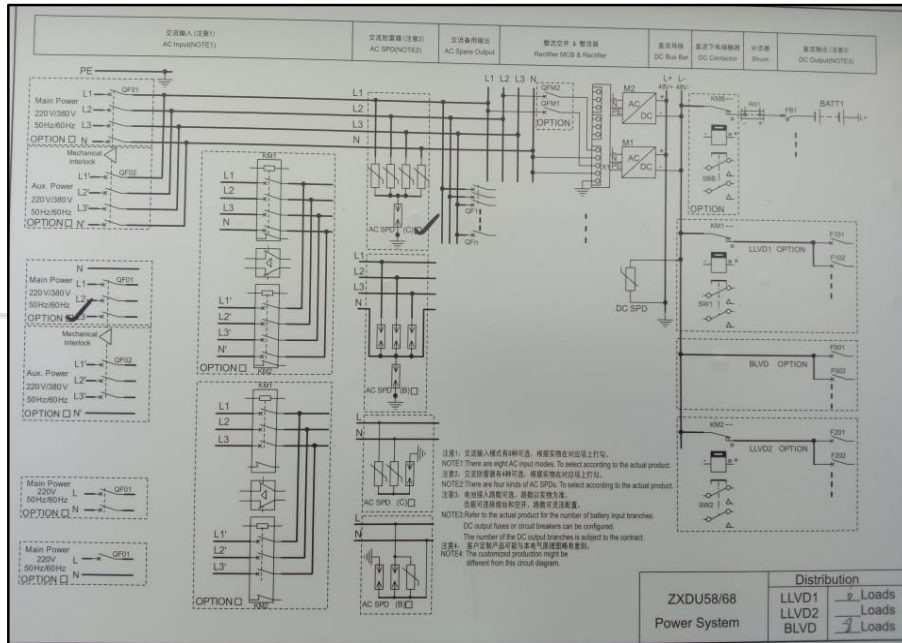


Gambar 4.2 Tower BTS *rooftop* Pasar Palakka Kab. Bone

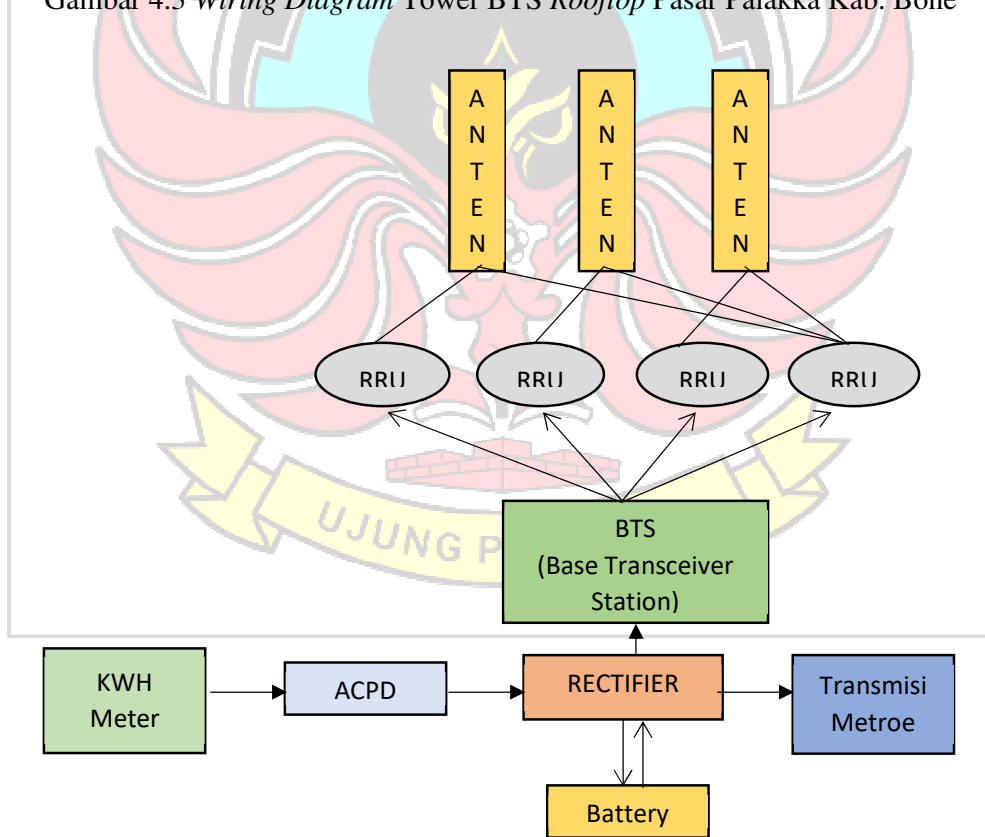
Dari hasil pengukuran komponen tower BTS *rooftop* Pasar Palakka diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.1 Pengukuran Komponen Tower BTS *Rooftop*

NO	Nama Alat	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Ket.
1	Radio Remote Unit (RRU)	0.4	0.4	0.6	
2	Rak BTS	0.6	0.7	1	
3	Rak ACPDB & Baterai	1.4	0.7	0.9	
4	Rak Rectifier	0.6	0.7	2	
5	Tiang Antena			5.65	Dia: 18 cm



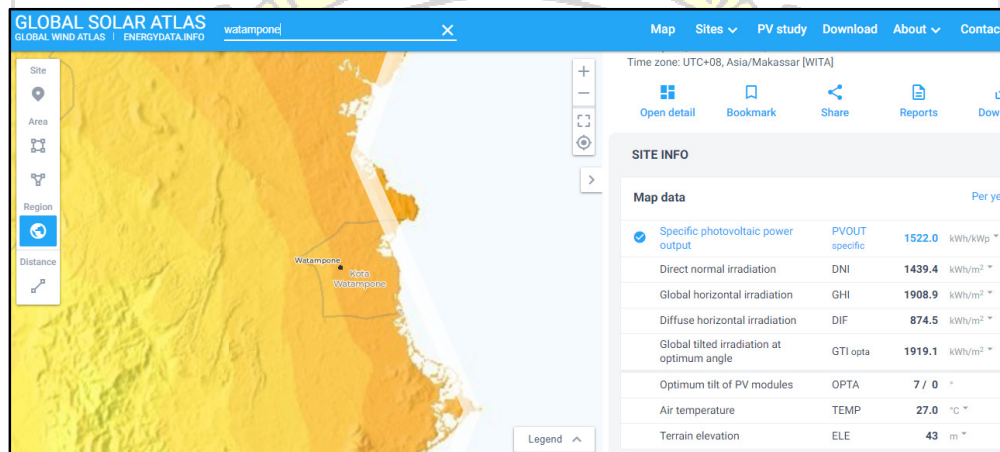
Gambar 4.3 Wiring Diagram Tower BTS Rooftop Pasar Palakka Kab. Bone



Gambar 4.4 Layout Sistem BTS

#### 4.1.3 Data Geografis

Dalam perancangan pembangkit listrik tenaga surya, sangat penting sekali untuk mengetahui kondisi geografis seperti kecepatan angin, temperatur dan sebagainya. Berikut data geografis di Jl. Bulu Tempe, Kecamatan Tanete Riattang Barat, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan yang diperoleh melalui aplikasi PVsyst. Data ini bisa diperoleh dengan cara memasukkan data koordinat lokasi di dalam aplikasi Global Solar Atlas dan PVsyst.



Gambar 4.5 Data geografis lokasi tower BTS rooftop site WTP 186-MCR Pasar Palakka menggunakan aplikasi Global Solar Atlas

#### 4.1.4 Data Gangguan Listrik di Wilayah pasar Palakka

Data gangguan listrik di wilayah pasar Palakka, kab. Bone diperoleh dari PT. PLN (Persero) wilayah SULSEL, SULTRA & SULBAR Area Pengatur Distribusi makassar (UP2D) yang terletak di jl. Serui No.5A Makassar.

Table 4.2 Tabel Gangguan listrik di Wilayah pasar Palakka

No.	Tanggal	Penyebab Padam	Lama Padam	kWh
1	24-Feb-22	Temporer	0:04:00	247
2	6-Mar-22	Gangguan kuskus di JUTM	0:04:00	259
3	22-Apr-22	Tangkai pohon patah kena JTM	0:55:00	3930
4	5-May-22	Tiang dan bendera kena JTM	0:02:05	147
5	6-May-22	Tiang bendera jatuh kena JTM	0:02:00	112
6	7-Jul-22	Ular di trafo	0:02:26	87
7	24-Jul-22	Kus-kus kena JUTM	0:01:00	38
8	29-Sep-22	Pohon tumbang kena JTM	1:11:00	2645
9	2-Oct-22	Temporer	0:02:57	200
10	24-Oct-22	Kus-kus di trafo	0:01:00	60
11	26-Nov-22	Pohon tumbang kena JUTM	0:03:47	255
12	9-Dec-22	Temporer	0:02:18	115
13	15-Dec-22	Tangkai daun korek jatuh ke JTM	0:18:00	505
14	15-Jan-23	Temporer	0:00:20	15
15	26-Jan-23	Temporer	0:02:00	112
16	22-Feb-23	Temporer	0:00:20	6
17	1-Mar-23	Ranting pohon patah kena JUTM	0:14:17	467
18	2-Apr-23	Umbul-umbul kandas di JUTM	0:02:00	132
19	1-May-23	Temporer	0:00:20	9
20	31-May-23	Pohon mangga menyentuh JTM	0:02:47	126
21	1-Jun-23	Hewan kus-kus kandas di JUTM	0:42:07	1978
22	3-Jun-23	Temporer	0:02:27	113
23	8-Jun-23	Gangguan burung merpati di JUTM	0:00:52	2
24	21-Jun-23	Temporer	0:02:00	135
25	9-Jul-23	Temporer	0:01:31	91
26	23-Jul-23	Burung merpati di trafo	0:02:24	127

Untuk data selengkapnya dapat dilihat di lampiran (Gangguan Pasar Palakka 2023)

## 4.2 Profil Beban Energi Listrik

### 4.2.1. Perhitungan Kebutuhan Energi Harian

Untuk menentukan kapasitas panel yang diinginkan, perlu diketahui spesifikasi jumlah beban yang akan dibangkit oleh panel surya. Berikut adalah spesifikasi beban dari desain PLTS ini:

Table 4.3 Kebutuhan Energi Harian

No	Jenis Beban	Jumlah	Daya (Watt)	Daya Total (Watt)	Waktu Pemakaian/Hari (h)		Kebutuhan Energi (Wh)		Total Energi (Wh)
					Siang	Malam	Siang	Malam	
1	Sistem BTS	1	3102	3102	12	12	37224	37224	74448
<b>Total</b>			<b>3102</b>	<b>3102</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>37224</b>	<b>37224</b>	<b>74448</b>

Table 4.4 Kebutuhan Energi Harian Hasil PLN

Ket.	Bulan Ke-						Rata-rata
	4	5	6	7	8	9	
Energi (kWh)	1.775	1.730	1.787	1.683	1.737	1.739	1741,83
Energi Perhari (kWh)							58,0611

Tabel 4.3 memperlihatkan pemakaian daya listrik yang sesuai dengan kebutuhan yang digunakan selama perbulan hari sebesar 74448 Wh, pemakaian energi dalam satu bulan sebesar 2210.2 Wh. Dengan konsumsi energi listrik yang terdapat di Tower BTS Rooftop Pasar Palakka Kab. Bone berlangsung selama 24 jam sehari.



### 4.3 Radiasi Sinar Matahari

Data radiasi sinar matahari yang diambil pada Software PVsyst 7.3 menunjukkan seperti pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data Insolasi, Suhu, Diffuse Irradiation dan Kecepatan Angin

Bulan	Global Horizontal Irradiation (kWh/m <sup>2</sup> /day)	Horizontal Diffuse Irradiation (kWh/m <sup>2</sup> /day)	Temperature (°C)	Wind Velocity (m/s)
Januari	6.06	2.34	25.3	0.99
Februari	5.38	3.02	25.8	0.99
Maret	5.69	2.55	25.9	0.99
April	5.76	2.33	26.1	1.00
Mei	5.33	2.26	27.0	0.99
Juni	5.00	2.15	26.2	1.09
Juli	5.76	1.78	26.1	1.40
Agustus	6.50	1.84	26.5	1.49
September	6.60	2.15	26.6	1.39
Oktober	6.60	2.55	27.2	1.09
November	6.39	2.35	26.1	1.31
Desember	5.80	2.53	25.9	1.29
Annual	5.91	2.32	26.2	1.2

Pada tabel 4.5 menunjukkan perubahan temperatur dan kecepatan angin dalam waktu satu tahun. Salah satunya yang terpenting dalam penelitian kali ini adalah intensitas radiasi sinar matahari pada lokasi Tower BTS di Pasar Palakka Kabupaten Bone dengan rata-rata radiasi sinar matahari sebesar 5.91 kWh/m<sup>2</sup>/day. Dan pada tabel ini menunjukkan bahwa temperatur tertinggi di siang hari dapat mencapai 27.2 pada bulan Oktober dan temperatur terendah dapat mencapai 25.3

pada bulan Januari sehingga diperoleh rata-rata temperatur dalam satu tahun adalah 26.2 °C.

#### 4.4 Analisis Perhitungan PLTS

##### 4.4.1 Perhitungan Jumlah Panel Surya

Perhitungan jumlah panel surya sebagai berikut:

- Energi 74.448 Wh

$$\begin{aligned} \text{Jumlah panel surya} &= \frac{\text{Energi total beban harian}}{\text{Maksimal peak per hari} \times \text{kapasitas panel}} \\ &= \frac{74.448 \text{ Wh}}{5 \text{ jam} \times 550 \text{ watt}} \\ &= 27 \text{ Unit} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah panel surya yang akan digunakan yakni 27 unit dengan panel 550W peak dengan tipe monocrystalline dengan spesifikasi nilai  $V_{mp}= 41.7 \text{ V}$  dan  $I_{mp}=13.20 \text{ A}$ , panel surya tersebut akan disusun menjadi rangkaian panel surya dengan tegangan sistem 38 V maka panel yang terpasang 9 seri dengan 3 string.

- Tegangan keluaran rangkaian panel ( $V_{mp}$  Array)

Rangkaian pada PLTS ini akan dijadikan 3 *string*, maka:

$$V_{mp} \text{ Array} = V_{mp} \times 9 \text{ unit}$$

$$= 41.7 \text{ V} \times 9 \text{ Unit}$$

$$= 375 \text{ V}$$

- Arus keluaran rangkaian panel ( $I_{mp}$  Array)

$$I_{mp} \text{ Array} = I_{mp} \times 3 \text{ String}$$

$$= 13.20 \text{ A} \times 3 \text{ String}$$

$$= 40 \text{ A}$$

$$P_{mpp} = V_{mp} \times I_{mp}$$

$$= 375 \text{ V} \times 40 \text{ A}$$

$$= 15 \text{ kW}$$

Pengaruh temperatur mempengaruhi kinerja dari masing-masing panel surya, sehingga perlu diketahui rata-rata intensitas matahari untuk menghitung daya maksimal jika menggunakan panel dengan daya maksimal 550 Wp. Setiap kenaikan 1°C suhu panel surya (lebih dari 25 °C) mengurangi kinerja sebesar 0,5 %. Temperatur tertinggi 27,2 °C bulan oktober. Maka kenaikan menjadi 2,2 °C, maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$P \text{ saat } \Delta t = 0,5\% \times P_{Mpp} \times \text{Kenaikan suhu } (^\circ\text{C})$$

$$P \text{ saat } 27,2^\circ\text{C} = 0,5\% \times 550\text{Watt} \times 2,2^\circ\text{C}$$

$$= 2,75 \times 2,2^\circ\text{C}$$

$$= 6,05$$

Kenaikan temperatur pada lokasi penelitian mempengaruhi kinerja panel surya. Menggunakan solar panel dengan ukuran 550 Wp, mengetahui  $\Delta t$  dapat menentukan daya maksimal.

$$P_{\text{max t}} = 550 - 6,05$$

$$= 543,95 \text{ Watt}$$

Faktor koreksi temperatur (FKT) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{FKT} &= \frac{P_{\max t}}{P_{\max}} \\ &= \frac{543,95}{550} \end{aligned}$$

$$= 0.98\%$$

#### 4.4.2 Perhitungan Kapasitas Inverter

Perhitungan kapasitas inverter sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas Inverter} = \frac{\text{Energi total beban harian}}{\text{Jam efektif matahari}}$$

$$= \frac{74.448 \text{ Wh}}{5 \text{ h}}$$

$$= 14.889 \text{ W}$$

#### 4.4.3 Perhitungan Kapasitas Baterai

Data yang diperlukan adalah jumlah hari otonomi, yang ditentukan berdasarkan kondisi matahari di daerah setempat. Jika daerah tersebut sering tertutup awan (biasanya di daerah pegunungan), maka disarankan untuk menggunakan 2 hari otonomi dalam perhitungan. Jika daerah tersebut relatif cerah sepanjang tahun, maka jumlah hari otonomi cukup 1 hari.

- Kapasitas baterai = 48 Volt
- DoD = 80%
- Autonomy = 1 hari
- Estimasi waktu = 12 jam

- Kebutuhan energi malam hari = 37.224 Wh (dapat dilihat pada tabel 4.3 tabel kebutuhan energi harian)

Sehingga kapasitas baterai yang dibutuhkan dapat dihitung berdasarkan persamaan (2-4) berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas baterai (Ah)} &= \frac{\text{Total Beban Pemakaian Harian}}{\text{DoD} \times \text{Vdc}} \\ &= \frac{37.224 \text{ Wh}}{80\% \times 48 \text{ V}} \\ &= 969.375 \text{ Ah} \\ \text{Jumlah baterai} &= \frac{\text{Kapasitas yang diperlukan}}{\text{Kapasitas baterai}} = \frac{969.375 \text{ Ah}}{100} = 10 \text{ baterai paralel} \\ \text{Jumlah baterai (voltase)} &= \frac{\text{Voltase sistem}}{\text{Voltase baterai}} = \frac{48}{48} = 1 \text{ baterai seri} \\ \text{Jumlah total baterai} &= \text{baterai seri} \times \text{baterai paralel} = 1 \times 10 = 10 \text{ baterai } 48\text{V} \\ &100\text{Ah} \end{aligned}$$

#### 4.4.4 Sistem Proteksi dan Pengkabelan

##### 4.4.4.1 Panel Surya Terhubung ke Inverter

Berdasarkan rangkaian panel surya yang disusun dalam satu kelompok panel surya dengan daya yang terbentuk sebesar 14.850 Watt dan panel yang disusun seri membentuk tegangan 375 Volt. Dengan menggunakan persamaan untuk menentukan KHA dan luas penampang kabel, dapat dilihat sebagai berikut:

- Nilai arus beban maksimal:

$$\begin{aligned} I &= P/V \\ &= 14.850 / 375 \\ &= 39,6 \text{ Ampere} \end{aligned}$$



- Nilai KHA

$$\text{KHA} = 1,25 \times 39,6$$

$$= 49,5 \text{ A}$$

Sehingga diperoleh bahwa nilai KHA sebesar 49,5 A, menunjukkan pada tabel NYAF data pada pedoman PUIL maka nilai KHA yang diperoleh sebesar 61 A dengan luas penampang kabel yang digunakan berukuran 16mm<sup>2</sup>.

Diketahui nilai arus beban maksimal sebesar 39,6 A maka ukuran MCB DC yang digunakan sebesar 40A.

#### 4.4.4.2 Instalasi dari Inverter ke baterai

Berdasarkan rangkaian sistem PLTS yang di desain, inverter yang digunakan menggunakan daya sebesar 16.500 watt dan arus yang dilewatkan sebesar 120 A. Untuk menentukan KHA dan luas penampang kabel, dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{KHA} = \text{Imp} \times \text{faktor koreksi}$$

$$\text{KHA} = 120 \times 125\%$$

$$\text{KHA} = 150 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut nilai KHA sebesar 150 A, merujuk pada Tabel 2.1 Kabel NYY pedoman PUIL 2011 maka nilai KHA yang diperoleh sebesar 174 A dengan luas penampang kabel yang digunakan berukuran 35 mm<sup>2</sup>.

Dan berdasarkan nilai arus maksimal sebesar 120 A maka ukuran MCB DC yang digunakan sebesar 125A.

#### 4.4.4.3 Instalasi dari Inverter ke beban

Berdasarkan rangkaian sistem PLTS yang didesain, inverter yang digunakan menggunakan daya sebesar 16.500 watt dan tegangan sistem yang digunakan yaitu tegangan listrik 1 phase atau 220 Volt dan faktor daya inverter sebesar 0,99.

Dengan menggunakan persamaan untuk menentukan KHA dan luas penampang kabel, dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{max} = \frac{P}{V \times \cos \pi}$$

$$I_{max} = \frac{16.500}{220 \times 0.99}$$

$$I_{max} = 76 \text{ A}$$

Sesuai dengan perhitungan diperoleh nilai arus maksimal adalah 76 Ampere, sehingga nilai KHA kabel dapat dihitung sebagai berikut.

$$KHA = I_{max} \times \text{faktor koreksi}$$

$$KHA = 76 \times 125\%$$

$$KHA = 95 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan KHA tersebut diperoleh nilai KHA sebesar 95 A, merujuk pada tabel 2.1 Kabel NYY pedoman PUIL 2011 maka nilai KHA yang diperoleh sebesar 95 A dengan luas penampang kabel yang digunakan berukuran 10 mm<sup>2</sup>. Dan nilai arus maksimal sebesar 76 A maka ukuran MCB 1 Phase yang digunakan sebesar 100A.



#### 4.5 Penentuan Komponen PLTS

Pemilihan komponen ini didasarkan pada pemenuhan beban harian yang diharapkan mampu menghasilkan perancangan yang optimum. Komponen utama yang akan ditentukan dalam Aplikasi PVSyst adalah Panel Surya, Inverter dan Baterai. Pemilihan komponen juga didasarkan pada ketersediaannya di Indonesia dan komponen-komponen tersebut mampu menghasilkan kinerja yang berkesesuaian dengan komponen lainnya. Komponen yang dipilih tersebut selanjutnya akan dimasukkan ke dalam perangkat lunak PVSyst 7.3 untuk disimulasikan dalam perencanaan PLTS adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6 Spesifikasi Baterai ZTE ZXDC48 FB101

Spesifikasi	Nilai
Nominal Voltage	48 V
Rated Capacity	100Ah
Jenis Baterai	LiFePO <sub>4</sub>
Rentang Tegangan Operasi	-42V ~ -53.5 V
Design Life at 25	15 tahun (25 <sup>0</sup> C)
Dimensi (W x H x D)	442 x 395 x 176
Weight	42 kg

(Sumber: ZTE ZXDC48 FB101. 2020)

Tabel 4.7 Spesifikasi Inverter

Spesifikasi Inverter	
Nilai daya keluaran	16.500 W
Model Number	POW-HVM5.5K-48V-P*3
Nama Merek	PowMr
Bentuk gelombang tegangan keluaran	<i>Pure Sine Wave</i>
Frekuensi keluaran	50Hz/60Hz

Ukuran	448x295x105
Keluaran AC	230ac5%, 380Vac
Arus Pengisian AC	80 Amps
Tegangan Input Nominal	230Vac
Type	Inverter Surya Hybrid
Tegangan Baterai	48V
Rentang tegangan MPPT PV Array	120 Vdc – 450 Vdc
Berat bersih	34 Kg

(Sumber: Powmr.com, 2013)

Tabel 4.8 Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Nilai
Daya maksimum (Pmax)	550 W
Tipe	Mono-crystalline
Tegangan rangkaian terbuka (Voc)	49.6 V
Arus hubung singkat (Isc)	14.00 A
Tegangan maksimum (Vmp)	41.7 V
Arus maksimum (Imp)	13.20 A
Modul efisiensi	21.5%
Dimensi (mm x mm x mm)	2261 x 1134 x 35 mm
Berat	27.8 kg

(Sumber : Canadian Solar, 2020)

#### 4.6 Analisis Ekonomi PLTS

##### 4.6.1 Menghitung Biaya Investasi

Biaya investasi awal untuk Perencanaan PLTS Hybrid untuk Tower BTS Rooftop Pasar Palakka Kab. Bone yang akan didesain pada lokasi tower berada yang mencakup Biaya Instalasi PLTS, Biaya Komponen PLTS, Biaya Komponen

Pendukung PLTS serta Biaya Pengiriman. Biaya untuk komponen PLTS ini terdiri dari biaya untuk pembelian panel surya, inverter, baterai, dll.

Berdasarkan hasil perhitungan numerik diatas dan harga komponen yang diperoleh dari situs online maka biaya investasi dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut:

Tabel 4.9 Asumsi Rincian Biaya dan Investasi

No.	Komponen	Jumlah	Satuan	Harga Per Unit	Total Harga
<b>Komponen Utama</b>					<b>Rp 283,809,550</b>
1	Panel Surya CSI 550 (Wp)	27	Unit	Rp 3,200,000	Rp 86,400,000
2	Inverter Hybrid 16.5 Kw	1	Unit	Rp 47,457,000	Rp 47,457,000
3	Baterai 48V 100Ah	10	Unit	Rp 14,995,255	Rp 149,952,550
<b>Komponen Sistem Penyangga</b>					<b>Rp 10,172,000</b>
4	Aluminium Rail 2.1 M	40	Unit	Rp 195,000	Rp 7,800,000
5	Mid Clamp 40 mm	56	Pcs	Rp 13,500	Rp 756,000
6	End Clamp 40 mm	16	Pcs	Rp 13,000	Rp 208,000
7	L Feet + Hanger Bolt	32	Pcs	Rp 44,000	Rp 1,408,000
<b>Perangkat Proteksi</b>					<b>Rp 416,000</b>
8	MCB DC 40 A 440 V	1	Unit	Rp 62,000	Rp 62,000
9	MCB DC 125 A	1	Unit	Rp 78,000	Rp 78,000
10	MCB AC 100 A	1	Unit	Rp 76,000	Rp 76,000
11	SPD DC 500 VDC	1	Unit	Rp 200,000	Rp 200,000
<b>Pengkabelan</b>					<b>Rp 6,694,000</b>
12	Kabel NYY 16 mm <sup>2</sup>	60	Meter	Rp 27,000	Rp 1,620,000
13	Kabel NYY 35 mm <sup>2</sup>	4	Meter	Rp 71,000	Rp 284,000
14	Kabel NYY 10 mm <sup>2</sup>	20	Meter	Rp 27,000	Rp 540,000
15	Combiner Box	1	Unit	Rp 250,000	Rp 250,000
16	Aksesoris Tambahan				Rp 4,000,000
<b>Instalasi</b>					<b>Rp 2,600,000</b>
16	Transport	2	Unit	Rp 300,000	Rp 600,000
17	Setting				Rp 2,000,000
<b>INVESTASI AWAL</b>					<b>Rp 303,691,550</b>



#### 4.6.2 Menghitung Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun pada PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal. Berdasarkan acuan tersebut maka pada perhitungan ini besar persentase untuk biaya pemeliharaan dan operasional per tahun PLTS yang mencakup biaya untuk pekerjaan pembersihan panel surya, biaya pemeliharaan dan pemeriksaan rutin peralatan dan instalasi ditetapkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal. Penentuan persentase 1% didasarkan bahwa di wilayah Indonesia sendiri hanya mengalami dua musim, yaitu musim panas dan musim hujan sehingga biaya pembersihan dan pemeliharaan panel suryanya tidak sebesar pada negara atau wilayah lain yang mengalami sampai 4 musim dalam satu tahun.

Berdasarkan tabel 4.9 biaya investasi awal, maka besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan diimplementasikan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M &= 1\% \times \text{Biaya Investasi Awal} \\ &= 1\% \times \text{Rp } 303.691.550 \\ &= \text{Rp } 3.036.916 \text{ per tahun} \end{aligned}$$

#### 4.6.3 Menghitung Biaya Siklus Hidup (LCC)

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 (MPW) dan (RPW) biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian selama umur proyek.

PLTS yang akan dirancang pada penelitian ini, akan beroperasi selama 25 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 penelitian ini adalah sebesar 9.27%. 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 (MPW) PLTS selama umur proyek 25 tahun dengan tingkat diskonto 9,27%, dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

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

$$M_{PW} = Rp 3.036.916 \left[ \frac{(1+0,0927)^{25} - 1}{0,0927 (1+0,0927)^{25}} \right]$$

$$M_{PW} = Rp 3.036.916 \left[ \frac{8,1733}{0,8504} \right]$$

$$M_{PW} = Rp 3.036.916 \times 9,61$$

$$M_{PW} = Rp 29.184.763$$

Adapun Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian selama umur proyek (RPW) dapat dihitung dengan menjumlahkan biaya penggantian baterai dan inverter yang dapat di kembangkan sebagai berikut.

$$R_{PW} = \text{Biaya Penggantian Baterai} + \text{Biaya penggantian inverter}$$

$$R_{PW} = Rp 14.995.255 + Rp 47.457.000$$

$$R_{PW} = Rp 62.452.255$$

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 25 tahun dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$LCC = \text{Rp } 303.691.550 + \text{Rp } 29.184.763 + \text{Rp } 62.452.255$$

$$LCC = \text{Rp } 395.328.568$$

#### 4.6.4 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.

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

$$\begin{aligned} CRF &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\ &= \frac{9,27\%(1+9,27\%)^{25}}{(1+9,27\%)^{25} - 1} = 0.1040 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk kWh produksi tahunan PLTS dapat dihitung sebagai berikut.

$$AkWh = \text{kWh Produksi Harian} \times 365 \text{ Hari}$$

$$AkWh = 74.472 \times 365 \text{ Hari}$$

$$AkWh = 27.182.280 \text{ Wh}$$

Berdasarkan hasil perhitungan LCC, CRF dan kWh produksi tahunan maka besar biaya energi (COE) Untuk PLTS yang akan di rancang pada PLTS adalah sebagai berikut.

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{AKWH}$$

$$\text{COE} = \frac{\text{Rp } 395.328.568 \times 0.1040}{27.182}$$

$$\text{COE} = 1.512/\text{kWh}$$

#### 4.7 Analisis Kelayakan Investasi PLTS

Kelayakan investasi PLTS yang akan didesain pada rumah tinggal 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 4.10 menunjukkan hasil perhitungan arus kas bersih, faktor diskonto dengan tingkat diskonto (i) sebesar 9,27% dan nilai sekarang arus kas bersih.



Tabel 4.10 Perhitungan DF, NCF dan PVNCF, dengan  $i=9.27\%$

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Discount factor (DF)	PV	Kumulatif (PVNCF)
0	Rp 303,691,550				1.000		
1		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.9152	Rp 34,833,615	Rp 34,833,615
2		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.8375	Rp 31,878,480	Rp 66,712,095
3		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.7665	Rp 29,174,046	Rp 95,886,141
4		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.7014	Rp 26,699,045	Rp 122,585,186
5		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.6419	Rp 24,434,012	Rp 147,019,198
6		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.5875	Rp 22,361,135	Rp 169,380,332
7		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.5376	Rp 20,464,111	Rp 189,844,444
8		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4920	Rp 18,728,024	Rp 208,572,468
9		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4503	Rp 17,139,218	Rp 225,711,686
10		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4121	Rp 15,685,200	Rp 241,396,886
11		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3771	Rp 14,354,535	Rp 255,751,421
12		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3451	Rp 13,136,757	Rp 268,888,178
13		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3159	Rp 12,022,291	Rp 280,910,469
14		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2891	Rp 11,002,371	Rp 291,912,840
15		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2645	Rp 10,068,977	Rp 301,981,817
16		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2421	Rp 9,214,768	Rp 311,196,585
17		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2216	Rp 8,433,026	Rp 319,629,611
18		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2028	Rp 7,717,604	Rp 327,347,216
19		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1856	Rp 7,062,876	Rp 334,410,092
20		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1698	Rp 6,463,692	Rp 340,873,783
21		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1554	Rp 5,915,340	Rp 346,789,123
22		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1422	Rp 5,413,508	Rp 352,202,631
23		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1302	Rp 4,954,249	Rp 357,156,879
24		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1191	Rp 4,533,951	Rp 361,690,831
25		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1090	Rp 4,149,310	Rp 365,840,141
<b>Total</b>						Rp 365,840,141	Rp 365,840,141

Arus kas masuk tahunan PLTS dihasilkan dengan mengalikan kWh produksi tahunan PLTS dengan biaya energi. Dengan kWh produksi tahunan PLTS sebesar 27.182.280 Wh dan biaya energi sebesar Rp. 1.512/kWh maka besar arus kas masuk tahunan adalah Rp 41.099.607 adapun untuk arus kas keluar tahunan PLTS diperhitungkan sebesar Rp 3.036.916 yang ditentukan berdasarkan biaya pemeliharaan dan operasional tahunan PLTS.

#### 1) Net Present Value (NPV)

Pada hasil perhitungan sebelumnya 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 :

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

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{AkWh \times COE - M}{(1+i)^t} - C$$

$$NPV = Rp\ 365.840.141 - Rp\ 303.691.550$$

$$NPV = Rp\ 62.148.591$$

Berdasarkan hasil perhitungan NPV yang bernilai positif sebesar Rp 62.148.591 (> 0), menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan dirancang layak untuk dilaksanakan.

## 2) Profitability Index (PI)

*Profitability Index* atau model rasio manfaat biaya (*benefit cost ratio*) merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Dengan total nilai sekarang arus kas bersih (PVNCF) sebesar Rp 365.840.141 dan biaya investasi awal (*Initial Investment*) sebesar Rp 303.691.550 maka besar nilai *Profitability Index* dapat dihitung sebagai berikut.

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

$$PI = \frac{365.840.141}{303.691.550} = 1.20$$

Berdasarkan hasil perhitungan PI yang bernilai 1.20 (> 1), menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan dirancang pada PLTS Hybrid Tower BTS layak untuk dilaksanakan.

### 3) *Discounted Payback Period (DPP)*

*Payback Period* adalah periode lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek (investasi).

Pada Tabel 4.10 menunjukkan tahun ke-15, nilai sekarang arus kas bersih kumulatif (PVNCF) mendekati nilai investasi awal dengan kekurangan sebesar Rp 1.709.733 yaitu dari Rp 303.691.550 – Rp 301.981.817. Dalam tahun ke-16, nilai sekarang arus kas bersih adalah sebesar Rp 9.214.768. Sehingga untuk dapat menutupi kekurangan investasi awal sebesar Rp 1.709.733 maka lama waktu yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut.

$$DPP = \frac{\text{Investment Cost} - \text{PVNCF Tahun 15}}{\text{NCF Tahun 16}} \times 12 \text{ Bulan}$$

$$DPP = \frac{\text{Rp } 303.691.550 - \text{Rp } 301.981.817}{\text{Rp } 9.214.768} \times 12 \text{ Bulan}$$

$$DPP = 2.23 \text{ Bulan}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dihasilkannya DPP sekitar 3 tahun 11 bulan, menunjukkan bahwa investasi PLTS Hybrid Tower BTS di Kabupaten Bone untuk dilaksanakan. Hal ini karena DPP yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih kecil dari periode umur proyek yang ditetapkan, yaitu selama 25 tahun.

4) *Internal Rate Return (IRR)*

Tabel 4.11 Perhitungan DF, NCF, dengan  $i=8.27\%$

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Discount factor (DF)	PVr
0	Rp 303,691,550				1.000	
1		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.9236	Rp 35,155,344
2		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.8531	Rp 32,470,070
3		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.7879	Rp 29,989,905
4		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.7277	Rp 27,699,182
5		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.6721	Rp 25,583,432
6		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.6208	Rp 23,629,290
7		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.5734	Rp 21,824,411
8		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.5296	Rp 20,157,395
9		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4891	Rp 18,617,710
10		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4518	Rp 17,195,631
11		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4173	Rp 15,882,175
12		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3854	Rp 14,669,045
13		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3560	Rp 13,548,578
14		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3288	Rp 12,513,695
15		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3037	Rp 11,557,860
16		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2805	Rp 10,675,035
17		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2590	Rp 9,859,642
18		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2393	Rp 9,106,532
19		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2210	Rp 8,410,947
20		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2041	Rp 7,768,493
22		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1741	Rp 6,627,054
23		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1608	Rp 6,120,859
24		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1485	Rp 5,653,328
25		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1372	Rp 5,221,510
<b>Total</b>						Rp 389,937,124

Tabel 4.11 menunjukkan hasil perhitungan arus kas bersih (NCF), faktor diskonto (DF) dengan tingkat suku bunga rendah ( $i$ ) sebesar 8.27 %. Berdasarkan hasil perhitungan arus kas bersih (NCF), dan faktor diskonto (DF) dengan  $i = 8.27\%$  maka NPVr dapat dihitung sebagai berikut.

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

$$NPVr = \sum_{t=1}^n \frac{AkWh \times COE - M}{(1+i)^t} - C$$

$$NPVr = Rp 389.937.124 - Rp 303.691.550$$

$$NPVr = Rp 86.245.574$$

Tabel 4.12 Perhitungan DF, NCF, dengan  $i=10.27\%$

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Discount factor (DF)	PVt
0	Rp 303,691,550				1.000	
1		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.9069	Rp 34,517,721
2		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.8224	Rp 31,302,912
3		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.7458	Rp 28,387,515
4		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.6763	Rp 25,743,642
5		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.6134	Rp 23,346,007
6		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.5562	Rp 21,171,676
7		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.5044	Rp 19,199,852
8		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4574	Rp 17,411,673
9		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4148	Rp 15,790,036
10		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3762	Rp 14,319,431
11		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3412	Rp 12,985,790
12		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3094	Rp 11,776,358
13		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2806	Rp 10,679,566
14		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2544	Rp 9,684,925
15		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2307	Rp 8,782,919
16		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2093	Rp 7,964,922
17		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1898	Rp 7,223,108
18		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1721	Rp 6,550,384
19		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1561	Rp 5,940,314
20		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1415	Rp 5,387,062
21		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1283	Rp 4,885,338
22		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1164	Rp 4,430,342
23		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1056	Rp 4,017,722
24		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.0957	Rp 3,643,531
25		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.0868	Rp 3,304,191
<b>Total</b>						Rp 338,446,937

Tabel 4.12 menunjukkan hasil perhitungan arus kas bersih (NCF), faktor diskonto (DF) dengan tingkat suku bunga rendah ( $i$ ) sebesar 10.27 %. Berdasarkan hasil perhitungan arus kas bersih (NCF), dan faktor diskonto (DF) dengan  $i = 10.27\%$  maka NPVt dapat dihitung sebagai berikut.

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

$$NPVt = \sum_{t=1}^n \frac{AkWh \times COE - M}{(1+i)^t} - C$$

$$NPVt = Rp 338.446.937 - Rp 303.691.550$$

$$NPVt = Rp 34.755.387$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, diperoleh nilai NPVr sebesar Rp 86.245.574 dan nilai NPVt sebesar Rp 34.755.387, nilai IRR dapat dihitung sesuai persamaan (2-19) sebagai berikut.

$$IRR = Ir + \left( \frac{NPVr}{NPVr - NPVt} \right) (it - ir)$$

$$IRR = 8.27\% + \left( \frac{Rp\ 86.245.574}{Rp\ 86.245.574 - Rp\ 34.755.387} \right) (10,27\% - 8.27\%)$$

$$IRR = 11.62\%$$

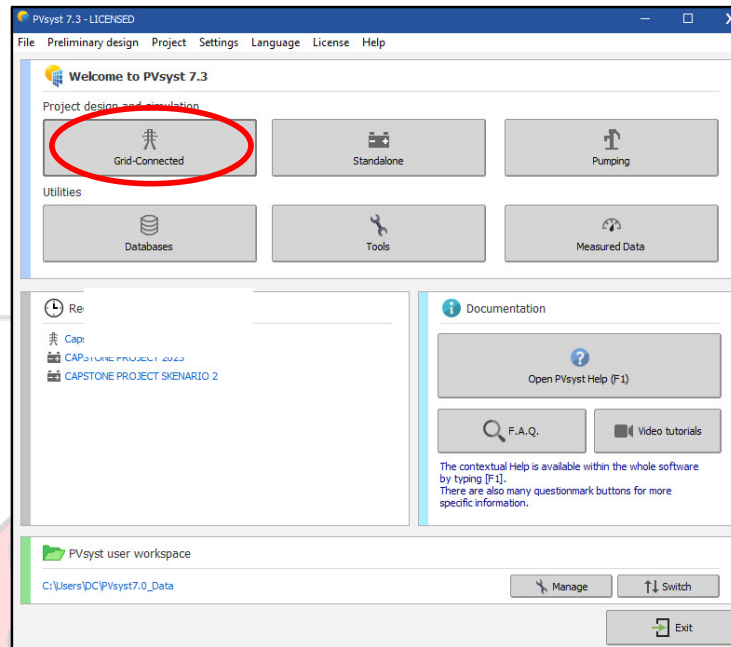
Berdasarkan hasil perhitungan IRR yang bernilai 11.62%, maka dinyatakan layak karena lebih besar dari suku bunga.

#### 4.8 Analisis Perencanaan PLTS Menggunakan Software PVsyst 7.3

##### 4.8.1 Perencanaan PVsyst 7.3

###### 1.) Menu Utama *PVsyst 7.3*

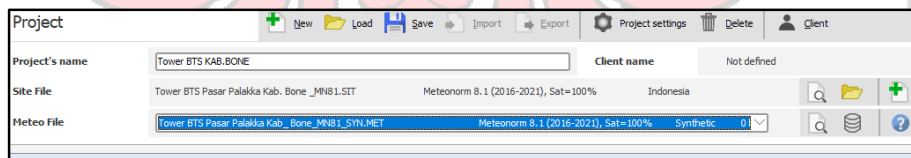
Perencanaan PLTS untuk rumah tinggal klien ini merupakan PLTS *Hybrid*, sehingga pada *software PVsyst 7.3* dipilih menu *Grid-Connected*, kemudian menentukan *site* yang sesuai dengan lokasi tower BTS.



Gambar 4.6 Menu Utama PVsyst

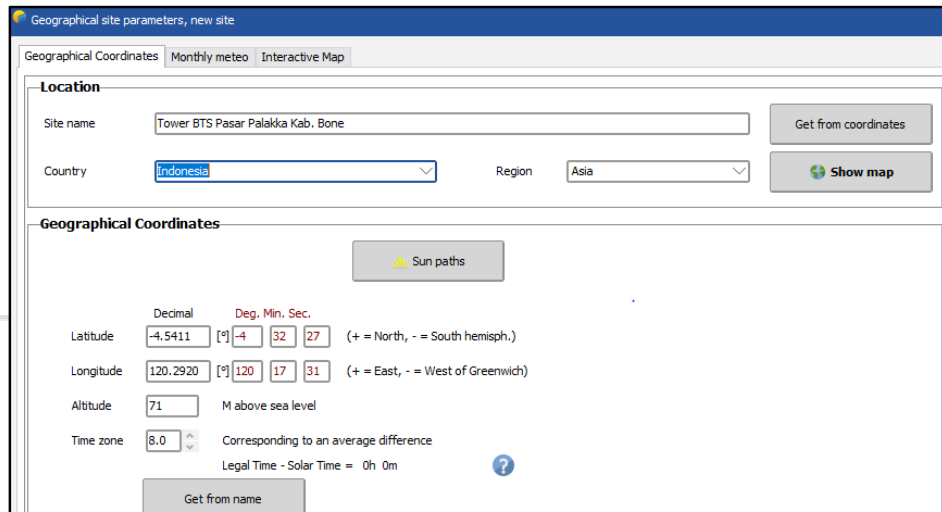
## 2.) Menu Proyek

Memberi nama dari proyek yang akan dilakukan dan memberi nama pemilik/perusahaan dari tower BTS tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Menu Proyek PVsyst

Selanjutnya menentukan koordinat lokasi bangunan tower BTS pada menu pertama sebuah proyek dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.8 Menu *Geographical Coordinates*

Pada Gambar 4.8 ini merupakan penentuan lokasi titik koordinat dari tower BTS yaitu *Latitude*  $-4.54107^{\circ}$ , *Longitude*  $120.29203^{\circ}$ . 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*.

Adapun data iradiasi matahari yang diperoleh dari data *Meteonorm 8.1* PVSyst seperti pada Gambar 4.9 dibawah ini.

	Global horizontal irradiation kWh/m <sup>2</sup> /day	Horizontal diffuse irradiation kWh/m <sup>2</sup> /day	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity [-]	Relative humidity %
January	6.06	2.34	25.3	0.99	3.567	80.6
February	5.38	3.02	25.8	0.99	3.546	81.3
March	5.69	2.55	25.9	0.99	3.480	81.6
April	5.76	2.33	26.1	1.00	3.475	83.8
May	5.33	2.26	27.0	0.99	3.573	82.4
June	5.00	2.15	26.2	1.09	3.674	85.1
July	5.74	1.78	26.1	1.40	3.584	83.1
August	6.50	1.84	26.5	1.49	3.622	79.3
September	6.60	2.15	26.6	1.39	3.735	78.3
October	6.60	2.55	27.2	1.09	4.034	76.9
November	6.39	2.35	26.1	1.31	3.959	79.2
December	5.80	2.53	25.9	1.29	3.679	78.6
<b>Year</b>	<b>5.91</b>	<b>2.32</b>	<b>26.2</b>	<b>1.2</b>	<b>3.661</b>	<b>80.9</b>

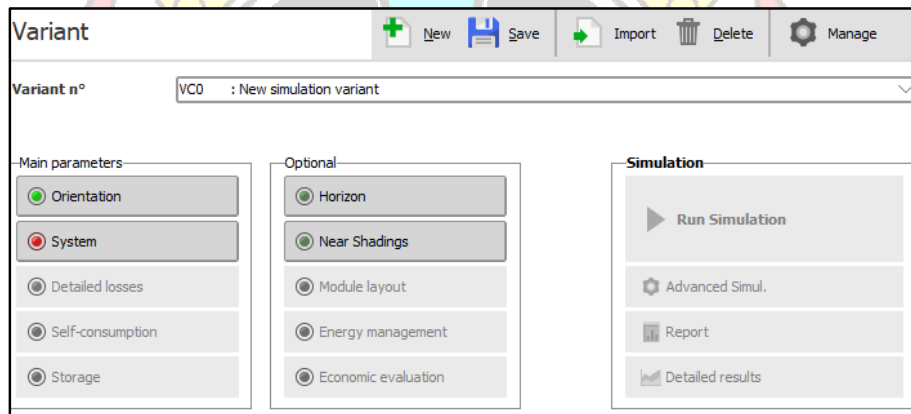
Global horizontal irradiation year-to-year variability 6.6%

Gambar 4.9 Tampilan Menu *Monthly Meteo* Berupa Data Iradiasi Matahari



Pada Menu *Monthly Mete* yang dapat dilihat pada Tabel 4.9 merupakan tampilan *Global Horizontal Irradiation*, *Horizontal diffuse irradiation*, *Temperature*, *Wind Velocity*, *Linke Turbidity*, dan *Relative Humidity* yang ada pada *site* rata-rata relatif tinggi yaitu sebesar 5.91 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan suhu rata-rata sebesar 26.2°C. pada tampilan Menu *Monthly Meteo* ini dapat mengubah unit radiasi yang diinginkan mulai dari kWh/m<sup>2</sup>/hari dan kWh/m<sup>2</sup>/bulan.

### 3.) Menu *Variant*

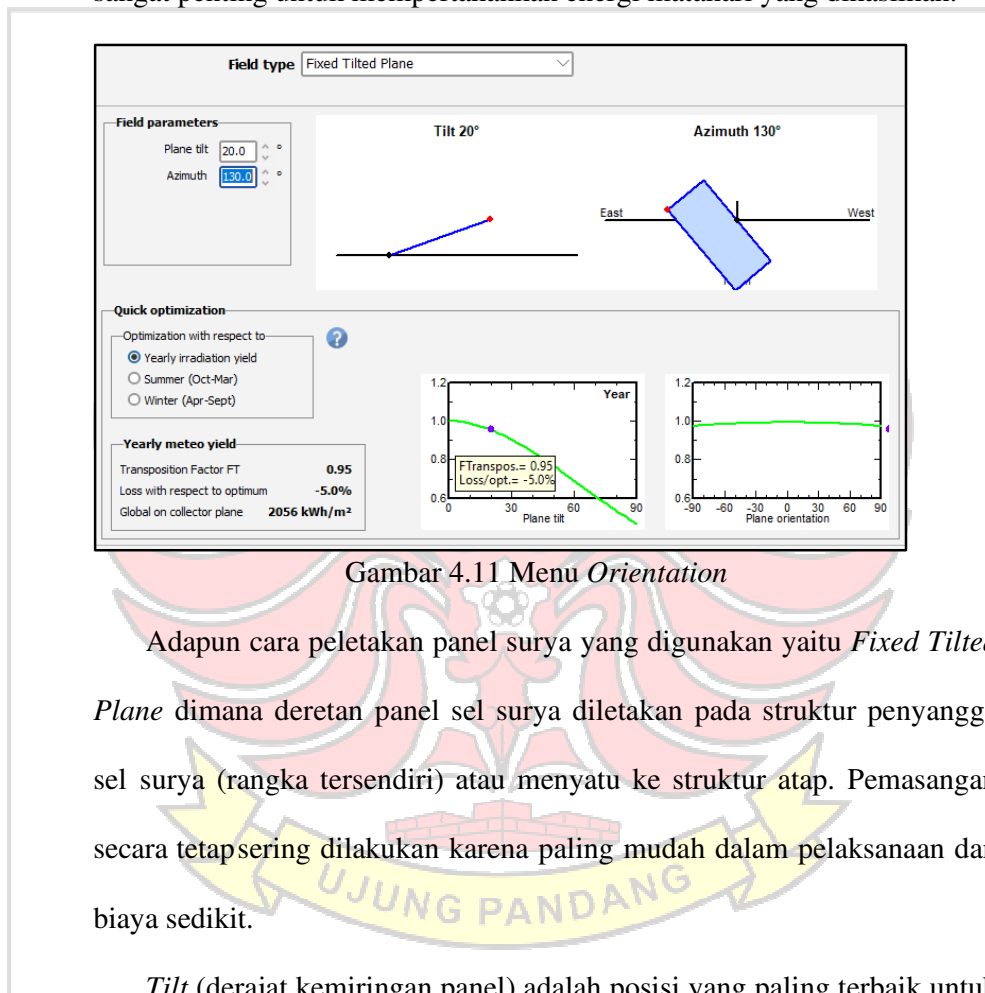


Gambar 4.10 Menu *Variant*

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*, 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 4.11 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.

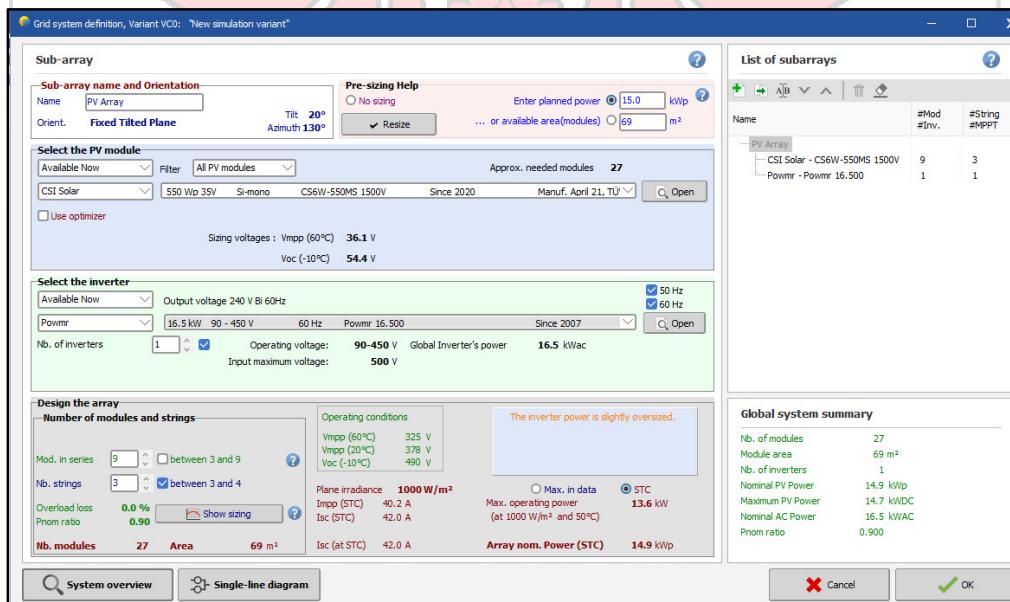
*Tilt* (derajat kemiringan panel) adalah posisi yang paling terbaik untuk menempatkan sebuah panel agar menyerap radiasi matahari dengan optimal, sehingga energi yang dihasilkan oleh panel surya maksimal.

*Azimuth* (derajat kemiringan objek) adalah posisi tower BTS terhadap arah mata angin.

Untuk menentukan sudut kemiringan panel dan objek pada *software PVSyst*, maka dilakukan penginputan pada *main parameter orientation*, dimanapada 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 20° dan titik azimuth 130° menghadap tenggara (data diperoleh menggunakan kompas). Parameter *system* ini merupakan parameter untuk menentukan komponen-komponen dengan menggunakan datasheet yang tersedia pada *software PVSyst* yang akan digunakan pada proyek PLTS.

### 5.) System

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



Gambar 4.12 Menentukan PV Module dan Inverter

Pada parameter ini terlebih dahulu memasukkan kebutuhan daya yang akan dibangkitkan oleh 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. dengan usulan beban sebesar 74472 Wh/day, dan 2234.2 kWh/mth, dengan modul surya yang dibutuhkan sebanyak 27 modul dengan menggunakan modul surya *Monocrystalline* dengan merk Canadian Solar HiKu6 Mono PERC CS6W 550 W yang akan dipasang secara seri sebanyak 9 modul dan 3 strings, overload losses yang dihasilkan pada rancangan seri dan paralel modul adalah sebesar 0,0 %. Pada perencanaan ini akan membutuhkan Inverter sebanyak 1 unit dengan daya 16.500 W Hybrid Solar Inverter dengan merk Powmr. Dengan nilai tegangan operasi sebesar 120-450V.

#### 6.) *Self-Consumption*

Merupakan bagian untuk memasukkan data beban listrik yang digunakan, dengan mengusulkan berdasarkan daya listrik peralatan. Usulan ini dimasukkan pada menu *General features* dengan memilih *Household consumers* pada nilai *constant over the year* setelah itu melanjutkan pada pilihan *Household use* yang dapat dilihat pada Gambar 4.13.

**Definition of daily household consumptions for the year.**

Consumption Hourly distribution

**Daily consumptions**

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib.	Daily energy	
1	TOWER BTS	3102 W/lamp	24.0 h/day	OK	74448 Wh	
0	TV / PC / Mobile	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh	
0	Domestic appliances	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh	
0	Fridge / Deep-freeze	0.00 kWh/day	0.0		0 Wh	
0	Dish- and Cloth-washer	0.0 W aver.	0.0 h/day		0 Wh	
0	Other uses	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh	
0	Other uses	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh	
Stand-by consumers		1 W tot	24 h/day		24 Wh	
<b>Appliances info</b>					<b>Total daily energy</b>	<b>74472 Wh/day</b>
					<b>Monthly energy</b>	<b>2234.2 kWh/mth</b>

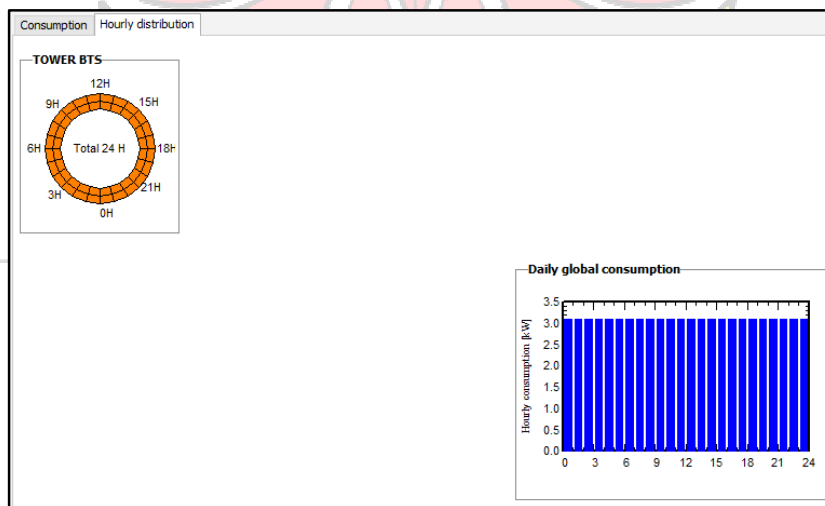
Consumption definition by:  Years  Seasons  Months

Week-end or Weekly use:  Use only during  days in a week

Gambar 4.13 Data Beban

Sesuai dengan usulan beban yang dimasukkan pada menu *Consumption* pada Gambar 4.13 maka didapatkan total konsumsi energi sebesar 74472 Wh/day, dan 2234.2 kWh/mth.

Konsumsi energi listrik yang terdapat di Tower BTS Rooftop Pasar Palakka Kab. Bone berlangsung selama 24 jam sehari. Adapun durasi penggunaan beban dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut ini.



Gambar 4.14 Hourly Distribution

## 7.) Baterai

**System kind - Storage strategy**

Self-consumption

Storage pack: Self-consumption

**Specify the battery set**

Sort batteries by:  voltage  capacity  manufacturer

ZTE 48 V 100 Ah Li LFP ZTE ZXDC48 FB101

Lithium-ion The selected battery is a module

1	<input checked="" type="checkbox"/> modules in series	Number of modules	10	Battery pack voltage	48 V
10	<input type="checkbox"/> modules in parallel	Number of elements	150	Global capacity (C10)	1000 Ah
100.0 %	% Initial State of Wear (nb. of cycles)			Stored energy (80% DOD)	38.4 kWh
100.0 %	% Initial State of Wear (static)			Total weight	420 kg
				Nb. cycles at 50% DOD	10956
				Total stored energy during the battery life	260.1 MWh

**Operating battery temperature**

Temper. mode: Fixed (air-conditioned)

Fixed temperature: 20 °C

The battery temperature is important for the aging of the battery  
An increase of 10 °C divides the "static" battery life by a factor of two

**System information**

PV array Pnom	14.85 kWp
PV array daily production (summer clear day)	100.1 kWh
Maximum user's power	3.10 kW
Average daily user's needs	74.5 kWh

This battery pack represent about :

Charging Time during full sun conditions	2.6 hours
Discharging under average load	12.4 hours
Discharging under maximum load	12.4 hours

Gambar 4.15 *Adjustment* Sistem Penyimpanan Energi Listrik

Perencanaan sistem PLTS ini menggunakan jenis baterai Lithium-ion dengan merk “ZTE ZXDC48 FB101”. Pada 80% sebesar 38.4 kWh dengan berat total bank baterai sebesar 420 kg. Total energi yang dapat disimpan oleh baterai ini adalah 260.1 MWh.

Pada *System Information* menunjukkan bahwa Pnom larik fotovoltaik sebesar 14.85 kWp dan beban puncak konsumen sebesar 3.10 kW, maka untuk menampung daya sebesar itu diperlukan waktu selama 2.6 jam hingga baterai terisi penuh. Apabila *Discharging* baterai di bawah rata-rata maka baterai mampu melayani beban hingga 12.4 jam, dan mampu melayani beban puncak selama 12.4 jam.

## 8.) Economic Evaluation

The screenshot displays the 'Financial results' tab with 'Values' set to 'Global' and 'Currency' as 'IDR - Indonesian Rupiah'. It is divided into two main sections: 'Installation costs' and 'Operating costs (yearly)'.

**Installation costs:**

Description	Quantity	Unit price	Total	
<b>PV modules</b>			90,816,000.00	IDR
CS6W-550MS 1500V	27.00	3,200,000.00	86,400,000.00	IDR
Supports for modules	27.00	163,555.56	4,416,000.00	IDR
<b>Inverters</b>			47,457,000.00	IDR
Powmr 16.500	1.00	47,457,000.00	47,457,000.00	IDR
<b>Batteries</b>			149,952,550.00	IDR
10.00	14,995,255.00			
<b>Other components</b>			12,865,996.00	IDR
Accessories, fasteners	144.00	70,639.00	10,172,016.00	IDR
Wiring	84.00	29,095.00	2,443,980.00	IDR
Combiner box	1.00	250,000.00	250,000.00	IDR
Monitoring system, display ...	0.00	0.00	0.00	IDR
Measurement system, nvr...	0.00	0.00	0.00	IDR
<b>Total installation cost</b>			<b>303,691,546.00</b>	<b>IDR</b>
Depreciable asset			298,397,566.00	IDR

**Operating costs (yearly):**

Description	Yearly cost	
<b>Maintenance</b>	21,900,955.00	IDR
Land rent	0.00	IDR
<b>Insurance</b>	0.00	IDR
Bank charges	0.00	IDR
Administrative, accounti...	0.00	IDR
<b>Taxes</b>	0.00	IDR
Subsidies	0.00	IDR
<b>Operating costs (OPEX)</b>	<b>21,900,955.00</b>	<b>IDR/year</b>

Gambar 4.16 Evaluasi Ekonomi

Pada menu evaluasi ekonomi ini merupakan tampilan survey harga dari komponen yang akan digunakan kemudian di input ke PVsyst sesuai dengan jumlah kuantitas pada PLTS perencanaan ini yang diperoleh biaya instalasi sebesar Rp. 303.691.546 dengan biaya *maintenance* sebesar Rp. 21.900.955.

The screenshot displays the 'Financial parameters' tab. It includes sections for simulation period, projected variations, income dependent expenses, tax depreciation, and financing.

**Simulation period:** Project lifetime: 25 years, Start year: 2023.

**Projected variations:** Inflation: 4.33 %/year, Discount rate: 9.27 %/year. Production variation (aging):  Linear 0.00 %/year,  Aging tool results.

**Income dependent expenses:** Income tax: 0.00 %/year, Dividends: 0.00 %/year, Other income tax: 0.00 %/year.

**Tax depreciation:**

Asset	Type	Depreciation period	Depreciable
<b>PV modules</b>			
<b>Inverters</b>			
<b>Batteries</b>	Straight-line	25 years	149,952,550.00 IDR
<b>Other compon...</b>			
<b>Total redeemable</b>			<b>298,397,566.00 IDR</b>

**Financing:** Investment: 303,691,546.00 IDR, Own funds: 303,691,546.00 IDR, Subsidies: 0.00 IDR, Loans: +.

A pie chart shows 'Own funds' at 100%.

Gambar 4.17 Financial Parameters

Pada Gambar 4.17 financial parameters merupakan tampilan menu yang menunjukkan Project lifetime yaitu 25 tahun yang dimulai dari tahun

2023. Dengan nilai inflasi 4.33% per tahun dan discount rate 9,27% per tahun. Adapun sumber dana yang diasumsikan dari dana sendiri (PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Territory Operation Bone (TO Bone) yaitu sebesar Rp. 303.691.546.

Investment and charges		Financial parameters		Electricity sale		Self-consumption saving		Financial results		Carbon balance	
<b>Installation costs (CAPEX)</b>											
Total installation cost	303,691,546 IDR										
Depreciable asset	298,397,566 IDR										
<b>Financing</b>											
Own funds	303,691,546 IDR										
Subsidies	0.00 IDR										
Loans	0.00 IDR										
<b>Total</b>	<b>303,691,546 IDR</b>										
<b>Expenses</b>											
Operating costs(OPEX)	38,148,338 IDR/year										
Loan annuities	0.00 IDR/year										
<b>Total</b>	<b>38,148,338 IDR/year</b>										
LCOE	3,047.9552 IDR/kWh										
<b>Return on investment</b>											
Net present value (NPV)	135,816,021 IDR										
Internal rate of return (IRR)	12.07 %										
Payback period	19.4 years										
Return on investment (ROI)	44.7 %										
<input checked="" type="checkbox"/> This analysis should appear on printed report											
<b>Detailed economic results</b>											
<input type="checkbox"/> Detailed results <input checked="" type="checkbox"/> Yearly cashflow <input type="checkbox"/> Cumulative cashflow <input type="checkbox"/> Income allocation											
<b>Detailed economic results (IDR)</b>											
Year	Electricity sale	Own funds	Run. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Taxes	After-tax profit	Self-cons. saving	Cumul. profit	% amort.	
0	0	303,691,546	0	0	0	0	0	0	-303,691,546	0.0%	
1	0	0	21,900,955	12,037,623	0	0	-21,900,955	29,892,234	-298,314,900	2.4%	
2	0	0	22,849,266	12,037,623	0	0	-22,849,266	32,959,987	-267,947,262	5.2%	
3	0	0	23,838,640	12,037,623	0	0	-23,838,640	36,254,424	-238,330,891	8.4%	
4	0	0	24,870,853	12,037,623	0	0	-24,870,853	39,779,990	-207,802,831	11.6%	
5	0	0	25,947,781	12,037,623	0	0	-25,947,781	43,551,363	-169,299,184	15.6%	
6	0	0	27,071,299	12,037,623	0	0	-27,071,299	47,574,635	-123,854,300	19.7%	
7	0	0	28,243,486	12,037,623	0	0	-28,243,486	51,850,102	-70,501,140	24.1%	
8	0	0	29,466,429	12,037,623	0	0	-29,466,429	56,388,112	-19,270,781	28.8%	
9	0	0	30,742,325	12,037,623	0	0	-30,742,325	61,200,823	201,163,029	33.8%	
10	0	0	32,073,458	12,037,623	0	0	-32,073,458	70,449,616	165,296,239	39.0%	
11	0	0	33,462,249	12,037,623	0	0	-33,462,249	77,714,877	169,807,415	44.8%	
12	0	0	34,911,104	12,037,623	0	0	-34,911,104	84,489,035	161,162,289	50.2%	
13	0	0	36,422,818	12,037,623	0	0	-36,422,818	94,234,630	132,855,289	56.2%	
14	0	0	37,999,626	12,037,623	0	0	-37,999,626	107,458,102	114,039,782	62.4%	
15	0	0	39,645,323	12,037,623	0	0	-39,645,323	113,781,913	94,427,938	68.8%	
16	0	0	41,361,965	12,037,623	0	0	-41,361,965	125,180,104	74,140,888	75.6%	
17	0	0	43,152,938	12,037,623	0	0	-43,152,938	137,678,114	53,198,670	82.5%	
18	0	0	45,021,400	12,037,623	0	0	-45,021,400	151,443,728	31,620,454	89.6%	
19	0	0	46,970,890	12,037,623	0	0	-46,970,890	166,548,089	9,424,402	96.9%	
20	0	0	49,004,729	12,037,623	0	0	-49,004,729	183,249,959	13,372,281	104.4%	

Gambar 4.18 *Financial Results*

Pada Gambar 4.18 menunjukkan nilai Net present value (NPV) yaitu Rp. 135.816.021, Internal rate of return (IRR) yaitu 12.07% dengan payback period 19.4 tahun dimana pengembalian investasi ini yaitu pada tahun 2043.



#### 4.8.2 Hasil Simulasi PVsyst 7.3

Berikut merupakan hasil dari simulasi PLTS pada PVsyst dengan parameter-parameter yang sudah dimasukkan.

##### 1.) Karakteristik PV Array

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	CSI Solar	Manufacturer	Powmr
Model	CS6W-550MS 1500V	Model	Powmr 16.500
(Original PVsyst database)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	550 Wp	Unit Nom. Power	16.5 kWac
Number of PV modules	27 units	Number of inverters	1 unit
Nominal (STC)	14.85 kWp	Total power	16.5 kWac
Modules	3 Strings x 9 In series	Operating voltage	90-450 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	0.90
Pmpp	13.61 kWp		
U mpp	338 V		
I mpp	40 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	15 kWp	Total power	16.5 kWac
Total	27 modules	Number of inverters	1 unit
Module area	69.2 m <sup>2</sup>	Pnom ratio	0.90
<b>Battery Storage</b>			
<b>Battery</b>			
Manufacturer	ZTE		
Model	ZTE ZXDC48 FB101		
<b>Battery pack</b>		<b>Battery Pack Characteristics</b>	
Nb. of units	10 in parallel	Voltage	48 V
Discharging min. SOC	20.0 %	Nominal Capacity	1000 Ah (C10)
Stored energy	37.5 kWh	Temperature	Fixed 20 °C
<b>Battery input charger</b>			
Model	Generic		
Max. charg. power	13.0 kWdc		
Max./Euro effc.	97.0/95.0 %		
<b>Battery to Grid inverter</b>			
Model	Generic		
Max. disch. power	3.1 kWac		
Max./Euro effc.	97.0/95.0 %		

Gambar 4.19 Hasil Simulasi PVsyst

Gambar 4.19 merupakan laporan hasil simulasi pada perencanaan ini yang membutuhkan rata – rata energi sebesar 74.472 Wh/hari, dimana modul panel yang digunakan yaitu jenis *Monocrystalline* model CS6W-550W pabrikan Canadian Solar, dimana tiap unit panel yang digunakan memiliki nominal power 550 Wp dibutuhkan 27 modul, 9 modul terpasang seri dan 3 strings yang akan menghasilkan daya sebesar 14.85 kWp, tegangan array sebesar 338 V dan arus 40 A dengan menggunakan *Grid*

*Connected System*. PLTS ini dapat memproduksi energi listrik sebesar 22713 kWh per tahun dan energi yang terpakai oleh konsumen sebesar 27182 kWh per tahun. Dengan modul surya diletakkan pada kemiringan 10° dan titik azimuth 130°. PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Territory Operation Bone (TO Bone). terletak pada latitude dan longitude -4.54°S, 120.29°E dengan menggunakan meteo data Meteonorm 8.1. Adapun inverter yang digunakan memiliki daya total 16.5 kWac dengan tegangan operasi 90-450 V dan total Pnom ratio 0.90 serta baterai yang dibutuhkan pada rancangan ini adalah jenis Lithium ion dengan model ZTE type ZXDC48 FB101. Baterai yang digunakan sebanyak 10 unit baterai, tegangan baterai 48 V dan kapasitas baterai adalah 100 Ah. Baterai ini dapat menyimpan energi sebesar 260.1 MWh.

## 2.) Produksi Energi Tahunan

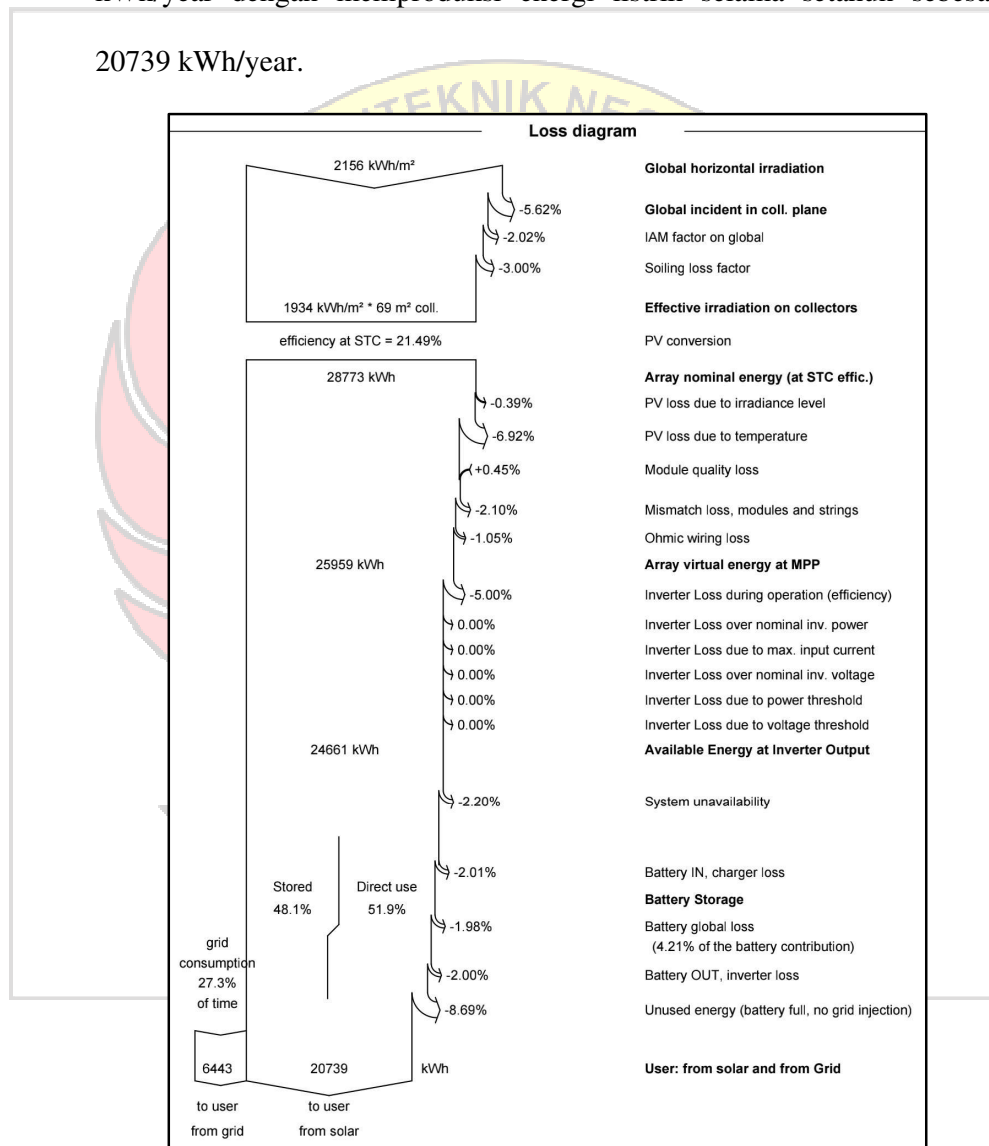
Balances and main results										
	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	EUnused kWh	EFrGrid kWh
January	187.7	72.43	25.28	193.7	184.5	2472	2309	1908	333.5	400.5
February	150.6	84.54	25.81	146.9	139.5	1881	2085	1563	102.3	521.8
March	176.4	79.18	25.94	169.5	161.1	2161	2309	1607	148.2	701.8
April	172.8	69.80	26.09	157.4	149.3	2009	2234	1568	110.9	666.3
May	165.2	70.21	26.96	143.0	135.1	1826	2309	1606	5.1	702.4
June	150.0	64.37	26.20	128.5	121.4	1650	2234	1477	0.0	757.5
July	177.8	55.21	26.13	151.5	143.4	1941	2309	1707	5.3	601.5
August	201.6	56.87	26.54	178.3	169.4	2273	2309	1950	73.3	358.5
September	197.9	64.63	26.63	183.8	174.7	2332	2234	1733	217.8	501.2
October	204.7	78.86	27.19	200.1	191.0	2539	2309	1915	312.9	393.2
November	191.7	70.63	26.12	195.7	186.8	2487	2234	1854	372.3	380.5
December	179.9	78.48	25.90	187.0	178.3	2387	2309	1851	292.3	457.5
Year	2156.5	845.21	26.24	2035.3	1934.4	25959	27182	20739	1974.0	6442.8

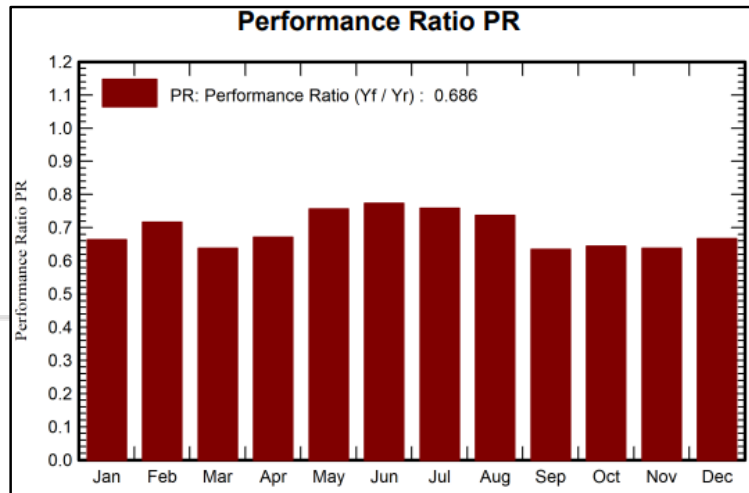
<b>Legends</b>			
GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	EUnused	Unused energy (battery full, no grid injection)
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid

Gambar 4.20 Produksi Energi Tahunan

Pada Gambar 4.20 menunjukkan bahwa Iradiasi Horizon Global dalam satu tahun sebesar 2156.5 kWh/m<sup>2</sup>. Iradiasi Efektif Global Tahunan adalah 845.21 kWh/m<sup>2</sup>, Energi efektif pada keluaran array sebesar 25959. Besar energi listrik yang diberikan kepada pengguna adalah 27182 kWh/year dengan memproduksi energi listrik selama setahun sebesar 20739 kWh/year.

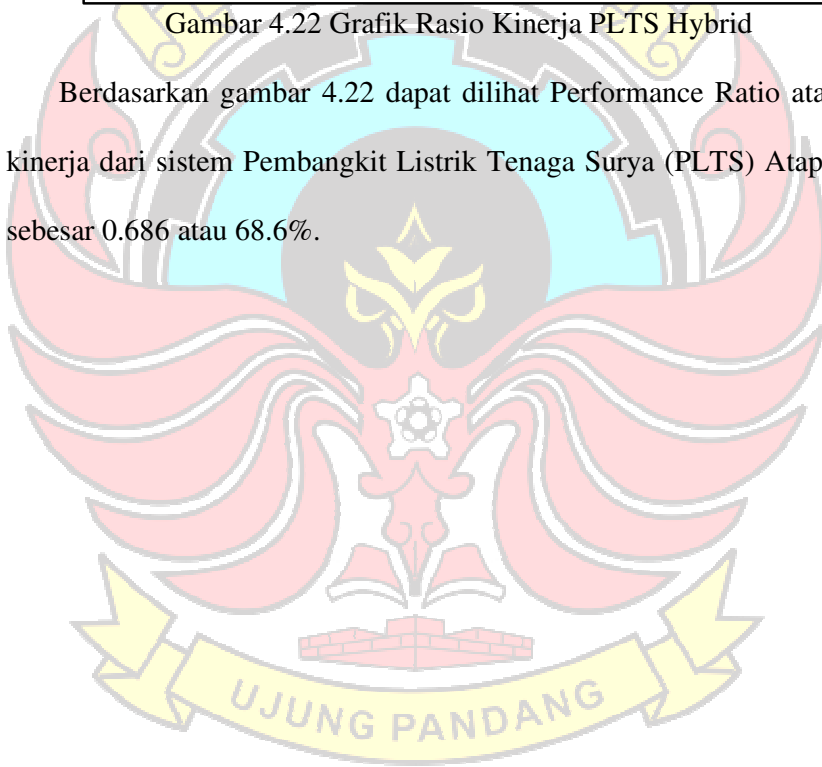


Gambar 4.21 Loss Diagram PLTS Hybrid



Gambar 4.22 Grafik Rasio Kinerja PLTS Hybrid

Berdasarkan gambar 4.22 dapat dilihat Performance Ratio atau rasio kinerja dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap adalah sebesar 0.686 atau 68.6%.



### 3) Biaya Sistem (*Cost of System*)

Cost of the system			
<b>Installation costs</b>			
Item	Quantity units	Cost IDR	Total IDR
PV modules			
CS6W-550MS 1500V	27	3,200,000.00	86,400,000.00
Supports for modules	27	163,555.56	4,416,000.00
Inverters			
Powmr 16.500	1	47,457,000.00	47,457,000.00
Batteries	10	14,995,255.00	149,952,550.00
Other components			
Accessories, fasteners	144	70,639.00	10,172,016.00
Wiring	84	29,095.00	2,443,980.00
Combiner box	1	250,000.00	250,000.00
Installation			
Transport	2	300,000.00	600,000.00
Settings	4	500,000.00	2,000,000.00
		Total	303,691,546.00
		Depreciable asset	298,397,566.00
<b>Operating costs</b>			
Item			Total IDR/year
Maintenance			
Provision for inverter replacement			4,745,700.00
Salaries			1,000,000.00
Repairs			1,000,000.00
Cleaning			160,000.00
Provision for battery replacement			14,995,255.00
Total (OPEX)			21,900,955.00
Including inflation (4.33%)			38,148,337.82
<b>System summary</b>			
Total installation cost		303,691,546.00 IDR	
Operating costs (incl. inflation 4.33%/year)		38,148,337.82 IDR/year	
Produced Energy		20.7 MWh/year	
Cost of produced energy (LCOE)		3,047.958 IDR/kWh	

Gambar 4.23 Biaya Sistem

Pada Gambar 4.23 merupakan *cost of system* atau Biaya dari sistem PLTS yang dirancang. Sesuai dengan harga setiap komponen yang dibutuhkan tersebut dapat diperkirakan investasi awal pada penelitian ini yaitu Rp 303.691.546 dan Biaya dari Operasi sistem yaitu Rp. 21.900.955

#### 4) Financial Analysis

Financial analysis				
<b>Simulation period</b>				
Project lifetime	25 years	Start year	2023	
<b>Income variation over time</b>				
Inflation			4.33 %/year	
Production variation (aging)			0.00 %/year	
Discount rate			9.27 %/year	
<b>Income dependent expenses</b>				
Income tax rate			0.00 %/year	
Other income tax			0.00 %/year	
Dividends			0.00 %/year	
<b>Depreciable assets</b>				
Asset	Depreciation method	Depreciation period (years)	Salvage value (IDR)	Depreciable (IDR)
PV modules				
CSGW-550MS 1500V	Straight-line	25	0.00	86,400,000.00
Supports for modules	Straight-line	25	0.00	4,416,000.00
Inverters				
Powmr 16.500	Straight-line	25	0.00	47,457,000.00
Batteries	Straight-line	25	0.00	149,952,550.00
Accessories, fasteners	Straight-line	20	0.00	10,172,016.00
		Total	0.00	298,397,566.00
<b>Financing</b>				
Own funds	303,691,546.00 IDR			
<b>Electricity sale</b>				
Feed-in tariff			1,444.7000 IDR/kWh	
Duration of tariff warranty			20 years	
Annual connection tax			0.00 IDR/kWh	
Annual tariff variation			+10.0 %/year	
Feed-in tariff decrease after warranty			0.00 %	
<b>Self-consumption</b>				
Consumption tariff			1,444.7000 IDR/kWh	
Tariff evolution			+10.0 %/year	
<b>Return on investment</b>				
Payback period			19.4 years	
Net present value (NPV)			135,815,444.67 IDR	
Internal rate of return (IRR)			12.07 %	
Return on investment (ROI)			44.7 %	

Gambar 4.24 Financial Analysis

Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 4.24 menunjukkan *project lifetime* ini yaitu 25 tahun yang dimulai dari tahun 2023. Sumber dana yang didapatkan diasumsikan dari dana pribadi (PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia) yaitu sebesar Rp 303.691.546. dengan investasi awal tersebut maka diperoleh *Payback period* yaitu 19.4 tahun, *Net Present Value* (NPV) yaitu Rp.135.815.444,67, *Internal Rate Of Return* (IRR) 12.07%, *Return On Investment* (ROI) 44.7%.

5) Detail Economic Result

Financial analysis										
Detailed economic results (IDR)										
Year	Electricity sale	Own funds	Run. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Taxes	After-tax profit	Self-cons. saving	Cumul. profit	% amorti.
0	0	303,691,546	0	0	0	0	0	0	-303,691,546	0.0%
1	0	0	21,900,955	12,037,623	0	0	-21,900,955	29,962,311	-296,314,081	2.4%
2	0	0	22,849,266	12,037,623	0	0	-22,849,266	32,998,542	-287,847,304	5.2%
3	0	0	23,838,640	12,037,623	0	0	-23,838,640	36,254,396	-278,330,956	8.4%
4	0	0	24,870,853	12,037,623	0	0	-24,870,853	39,879,835	-267,802,917	11.8%
5	0	0	25,947,761	12,037,623	0	0	-25,947,761	43,867,819	-256,299,292	15.6%
6	0	0	27,071,299	12,037,623	0	0	-27,071,299	48,254,601	-243,854,490	19.7%
7	0	0	28,243,486	12,037,623	0	0	-28,243,486	53,080,061	-230,501,297	24.1%
8	0	0	29,466,429	12,037,623	0	0	-29,466,429	58,388,067	-216,270,955	28.8%
9	0	0	30,742,325	12,037,623	0	0	-30,742,325	64,226,874	-201,193,225	33.8%
10	0	0	32,073,468	12,037,623	0	0	-32,073,468	70,649,561	-185,296,458	39.0%
11	0	0	33,462,249	12,037,623	0	0	-33,462,249	77,714,517	-168,607,656	44.5%
12	0	0	34,911,164	12,037,623	0	0	-34,911,164	85,486,969	-151,152,534	50.2%
13	0	0	36,422,818	12,037,623	0	0	-36,422,818	94,034,566	-132,955,576	56.2%
14	0	0	37,999,926	12,037,623	0	0	-37,999,926	103,438,022	-114,040,092	62.4%
15	0	0	39,645,323	12,037,623	0	0	-39,645,323	113,781,824	-94,428,270	68.9%
16	0	0	41,361,965	12,037,623	0	0	-41,361,965	125,160,007	-74,141,226	75.6%
17	0	0	43,152,938	12,037,623	0	0	-43,152,938	137,676,007	-53,199,051	82.5%
18	0	0	45,021,460	12,037,623	0	0	-45,021,460	151,443,608	-31,620,860	89.6%
19	0	0	46,970,890	12,037,623	0	0	-46,970,890	166,587,969	-9,424,831	96.9%
20	0	0	49,004,729	12,037,623	0	0	-49,004,729	183,246,766	13,371,748	104.4%
21	0	0	51,126,634	11,529,022	0	0	-51,126,634	201,571,443	36,752,442	112.1%
22	0	0	53,340,417	11,529,022	0	0	-53,340,417	221,728,587	60,701,632	120.0%
23	0	0	55,650,057	11,529,022	0	0	-55,650,057	243,901,445	85,204,476	128.1%
24	0	0	58,059,705	11,529,022	0	0	-58,059,705	268,291,590	110,246,876	136.3%
25	0	0	60,573,690	11,529,022	0	0	-60,573,690	295,120,749	135,815,445	144.7%
Total	0	303,691,546	953,708,445	298,397,566	0	0	-953,708,445	2,946,705,134	135,815,445	144.7%

Gambar 4.25 Detail Economic Result

Pada Tabel 4.25 Menunjukkan hasil detail ekonomi dari perencanaan PLTS ini dimana payback period dari perencanaan ini adalah 19.4 tahun dimana periode pengembalian investasi ini yaitu pada tahun 2043.

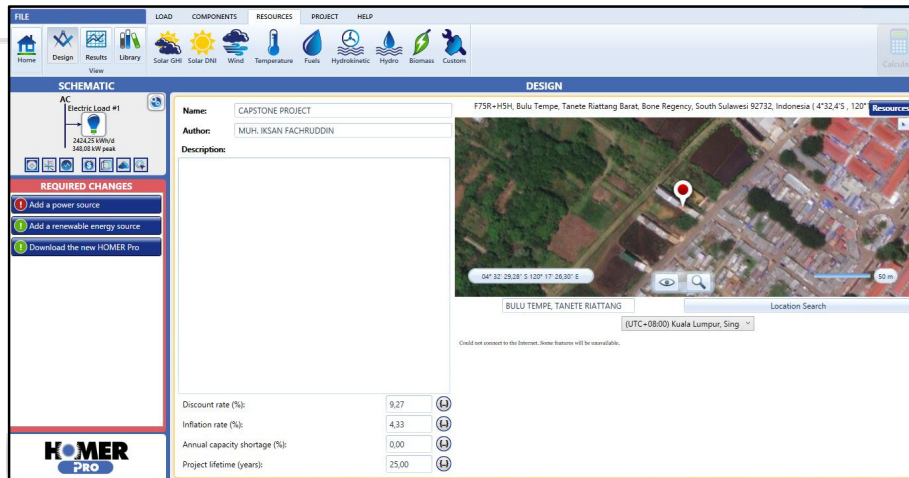
4.9 Analisis Perencanaan Menggunakan Software HOMER Pro

4.9.1 Simulasi PLTS pada HOMER PRO

1.) Menu Utama HOMER PRO

Pada menu utama dari software HOMER PRO, terdapat tabel nama proyek, nama penulis atau orang yang melakukan perencanaan, dan kolom deskripsi untuk mendeskripsikan lebih detail tentang proyek yang akan dikerjakan. Kemudian di bagian bawahnya terdapat 4 parameter ekonomi

yang disediakan, yaitu Discount rate (%): Interest rate (tingkat bunga), Inflation rate (%), Annual capacity shortage (%), dan Project lifetime (years). Kemudian di sebelah kanan terdapat kolom yang digunakan untuk menetapkan lokasi proyek perencanaan.



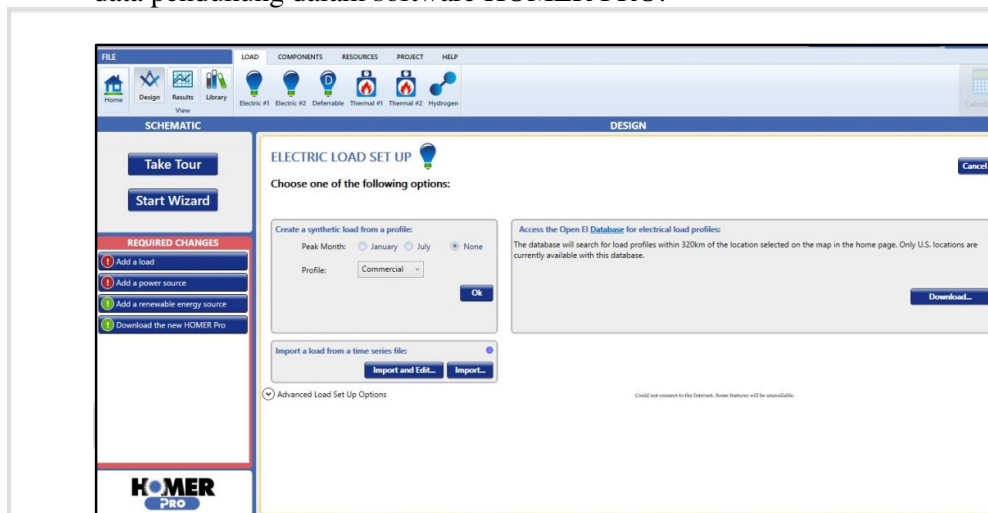
Gambar 4.26 Menu Utama HOMER PRO

Gambar 4.26 menunjukkan nama proyek yang digunakan adalah Capstone Project dengan nama penulis atau orang yang melakukan perencanaan diisi menggunakan nama penulis. Kolom deskripsi dikosongkan. Lokasi perencanaan dapat di input pada kolom pencarian lokasi, kemudian lokasi dapat ditampilkan beserta dengan koordinatnya, yaitu 05°49'44.55"S 119°19'11.15"E. Alamat yang ditampilkan yaitu Kelurahan Bulu Tempe, Kecamatan Tanete Riattang Barat, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Terdapat 3 parameter ekonomi yang ditetapkan, yaitu Discount rate = 9,27 (%), inflation rate = 4,33(%), dan Project lifetime = 25 (years).



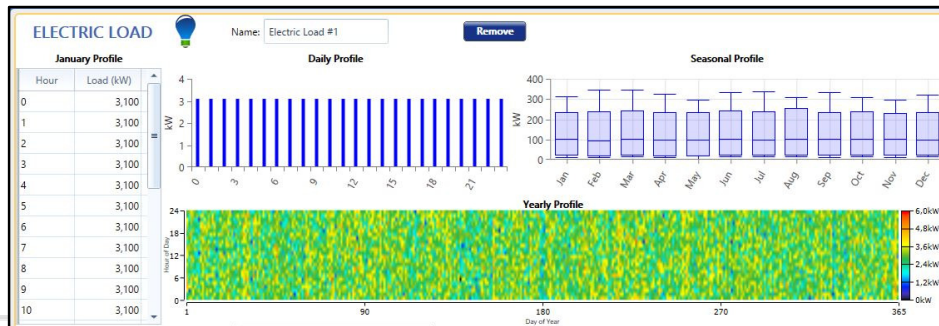
## 2.) Electric Load Setting

Kebutuhan beban merupakan parameter yang penting dalam melakukan suatu perencanaan pada software HOMER PRO. Pada bagian tabel beban, data beban harian yang telah diperoleh dimasukkan sebagai data pendukung dalam software HOMER PRO.



Gambar 4.27 Menu Profil Beban

Gambar 4.27 menunjukkan profil beban yang akan digunakan pada perencanaan ini yaitu Commercial. Berdasarkan beban listrik yang telah ditentukan sebelumnya, diperoleh asumsi pemakaian beban listrik per jamnya yang menjadi untuk masukan pada HOMER seperti pada Gambar 4.28.

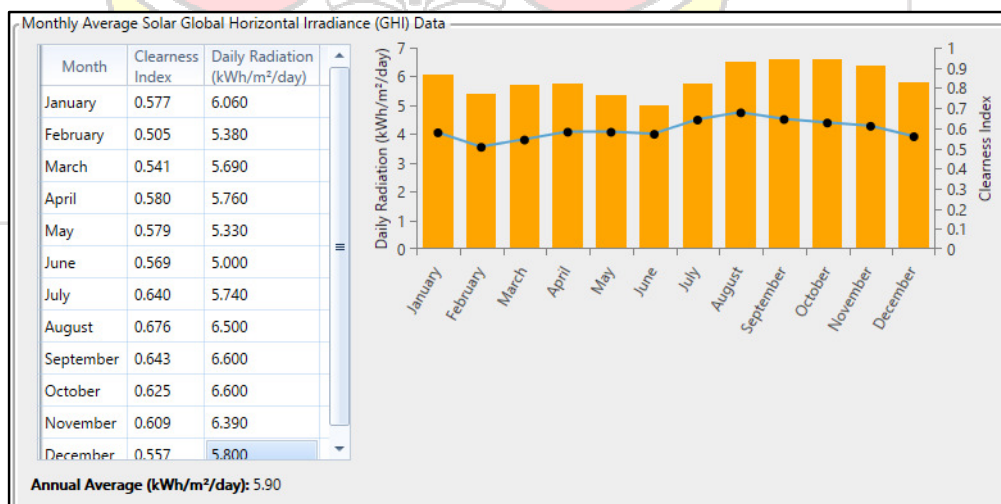


Gambar 4.28 Beban Listrik Per Jam Selama 24 Jam

Pada menu parameter ini, terdapat beberapa grafik yang menampilkan *Daily Profile*, *Seasonal Profile*, dan *Yearly Profile*. Berdasarkan Gambar 4.3 data beban harian yang diperoleh, HOMER PRO melakukan simulasi penggunaan beban harian pada pukul 00.00-23.00 dengan rata-rata konsumsi daya setiap harinya adalah sebesar 74,40 kWh/day.

### 3.) Data Parameter Radiasi Matahari dan Suhu Udara

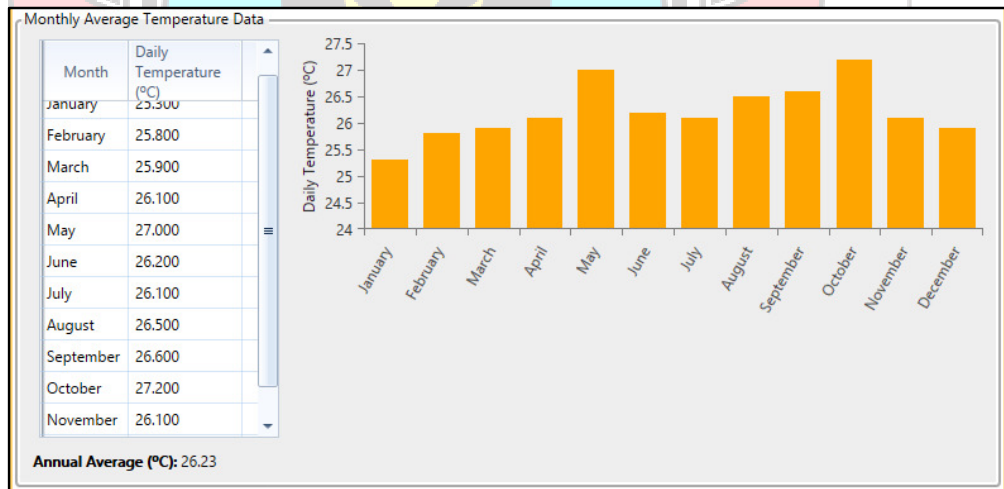
Berdasarkan data radiasi matahari dan suhu udara yang didapatkan pada software PVsyst (Meteonorm 8.1, 2016-2021), maka parameter untuk radiasi matahari dan suhu udara ditambahkan pada kolom bagian resources.



Gambar 4.29 Input Data Radiasi Matahari

Pada menu Solar GHI Resources, terdapat dua pilihan sumber data yaitu dapat dilakukan dengan input data secara manual atau input data dari jaringan internet. Di bagian kiri, terdapat tabel rata-rata radiasi matahari dan tingkat kejernihan udara setiap bulan dalam jangka waktu 1 tahun yang dapat diinput.

Gambar 4.29 menunjukkan bahwa rata-rata radiasi matahari di Pasar Palakka, Kel. Bulu Tempe, Kec. Tanete Riattang Barat, Kab. Bone setiap tahunnya adalah 5,90 kWh/m<sup>2</sup>/day. Kemudian di bagian kanan, terdapat grafik kurva dari radiasi matahari dalam periode 1 tahun. Terlihat bahwa data radiasi matahari tertinggi berada pada bulan September dan Oktober.



Gambar 4.30 Input Data Suhu Udara

Pada menu *Temperature Resources*, dapat dilakukan input data secara manual atau menggunakan data dari jaringan internet. Pada bagian kiri, terdapat tabel suhu udara rata-rata dalam satu bulan dalam periode waktu 1 tahun.

Gambar 4.30 menunjukkan bahwa rata-rata suhu udara di Desa Bulu Tempe (Pasar Palakka Bone) dalam 1 tahun adalah 26,23°C. Kemudian pada bagian kanan, terdapat grafik kurva suhu matahari dalam periode 1 tahun. Terlihat bahwa suhu udara tertinggi terjadi pada bulan Oktober.

#### 4.) Menu *Economics*

Parameter ekonomi yang digunakan dalam perencanaan ini terdiri dari tingkat diskonto nominal (%), masa pakai proyek (tahun), biaya sistem diluar biaya komponen utama, dan biaya operation & maintenance, dengan mata uang dalam bentuk Indonesia Rupiah (Rp).

Parameter	Value
Nominal discount rate (%)	9.27
Expected inflation rate (%)	4.33
Project lifetime (years)	25.00
System fixed capital cost (Rp)	19,882,000
System fixed O&M cost (Rp/yr)	198,820.00
Capacity shortage penalty (Rp/kWh)	0.00
Currency	Indonesian Rupiah (Rp)
Real discount rate (%)	4.73

Gambar 4.31 Menu *Economics*

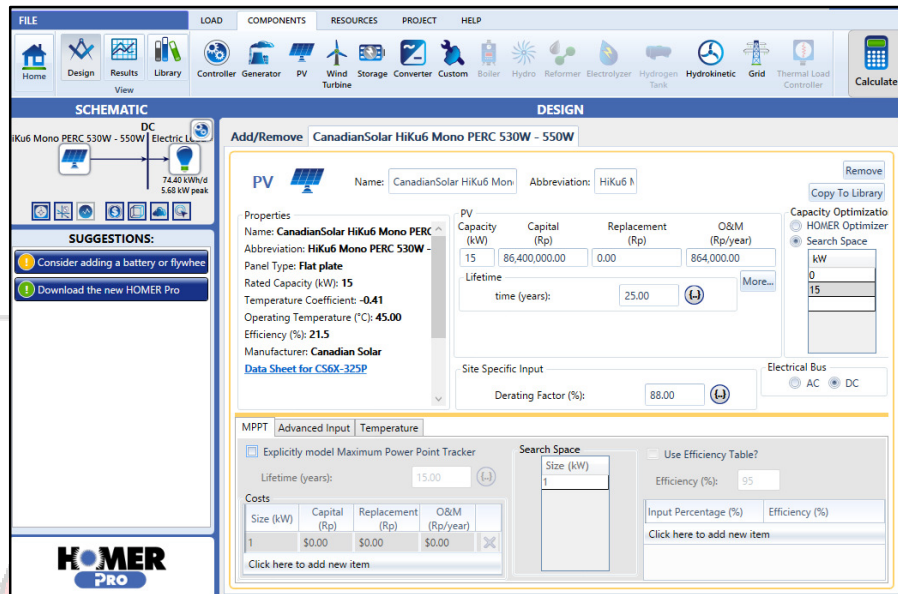
Gambar 4.31 menunjukkan terdapat 4 parameter yang ditetapkan terdiri dari tingkat diskonto nominal = 9,27 (%), tingkat inflasi = 4,33 (%), masa pakai proyek 25 (tahun), Adapun system fixed capital cost (biaya investasi) sebesar Rp. 19.882.000, dimana biaya ini mencakup biaya komponen sistem penyangga, komponen proteksi, pengkabelan dan

instalasi. Selanjutnya yaitu system fixed O&M cost (Biaya Operasional dan pemeliharaan) sebesar Rp. 198.820 yang diperhitungkan 1% dari total biaya investasi awal.

#### 5.) Komponen Sistem PLTS

##### a. *Photovoltaic* (PV)

Gambar 4.32 merupakan jendela yang berfungsi untuk mengatur panel surya yang akan digunakan baik dari sisi kelistrikan dan keekonomiannya dalam perencanaan pembangkit. Panel surya merupakan komponen utama dalam sistem PLTS. Besar kecilnya suatu kapasitas panel surya dipengaruhi oleh kapasitas beban yang akan dipenuhi. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada Subbab 4.4, dengan total kapasitas panel surya yang akan dibangkitkan adalah sebesar 15 kW dan jumlah panel surya yang dirancang adalah sebanyak 27 unit.



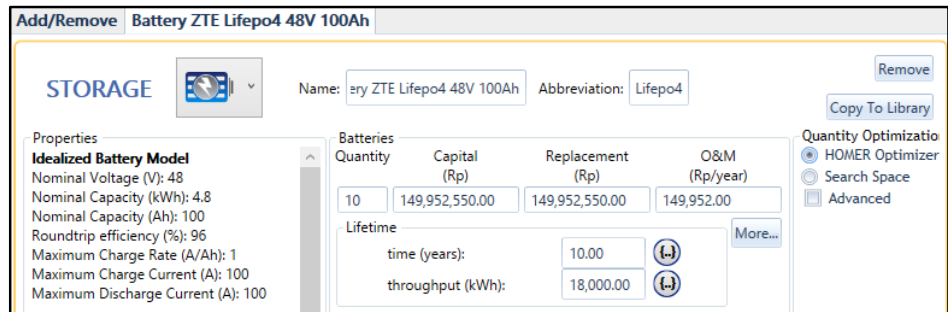
Gambar 4.32 Menu Input Solar Panel

Gambar 4.32 menunjukkan total kapasitas panel surya yang digunakan yaitu 15 kW dengan umur panel yaitu 25 tahun. Kemudian biaya investasi berdasarkan data yang diperoleh di-input senilai  $27 \times \text{Rp } 3.200.000 = \text{Rp } 86.400.000$  dan biaya operation & maintenance per tahun yaitu 1% dari capital cost PV yaitu sebesar Rp 864.000.

b. Baterai

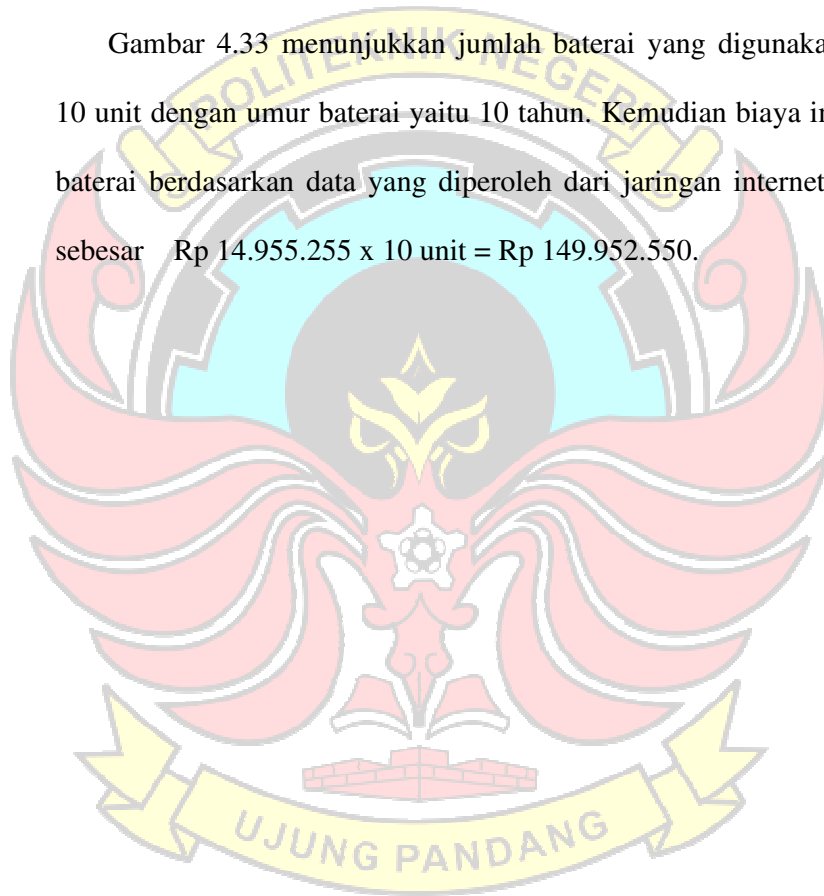
Pada perencanaan sistem tenaga surya, penggunaan baterai ditentukan berdasarkan jumlah kebutuhan energi listrik yang akan disuplai pada malam hari. Sesuai dengan perhitungan sebelumnya baterai yang digunakan yaitu baterai dengan kapasitas 100 Ah 48V.

Baterai yang digunakan dalam perencanaan ini adalah jenis ZTE Lifepo4.



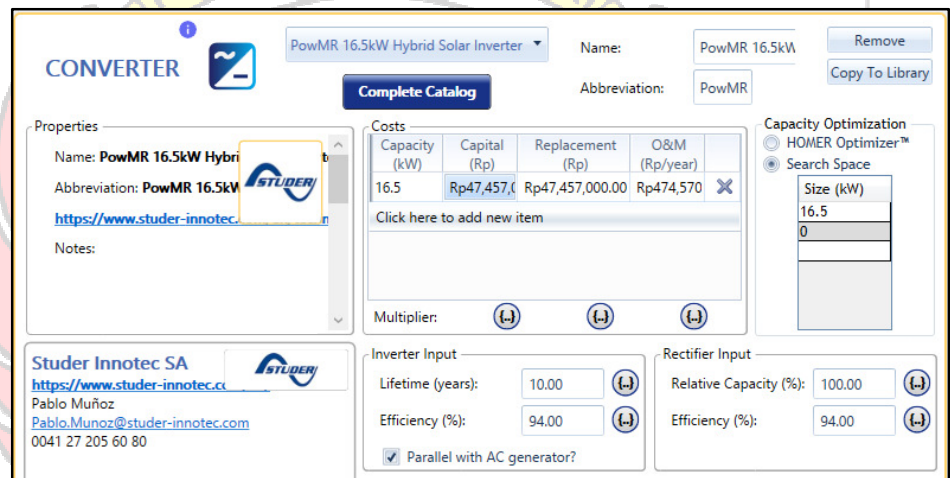
Gambar 4.33 Menu Input Baterai

Gambar 4.33 menunjukkan jumlah baterai yang digunakan yaitu 10 unit dengan umur baterai yaitu 10 tahun. Kemudian biaya investasi baterai berdasarkan data yang diperoleh dari jaringan internet adalah sebesar  $\text{Rp } 14.955.255 \times 10 \text{ unit} = \text{Rp } 149.952.550$ .



c. Inverter

Pada perencanaan sistem tenaga surya, penggunaan inverter ditentukan berdasarkan kapasitas yang sama dengan daya yang dibangkitkan oleh panel surya. Inverter yang digunakan dalam perencanaan ini adalah inverter hybrid dengan kapasitas yaitu 16.5 kW. Inverter yang digunakan dalam perencanaan ini adalah tipe PowMr 16.5 kW Hybrid Solar Inverter 48V.



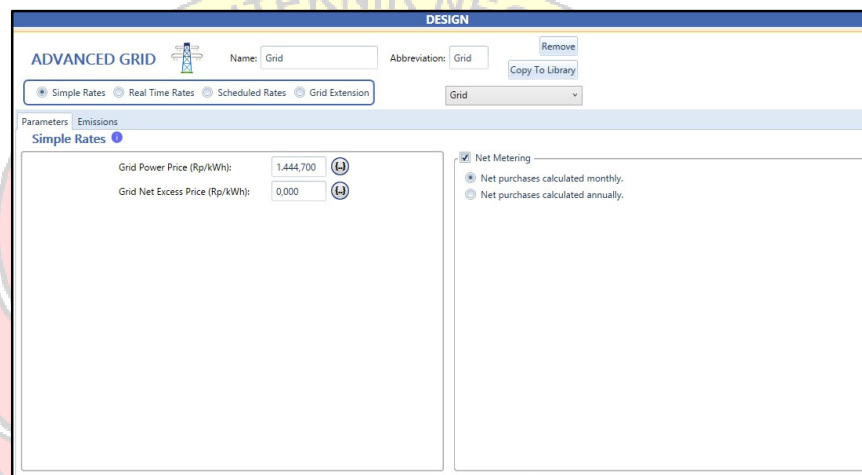
Gambar 4.34 Menu Input Inverter

Gambar 4.34 menunjukkan total kapasitas inverter hybrid yang digunakan yaitu 16.5 kW dengan umur inverter yaitu 10 tahun. Kemudian biaya investasi inverter berdasarkan data yang diperoleh dari toko online adalah sebesar Rp 47.457.000, harga penggantian inverter selama umur proyek diisi sesuai nilai investasi awal dan biaya operation & maintenance per tahun yaitu 1% dari capital cost inverter yaitu sebesar Rp 474.570.



#### d. Grid

Grid (jaringan listrik) merupakan salah satu aspek penting dalam perhitungan simulasi perencanaan ini, karena jenis sistem PLTS yang ditetapkan adalah hybrid. Jenis PLTS ini memiliki keuntungan pada sistem jual- beli nya sehingga dapat menekan nilai investasinya di masa yang akan datang.

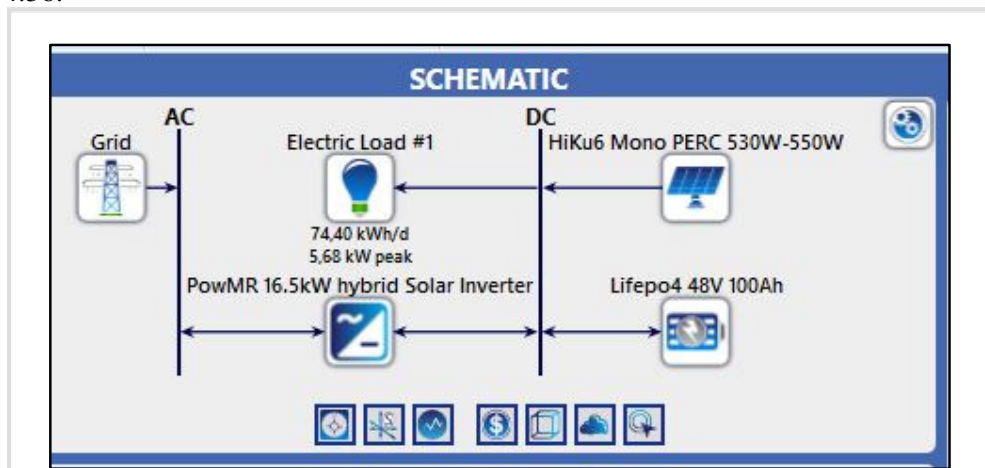


Gambar 4.35 Menu Input Grid

Pengaturan sistem jaringan yang akan digunakan pada perencanaan pembangkit ini menggunakan jaringan PLN dikarenakan perencanaan ini menggunakan dua sumber tenaga listrik salah satunya diambil dari jaringan PLN. Untuk harga beli energi listrik dari jaringan PLN sebesar Rp 1.444,70 per kWh-nya di tunjukkan pada Lampiran 9, sedangkan untuk harga jual kembali ke jaringan PLN sebesar Rp 0 per kWh-nya, artinya energi listrik yang dihasilkan PLTS digunakan sepenuhnya untuk menyuplai beban pada rumah tinggal tersebut.

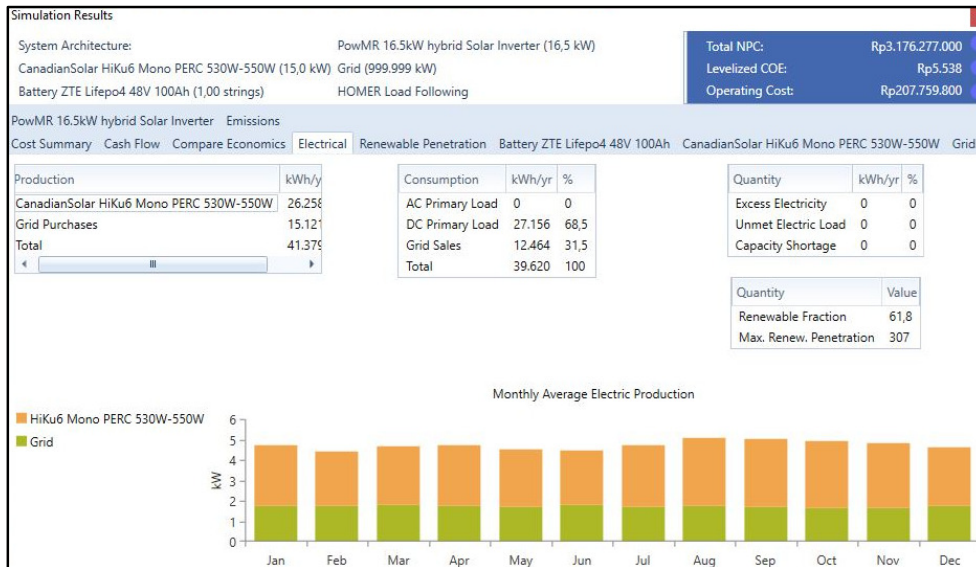
#### 4.9.2 Hasil Simulasi HOMER PRO

Laporan dibawah ini merupakan hasil simulasi PLTS pada software HOMER PRO dengan parameter-parameter yang telah diinput sebelumnya. HOMER PRO menampilkan skematik sistem PLTS yang dirancang, seperti terlihat pada Gambar 4.36.



Gambar 4.36 Skematik Sistem PLTS Hybrid

Skema pada rancangan perencanaan PLTS tersusun dari komponen utama dari sistem perencanaan untuk pembangkit listrik pada PLTS Hybrid Tower BTS Rooftop Pasar Palakka Kab. Bone adalah Panel Surya, Baterai, Inverter, dan Grid, sedangkan komponen pendukungnya yaitu AC DC Bus.



Gambar 4.37 Hasil Simulasi *Electrical*

Dari simulasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa pasokan listrik yang dihasilkan oleh PV sebesar 26.258 kWh per tahun sedangkan energi listrik yang dibeli dari grid yaitu 15.121 kWh per tahun. Total energi yang dihasilkan dari sistem hybrid berjumlah 41.379 kWh per tahun.

**RESULTS**

Sensitivity Cases

Architecture	Grid (kW)	PowMR 16.5kW hybrid Solar Inverter (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (Rp)	
HiKu6 Mono PERC 530W-550W (kW)	Lifepo4 48V 100Ah	Grid (kW)	Dispatch	CC	Rp5.305	Rp3.158	Rp207M	Rp154M	59,4	0	86.400,0

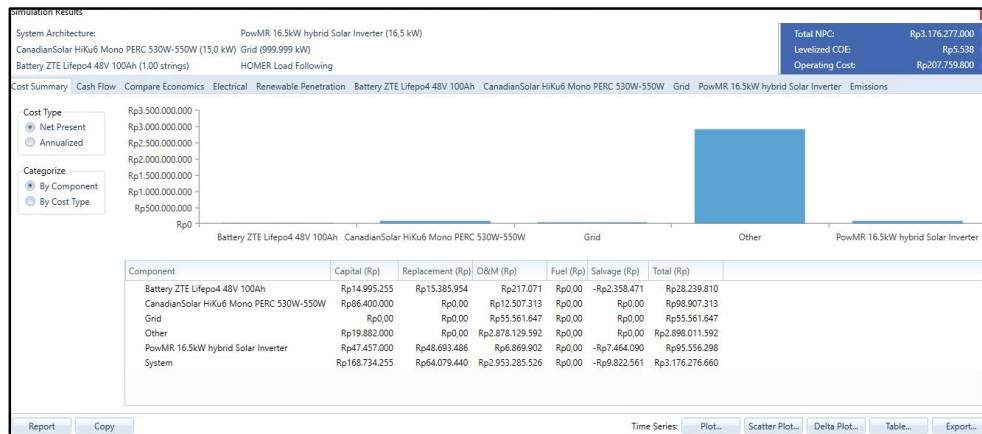
Optimization Results

Architecture	Grid (kW)	PowMR 16.5kW hybrid Solar Inverter (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (Rp)	
HiKu6 Mono PERC 530W-550W (kW)	Lifepo4 48V 100Ah	Grid (kW)	Dispatch	CC	Rp5.305	Rp3.158	Rp207M	Rp154M	59,4	0	86.400,0
15,0	1	999.999	16,5	LF	Rp5.538	Rp3.188	Rp208M	Rp169M	61,8	0	86.400,0
15,0	1	999.999	16,5	CC	Rp9.152	Rp3.608	Rp244M	Rp67.3M	0	0	
15,0	1	999.999	16,5	LF	Rp9.224	Rp3.638	Rp245M	Rp82.3M	0	0	

Gambar 4.38 Hasil Simulasi

Gambar 4.38 menunjukkan empat hasil konfigurasi terbaik, yang di diperoleh hasil simulasi paling optimal untuk konfigurasi sistem PLTS yaitu dengan, Solar

Panel HiKu6 Mono PERC 530W-550W dengan kapasitas 15 kW, Baterai 10 unit, dan Inverter 1 buah dengan kapasitas 16.5 kW dan daya Grid sebesar 999.999 kW.



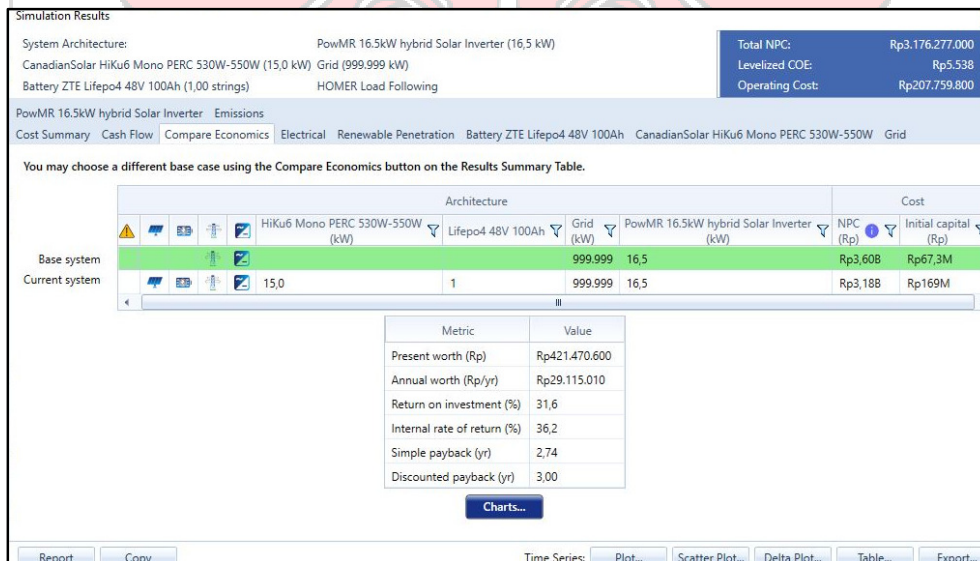
Gambar 4.39 Detail Simulasi dan Optimasi HOMER PRO

Gambar 4.39 menunjukkan cost summary yang ditampilkan berdasarkan kategori Net Present. Menu cost summary menampilkan tabel jumlah pengeluaran (capital) pada awal instalasi PLTS sebesar Rp 168.734.255, biaya operasional dan pemeliharaan sebesar Rp 2.953.285.526, jumlah biaya penggantian sebesar Rp 64.079.440, dan total keseluruhan biaya selama umur proyek (NPC) sebesar Rp 3.176.276.660.



Gambar 4.40 Grafik Software HOMER PRO

Gambar 4.40 menunjukkan cash flow berdasarkan jumlah pengeluaran (capital) pada awal instalasi PLTS, biaya operasional dan pemeliharaan tiap tahun, dan jumlah biaya pergantian pada tahun ke-10 dalam bentuk grafik.



Gambar 4.41 Hasil Simulasi *Compare Economic*

Gambar 4.41 menunjukkan Present worth adalah selisih dari nilai NPC base system dan nilai NPC dari sistem PLTS Hybrid pada PLTS Tower BTS Rooftop Pasar Palakka Kab. Bone. Terlihat bahwa nilai *Return On Investment* 31,6%, *Internal Rate Of Return* 36,2%, *Simple Payback* 2,74 dan *Discounted Payback* 3.00 Sehingga proyek ini layak untuk dilaksanakan menurut perhitungan dari simulasi Homer Pro.

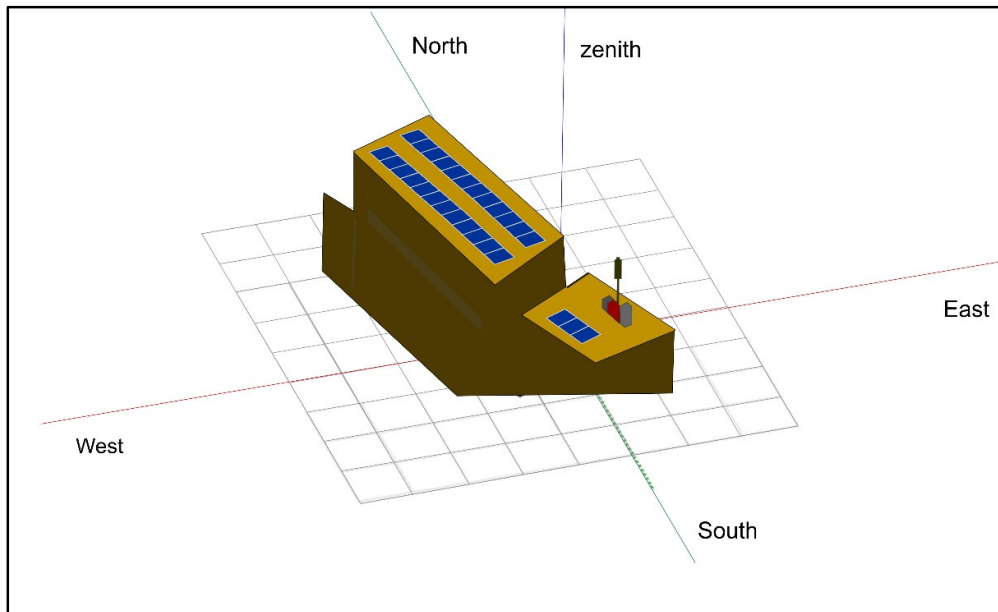
#### 4.10 Perbandingan Analisis Kelayakan Ekonomi PLTS

Tabel 4.13 Perbandingan Analisis Ekonomi PLTS

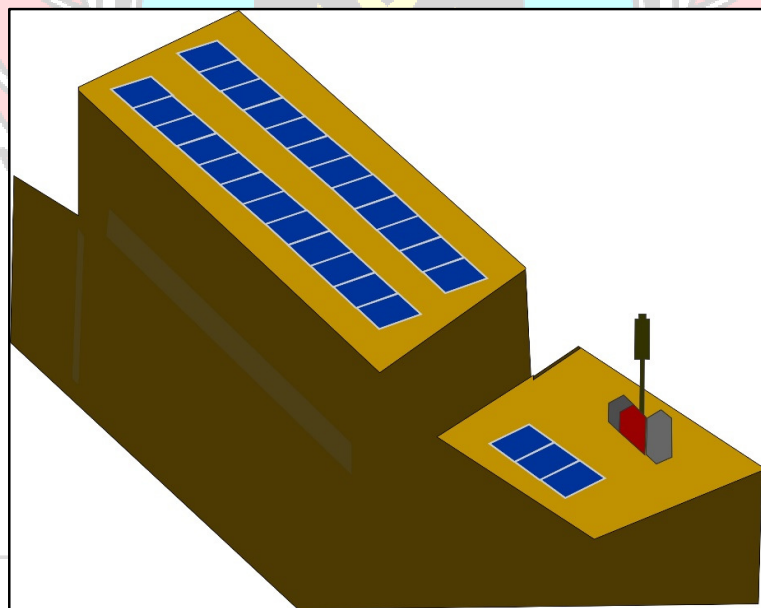
Variabel Perbandingan	Perhitungan	PVsyst 7.3	Homer Pro
<i>Cost of Energy(kWh)</i>	Rp 1.512	Rp 3.047	Rp 5.538
<i>Net Present Value (NPV)</i>	Rp 62.148.591	Rp 135.816.021	Rp 421.470.600
<i>Payback Period (year)</i>	3 Tahun 11 Bulan	19 Tahun 4 Bulan	3 Tahun
<i>Internal Rate Return (IRR)</i>	11.62%	12.07%	36.2%

Berdasarkan hasil perhitungan, dan simulasi maka, diperoleh perbandingan seperti pada tabel 4.13 antara *Cost of Energy (COE)*, *Net Present Value (NPV)*, *Discount Payback Period (DPP)* dan *Internal Rate Return (IRR)*.

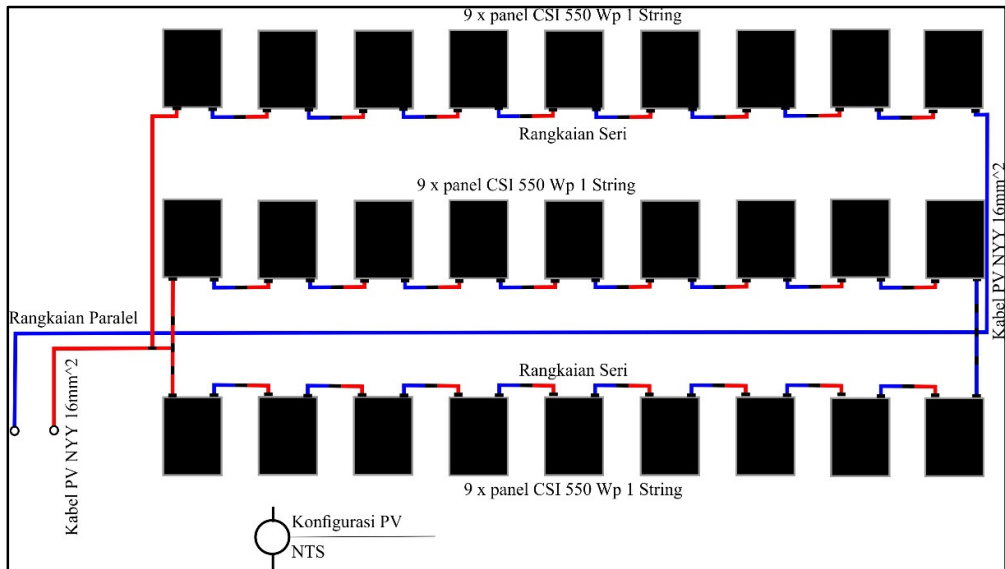
#### 4.11 Desain PLTS



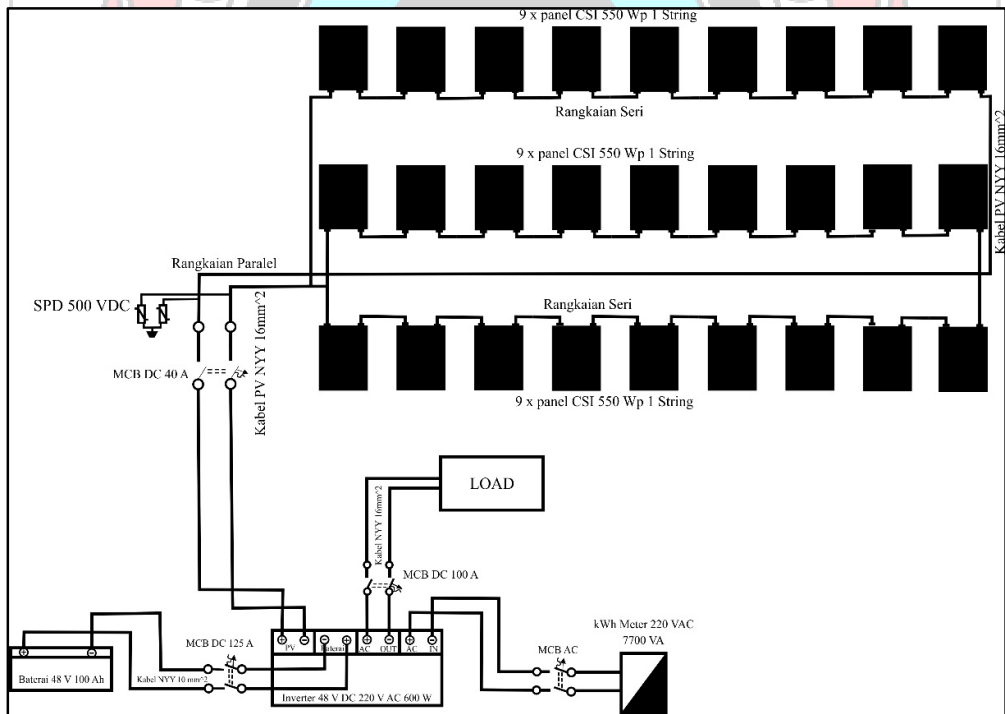
Gambar 4.42 2D Scene Near Shading Lokasi Tower BTS di PVSyst 7.3



Gambar 4.43 Penempatan 27 Panel di Atas Atap



Gambar 4.44 Konfigurasi PV



Gambar 4.45 Wiring Diagram PLTS Hybrid



#### 4.12 Manajemen Resiko (*Risk Management*)

Dalam proyek ini terdapat beberapa resiko yang memberikan dampak besar dan frekuensi terjadinya tinggi. Selain mengidentifikasi resiko yang dapat terjadi dilakukan pula kegiatan dalam hal mencegah ataupun menahan potensi resiko tersebut agar tidak memberikan dampak yang besar terhadap kelangsungan proyek ini, hal ini dapat dilihat pada tabel 4.14 berikut ini.

Tabel 4.14 Manajemen Resiko

No	Risk Description	Assessment before measure			Actions (Multiple Possible)	Assessment after measure		
		P	S	P. S		P	S	P. S
1	Kegagalan sistem	4	3	12	Kesalahan dalam pemasangan harus diperhatikan	3	1	3
2	Teknisi yang belum terlalu kompeten sehingga memerlukan teknisi luar ketika terdapat permasalahan yang lebih kompleks	3	4	12	Mempekerjakan teknisi dan operator berpengalaman dan memberikan Pembekalan kepada SDM setempat dalam Mengontrol Sistem PLTS.	3	1	3
3	Seluruh komponen pendukung berpotensi terkena air di saat turun hujan, sehingga terjadi konsleting listrik dan merusak komponen	5	3	15	Membuat sebuah pusat penyaluran energi yang tertutup dan aman	3	1	3
4	Hujan				Kelemahan sistem PLTS adalah cuaca, dimana jika cuaca sedang mendung dan hujan maka produksi			

	menyebabkan target pemenuhan energi tidak tercapai	5	4	20	dari PLTS akan berkurang sehingga tidak dapat memenuhi target. Oleh karena itu hal yang perlu dilakukan yaitu menyalurkan energi listrik dari baterai ke beban maupun membackup beban oleh PLN	4	2	8
5	Terjatuh dari ketinggian	3	2	6	Memastikan peralatan yang digunakan sesuai standar dan SOP tersedia dan dilaksanakan dengan baik	2	1	2
6	Tersengat listrik	3	3	9	Dipastikan untuk semua peralatan telah sesuai dengan standar, pekerja telah mengetahui dan telah memiliki sertifikasi	3	2	6
7	Berpotensi terjadinya kehilangan komponen karena dicuri	3	4	12	Melakukan Program dan Jadwal untuk menjaga keamanan	2	1	2

Assessment Scale	Probability Of Occurrence	Scope Of Consequences (Damage)	Kemungkinan Terjadi	Lingkup Kerusakan
1	Not probable at all	Declinable	Tidak mungkin sama sekali	Dapat dihindari
2	Not probable	Low	Tidak mungkin	Rendah
3	Possible	Medium	Mungkin	Sedang
4	Probable	High	Mungkin	Tinggi
5	Certain	Very high	Yakin	Sangat tinggi

### 4.13 Manajemen Stakeholder

Tabel 4.15 Manajemen Stakeholder

Pemangku Kepentingan	Pengaruh Kepentingan	Level	Kekuasaan, pengaruh dan wewenang	Level	Reaksi yang diharapkan pada proyek	Evaluasi	Tindakan
PLN	Distributor dan pengelola listrik	3	Badan usaha negara yang bergerak di bidang pembangkit, transmisi dan distribusi kelistrikan negara	3	Proyek berjalan dengan baik, lancar dan dapat mensejahterakan serta bermanfaat bagi masyarakat sekitar	+	Mendukung pemerintah daerah/desa dalam mengembangkan kapasitas / pemahaman masyarakat tentang sistem PLTS manfaat kelistrikan, mekanisme pembayaran, dan keberlanjutan proyek
			Bertanggung jawab dalam melaporkan isu-isu atau kendala yang terjadi di lapangan untuk penanganan lebih lanjut				Melakukan operasi dan pemeliharaan sistem PLTS
PT. Infrastruktur	Konsumen listrik	3	Pengguna akses	1	Sangat positif	+	Kontribusi lahan dan SDM

Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Territory Operation Bone (TO Bone)	dan pemilik lahan		listrik				untuk proyek, jika diperlukan
Mahasiswa	Sebagai agen perubahan dalam pengembangan energi baru dan terbarukan (EBT)	1	Penyebarluasan informasi penerapan dan pemanfaatan energi terbarukan	3	Sangat positif	+	Dapat Menjadikan PLTS sebagai tempat penerapan ilmu dan praktek kerja lapangan
Politeknik Negeri Ujung Pandang	Lembaga pendidikan tinggi yang menyelenggarakan pendidikan	3	Memfasilitasi pengembangan mahasiswa dalam penerapan dan pemanfaatan energi terbarukan	3	Sangat Positif	+	Mengoptimalkan tridharma pendidikan tinggi untuk mendukung pengembangan energi baru terbarukan

<b>Dukungan</b>	3	PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Teritory Operation Bone (TO Bone)		PLN (+) Politeknik Negeri Ujung Pandang (+)
	2			
	1			Mahasiswa (+)
		1	2	3
<b>Pengaruh</b>				



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari Perencanaan PLTS di *rooftop* tower BTS Pasar Palakka Kab. Bone dengan sistem *Hybrid* menggunakan *software* PVsyst dan Homer Pro dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada perencanaan PLTS di *rooftop* tower BTS Pasar Palakka Kab. Bone dengan sistem *Hybrid* menggunakan *software* PVsyst dan Homer Pro dengan menyesuaikan kebutuhan beban pada *site* di atap bangunan kantor PT. PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Territory Operation Bone (TO Bone), dimana potensi radiasi matahari sebesar 5.91 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan energi sebesar 74472 Wh/day, dan PV module yang digunakan yaitu jenis *Monocrystalline* model CanadianSolar HiKu Mono PERC 530-550W sebanyak 27 modul, 9 modul terpasang seri dengan 3 string yang terhubung secara seri paralel yang diinput ke dalam *software* PVsyst dan Homer Pro. Adapun Baterai yang dibutuhkan pada perencanaan ini menggunakan jenis Lithium-ion dengan merek “ZTE ZXDC48 FB101”. Baterai yang digunakan sebanyak 10 unit menggunakan kapasitas 48 V 100 Ah, inverter menggunakan merek Powmr 16.5 kW Hybrid Inverter.
2. Biaya investasi yang dikeluarkan untuk perencanaan sistem PLTS *rooftop* tower BTS Pasar Palakka Kab. Bone dengan sistem *Hybrid* adalah sebesar Rp 303.691.550. Berdasarkan hasil perhitungan numerik, maka diperoleh biaya energi per tahun sebesar Rp. 1.512/kWh, dan nilai NPV sebesar

Rp.62.148.591, dengan periode pengembalian modal selama 3 tahun 11 bulan dengan nilai *Internal Rate Return* (IRR) adalah 11.62%. Sedangkan berdasarkan hasil simulasi PVsyst 7.3, diperoleh biaya energi per tahun sebesar Rp. 3.047/kWh, dan nilai NPV sebesar Rp.135.816.021, dengan periode pengembalian modal selama 19 tahun 4 bulan, dengan nilai *Internal Rate Return* (IRR) adalah 12.07%. Adapun hasil simulasi Homer Pro, diperoleh biaya energi per tahun sebesar Rp. 5.538/kWh, dan nilai NPV sebesar Rp 421.470.600, dengan periode pengembalian modal selama 3 tahun, dengan nilai *Internal Rate Return* (IRR) adalah 36.2%. Maka Investasi PLTS tersebut dinyatakan Layak untuk diinvestasikan, karena NPV bernilai positif ( $> 0$ ), Periode DPP waktu lebih pendek dari umur proyek (*periode cutoff*), PI ( $1,20 > 1$ ) dan nilai IRR lebih tinggi dari tingkat suku bunga.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian adapun saran yang akan diberikan dalam penelitian selanjutnya terkait perencanaan PLTS rooftop yaitu:

1. Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai pemanfaatan PLTS sebagai sumber energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Sehingga biaya PLTS dapat lebih murah dan masyarakat tertarik untuk mengembangkan serta memanfaatkan listrik yang bersumber dari matahari (PLTS).
2. Operasional dan pemeliharaan serta Pengelolaan PLTS setelah dibangun juga perlu diperhatikan, karena jika tidak sesuai prosedur pengoperasian dan pemeliharaan PLTS maka akan membuat *lifetime* dari PLTS tersebut semakin

kecil dan tentunya berpengaruh ke kesehatan komponen-komponen utama PLTS.





## DAFTAR ISI

- Ab Kadir, M. Z. A., dan Rafeeu, Y. 2010. A review on factors for maximizing solar fraction under wet climate environment in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2243–2248.
- Alkoholish, M. C. 2023. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Dengan Sistem On-Grid Di Cv. Qirana Meubel Jepara (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Sultan Agung).
- Al-Qutub, R.W.A. 2010. “Treatment of Surface Water by Autonomous Solar Powered Membrane Cells”. Palestine: An-Najah National University.
- Anggara, I. W. G. A., Kumara, I. N. S., dan Giriantari, I. A. D. 2014. Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1, 9 Kw Di Universitas Udayana Bukit Jimbaran. *Spektrum*, 1(1), 118-122.
- Builder Future Construction. 2023. Jenis Baterai untuk Listrik Tenaga Surya. (Online) <https://www.builder.id/baterai-panel-surya/>. Diakses Tanggal 23 Mei 2023
- Canadian Solar. (2020, 06 Desember). HiKu Mono PERC. Diakses pada 27 Juli 2023, dari [https://static.csisolar.com/wp-content/uploads/2020/06/21135332/CS-Datasheet-HiKu6\\_CS6W-MS\\_v2.1\\_EN.pdf](https://static.csisolar.com/wp-content/uploads/2020/06/21135332/CS-Datasheet-HiKu6_CS6W-MS_v2.1_EN.pdf)
- Chenni, R., Makhlof, M., Kerbache, T., & Bouzid, A. 2007. A detailed modeling method for photovoltaic cells. *Energy*, 32(9), 1724-1730.
- Dang, M. Q. 2017. Potential of solar energy in Indonesia. *Solar Energy in Indonesia*, 7, 0-26.
- DEN, 2019. Outlook energi indonesia. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>. Diakses pada 17 Juli 2023.
- Fardhan, S. A. 2022. Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Dengan Baterai Dan Terhubung Grid Di Nias, Sumatera Utara.
- Firmansyah. 2023. Desain Sistem Proteksi Dc Box Pada Perancangan Dan Pembangunan PLTS *On-Grid* Dengan Skala 2,1 Mwp Di Pt. X Karawang. *Laporan Tugas Akhir*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Fischbach, J. 2008. Interactive Lucas Nuele Labsoft Renewable Energy Sources- Design and Operating of Photovoltaic Systems Course number SO2800-3A Version 1.0. German : Lucas Nuele GmbH.

- Go Green Solar. 2023. <http://www.gogreensolar.com/products/rolls-surette-6-ks-25ps-6v-1-156ahdeep-cycle-battery>. Situs ini diakses pada 22 Januari 2015
- Hajir, N., Haddin, M., & Suprajitno, A. 2021. *ANALISA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ATAP DENGAN SISTEM HYBRID DI PT KOLONI TIMUR* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Halim Abdul. 2009. Akuntansi Sektor Publik Akuntansi Keuangan Daerah, Edisi Pertama. Jakarta: Salemba Empat
- Handayani, N. A., Diponegoro, U., Ariyanti, D., & Diponegoro, U. 2015. Potency of Solar Energy Applications in Indonesia. April.
- ICAsolar. 2023. <https://tenagasuryadotblog.wordpress.com/2018/06/28/perbedaan-monocrystalline-vs-polycrystalline/>. diakses tanggal 11 Oktober 2023
- ICAsolar. 2023. Menghitung Penghematan Biaya Listrik Per Panel Surya. <https://m.icasolar.com/support/blog/hitung-per-panel>. Diakses Tanggal 01 September 2023.
- IESR, Kementrian ESDM. *Matahari Untuk PLTS di Indonesia*. 2012. Jakarta Selatan:12810.
- Julisman Andi, dkk. 2017. Jurnal Online Teknik Elektro Vol.2 No.1: 35-42 eISSN: 2252-7036
- Kristiawan, H., Kumara, I. N. S., & Giriantari, I. A. D. 2019. Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Gedung Sekolah di Kota Denpasar. Jurnal Spektrum, 6(4).
- Mamarimbing, E. A., Handono, B. D., & Sumajouw, M. D. 2020. PERENCANAAN STRUKTUR TOWER BTS TIPE SELF-SUPPORTING TOWER. JURNAL SIPIL STATIK, 8(5).
- Media Indonesia. 2023. <https://mediaindonesia.com/humaniora/604929/peta-indonesia-lengkap-dengan-gambar-dan-nama-38-provinsi>. diakses tanggal 21 November 2023
- Mubarok, A. 2023. Perencanaan Instalasi PLTS On-Grid Kapasitas 118 kWp di Cijerah Bandung Pada Proyek PT ATW Solar.
- Oktarina, A. H. 2021. Analisa Pengaruh Perubahan Intensitas Cahaya Terhadap Keluaran Daya Panel Surya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid 450 Va Di Politeknik Negeri Sriwijaya (Doctoral Dissertation, Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya

- Priatam, P. P. T. D., Zambak, M. F., Suwarno, S., & Harahap, P. 2021. Analisa Radiasi Sinar Matahari Terhadap Panel Surya 50 WP. RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, 4(1), 48-54.
- Ramadhani, B. 2018. Instalasi pembangkit listrik tenaga surya Dos & Don'ts. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Energising Development (Endev) Indonesia Jakarta, 23-28.
- Ramadhani, Bagus. 2018. Instalasi pembangkit listrik tenaga surya Dos & Don'ts. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Energising Development (Endev) Indonesia Jakarta.
- Rizkasari, D., Wilopo, W., & Ridwan, M. K. 2020. Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Untuk Plts Di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral (Pup-Esdm) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Journal of Appropriate Technology for Community Services*, 1(2), 104-112.
- rumahsolarraina. 2023. <https://rumahsolarraina.com/struktur-panel-surya/>. Diakses Tanggal 01 September 2023.
- Safrizal. 2017. Rancangan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Pada Gedung Fakultas Sains Dan Teknologi Unisnu Jeparu. *Jurnal Disprotek*.
- Santoso, K., A. 2016. Perancangan Dan Simulasi Sistem Offgrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Toxwer BTS 1500 watt. Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta
- Saputra, Indra. 2019. PVsyst, *Software* Simulasi PLTS. This IS' Blog. <https://mynameis8.wordpress.com/2019/10/16/PVsyst-software-simulasi-PLTS/>. Diakses pada 10 Juli 2023.
- Septiana, W. 2013. Sel surya: Struktur & Cara kerja. Dipetik Maret 19, 2020, dari Teknologi Surya: <https://teknologisurya.wordpress.com/dasarteknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya>
- Sihotang, G. H. 2019. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop di Hotel Kini Pontianak. *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, 7(1).
- SolarGIS. 2013. <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/indonesia>. diakses tanggal 12 November 2023
- Sukmajati, S., & Hafidz, M. 2015. Perancangan dan analisis pembangkit listrik tenaga surya kapasitas 10 MW on grid di Yogyakarta. *Energi & Kelistrikan*, 7(1), 49-63.
- Syaeful Anwar, A. 2021. ANALISIS KELAYAKAN PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK TENAGA SURYA ROOFTOP DI GEDUNG FAKULTAS

TEKNIK UNIVERSITAS SILIWANGI (Doctoral dissertation, Universitas Siliwangi).

Wenqiang, L. Shuhua, G. Daxiong, Q., 2004. *TechnoEconomic Assessment For Off-Grid Hybrid Generation System and Application Prospects in China*. World Energy Council. London.

Widyanto, M., & Nur, S. 2022. *Perancangan dan Analisis Tekno Ekonomi PLTS Rooftop On-Grid System di Tefa Fish Canning Politeknik Negeri Jember Menggunakan Software HelioScope* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Jember).

Windarta, Jaka, dkk. 2019. "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berbasis HOMER Di SMA Negeri 6 Surakarta Sebagai Sekolah Hemat Energi Dan Ramah Lingkungan." *Prosiding Seminar Nasional MIPA: Universitas Tidar*.

Wiryadinata, R., & Munarto, R. 2013. *Studi Pemanfaatan Energi Matahari di Pulau Panjang Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif. Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, 2(1), 6-15.

Z. A. Fikriyadi, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)," 2015. Available: <http://zakariyaaf.blogspot.com/2015/01/pembangkit-listrik-tenaga-surya-plts.html>. Diakses 30 maret 2023.

Zaini, M., Safrudin, S., & Bachrudin, M. 2020. *Perancangan Sistem Monitoring Tegangan, Arus Dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis Iot. TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 139-150.

ZTE ZXDC48 FB101. 2020. <https://doku.pub/download/zxdc48-fb101-lithium-ion-battery-user-manual-v10-4qzdyx8kj9lk>. Diakses pada 10 September 2023

Zumrodi. 2015. *Energi Surya dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. 8-9

**TUGAS AKHIR**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG**  
**2023**



**STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA  
HYBRID UNTUK TOWER BTS ROOFTOP DI PASAR PALAKKA  
KABUPATEN BONE  
TA 2022/2023**

Lampiran 1. Dokumentasi

Pengukuran Arah Hadap Bangunan Terhadap Arah Mata Angin



Pengukuran Daya Sistem Tower BTS



### Proses Pengukuran Komponen Tower BTS



### Proses Pengambilan Data



## Lampiran 1. Hasil Simulasi Hybrid



Version 7.3.1

# PVsyst - Simulation report

## Grid-Connected System

Project: Tower BTS KAB.BONE

Variant: New simulation variant

No 3D scene defined, no shadings

System power: 14.85 kWp

Tower BTS Pasar Palakka Kab. Bone - Indonesia

| Author





## Project: Tower BTS KAB.BONE

Variant: New simulation variant

### PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:  
03/13/24 20:23  
with v7.3.1

#### Project summary

<b>Geographical Site</b> Tower BTS Pasar Palakka Kab. Bone Indonesia	<b>Situation</b> Latitude -4.54 °S Longitude 120.29 °E Altitude 71 m Time zone UTC+8	<b>Project settings</b> Albedo 0.20
<b>Meteo data</b> Tower BTS Pasar Palakka Kab. Bone Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Synthetic		

#### System summary

<b>Grid-Connected System</b>	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
<b>PV Field Orientation</b> Fixed plane Tilt/Azimuth 20 / 130 °	<b>Near Shadings</b> No Shadings	<b>User's needs</b> Daily household consumers Constant over the year Average 74 kWh/Day
<b>System information</b>	<b>Inverters</b>	<b>Battery pack</b>
<b>PV Array</b> Nb. of modules 27 units Pnom total 14.85 kWp	Nb. of units 1 unit Pnom total 16.50 kWac Pnom ratio 0.900	Storage strategy: Self-consumption Nb. of units 10 units Voltage 48 V Capacity 1000 Ah

#### Results summary

Produced Energy 20739 kWh/year	Specific production 1397 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 68.62 %
Used Energy 27182 kWh/year		Solar Fraction SF 76.30 %

#### Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	5
Main results	6
Loss diagram	7
Predef. graphs	8
Single-line diagram	9
Cost of the system	10
Financial analysis	11
CO <sub>2</sub> Emission Balance	14



Project: Tower BTS KAB.BONE

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

VC0. Simulation date:  
03/13/24 20:23  
with v7.3.1

General parameters

<b>Grid-Connected System</b>	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
<b>PV Field Orientation</b>	<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Fixed plane		Diffuse Perez, Meteonorm
Tilt/Azimuth 20 / 130 °		Circumsolar separate
<b>Horizon</b>	<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>
Free Horizon	No Shadings	Daily household consumers
		Constant over the year
		Average 74 kWh/Day
<b>Storage</b>		
Kind Self-consumption		
No grid reinjection		
<b>Charging strategy</b>	<b>Discharging strategy</b>	
When excess solar power is available	As soon as power is needed	

PV Array Characteristics

<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer CSI Solar		Manufacturer Powmr	
Model CS6W-550MS 1500V		Model Powmr 16.500	
(Original PVsyst database)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power 550 Wp		Unit Nom. Power 16.5 kWac	
Number of PV modules 27 units		Number of inverters 1 unit	
Nominal (STC) 14.85 kWp		Total power 16.5 kWac	
Modules 3 Strings x 9 In series		Operating voltage 90-450 V	
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC) 0.90	
Pmpp 13.61 kWp			
U mpp 338 V			
I mpp 40 A			
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC) 15 kWp		Total power 16.5 kWac	
Total 27 modules		Number of inverters 1 unit	
Module area 69.2 m²		Pnom ratio 0.90	
<b>Battery Storage</b>			
<b>Battery</b>			
Manufacturer ZTE			
Model ZTE ZXDC48 FB101			
<b>Battery pack</b>		<b>Battery Pack Characteristics</b>	
Nb. of units 10 in parallel		Voltage 48 V	
Discharging min. SOC 20.0 %		Nominal Capacity 1000 Ah (C10)	
Stored energy 37.5 kWh		Temperature Fixed 20 °C	
<b>Battery input charger</b>			
Model Generic			
Max. charg. power 13.0 kWdc			
Max./Euro effic. 97.0/95.0 %			
<b>Battery to Grid inverter</b>			
Model Generic			
Max. disch. power 3.1 kWac			
Max./Euro effic. 97.0/95.0 %			



Project: Tower BTS KAB.BONE

Variant: New simulation variant

**PVsyst V7.3.1**

VC0. Simulation date:  
03/13/24 20:23  
with v7.3.1

**Array losses**

**Array Soiling Losses**

Loss Fraction 3.0 %

**Thermal Loss factor**

Module temperature according to irradiance  
Uc (const) 29.0 W/m<sup>2</sup>K  
Uv (wind) 0.0 W/m<sup>2</sup>K/m/s

**DC wiring losses**

Global array res. 139 mΩ  
Loss Fraction 1.5 % at STC

**Module Quality Loss**

Loss Fraction -0.5 %

**Module mismatch losses**

Loss Fraction 2.0 % at MPP

**Strings Mismatch loss**

Loss Fraction 0.1 %

**IAM loss factor**

Incidence effect (IAM): User defined profile

10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000

**System losses**

**Unavailability of the system**

Time fraction 2.0 %  
7.3 days,  
3 periods



Project: Tower BTS KAB.BONE

Variant: New simulation variant

**PVsyst V7.3.1**

VC0. Simulation date:  
03/13/24 20:23  
with v7.3.1

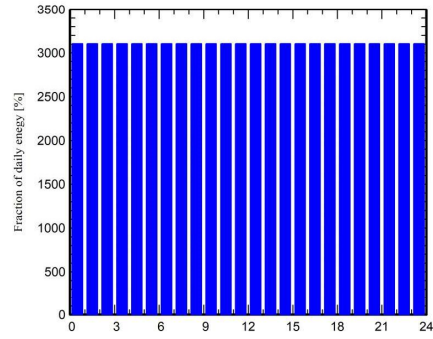
**Detailed User's needs**

Daily household consumers, Constant over the year, average = 74 kWh/day

**Annual values**

	Nb.	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
TOWER BTS	1	3102/lamp	24.0	74448
Stand-by consumers			24.0	24
Total daily energy				74472

**Hourly distribution**





Project: Tower BTS KAB.BONE

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

VC0 - Simulation date:  
03/13/24 20:23  
with v7.3.1

Main results

System Production

Produced Energy	20739 kWh/year	Specific production	1397 kWh/kWp/year
Used Energy	27182 kWh/year	Performance Ratio PR	68.62 %
		Solar Fraction SF	76.30 %

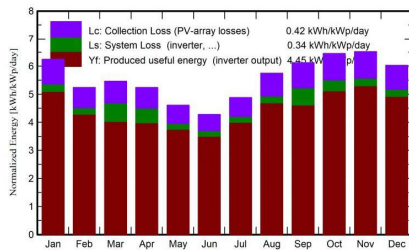
Battery aging (State of Wear)

Cycles SOW	95.8 %
Static SOW	93.3 %
Battery lifetime	15.0 years

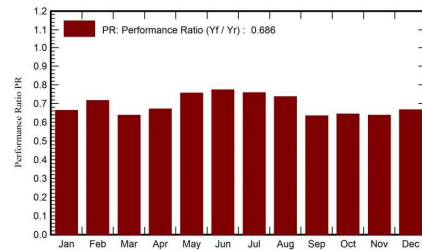
Economic evaluation

<b>Investment</b>		<b>Yearly cost</b>		<b>LCOE</b>	
Global	303,691,546.00 IDR	Annuities	0.00 IDR/yr	Energy cost	3048 IDR/kWh
Specific	20451 IDR/Wp	Run. costs	38,148,337.82 IDR/yr		
		Payback period	19.4 years		

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	EUnused	EFrGrid
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	187.7	72.43	25.28	193.7	184.5	2472	2309	1908	333.5	400.5
February	150.6	84.54	25.81	146.9	139.5	1881	2085	1563	102.3	521.8
March	176.4	79.18	25.94	169.5	161.1	2161	2309	1607	148.2	701.8
April	172.8	69.80	26.09	157.4	149.3	2009	2234	1568	110.9	666.3
May	165.2	70.21	26.96	143.0	135.1	1826	2309	1606	5.1	702.4
June	150.0	64.37	26.20	128.5	121.4	1650	2234	1477	0.0	757.5
July	177.8	55.21	26.13	151.5	143.4	1941	2309	1707	5.3	601.5
August	201.6	56.87	26.54	178.3	169.4	2273	2309	1950	73.3	358.5
September	197.9	64.63	26.63	183.8	174.7	2332	2234	1733	217.8	501.2
October	204.7	78.86	27.19	200.1	191.0	2539	2309	1915	312.9	393.2
November	191.7	70.63	26.12	195.7	186.8	2487	2234	1854	372.3	380.5
December	179.9	78.48	25.90	187.0	178.3	2387	2309	1851	292.3	457.5
Year	2156.5	845.21	26.24	2035.3	1934.4	25959	27182	20739	1974.0	6442.8

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
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	EUnused	Unused energy (battery full, no grid injection)
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid



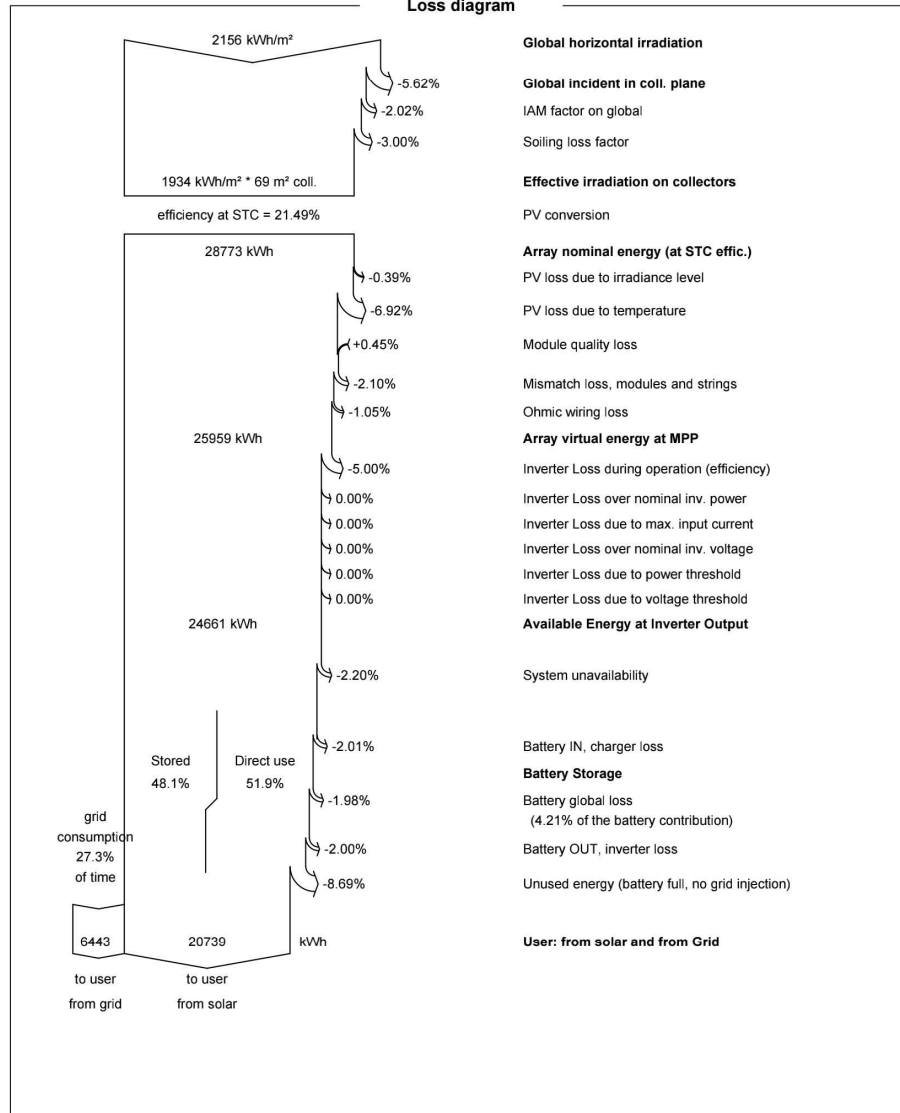
Project: Tower BTS KAB.BONE

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

VC0. Simulation date:  
03/13/24 20:23  
with v7.3.1

Loss diagram



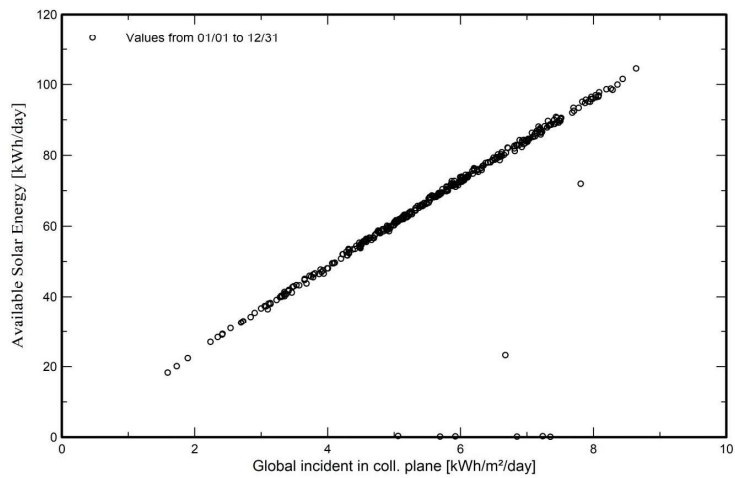


PVsyst V7.3.1

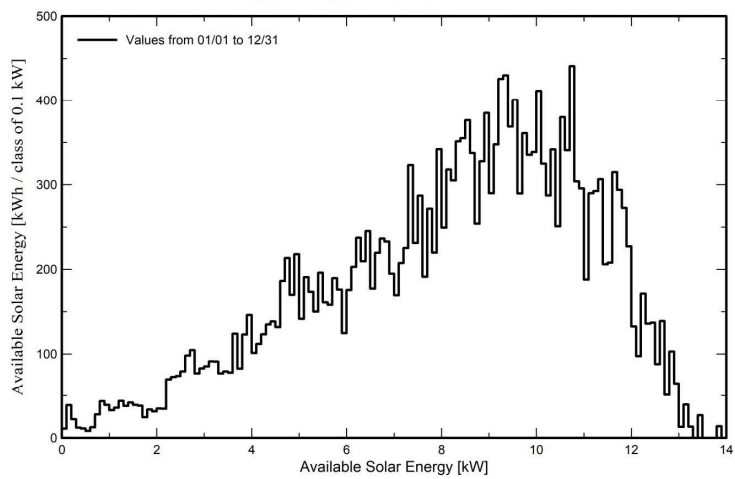
VC0. Simulation date:  
03/13/24 20:23  
with v7.3.1

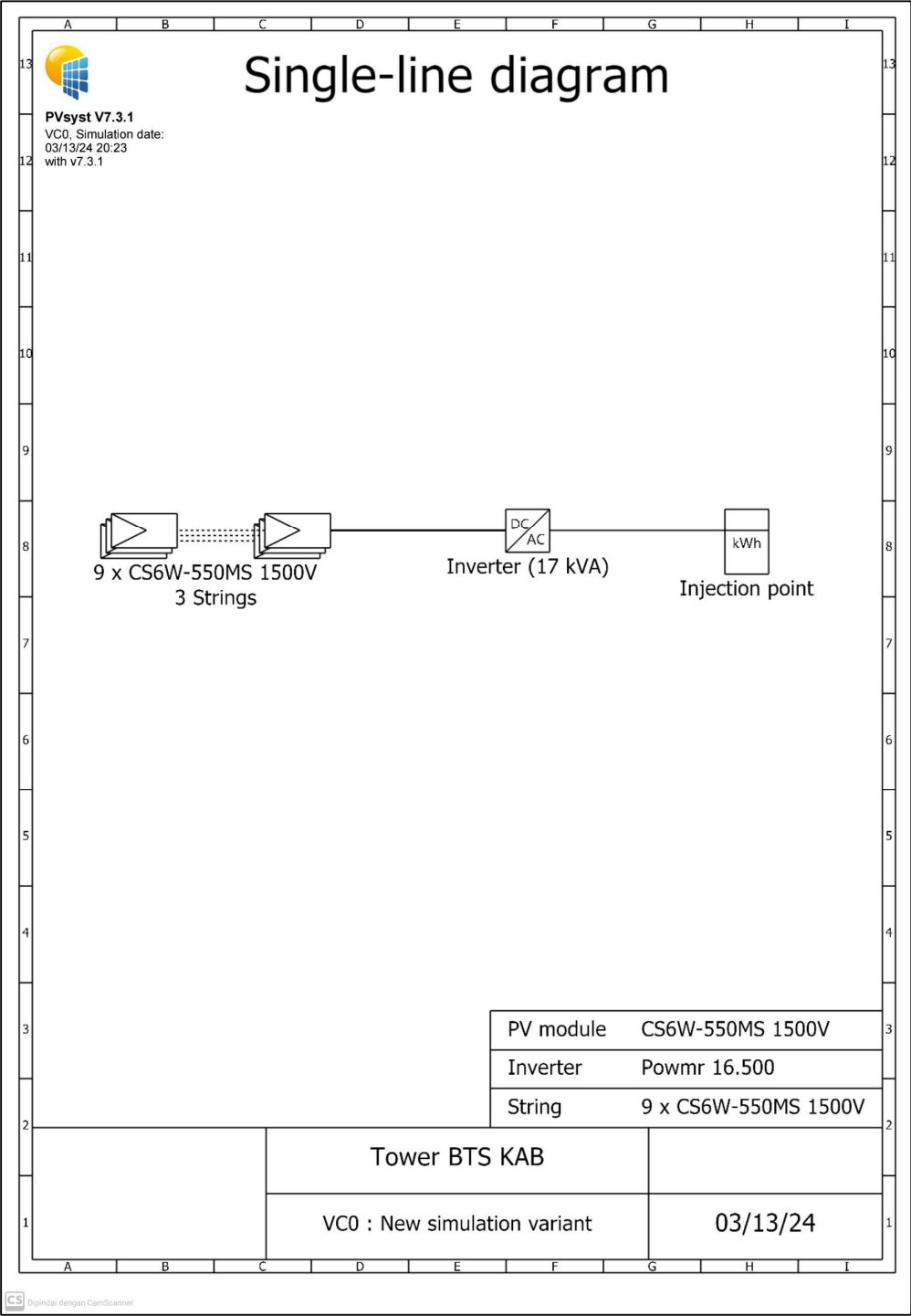
Predef. graphs

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution









Project: Tower BTS KAB.BONE

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

VC0. Simulation date:  
03/13/24 20:23  
with v7.3.1

Cost of the system

Installation costs

Item	Quantity units	Cost IDR	Total IDR
<b>PV modules</b>			
CS6W-550MS 1500V	27	3,200,000.00	86,400,000.00
Supports for modules	27	163,555.56	4,416,000.00
<b>Inverters</b>			
Powmr 16.500	1	47,457,000.00	47,457,000.00
<b>Batteries</b>			
Other components	10	14,995,255.00	149,952,550.00
<b>Other components</b>			
Accessories, fasteners	144	70,639.00	10,172,016.00
Wiring	84	29,095.00	2,443,980.00
Combiner box	1	250,000.00	250,000.00
<b>Installation</b>			
Transport	2	300,000.00	600,000.00
Settings	4	500,000.00	2,000,000.00
		<b>Total</b>	<b>303,691,546.00</b>
		Depreciable asset	298,397,566.00

Operating costs

Item	Total IDR/year
<b>Maintenance</b>	
Provision for inverter replacement	4,745,700.00
Salaries	1,000,000.00
Repairs	1,000,000.00
Cleaning	160,000.00
Provision for battery replacement	14,995,255.00
<b>Total (OPEX)</b>	<b>21,900,955.00</b>
Including inflation (4.33%)	38,148,337.82

System summary

Total installation cost	303,691,546.00 IDR
Operating costs (incl. inflation 4.33%/year)	38,148,337.82 IDR/year
Produced Energy	20.7 MWh/year
Cost of produced energy (LCOE)	3,047.958 IDR/kWh



Project: Tower BTS KAB.BONE

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

VC0 - Simulation date:  
03/13/24 20:23  
with v7.3.1

Financial analysis

Simulation period

Project lifetime 25 years Start year 2023

Income variation over time

Inflation 4.33 %/year  
Production variation (aging) 0.00 %/year  
Discount rate 9.27 %/year

Income dependent expenses

Income tax rate 0.00 %/year  
Other income tax 0.00 %/year  
Dividends 0.00 %/year

Depreciable assets

Asset	Depreciation method	Depreciation period (years)	Salvage value (IDR)	Depreciable (IDR)
PV modules				
CS6W-550MS 1500V	Straight-line	25	0.00	86,400,000.00
Supports for modules	Straight-line	25	0.00	4,416,000.00
Inverters				
Powmr 16.500	Straight-line	25	0.00	47,457,000.00
Batteries				
Accessories, fasteners	Straight-line	20	0.00	10,172,016.00
		Total	0.00	298,397,566.00

Financing

Own funds 303,691,546.00 IDR

Electricity sale

Feed-in tariff 1,444.7000 IDR/kWh  
Duration of tariff warranty 20 years  
Annual connection tax 0.00 IDR/kWh  
Annual tariff variation +10.0 %/year  
Feed-in tariff decrease after warranty 0.00 %

Self-consumption

Consumption tariff 1,444.7000 IDR/kWh  
Tariff evolution +10.0 %/year

Return on investment

Payback period 19.4 years  
Net present value (NPV) 135,815,444.67 IDR  
Internal rate of return (IRR) 12.07 %  
Return on investment (ROI) 44.7 %



**PVsyst V7.3.1**  
 VC0. Simulation date:  
 03/13/24 20:23  
 with v7.3.1

Project: Tower BTS KAB.BONE

Variant: New simulation variant

**Financial analysis**

**Detailed economic results (IDR)**

Year	Electricity sale	Own funds	Run. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Taxes	After-tax profit	Self-cons. saving	Cumul. profit	% amort.
0	0	303,691,546	0	0	0	0	0	0	-303,691,546	0.0%
1	0	0	21,900,955	12,037,623	0	0	-21,900,955	29,962,311	-296,314,081	2.4%
2	0	0	22,849,266	12,037,623	0	0	-22,849,266	32,958,542	-287,847,304	5.2%
3	0	0	23,838,640	12,037,623	0	0	-23,838,640	36,254,396	-278,330,956	8.4%
4	0	0	24,870,853	12,037,623	0	0	-24,870,853	39,876,836	-267,802,917	11.8%
5	0	0	25,947,761	12,037,623	0	0	-25,947,761	43,867,819	-256,299,292	15.6%
6	0	0	27,071,299	12,037,623	0	0	-27,071,299	48,254,601	-243,854,490	19.7%
7	0	0	28,243,486	12,037,623	0	0	-28,243,486	53,080,061	-230,501,297	24.1%
8	0	0	29,466,429	12,037,623	0	0	-29,466,429	58,388,067	-216,270,955	28.8%
9	0	0	30,742,325	12,037,623	0	0	-30,742,325	64,226,874	-201,193,225	33.8%
10	0	0	32,073,468	12,037,623	0	0	-32,073,468	70,649,561	-185,296,458	39.0%
11	0	0	33,462,249	12,037,623	0	0	-33,462,249	77,714,517	-168,607,656	44.5%
12	0	0	34,911,164	12,037,623	0	0	-34,911,164	85,485,969	-151,152,534	50.2%
13	0	0	36,422,818	12,037,623	0	0	-36,422,818	94,034,566	-132,955,576	56.2%
14	0	0	37,999,926	12,037,623	0	0	-37,999,926	103,436,022	-114,040,092	62.4%
15	0	0	39,645,323	12,037,623	0	0	-39,645,323	113,781,824	-94,428,270	68.9%
16	0	0	41,361,965	12,037,623	0	0	-41,361,965	125,160,007	-74,141,226	75.6%
17	0	0	43,152,938	12,037,623	0	0	-43,152,938	137,676,007	-53,199,051	82.5%
18	0	0	45,021,460	12,037,623	0	0	-45,021,460	151,443,608	-31,620,860	89.6%
19	0	0	46,970,890	12,037,623	0	0	-46,970,890	166,587,969	-9,424,831	96.9%
20	0	0	49,004,729	12,037,623	0	0	-49,004,729	183,246,766	13,371,748	104.4%
21	0	0	51,126,634	11,529,022	0	0	-51,126,634	201,571,443	36,752,442	112.1%
22	0	0	53,340,417	11,529,022	0	0	-53,340,417	221,726,587	60,701,632	120.0%
23	0	0	55,650,057	11,529,022	0	0	-55,650,057	243,901,445	85,204,476	128.1%
24	0	0	58,059,705	11,529,022	0	0	-58,059,705	268,291,590	110,246,876	136.3%
25	0	0	60,573,690	11,529,022	0	0	-60,573,690	295,120,746	135,815,445	144.7%
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>303,691,546</b>	<b>953,708,445</b>	<b>298,397,566</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-953,708,445</b>	<b>2,946,705,134</b>	<b>135,815,445</b>	<b>144.7%</b>



Project: Tower BTS KAB.BONE

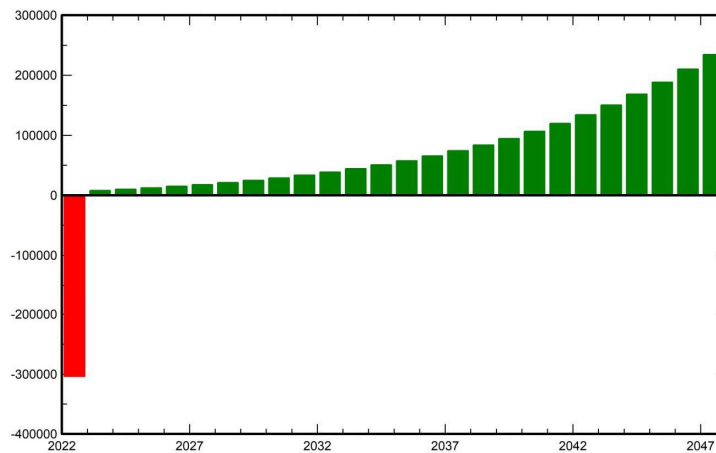
Variante: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

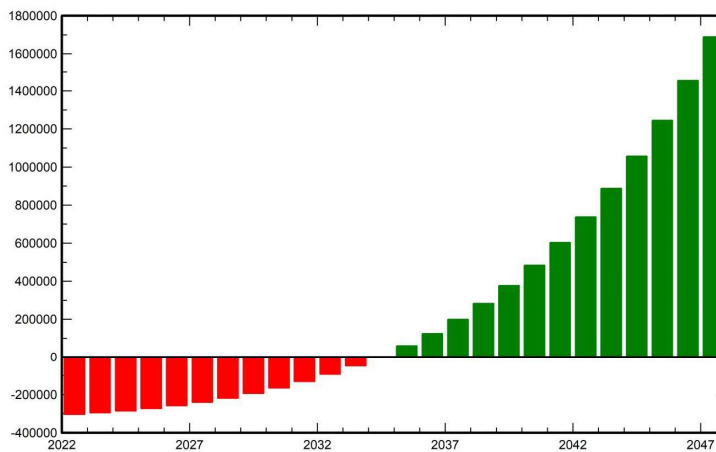
VC0. Simulation date:  
03/13/24 20:23  
with v7.3.1

Financial analysis

Yearly net profit (kIDR)



Cumulative cashflow (kIDR)





Project: Tower BTS KAB.BONE

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

VC0. Simulation date:  
03/13/24 20:23  
with v7.3.1

CO<sub>2</sub> Emission Balance

Total: 433.6 tCO<sub>2</sub>

Generated emissions

Total: 27.24 tCO<sub>2</sub>

Source: Detailed calculation from table below:

Replaced Emissions

Total: 531.1 tCO<sub>2</sub>

System production: 24.12 MWh/yr

Grid Lifecycle Emissions: 734 gCO<sub>2</sub>/kWh

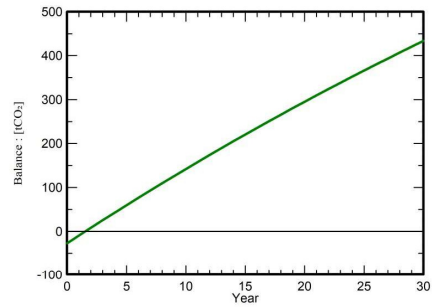
Source: IEA List

Country: Indonesia

Lifetime: 30 years

Annual degradation: 1.0 %


Saved CO<sub>2</sub> Emission vs. Time





System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal
			[kgCO <sub>2</sub> ]
Modules	1713 kgCO <sub>2</sub> /kWp	14.8 kWp	25434
Supports	4.90 kgCO <sub>2</sub> /kg	270 kg	1322
Inverters	485 kgCO <sub>2</sub> /units	1.00 units	485

Lampiran 3. Data Sheet Panel Surya







## HiKu6 Mono PERC

**530 W ~ 550 W**

**CS6W-530 | 535 | 540 | 545 | 550MS**

**MORE POWER**

- 550 W

Module power up to 550 W  
Module efficiency up to 21.5 %
- \$

Up to 4.5 % lower LCOE  
Up to 5.6 % lower system cost
- 📈

Comprehensive LID / LeTID mitigation technology, up to 50% lower degradation
- 🏠+

Compatible with mainstream trackers, cost effective product for utility power plant
- ☁️

Better shading tolerance

**MORE RELIABLE**

- 🛡️

Minimizes micro-crack impacts
- \*\*\*

Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa\*

12

**Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship\***

25

**Linear Power Performance Warranty\***

1<sup>st</sup> year power degradation no more than 2%  
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%








\*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

**MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\***

ISO 9001:2015 / Quality management system  
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system  
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

**PRODUCT CERTIFICATES\***

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / INMETRO / MCS / UKCA  
CEC listed (US California)  
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 60068-2-68  
UN19177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way

\* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your Product and applicable in the regions in which the products will be used.

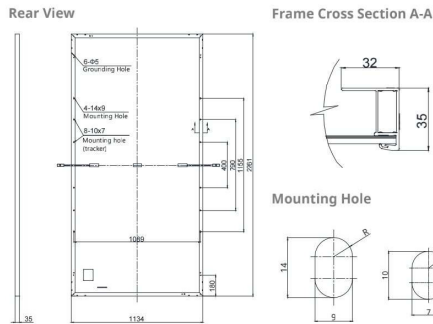
**CSI Solar Co., Ltd.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. Canadian Solar was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey, and is a leading PV project developer and manufacturer of solar modules, with over 55 GW deployed around the world since 2001.

\* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

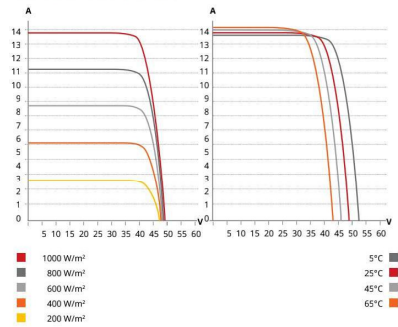
**CSI Solar Co., Ltd.**  
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, [www.csisolar.com](http://www.csisolar.com), [support@csisolar.com](mailto:support@csisolar.com)

CS Dipindai dengan CamScanner

### ENGINEERING DRAWING (mm)



### CS6W-530MS / I-V CURVES



### ELECTRICAL DATA | STC\*

CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS
Nominal Max. Power (Pmax)	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	12.96 A	13.02 A	13.08 A	13.14 A	13.20 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.8 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V
Short Circuit Current (Isc)	13.80 A	13.85 A	13.90 A	13.95 A	14.00 A
Module Efficiency	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	25 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 10 W				

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

### ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS
Nominal Max. Power (Pmax)	397 W	401 W	405 W	409 W	412 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.38 A	10.42 A	10.47 A	10.52 A	10.55 A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.1 V	46.3 V	46.5 V	46.7 V	46.9 V
Short Circuit Current (Isc)	11.13 A	11.17 A	11.21 A	11.25 A	11.29 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

### MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 x (12 x 6)]
Dimensions	2261 x 1134 x 35 mm (89.0 x 44.6 x 1.38 in)
Weight	27.8 kg (61.3 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	410 mm (16.1 in) (+) / 290 mm (11.4 in) (-) (supply additional jumper cable; 2 lines / Pallet) or customized length*
Connector	T4 series or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	600 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

### PARTNER SECTION



\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.


**CSI Solar Co., Ltd.**

199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

June 2021. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V1.6\_EN

Leading 5G Innovations

## FB101 Lithium-ion Battery



**ZXDC48 FB101**

### Introduction


ZTE ZXDC48 FB101 lithium-ion battery is designed for various scenarios such as good grid or poor grid for backup or reuse.

### Product Feature

- 4U height and supports 19" standard installation.
- Excellent cycle performance
- Large charge & discharge current: max. 0.5C
- Supports parallel connection up to 16 pcs.
- High environmental adaptability in various sites
- Built in Battery Management Unit (BMU)

### Technical Parameters

Item	Parameters
Rated capacity	100Ah(C <sub>3</sub> ,25°C,cut-off voltage 42V)
Energy storage	4800Wh
Nominal voltage	48V
Battery type(Cathode material)	LiFePO <sub>4</sub>
Operating voltage range	-42V ~ -53.5 V
Recommended current	0.3C
Charge current range	0A~50A
Charge current limiting module	10A, can be set to On or OFF
Discharge current range	0A~50A
Operating temperature	charging: 0°C~55°C, discharging: -20°C~+55°C
Storage temperature range	-20°C~+60°C
Dimensions(W*D*H mm)	442*395*176(4U) (excluding mounting ear,handle,terminal)
Net weight	≈42kg
Self discharge	<3% per month@RT
Memory effect	None

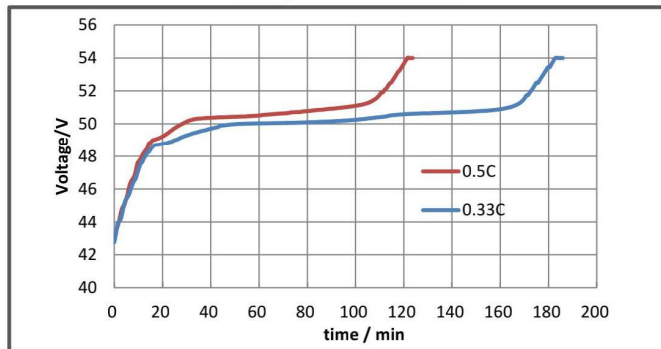




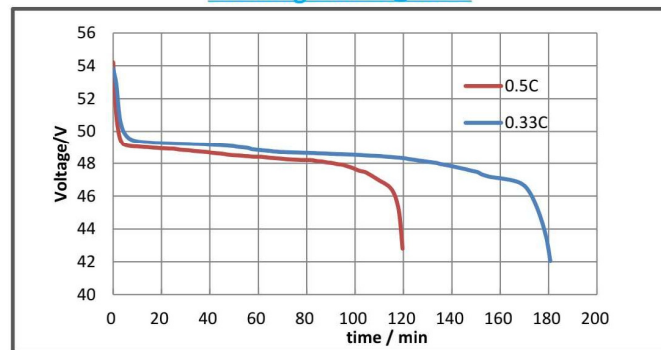


Item	Parameters
Relative humidity	5%RH~95%RH
Atmospheric pressure	70kPa~106kPa
Protection grade	IP20
Design life	15 years(25°C)
Cycle life@80%DOD, 35°C	3500 cycles(considering 80%EOL) 6000 cycles(considering 70%EOL)
Parallel function	Max. 16 batteries parallel connection
BMS Cell balancing feature	Resistance balance
Internal Resistance	≈15 mΩ
Communication Protocol	ZTE's Protocol
Communication Ports	DO*1,RS232*1,RS485*2,ADDR*1
Certification	UN38.3,IEC62619,CE

Charge curve@25 °C



Discharge curve@25 °C



ZTE CORPORATION

NO. 55, Hi-tech Road South, Shenzhen, P. R. China  
 Postcode: 518057  
 Web: [www.zte.com](http://www.zte.com)  
 Tel: +86-755-26770000  
 Fax: +86-755-26771999



STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
SURYA HYBRID UNTUK TOWER BTS ROOFTOP  
DI PASAR PALAKKA KABUPATEN BONE



CAPSTONE PROJECT

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

MUH. IKSAN FACHRUDDIN 44222231  
RUSTAN EVENDI 44222250

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2023

## HALAMAN PENGESAHAN

Capstone Project dengan judul “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid* Untuk Tower BTS *Rooftop* di Pasar Palakka Kabupaten Bone” oleh Muh. Iksan Fachruddin NIM 44222231 dan Rustan Evendi NIM 44222250 dinyatakan layak untuk diujikan.

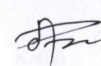
Makassar, 13 September 2023

Anggota 1



Muh. Iksan Fachruddin  
44222231

Anggota 2



Rustan Evendi  
44222250

Pembimbing I



Prof. Ir. Makmur Saeni, M.T., Ph.D.  
NIP. 19601231 199003 1 021

Pembimbing II




Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.  
NIP. 19780804 2001121 1 001

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi



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

Client Project  
Territory Operation Bone  
(TO Bone)



Andi Mattalatta, S.T.  
Supervisor

## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Sabtu tanggal 18 September 2023, tim penguji ujian sidang skripsi telah menerima skripsi mahasiswa: Muh. Iksan Fachruddin NIM 44222231 dan Rustan Evendi NIM 44222250 dengan judul “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid* Untuk Tower BTS *Rooftop* di Pasar Palakka Kabupaten Bone”.

Makassar, 18 September 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Laporan Tugas Akhir

- |   |            |         |
|---|------------|---------|
| 1. Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D.           | Ketua      | (.....) |
| 2. Marhatang, S.ST., M.T.                     | Sekretaris | (.....) |
| 3. Dr. Ir. Firman, M.T.                       | Anggota    | (.....) |
| 4. Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T.              | Anggota    | (.....) |
| 5. Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D.        | Anggota    | (.....) |
| 6. Prof. A.M. Shiddiq, S.T., M.Eng.Sc., Ph. D | Anggota    | (.....) |

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya penulisan Capstone Project ini yang berjudul “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid* Untuk Tower BTS *Rooftop* di Pasar Palakka Kabupaten Bone”.

Dalam penulisan Capstone Project 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:

11. Kedua orang tua yaitu Ibu dan Bapak yang telah memberikan bantuan dan dukungan moril maupun materi demi penyelesaian Capstone Project ini.
12. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung pandang.
13. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
14. Bapak Ir. Chandra Bhuana, M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Pembangkit Energi.
15. Bapak Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D. sebagai pembimbing I dan Bapak Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. sebagai pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Capstone Project ini.
16. Ibu Yiyin Klistafani, S.T., M.T. selaku Wali Kelas 4B D-4 Teknik Pembangkit Energi Spesialisasi Energi Terbarukan.

17. Bapak Andi Mattalatta, S.T. selaku Supervisor Territory Operation Bone (TO Bone) PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra).

18. Dosen dan tenaga kependidikan pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya dosen pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan dan pengalaman bagi penulis.

19. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya teman-teman pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi angkatan 2022 yang telah membantu dan memberikan ilmu serta dukungannya.

20. Semua pihak yang telah membantu untuk penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Capstone Project ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan Capstone Project ini dan demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga Capstone Project ini bermanfaat bagi pembacanya.

Makassar, September 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

	hal.
HALAMAN SAMPUL .....	i
<u>HALAMAN PENGESAHAN.....</u>	<u>Error! Bookmark not defined.</u>
HALAMAN PENERIMAAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
RINGKASAN EKSEKUTIF.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II DESKRIPSI SITUASI AWAL .....	4
<b>2.1 Profil PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra).....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Tower BTS <i>rooftop</i> Pasar Palakka Kab. Bone.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Data Geografis .....</b>	<b>7</b>

<b>2.4 Data Gangguan Listrik di Wilayah pasar Palakka .....</b>	<b>7</b>
---	----------

<b>BAB III METODOLOGI.....</b>	<b>9</b>
--------------------------------	----------

<b>3.1 Metode Pengumpulan Data .....</b>	<b>9</b>
--	----------

<b>3.2 Studi Literatur .....</b>	<b>10</b>
----------------------------------	-----------

<b>3.3 Data Iklim.....</b>	<b>17</b>
----------------------------	-----------

3.3.1 Software PVsyst 7.3.....	17
--------------------------------	----

3.3.2 Software Homer Pro .....	18
--------------------------------	----

<b>3.4 Desain Sistem Hybrid Dengan Software PVsyst.....</b>	<b>20</b>
---	-----------

3.4.1 Orientasi Sistem.....	20
-----------------------------	----

<b>3.5 Konfigurasi PV.....</b>	<b>21</b>
--------------------------------	-----------

<b>3.6 Aspek Penelitian.....</b>	<b>22</b>
----------------------------------	-----------

3.6.1 Analisis Teknis .....	22
-----------------------------	----

3.6.2 Analisis Ekonomi.....	23
-----------------------------	----

<b>BAB IV HASIL DAN DISKUSI .....</b>	<b>24</b>
---------------------------------------	-----------

<b>4.1 Analisis Teknis .....</b>	<b>24</b>
----------------------------------	-----------



<b>4.2 Analisis Ekonomi .....</b>	<b>25</b>
4.2.1 Analisis Perhitungan Ekonomi .....	25
4.4.2 Analisis Kelayakan Investasi PLTS.....	30

<b>4.3 Perbandingan Analisis Kelayakan Ekonomi PLTS.....</b>	<b>36</b>
--	-----------

<b>BAB V REKOMENDASI UNTUK KLIEN.....</b>	<b>37</b>
---	-----------

<b>5.1 Perencanaan Teknis.....</b>	<b>37</b>
------------------------------------	-----------

5.1.1 Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid .....	37
--	----

<b>5.2 Gambar Kerja 2D.....</b>	<b>38</b>
---------------------------------	-----------

<b>5.3 Spesifikasi Komponen .....</b>	<b>39</b>
---------------------------------------	-----------

<b>5.4 Manajemen Resiko (<i>Risk Management</i>).....</b>	<b>42</b>
---	-----------

<b>5.5 Manajemen Stakeholder .....</b>	<b>45</b>
--	-----------

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>50</b>
-----------------------------	-----------



## DAFTAR TABEL

hal.

Tabel 2.1 Pengukuran Komponen Tower BTS *Rooftop* Pasar Palakka Kab.

Bone .....5

Table 2.2 Tabel Gangguan listrik di Wilayah pasar Palakka .....8

Tabel 3.1 Hasil Review Sumber Informasi .....10

Tabel 3.2 Estimasi Kebutuhan Energi Harian .....17

Tabel 3.3 Insolasi, Suhu, Diffuse Irradiation dan Kecepatan Angin.....17

Tabel 4.1 Perbandingan Analisa Teknis PVsyst 7.3 dan Homer Pro .....24

Tabel 4.2 Asumsi Rincian Biaya dan Investasi .....26

Tabel 4.3 Perhitungan DF, NCF dan PVNCF, dengan  $i=9.27\%$  .....31

Tabel 4.4 Perhitungan DF, NCF, dengan  $i=8.27\%$  .....34

Tabel 4.5 Perhitungan DF, NCF, dengan  $i=10.27\%$  .....35

Tabel 4.6 Perbandingan Analisis Ekonomi PLTS.....36

Tabel 5.1 Spesifikasi Panel Surya .....40

Tabel 5.2 Spesifikasi Powmr .....41

Tabel 5.3 Spesifikasi Baterai ZTE ZXDC48 FB101.....42

Tabel 5.4 Manajemen Resiko.....43

Tabel 5.5 Manajemen Stakeholder.....46



## DAFTAR GAMBAR

	hal.
Gambar 2.1 Lokasi tower BTS <i>rooftop</i> Pasar Palakka Kab. Bone .....	4
Gambar 2.2 Tower BTS <i>rooftop</i> Pasar Palakka Kab. Bone .....	5
Gambar 2.3 <i>Wiring Diagram</i> Tower BTS <i>Rooftop</i> Pasar Palakka Kab. Bone .....	6
Gambar 2.4 Layout Sistem BTS .....	6
Gambar 2.5 Data geografis lokasi tower BTS rooftop site WTP 186-MCR Pasar Palakka menggunakan aplikasi Global Solar Atlas.....	7
Gambar 3.1 Input Data Radiasi Matahari.....	19
Gambar 3.2 Input Data Suhu Udara .....	20
Gambar 3.3 Tampilan Menu <i>Main Parameters Orientation</i> .....	21
Gambar 3.4 Konfigurasi Panel Surya.....	22
Gambar 5.1 <i>Wiring Diagram PLTS Hybrid</i> .....	38
Gambar 5.2 <i>2D Scene Near Shading</i> Lokasi Tower BTS di PVSyst 7.3.....	38
Gambar 5.3 Penempatan 27 Panel di Atas Atap .....	39

Gambar 5.4 Konfigurasi PV .....39

Gambar 5.5 Modul PV jenis *Monocrystalline* .....40

Gambar 5.6 *Smart Inverter Hybrid* .....41

Gambar 5.7 Baterai .....42



## RINGKASAN EKSEKUTIF

PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Territory Operation Bone (TO Bone) terletak di Kompleks Pasar Palakka Kelurahan Bulu Tempe, Kecamatan Tanete Riattang Barat, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Territory Operation Bone (TO Bone) ini merupakan pihak pengelola dari Tower BTS yang bangunan tersebut disewa oleh PT. Telkomsel Indonesia TBK. Tower BTS *Rooftop* saat ini menggunakan daya mencapai 3102 Watt dengan mengandalkan power yang sumber utamanya masih berasal dari listrik PLN dan ketika listrik padam maka harus dibantu oleh genset. Namun akses jalan menuju lokasi tower sedikit terkendala karena lokasinya berada di atas atap di dalam wilayah padat penduduk dan tidak sedikit warga yang merasa terganggu dari suara genset tersebut.

Maka dilakukanlah sebuah perencanaan yang menggabungkan kelistrikan PLN dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). PLTS berperan sebagai pembangkit listrik utama, sementara PLN berfungsi sebagai sumber yang memenuhi kekurangan energi yang dihasilkan dari PLTS dengan menggunakan sistem PLTS Hybrid, perencanaan sistem ini menggunakan software simulasi PVsyst 7.3 dan Homer Pro untuk menghitung potensi, dan keekonomian dari sistem yang dirancang.

Hasil dari perencanaan ini berdasarkan hasil simulasi PVsyst dengan kebutuhan energi per hari 74472 Wh dan panel surya yang digunakan tipe *Monocrystalline* dengan kapasitas panel surya 550 Wp sebanyak 27 unit. Baterai sebanyak 10 unit dan inverter hybrid sebanyak 1 unit. sehingga diperoleh biaya investasi awal dari hasil perhitungan numerik sebesar Rp 303.691.550 dengan nilai NPV Rp 62.148.591 bernilai positif dan IRR 11.62%. Pada simulasi PVsyst biaya investasi awal sebesar Rp 303.691.546 dengan nilai NPV Rp 135.816.021 bernilai positif dan IRR 12.07% sedangkan pada *software* Homer Pro biaya investasi awal sebesar Rp 303.691.550 dengan nilai NPV Rp 421.470.600 dan nilai IRR 36.2%. Sehingga perencanaan PLTS ini dikatakan layak, karena NPV bernilai positif ( $>0$ ), dan nilai IRR lebih tinggi dari suku bunga dan pengembalian modal investasi yang kurang dari masa proyek 25 tahun.

## BAB I PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi. Peningkatan juga dipicu oleh laju pertumbuhan kebutuhan energi sebesar 6,86% setiap tahunnya. Kebutuhan energi di Indonesia sebagian besar berasal dari energi fosil atau konvensional yang memiliki keterbatasan dan tidak ramah lingkungan yang syarat akan emisi. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif energi terbarukan dan ramah lingkungan (Sihotang, 2019). Pemerintah mendorong untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi diakibatkan berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi dan komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca sesuai dengan PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050 (DEN, 2019).

Wilayah Indonesia terletak pada garis khatulistiwa atau ekuator yaitu wilayah tengah yang membagi bola bumi menjadi bagian utara dan selatan (Widyanto dan Nur, 2022). Posisi ini menyebabkan ketersediaan sinar matahari di seluruh wilayah Indonesia hampir sepanjang tahun, kecuali pada musim hujan dan saat awan tebal menghalangi sinar matahari. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia memiliki potensi energi listrik surya dengan iradiasi surya sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> atau setara dengan 112.000 GWp (IESR, 2012). Hal ini sangat potensial untuk dimanfaatkan dalam memenuhi

kebutuhan energi listrik, dikarenakan permasalahan terkait dengan pembakaran bahan bakar fosil untuk pembangkitan energi listrik yang dapat menimbulkan emisi gas rumah kaca.

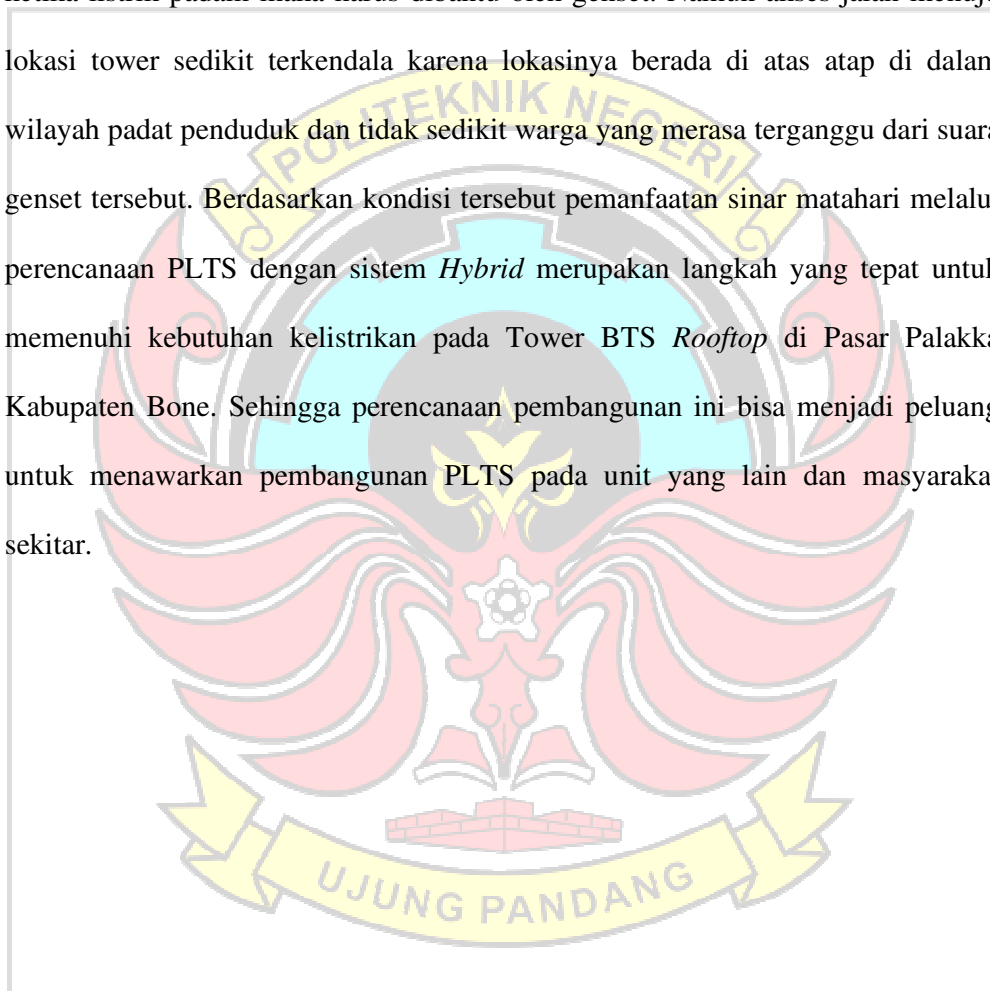
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari menjadi energi listrik menggunakan modul surya yang termasuk dalam energi hijau sehingga menjadi suatu pembangkit yang terbarukan dan merupakan salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan listrik yang ramah lingkungan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya (perangkat yang menyuplai tenaga listrik ke suatu beban listrik) yang dirancang untuk menyuplai kebutuhan energi listrik mulai dari skala kecil maupun besar, baik secara Off-Grid maupun On-Grid yang terhubung jaringan PLN serta secara Hybrid (dikombinasi dengan sumber energi listrik lain). Sistem PLTS memerlukan area terbuka dan bebas dari benda atau bayangan yang dapat menghalangi panel surya dalam menyerap dan menerima radiasi matahari. Salah satu kendala dalam pemanfaatan PLTS, khususnya untuk daerah perkotaan adalah keterbatasan lahan untuk penempatan panel surya. Dalam permasalahan ini salah satu solusi untuk keperluan penempatan panel surya dapat dilakukan dengan memanfaatkan atap bangunan (Mubarok, 2023).

Perkembangan teknologi komunikasi di Indonesia terus mengalami perkembangan yang cukup pesat. Perkembangan ini memacu peningkatan pembangunan menara pemancar (Base Transceiver Station-BTS) yang berguna memfasilitasi komunikasi nirkabel antara piranti komunikasi dan jaringan



operator. Dengan adanya menara tersebut memungkinkan terjadinya proses komunikasi, maupun pertukaran informasi (Mamarimbing. Dkk, 2020).

Tower BTS *Rooftop* yang ada di Pasar Palakka Kabupaten Bone masih mengandalkan power yang sumber utamanya masih berasal dari listrik PLN dan ketika listrik padam maka harus dibantu oleh genset. Namun akses jalan menuju lokasi tower sedikit terkendala karena lokasinya berada di atas atap di dalam wilayah padat penduduk dan tidak sedikit warga yang merasa terganggu dari suara genset tersebut. Berdasarkan kondisi tersebut pemanfaatan sinar matahari melalui perencanaan PLTS dengan sistem *Hybrid* merupakan langkah yang tepat untuk memenuhi kebutuhan kelistrikan pada Tower BTS *Rooftop* di Pasar Palakka Kabupaten Bone. Sehingga perencanaan pembangunan ini bisa menjadi peluang untuk menawarkan pembangunan PLTS pada unit yang lain dan masyarakat sekitar.



## BAB II DESKRIPSI SITUASI AWAL

### 2.1 Profil PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra)

Lokasi penelitian terletak Pasar Palakka Kab. Bone berada di atas bangunan 3 lantai dengan dimensi bangunan: panjang 25 m, lebar 4,7 m dan tinggi 12 m.

Lokasi bangunan tersebut berada di Kompleks Pasar Palakka Kelurahan Bulu Tempe, Kecamatan Tanete Riattang Barat, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Bangunan ini disewa oleh pihak PT. Telkomsel Indonesia Tbk untuk menempatkan Tower BTS tersebut dan kemudian dikelola oleh PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Territory Operation Bone (TO Bone).



Gambar 2.1 Lokasi tower BTS *rooftop* Pasar Palakka Kab. Bone

## 2.2 Tower BTS *rooftop* Pasar Palakka Kab. Bone

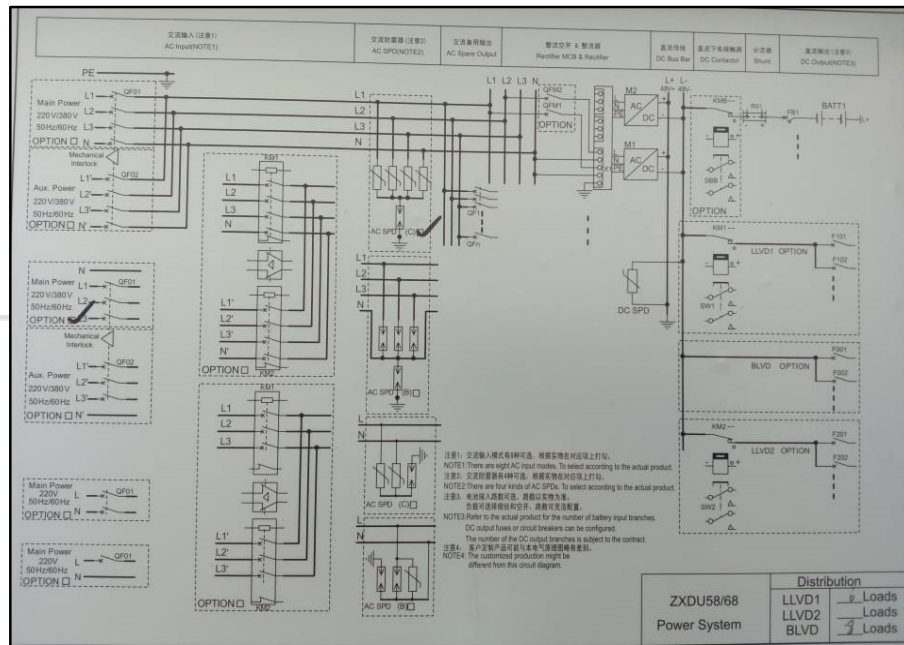


Gambar 2.2 Tower BTS *rooftop* Pasar Palakka Kab. Bone

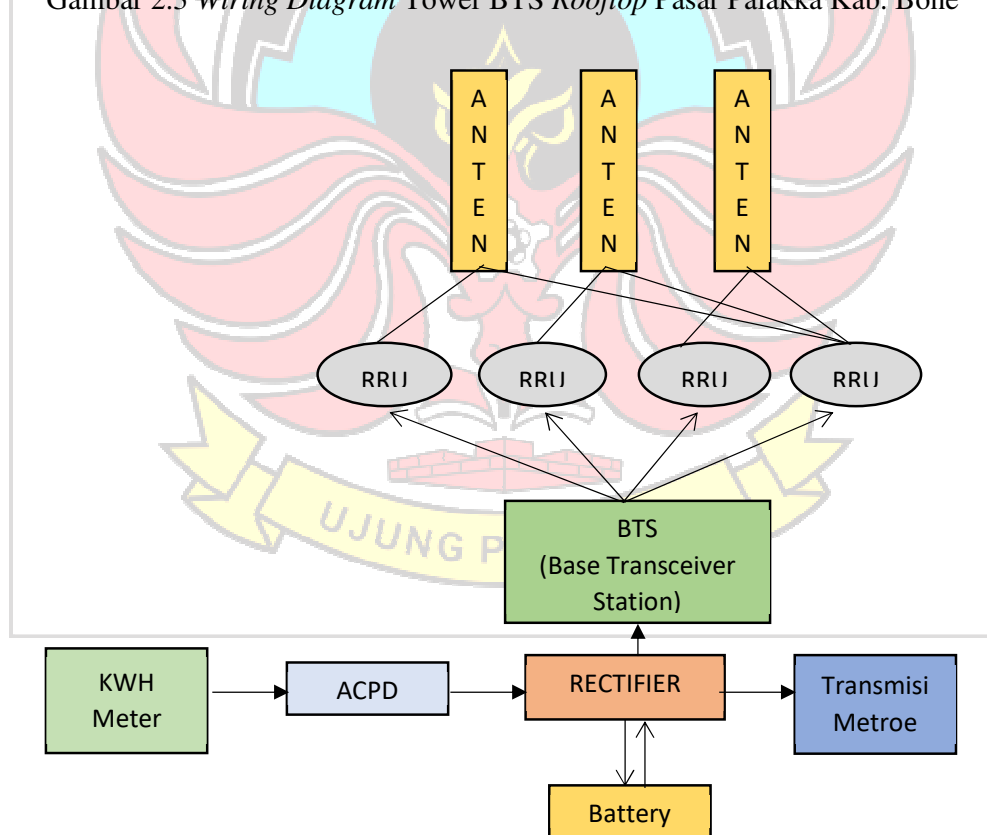
Dari hasil pengukuran komponen tower BTS *rooftop* Pasar Palakka diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 2.1 Pengukuran Komponen Tower BTS *Rooftop* Pasar Palakka Kab. Bone

NO	Nama Alat	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Ket.
1	Radio Remote Unit (RRU)	0.4	0.4	0.6	
2	Rak BTS	0.6	0.7	1	
3	Rak ACPDB & Baterai	1.4	0.7	0.9	
4	Rak Rectifier	0.6	0.7	2	
5	Tiang Antena			5.65	Dia: 18 cm



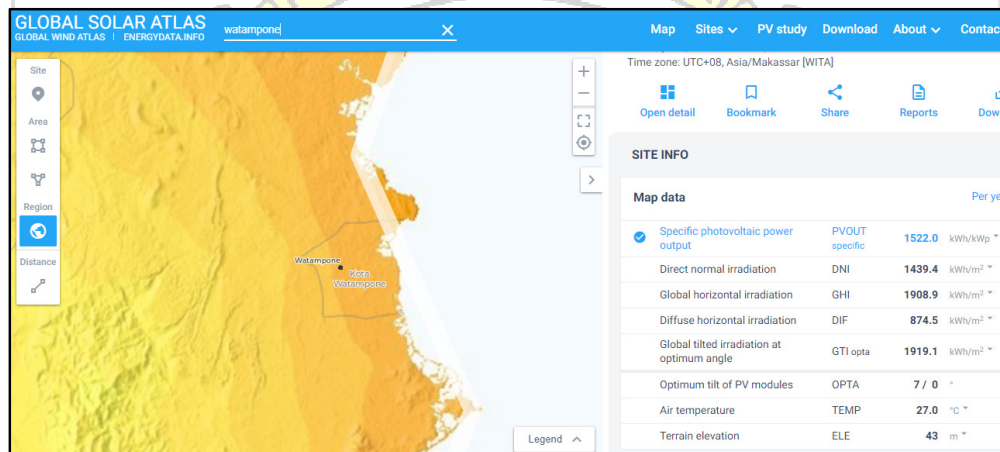
Gambar 2.3 Wiring Diagram Tower BTS Rooftop Pasar Palakka Kab. Bone



Gambar 2.4 Layout Sistem BTS

### 2.3 Data Geografis

Dalam perancangan pembangkit listrik tenaga surya, sangat penting sekali untuk mengetahui kondisi geografis seperti kecepatan angin, temperatur dan sebagainya. Berikut data geografis di Jl. Bulu Tempe, Kecamatan Tanete Riattang Barat, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan yang diperoleh melalui aplikasi PVsyst. Data ini bisa diperoleh dengan cara memasukkan data koordinat lokasi di dalam aplikasi Global Solar Atlas dan PVsyst.



Gambar 2.5 Data geografis lokasi tower BTS rooftop site WTP 186-MCR Pasar Palakka menggunakan aplikasi Global Solar Atlas

### 2.4 Data Gangguan Listrik di Wilayah pasar Palakka

Data gangguan listrik di wilayah pasar Palakka, kab. Bone diperoleh dari PT. PLN (Persero) wilayah SULSEL, SULTRA & SULBAR Area Pengatur Distribusi makassar (UP2D) yang terletak di jl. Serui No.5A Makassar.

Table 2.2 Tabel Gangguan listrik di Wilayah pasar Palakka

No.	Tanggal	Penyebab Padam	Lama Padam	kWh
1	24-Feb-22	Temporer	0:04:00	247
2	6-Mar-22	Gangguan kuskus di JUTM	0:04:00	259
3	22-Apr-22	Tangkai pohon patah kena JTM	0:55:00	3930
4	5-May-22	Tiang dan bendera kena JTM	0:02:05	147
5	6-May-22	Tiang bendera jatuh kena JTM	0:02:00	112
6	7-Jul-22	Ular di trafo	0:02:26	87
7	24-Jul-22	Kus-kus kena JUTM	0:01:00	38
8	29-Sep-22	Pohon tumbang kena JTM	1:11:00	2645
9	2-Oct-22	Temporer	0:02:57	200
10	24-Oct-22	Kus-kus di trafo	0:01:00	60
11	26-Nov-22	Pohon tumbang kena JUTM	0:03:47	255
12	9-Dec-22	Temporer	0:02:18	115
13	15-Dec-22	Tangkai daun korek jatuh ke JTM	0:18:00	505
14	15-Jan-23	Temporer	0:00:20	15
15	26-Jan-23	Temporer	0:02:00	112
16	22-Feb-23	Temporer	0:00:20	6
17	1-Mar-23	Ranting pohon patah kena JUTM	0:14:17	467
18	2-Apr-23	Umbul-umbul kandas di JUTM	0:02:00	132
19	1-May-23	Temporer	0:00:20	9
20	31-May-23	Pohon mangga menyentuh JTM	0:02:47	126
21	1-Jun-23	Hewan kus-kus kandas di JUTM	0:42:07	1978
22	3-Jun-23	Temporer	0:02:27	113
23	8-Jun-23	Gangguan burung merpati di JUTM	0:00:52	2
24	21-Jun-23	Temporer	0:02:00	135
25	9-Jul-23	Temporer	0:01:31	91
26	23-Jul-23	Burung merpati di trafo	0:02:24	127

Untuk data selengkapnya dapat dilihat di lampiran (Gangguan Pasar Palakka 2023)

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah:

- Pengumpulan Data Primer

Data primer yaitu melakukan pengumpulan data melalui pengukuran. Pengukuran yang dilakukan diantaranya adalah pengukuran luasan *rooftop* tower BTS Pasar Palakka Kab. Bone dan pengukuran penggunaan beban harian yang bertujuan untuk mengetahui nilai nilai yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian.

- Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder, yaitu melakukan pengumpulan data melalui data dari buku, jurnal dan lembaga terkait lainnya untuk mengetahui data – data diantaranya data Iradiasi, pada lokasi pembangkitan dan spesifikasi komponen PLTS yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian.

- Metode Observasi

Metode observasi yaitu teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui suatu pengamatan, dengan disertai pencatatan terhadap keadaan untuk memastikan rancangan yang diusulkan sesuai dengan batasan yang ditentukan, melihat langsung kondisi di lapangan untuk mempelajari keadaan di lapangan mengenai pelaksanaan penelitian.

### 3.2 Studi Literatur

Pada tahap studi literatur dilakukan serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan pengumpulan data pustaka, serta mengolah bahan penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan aspek teoritis maupun aspek manfaat praktis.


Berikut adalah kumpulan beberapa sumber informasi yang akan memberikan informasi solutif dalam menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 Hasil Review Sumber Informasi

Penulis	Judul Penelitian	Hasil
Kristiawan, Kumara, dan Giriantari, (2019).	Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Gedung Sekolah di Kota Denpasar	Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) rooftop adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan sinar matahari selaku sumber energi terbarukan dan atap gedung (rooftop) sebagai tempat panel surya. Makalah ini menyajikan hasil kajian tentang potensi pembangkit listrik tenaga surya berbasis atap gedung di kota Denpasar dengan mengambil lokasi pada atap gedung SD Negeri 5 Pedungan Jalan Diponegoro no 60 Denpasar dengan menggunakan objek PLTS yang sudah terpasang. Kajian dilakukan dengan bantuan software Heliospoce. Berdasarkan kajian tersebut diperoleh informasi bahwa potensi



		<p>energi matahari ada 1912,8kWh/m2/tahun atau rata-rata sebesar 5,2kWh/m2/hari di kota Denpasar. Sinar matahari yang dapat menghasilkan listrik mulai pada pukul 07.00 - 18.30 WITA. Potensi energi listrik dari PLTS yang terpasang sebesar 3214.6 kWh dengan sudut sesuai dengan sudut atap sebesar 30.96°. Hasil Potensi energi listrik yang dihasilkan akan lebih besar apabila dalam pemasangan PLTS menggunakan sudut optimal (15°) yaitu sebesar 3407kWh.</p>
<p>Rizkasari, Wilopo, Ridwan, (2020).</p>	<p>Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Untuk Plts Di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral (Pup-Esdm) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta</p>	<p>Konsumsi energi listrik di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Penjualan energi listrik PLN tahun 2018 sebesar 234.617,88 GWh meliputi sektor industri, sektor rumah tangga, sektor komersial, dan sektor publik. Sedangkan konsumsi energi listrik di D. I. Yogyakarta tahun 2018 sebesar 2.857,06 GWh meliputi sektor rumah tangga, sektor industri, sektor bisnis, sektor sosial, sektor gedung kantor pemerintahan dan penerangan jalan umum. Dalam memenuhi permintaan energi listrik, pembangkit listrik yang terpasang di Yogyakarta</p>

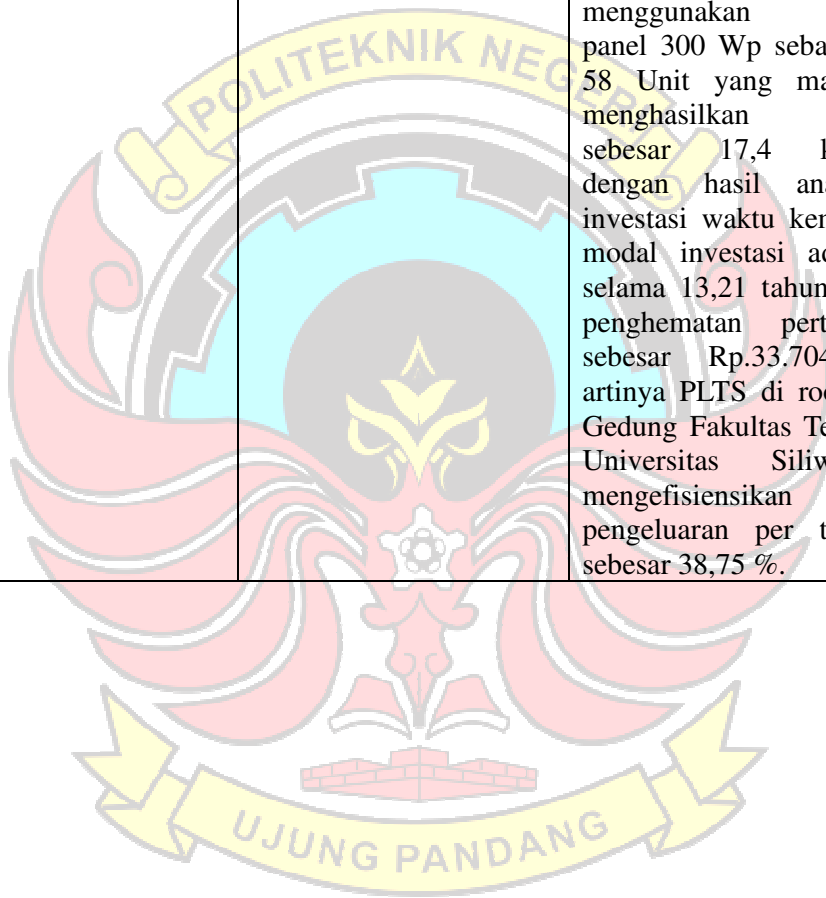
		<p>terdiri dari PLTMH, PLTB, PLTS dan PLTHybrid dengan kapasitas terpasang sebesar 4,84 MW sehingga kelistrikan di Yogyakarta dipasok dari jaringan interkoneksi Jawa-Madura-Bali.</p>
		<p>Sumber daya energi yang digunakan oleh jaringan interkoneksi umumnya menggunakan energi fosil (batubara). Oleh karena itu kita memerlukan pengganti bahan bakar fosil di masa depan. Pemanfaatan energi terbarukan salah satunya pengoptimalan energi surya yang dapat diterapkan pada daerah perkotaan. Sektor bangunan mengkonsumsi hingga 40% dari total energi tahunan. Salah satu gedung yang dapat menerapkan pemanfaatan energi terbarukan yaitu gedung kantor Dinas PUP-ESDM D. I. Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi daya yang dihasilkan dari PLTS atap jika dibangun pada gedung Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral (PUP-ESDM) D. I. Yogyakarta. Penelitian dilakukan dengan</p>

		<p>melakukan simulasi energi menggunakan software HelioScope. Hasil simulasi menunjukkan sisi timur gedung 1, sisi timur gedung 2, sisi timur gedung 3, sisi barat gedung 2 dan sisi utara gedung 2 merupakan lokasi optimal fotovoltaik. Total potensi energi yang dihasilkan dari kelima atap tersebut sebesar 73.484,5 kWh/tahun dan mampu menyuplai kebutuhan energi Dinas PUP-ESDM sebesar 74,42 %.</p>
Santoso, (2016).	<p>Perancangan Dan Simulasi Sistem Off grid Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Tower BTS 1500 Watt.</p>	<p>Dalam tulisan ini membahas tentang perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang digunakan adalah untuk tower BTS 1500 Watt dengan sistem off grid. Rancangan yang dihitung secara teknis maupun disimulasikan melalui sebuah software komputer untuk mengetahui perkiraan dari energi listrik yang diproduksi oleh surya module. serta memperhitungkan penggunaan baterai apabila tidak adanya sinar matahari atau autonomy days.</p>
Sihotang, (2019)	<p>Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Di Hotel Kini Pontianak</p>	<p>Kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan</p>

		<p>teknologi. Peningkatan dipicu juga oleh laju pertumbuhan kebutuhan energi 6,86 % setiap tahunnya. Kebutuhan energi sebagian besar berasal dari energi tak terbarukan yang memiliki keterbatasan dan tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu diperlukan alternatif energi terbarukan dan ramah lingkungan. Salah satu alternatif tersebut adalah pemanfaatan energi matahari sebagai pembangkit listrik yang dikonversikan dengan panel surya. Kaitanya dengan itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi, kontribusi dan aspek biaya energi matahari sebagai pembangkit listrik di atap Hotel Kini Pontianak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi PLTS Rooftop di Hotel Kini Pontianak dapat membangkitkan kapasitas total 119,857946 kWh yang memiliki energi konversi sebesar 43.748,15 kWh/tahun. Total investasi awal sebesar Rp 1.076.367.000. Dengan harga energi per kWh Rp 1.467,28 /kWh, total arus kas masuk sebesar Rp 425.130.239.</p>
Syaeful Anwar, (2021)	Analisis Kelayakan Pembangkit Energi	Penelitian ini membahas perancangan pembangkit

	<p>Listrik Tenaga Surya Rooftop di Gedung Fakultas Teknik Universitas Siliwangi</p>	<p>energi listrik tenaga surya pada rooftop Gedung Fakultas Teknik Universitas Siliwangi. Sistem PLTS merupakan salah satu energi terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia. PLTS memiliki beberapa konfigurasi diantaranya adalah grid connected dan stand-alone. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi dan analisis kelayakan pembangkitan energi listrik tenaga surya. Analisis kelayakan menggunakan parameter nilai investasi diantaranya adalah Penghematan Biaya Pengeluaran Untuk Tagihan Listrik, Analisis Waktu Kembali Modal Investasi, dan Efisiensi dari PLTS Setiap Tahunnya. Penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsyst dengan berlokasi di rooftop Gedung Fakultas Teknik Universitas Siliwangi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan apabila dibangun PLTS di rooftop Gedung Fakultas Teknik Universitas Siliwangi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa di gedung Fakultas Teknik Universitas Siliwangi tidak dapat dibangun</p>
--	---	---

		<p>PLTS dengan konfigurasi off-grid karena luasan rooftop yang terbatas, tetapi dapat dibangkitkan PLTS dengan konfigurasi on-grid yang memerlukan lahan pembangkitan seluas 87 m<sup>2</sup>,</p>
		<p>menggunakan solar panel 300 Wp sebanyak 58 Unit yang mampu menghasilkan daya sebesar 17,4 kWp, dengan hasil analisis investasi waktu kembali modal investasi adalah selama 13,21 tahun dan penghematan pertahun sebesar Rp.33.704.100 artinya PLTS di rooftop Gedung Fakultas Teknik Universitas Siliwangi mengefisiensikan pengeluaran per tahun sebesar 38,75 %.</p>



Tabel 3.2 Estimasi Kebutuhan Energi Harian

No	Jenis Beban	Jumlah	Daya (Watt)	Daya Total (Watt)	Waktu Pemakaian/Hari (h)		Kebutuhan Energi (Wh)		Total Energi (Wh)
					Siang	Malam	Siang	Malam	
1	Sistem BTS	1	3102	3102	12	12	37224	37224	74448
<b>Total</b>			<b>3102</b>	<b>3102</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>37224</b>	<b>37224</b>	<b>74448</b>

### 3.3 Data Iklim

#### 3.3.1 Software PVSyst 7.3

Data Iklim dan Intensitas Radiasi Matahari diperoleh dari sumber database Meteororm 8.1 melalui software PVSyst 7.3 dengan memilih titik koordinat tepat di lokasi Rumah Sakit Mata Makassar. Adapun data Insolasi, Suhu, Diffuse Irradiation dan Kecepatan Angin dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Insolasi, Suhu, Diffuse Irradiation dan Kecepatan Angin

Bulan	Global Horizontal Irradiation (kWh/m <sup>2</sup> /day)	Horizontal Diffuse Irradiation (kWh/m <sup>2</sup> /day)	Temperature (°C)	Wind Velocity (m/s)
Januari	6.06	2.34	25.3	0.99
Februari	5.38	3.02	25.8	0.99
Maret	5.69	2.55	25.9	0.99
April	5.76	2.33	26.1	1.00
Mei	5.33	2.26	27.0	0.99
Juni	5.00	2.15	26.2	1.09
Juli	5.76	1.78	26.1	1.40
Agustus	6.50	1.84	26.5	1.49
September	6.60	2.15	26.6	1.39
Oktober	6.60	2.55	27.2	1.09

November	6.39	2.35	26.1	1.31
Desember	5.80	2.53	25.9	.1.29
Annual	5.91	2.32	26.2	1.2

Pada Tabel 3.3 menunjukkan perubahan temperatur dan kecepatan angin dalam waktu satu tahun. Salah satunya yang terpenting dalam penelitian kali ini adalah intensitas radiasi sinar matahari pada lokasi Tower BTS di Pasar Palakka Kabupaten Bone dengan rata-rata radiasi sinar matahari sebesar 5.91 kWh/m<sup>2</sup>/day. Dan pada tabel ini menunjukkan bahwa temperatur tertinggi di siang hari dapat mencapai 27.2 pada bulan Oktober dan temperatur terendah dapat mencapai 25.3 pada bulan Januari sehingga diperoleh rata-rata temperatur dalam satu tahun adalah 26.2 °C.

### 3.3.2 Software Homer Pro

#### 1) Data Parameter Radiasi Matahari dan Suhu Udara

Berdasarkan data radiasi matahari dan suhu udara yang didapatkan pada software PVsyst (Meteonorm 8.1, 2016-2021), maka parameter untuk radiasi matahari dan suhu udara ditambahkan pada kolom bagian resources.

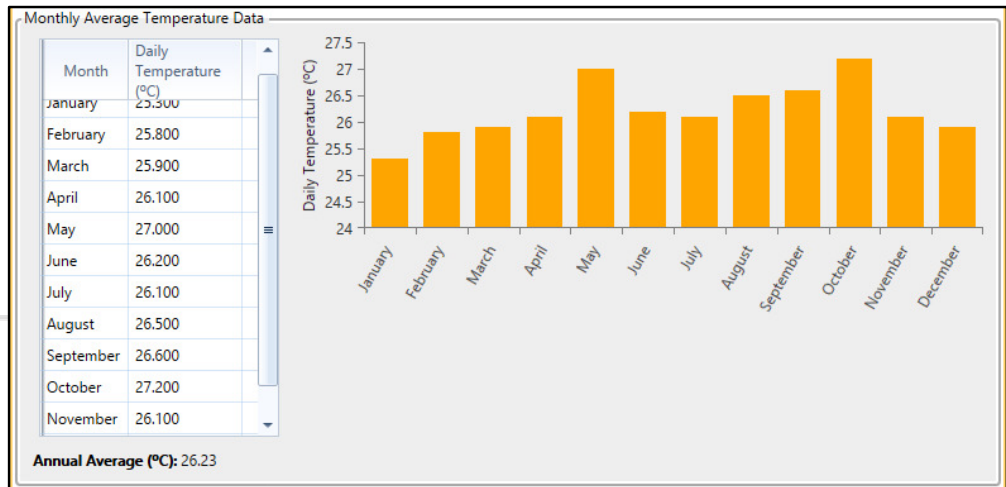




Gambar 3.1 Input Data Radiasi Matahari

Pada menu Solar GHI Resources, terdapat dua pilihan sumber data yaitu dapat dilakukan dengan input data secara manual atau input data dari jaringan internet. Di bagian kiri, terdapat tabel rata-rata radiasi matahari dan tingkat kejernihan udara setiap bulan dalam jangka waktu 1 tahun yang dapat diinput.

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa rata-rata radiasi matahari di Pasar Palakka, Kel. Bulu Tempe, Kec. Tanete Riattang Barat, Kab. Bone setiap tahunnya adalah 5,90 kWh/m<sup>2</sup>/day. Kemudian di bagian kanan, terdapat grafik kurva dari radiasi matahari dalam periode 1 tahun. Terlihat bahwa data radiasi matahari tertinggi berada pada bulan September dan Oktober.



Gambar 3.2 Input Data Suhu Udara

Pada menu *Temperature Resources*, dapat dilakukan input data secara manual atau menggunakan data dari jaringan internet. Pada bagian kiri, terdapat tabel suhu udara rata-rata dalam satu bulan dalam periode waktu 1 tahun.

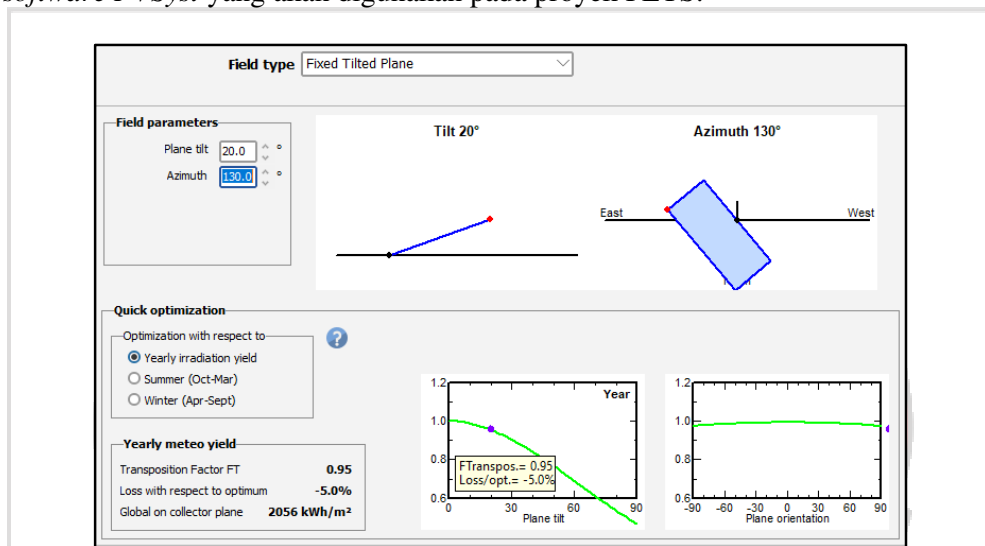
Gambar 3.2 menunjukkan bahwa rata-rata suhu udara di Desa Bulu Tempe (Pasar Palakka Bone) dalam 1 tahun adalah 26,23°C. Kemudian pada bagian kanan, terdapat grafik kurva suhu matahari dalam periode 1 tahun. Terlihat bahwa suhu udara tertinggi terjadi pada bulan Oktober.

### 3.4 Desain Sistem Hybrid Dengan Software PVsyst

#### 3.4.1 Orientasi Sistem

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

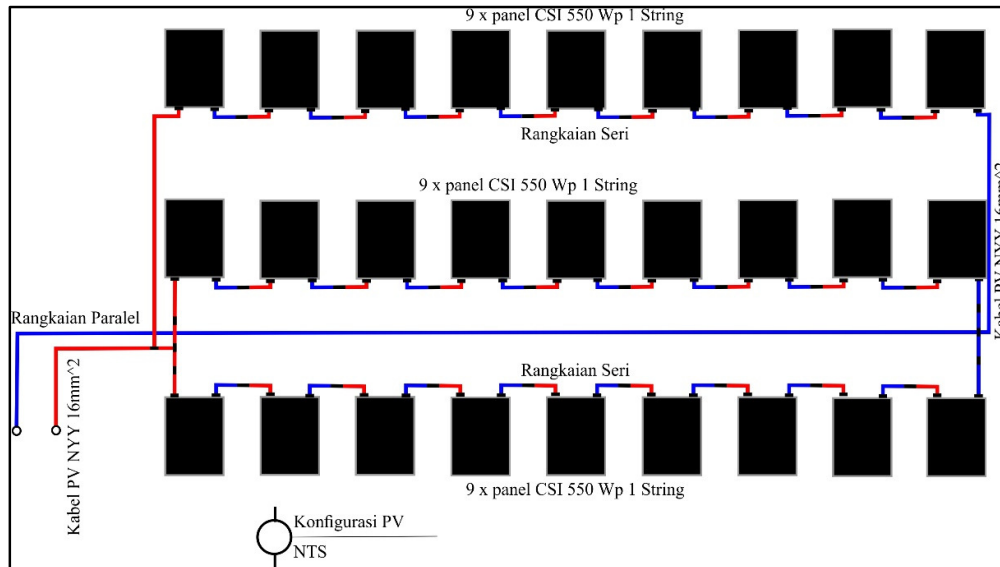
merah sampai mendapatkan *losses* 0,0%, sehinggadidapatkan nilai tilt sebesar 20° dan titik azimuth 130° menghadap tenggara (data diperoleh menggunakan kompas). Parameter *system* ini merupakan parameter untuk menentukan komponen-komponen dengan menggunakan datasheet yang tersedia pada *software PVSyst* yang akan digunakan pada proyek PLTS.



Gambar 3.3 Tampilan Menu *Main Parameters Orientation*

### 3.5 Konfigurasi PV

Jenis PV yang digunakan ialah Canadian Solar HiKu6 Mono PERC CS6W 550Wp dengan tipe monocrystalline dengan spesifikasi nilai  $V_{mp}= 41.7$  V dan  $I_{mp}=13.20$  A. Jumlah panel surya sebanyak 27 unit yang kemudian dibagi menjadi 3 string dimana pada masing-masing string terdapat 9 unit PV yang rangkai secara seri, kemudian ketiga string dirangkai secara paralel. Jenis kabel yang gunakan pada PV yaitu NYY 16mm<sup>2</sup> dihubungkan ke inverter dan dilengkapi dengan MCB DC 40 ampere. Adapun konfigurasi panel surya dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Konfigurasi Panel Surya

### 3.6 Aspek Penelitian

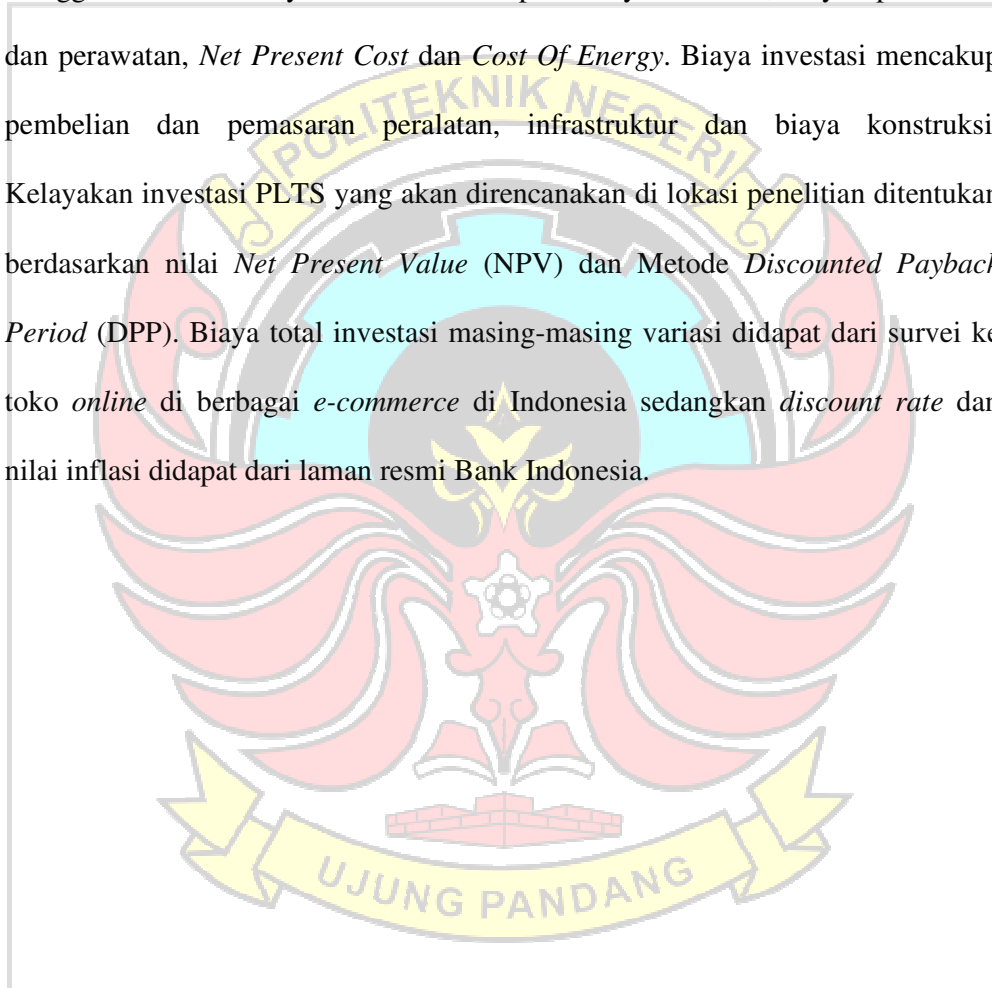
#### 3.6.1 Analisis Teknis

Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid merupakan kombinasi antara PLTS dan PLN yang dapat meningkatkan renewable penetration dan efisiensi energi. Dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan dari sinar matahari yang diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Analisis teknis dilakukan untuk mengetahui kapasitas PLTS yang akan dirancang, dengan menentukan spesifikasi komponen yang digunakan, orientasi panel surya dan daya yang dapat dihasilkan PLTS. Dengan melakukan analisis sinar matahari dan pemodelan sistem yang akan digunakan untuk menentukan ukuran optimasi panel surya dan setiap komponen yang digunakan. Setelah melakukan rancangan sistem PLTS ini, dapat dianalisis secara teknis yaitu

berdasarkan energi listrik yang dihasilkan dan menghitung performa sistem, analisis teknis ini didapatkan dari hasil simulasi yang diperoleh dari PVSyst.

### 3.6.2 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga surya dengan menggunakan sistem hybrid ini berfokus pada biaya investasi, biaya operasional dan perawatan, *Net Present Cost* dan *Cost Of Energy*. Biaya investasi mencakup pembelian dan pemasaran peralatan, infrastruktur dan biaya konstruksi. Kelayakan investasi PLTS yang akan direncanakan di lokasi penelitian ditentukan berdasarkan nilai *Net Present Value* (NPV) dan Metode *Discounted Payback Period* (DPP). Biaya total investasi masing-masing variasi didapat dari survei ke toko *online* di berbagai *e-commerce* di Indonesia sedangkan *discount rate* dan nilai inflasi didapat dari laman resmi Bank Indonesia.



## BAB IV HASIL DAN DISKUSI

### 4.1 Analisis Teknis

Berdasarkan analisis teknis yang telah dilakukan menggunakan simulasi software PVsyst dan Homer pro diperoleh hasil akhir berupa Parameter umum seperti jumlah panel surya, inverter, dan baterai serta nilai system power serta produksi energi masing-masing pembangkit, total produksi dari sistem, dan performa sistem. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Perbandingan Analisa Teknis PVsyst 7.3 dan Homer Pro

Parameter	PVsyst 7.3	Homer Pro
Project Lifetime (year)	25	25
Panel Surya (unit)	27	27
System Power (kWp)	14.85	14.85
Inverter (unit)	1	1
Baterai (unit)	10	10
Beban Kelistrikan (kWh)	74448 Wh	74448 Wh
Produce Energy (kWh/year)	20.739 kWh/year	26.258 kWh/year
Biaya Investasi Awal	Rp. 303.691.546	Rp. 303.691.550
<i>Payback Period</i> (year)	19.4 tahun	3 Tahun
<i>Net Present Value</i> (NPV)	Rp 135.816.021	Rp 421.470.600
IRR	12.07%	36.2%

Dari tabel tersebut menunjukkan bahwa sistem yang didesain dapat memenuhi kebutuhan energi di PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Territory Operation Bone (TO Bone). dengan menunjukkan angka produksi energi pada perencanaan PVSyst sebesar 20.739 kWh/year. Adapun pada perencanaan HOMER Pro angka produksi energi sebesar 26.258 kWh/year.

## 4.2 Analisis Ekonomi

### 4.2.1 Analisis Perhitungan Ekonomi

#### 1) Biaya Investasi PLTS

Biaya investasi awal untuk Perencanaan PLTS Hybrid untuk Tower BTS Rooftop Pasar Palakka Kab. Bone yang akan didesain pada lokasi tower berada yang mencakup Biaya Instalasi PLTS, Biaya Komponen PLTS, Biaya Komponen Pendukung PLTS serta Biaya Pengiriman. Biaya untuk komponen PLTS ini terdiri dari biaya untuk pembelian panel surya, inverter, baterai, dll.

Berdasarkan hasil perhitungan numerik diatas dan harga komponen yang diperoleh dari situs online maka biaya investasi dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Asumsi Rincian Biaya dan Investasi

No.	Komponen	Jumlah	Satuan	Harga Per Unit	Total Harga
<b>Komponen Utama</b>					<b>Rp 283,809,550</b>
1	Panel Surya CSI 550 (Wp)	27	Unit	Rp 3,200,000	Rp 86,400,000
2	Inverter Hybrid 16.5 Kw	1	Unit	Rp 47,457,000	Rp 47,457,000
3	Baterai 48V 100Ah	10	Unit	Rp 14,995,255	Rp 149,952,550
<b>Komponen Sistem Penyangga</b>					<b>Rp 10,172,000</b>
4	Aluminium Rail 2.1 M	40	Unit	Rp 195,000	Rp 7,800,000
5	Mid Clamp 40 mm	56	Pcs	Rp 13,500	Rp 756,000
6	End Clamp 40 mm	16	Pcs	Rp 13,000	Rp 208,000
7	L Feet + Hanger Bolt	32	Pcs	Rp 44,000	Rp 1,408,000
<b>Perangkat Proteksi</b>					<b>Rp 416,000</b>
8	MCB DC 40 A 440 V	1	Unit	Rp 62,000	Rp 62,000
9	MCB DC 125 A	1	Unit	Rp 78,000	Rp 78,000
10	MCB AC 100 A	1	Unit	Rp 76,000	Rp 76,000
11	SPD DC 500 VDC	1	Unit	Rp 200,000	Rp 200,000
<b>Pengkabelan</b>					<b>Rp 6,694,000</b>
12	Kabel NYY 16 mm <sup>2</sup>	60	Meter	Rp 27,000	Rp 1,620,000
13	Kabel NYY 35 mm <sup>2</sup>	4	Meter	Rp 71,000	Rp 284,000
14	Kabel NYY 10 mm <sup>2</sup>	20	Meter	Rp 27,000	Rp 540,000
15	Combiner Box	1	Unit	Rp 250,000	Rp 250,000
16	Aksesoris Tambahan				Rp 4,000,000
<b>Instalasi</b>					<b>Rp 2,600,000</b>
16	Transport	2	Unit	Rp 300,000	Rp 600,000
17	Setting				Rp 2,000,000
<b>INVESTASI AWAL</b>					<b>Rp 303,691,550</b>

## 2) Menghitung Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun pada PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal. Berdasarkan acuan tersebut maka pada perhitungan ini besar persentase untuk biaya



pemeliharaan dan operasional per tahun PLTS yang mencakup biaya untuk pekerjaan pembersihan panel surya, biaya pemeliharaan dan pemeriksaan rutin peralatan dan instalasi ditetapkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal. Penentuan persentase 1% didasarkan bahwa di wilayah Indonesia sendiri hanya mengalami dua musim, yaitu musim panas dan musim hujan sehingga biaya pembersihan dan pemeliharaan panel suryanya tidak sebesar pada negara atau wilayah lain yang mengalami sampai 4 musim dalam satu tahun.

Berdasarkan Tabel 4.2 biaya investasi awal, maka besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan diimplementasikan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M &= 1\% \times \text{Biaya Investasi Awal} \\ &= 1\% \times \text{Rp } 303.691.550 \\ &= \text{Rp } 3.036.916 \text{ per tahun} \end{aligned}$$

### 3) Menghitung Biaya Siklus Hidup (LCC)

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 (MPW) dan (RPW) biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian selama umur proyek.

PLTS yang akan dirancang pada penelitian ini, akan beroperasi selama 25 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 penelitian ini adalah sebesar 9.27%. 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 (MPW) PLTS selama umur proyek 25 tahun dengan tingkat diskonto 9,27%, dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

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

$$M_{PW} = Rp 3.036.916 \left[ \frac{(1+0,0927)^{25} - 1}{0,0927 (1+0,0927)^{25}} \right]$$

$$M_{PW} = Rp 3.036.916 \left[ \frac{8,1733}{0,8504} \right]$$

$$M_{PW} = Rp 3.036.916 \times 9,61$$

$$M_{PW} = Rp 29.184.763$$

Adapun Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian selama umur proyek ( $R_{PW}$ ) dapat dihitung dengan menjumlahkan biaya penggantian baterai dan inverter yang dapat di kembangkan sebagai berikut.

$$R_{PW} = \text{Biaya Penggantian Baterai} + \text{Biaya penggantian inverter}$$

$$R_{PW} = Rp 14.995.255 + Rp 47.457.000$$

$$R_{PW} = Rp 62.452.255$$

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 25 tahun dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$LCC = \text{Rp } 303.691.550 + \text{Rp } 29.184.763 + \text{Rp } 62.452.255$$

$$LCC = \text{Rp } 395.328.568$$

#### 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.

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

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

$$= \frac{9,27\%(1+9,27\%)^{25}}{(1+9,27\%)^{25} - 1} = 0.1040$$

Sedangkan untuk kWh produksi tahunan PLTS dapat dihitung sebagai berikut.

$$AkWh = \text{kWh Produksi Harian} \times 365 \text{ Hari}$$

$$AkWh = 74.472 \times 365 \text{ Hari}$$

$$AkWh = 27.182.280 \text{ Wh}$$

Berdasarkan hasil perhitungan LCC, CRF dan kWh produksi tahunan maka besar biaya energi (COE) Untuk PLTS yang akan di rancang pada PLTS adalah sebagai berikut.

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{AKWH}$$

$$COE = \frac{Rp\ 395.328.568 \times 0.1040}{27.182}$$

$$COE = 1.512/kWh$$

#### 4.4.2 Analisis Kelayakan Investasi PLTS

Kelayakan investasi PLTS yang akan didesain pada rumah tinggal 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 4.3 menunjukkan hasil perhitungan arus kas bersih, faktor diskonto dengan tingkat diskonto (i) sebesar 9,27% dan nilai sekarang arus kas bersih.

Tabel 4.3 Perhitungan DF, NCF dan PVNCF, dengan  $i=9.27\%$

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Discount factor (DF)	PV	Kumulatif (PVNCF)
0	Rp 303,691,550				1.000		
1		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.9152	Rp 34,833,615	Rp 34,833,615
2		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.8375	Rp 31,878,480	Rp 66,712,095
3		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.7665	Rp 29,174,046	Rp 95,886,141
4		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.7014	Rp 26,699,045	Rp 122,585,186
5		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.6419	Rp 24,434,012	Rp 147,019,198
6		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.5875	Rp 22,361,135	Rp 169,380,332
7		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.5376	Rp 20,464,111	Rp 189,844,444
8		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4920	Rp 18,728,024	Rp 208,572,468
9		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4503	Rp 17,139,218	Rp 225,711,686
10		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4121	Rp 15,685,200	Rp 241,396,886
11		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3771	Rp 14,354,535	Rp 255,751,421
12		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3451	Rp 13,136,757	Rp 268,888,178
13		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3159	Rp 12,022,291	Rp 280,910,469
14		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2891	Rp 11,002,371	Rp 291,912,840
15		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2645	Rp 10,068,977	Rp 301,981,817
16		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2421	Rp 9,214,768	Rp 311,196,585
17		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2216	Rp 8,433,026	Rp 319,629,611
18		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2028	Rp 7,717,604	Rp 327,347,216
19		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1856	Rp 7,062,876	Rp 334,410,092
20		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1698	Rp 6,463,692	Rp 340,873,783
21		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1554	Rp 5,915,340	Rp 346,789,123
22		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1422	Rp 5,413,508	Rp 352,202,631
23		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1302	Rp 4,954,249	Rp 357,156,879
24		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1191	Rp 4,533,951	Rp 361,690,831
25		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1090	Rp 4,149,310	Rp 365,840,141
<b>Total</b>						Rp 365,840,141	Rp 365,840,141

Arus kas masuk tahunan PLTS dihasilkan dengan mengalikan kWh produksi tahunan PLTS dengan biaya energi. Dengan kWh produksi tahunan PLTS sebesar 27.182.280 Wh dan biaya energi sebesar Rp. 1.512/kWh maka besar arus kas masuk tahunan adalah Rp 41.099.607 adapun untuk arus kas keluar tahunan PLTS diperhitungkan sebesar Rp 3.036.916 yang ditentukan berdasarkan biaya pemeliharaan dan operasional tahunan PLTS.

##### 5) Net Present Value (NPV)

Pada hasil perhitungan sebelumnya 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 :

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

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{AkWh \times COE - M}{(1+i)^t} - C$$

$$NPV = Rp\ 365.840.141 - Rp\ 303.691.550$$

$$NPV = Rp\ 62.148.591$$

Berdasarkan hasil perhitungan NPV yang bernilai positif sebesar Rp 62.148.591 (> 0), menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan dirancang layak untuk dilaksanakan.

6) *Profitability Index* (PI)

*Profitability Index* atau model rasio manfaat biaya (*benefit cost ratio*) merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Dengan total nilai sekarang arus kas bersih (PVNCF) sebesar Rp 365.840.141 dan biaya investasi awal (*Initial Investment*) sebesar Rp 303.691.550 maka besar nilai *Profitability Index* dapat dihitung sebagai berikut.

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

$$PI = \frac{365.840.141}{303.691.550} = 1.20$$

Berdasarkan hasil perhitungan PI yang bernilai 1.20 (> 1), menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan dirancang pada PLTS Hybrid Tower BTS layak untuk dilaksanakan.

7) *Discounted Payback Period (DPP)*

*Payback Period* adalah periode lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek (investasi).

Pada Tabel 4.3 menunjukkan tahun ke-15, nilai sekarang arus kas bersih kumulatif (PVNCF) mendekati nilai investasi awal dengan kekurangan sebesar Rp 1.709.733 yaitu dari Rp 303.691.550 – Rp 301.981.817. Dalam tahun ke-16, nilai sekarang arus kas bersih adalah sebesar Rp 9.214.768. Sehingga untuk dapat menutupi kekurangan investasi awal sebesar Rp 1.709.733 maka lama waktu yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut.

$$DPP = \frac{\text{Investment Cost} - \text{PVNCF Tahun 15}}{\text{NCF Tahun 16}} \times 12 \text{ Bulan}$$

$$DPP = \frac{\text{Rp } 303.691.550 - \text{Rp } 301.981.817}{\text{Rp } 9.214.768} \times 12 \text{ Bulan}$$

$$DPP = 2.23 \text{ Bulan}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dihasilkannya DPP sekitar 3 tahun 11 bulan, menunjukkan bahwa investasi PLTS Hybrid Tower BTS di Kabupaten Bone untuk dilaksanakan. Hal ini karena DPP yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih kecil dari periode umur proyek yang ditetapkan, yaitu selama 25 tahun.

8) *Internal Rate Return (IRR)*

Tabel 4.4 Perhitungan DF, NCF, dengan  $i=8.27\%$

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Discount factor (DF)	PVr
0	Rp 303,691,550				1.000	
1		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.9236	Rp 35,155,344
2		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.8531	Rp 32,470,070
3		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.7879	Rp 29,989,905
4		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.7277	Rp 27,699,182
5		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.6721	Rp 25,583,432
6		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.6208	Rp 23,629,290
7		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.5734	Rp 21,824,411
8		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.5296	Rp 20,157,395
9		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4891	Rp 18,617,710
10		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4518	Rp 17,195,631
11		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4173	Rp 15,882,175
12		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3854	Rp 14,669,045
13		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3560	Rp 13,548,578
14		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3288	Rp 12,513,695
15		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3037	Rp 11,557,860
16		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2805	Rp 10,675,035
17		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2590	Rp 9,859,642
18		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2393	Rp 9,106,532
19		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2210	Rp 8,410,947
20		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2041	Rp 7,768,493
22		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1741	Rp 6,627,054
23		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1608	Rp 6,120,859
24		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1485	Rp 5,653,328
25		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1372	Rp 5,221,510
<b>Total</b>						Rp 389,937,124

Tabel 4.4 menunjukkan hasil perhitungan arus kas bersih (NCF), faktor diskonto (DF) dengan tingkat suku bunga rendah ( $i$ ) sebesar 8.27 %. Berdasarkan hasil perhitungan arus kas bersih (NCF), dan faktor diskonto (DF) dengan  $i = 8.27\%$  maka NPVr dapat dihitung sebagai berikut.

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

$$NPVr = \sum_{t=1}^n \frac{AkWh \times COE - M}{(1+i)^t} - C$$

$$NPVr = Rp 389.937.124 - Rp 303.691.550$$

$$NPVr = Rp 86.245.574$$



Tabel 4.5 Perhitungan DF, NCF, dengan i=10.27%

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Discount factor (DF)	PVt
0	Rp 303,691,550				1.000	
1		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.9069	Rp 34,517,721
2		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.8224	Rp 31,302,912
3		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.7458	Rp 28,387,515
4		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.6763	Rp 25,743,642
5		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.6134	Rp 23,346,007
6		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.5562	Rp 21,171,676
7		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.5044	Rp 19,199,852
8		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4574	Rp 17,411,673
9		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.4148	Rp 15,790,036
10		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3762	Rp 14,319,431
11		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3412	Rp 12,985,790
12		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.3094	Rp 11,776,358
13		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2806	Rp 10,679,566
14		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2544	Rp 9,684,925
15		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2307	Rp 8,782,919
16		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.2093	Rp 7,964,922
17		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1898	Rp 7,223,108
18		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1721	Rp 6,550,384
19		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1561	Rp 5,940,314
20		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1415	Rp 5,387,062
21		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1283	Rp 4,885,338
22		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1164	Rp 4,430,342
23		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.1056	Rp 4,017,722
24		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.0957	Rp 3,643,531
25		Rp 41,099,607	Rp 3,036,916	Rp 38,062,691	0.0868	Rp 3,304,191
<b>Total</b>						Rp 338,446,937

Tabel 4.5 menunjukkan hasil perhitungan arus kas bersih (NCF), faktor diskonto (DF) dengan tingkat suku bunga rendah (i) sebesar 10.27 %. Berdasarkan hasil perhitungan arus kas bersih (NCF), dan faktor diskonto (DF) dengan  $i = 10.27\%$  maka NPVt dapat dihitung sebagai berikut.

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

$$NPVt = \sum_{t=1}^n \frac{AkWh \times COE - M}{(1+i)^t} - C$$

$$NPVt = Rp 338.446.937 - Rp 303.691.550$$

$$NPVt = Rp 34.755.387$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, diperoleh nilai NPVr sebesar Rp 86.245.574 dan nilai NPVt sebesar Rp 34.755.387, nilai IRR dapat dihitung sesuai persamaan (2-19) sebagai berikut.

$$IRR = Ir + \left( \frac{NPVr}{NPVr - NPVt} \right) (it - ir)$$

$$IRR = 8.27\% + \left( \frac{Rp\ 86.245.574}{Rp\ 86.245.574 - Rp\ 34.755.387} \right) (10,27\% - 8.27\%)$$

$$IRR = 11.62\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan IRR yang bernilai 11.62%, maka dinyatakan layak karena lebih besar dari suku bunga.

#### 4.3 Perbandingan Analisis Kelayakan Ekonomi PLTS

Tabel 4.6 Perbandingan Analisis Ekonomi PLTS

Variabel Perbandingan	Perhitungan	PVsyst 7.3	Homer Pro
<i>Cost of Energy(kWh)</i>	Rp 1.512	Rp 3.047	Rp 5.538
<i>Net Present Value (NPV)</i>	Rp 62.148.591	Rp 135.816.021	Rp 421.470.600
<i>Payback Period (year)</i>	3 Tahun 11 Bulan	19 Tahun 4 Bulan	3 Tahun
<i>Internal Rate Return (IRR)</i>	11.62%	12.07%	36.2%

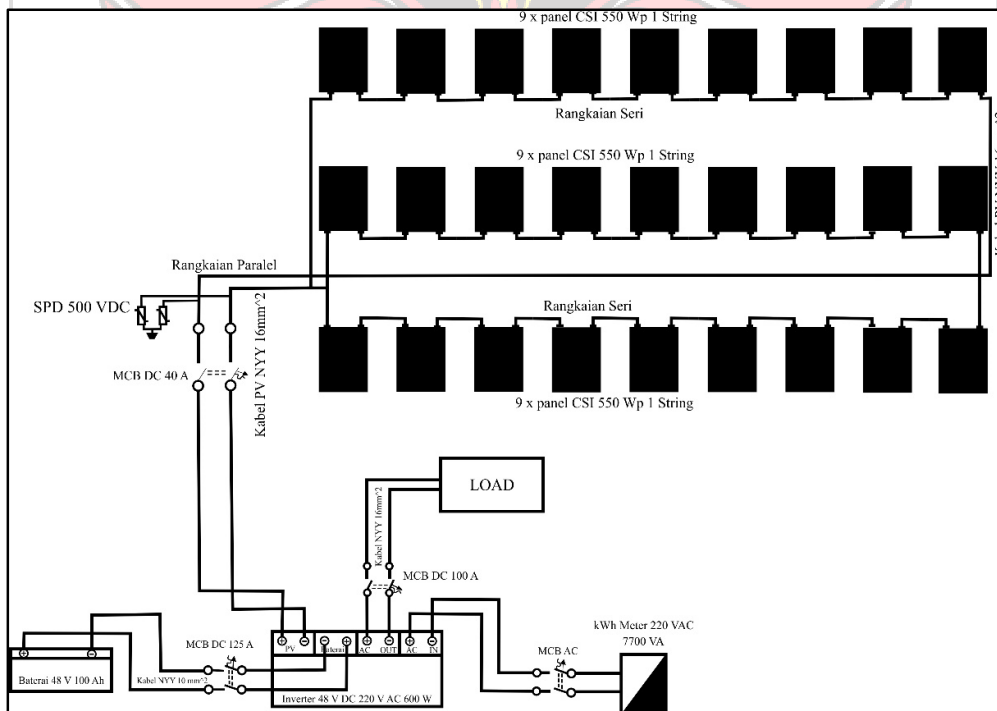
Berdasarkan hasil perhitungan, dan simulasi maka, diperoleh perbandingan seperti pada tabel 4.6 antara *Cost of Energy (COE)*, *Net Present Value (NPV)*, *Discount Payback Period (DPP)* dan *Internal Rate Return (IRR)*.

## BAB V REKOMENDASI UNTUK KLIEN

### 5.1 Perencanaan Teknis

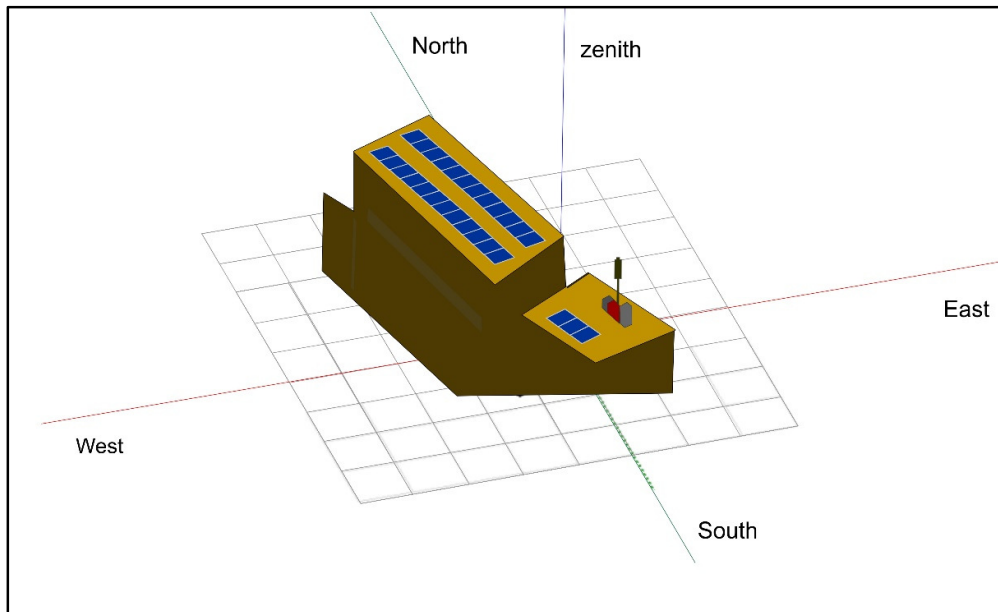
#### 5.1.1 Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid

Pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid ini menggunakan 27 panel surya module yang kemudian dibagi menjadi 3 string dimana pada masing-masing string terdapat 9 unit panel surya yang rangkai secara seri, kemudian ketiga string dirangkai secara paralel. Dengan menggunakan 1 unit inverter kapasitas 16.5 kW. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid ini menggunakan Baterai yang digunakan sebanyak 10 unit menggunakan kapasitas 48 V 100 Ah sebagai penyimpanan energi yang dihasilkan. Adapun wiring diagram sistem PLTH ini dapat dilihat pada Gambar 5.1 dibawah ini:

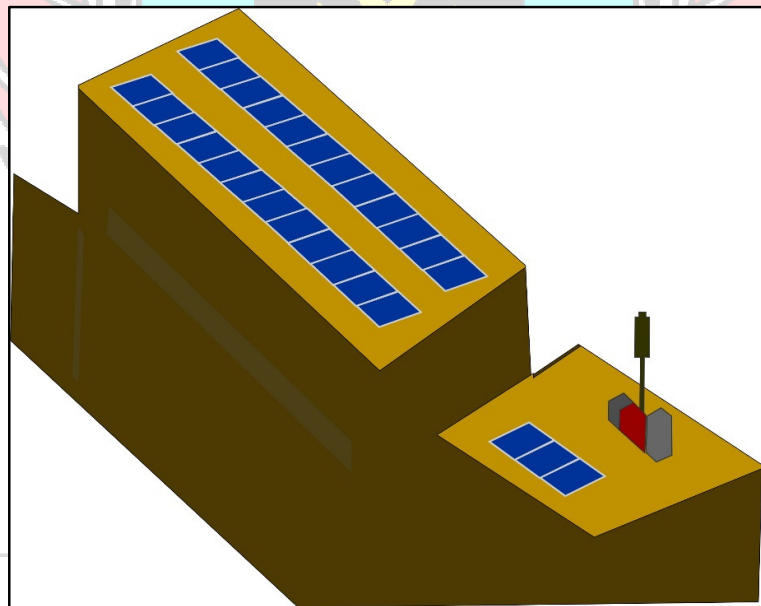


Gambar 5.1 Wiring Diagram PLTHS Hybrid

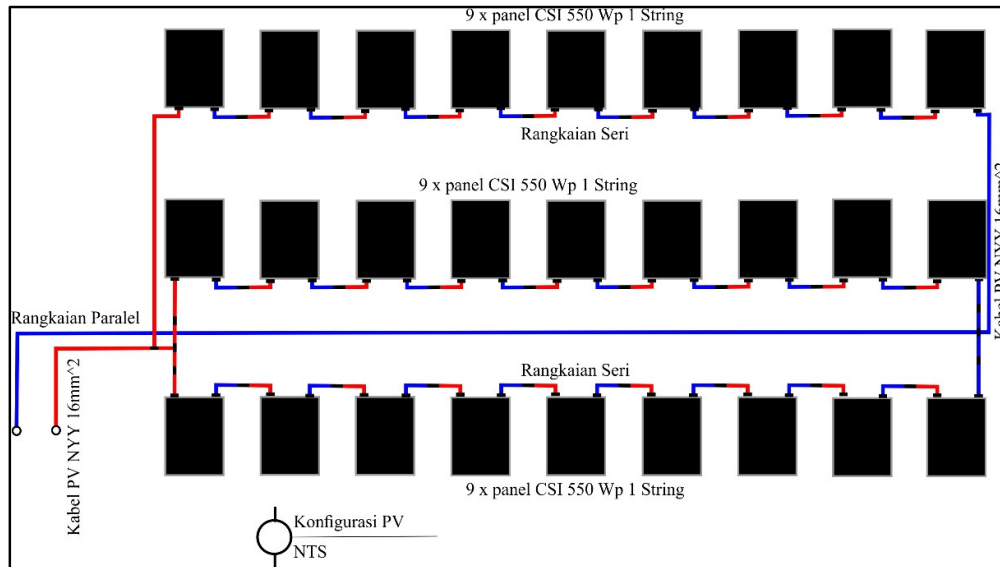
## 5.2 Gambar Kerja 2D



Gambar 5.2 2D *Scene Near Shading* Lokasi Tower BTS di PVSyst 7.3



Gambar 5.3 Penempatan 27 Panel di Atas Atap



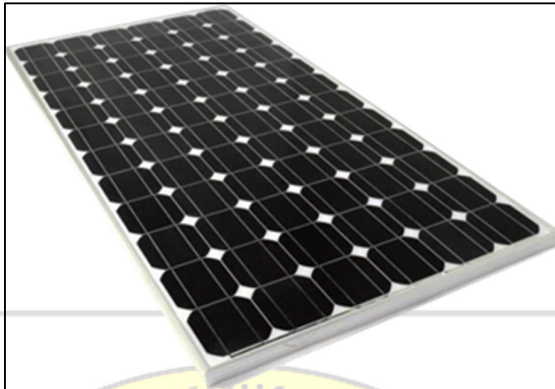
Gambar 5.4 Konfigurasi PV

### 5.3 Spesifikasi Komponen

Komponen utama pada Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan sistem Hybrid terdiri dari Panel Surya, Inverter dan Baterai. Pemilihan komponen ini berdasarkan profil beban listrik dan hasil perhitungan yang cocok untuk sistem PLTS ini. Berikut adalah spesifikasi komponen utama dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan sistem Hybrid yang akan dirancang.

#### 1) Panel Surya

Perencanaan ini menggunakan panel surya dengan jenis *Monocrystalline* dengan merk Canadian Solar HiKu6 Mono PERC CS6W 550 W. Spesifikasi panel surya dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini:



Gambar 5.5 Modul PV jenis *Monocrystalline*  
(Sumber: ICAsolar, 2023)

Tabel 5.1 Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Nilai
Daya maksimum (Pmax)	550 W
Tipe	Mono-crystalline
Tegangan rangkaian terbuka (Voc)	49.6 V
Arus hubung singkat (Isc)	14.00 A
Tegangan maksimum (Vmp)	41.7 V
Arus maksimum (Imp)	13.20 A
Modul efisiensi	21.5%
Suhu operasional	-40°C ~ + 85°C
Maks tegangan sistem	500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)
Dimensi (mm x mm x mm)	2261 x 1134 x 35 mm
Berat	27.8 kg

(Sumber : Canadian Solar, 2020)

## 2) Inverter

Inverter yang digunakan dalam perancangan ini adalah inverter Powmr 16.500W *Hybrid Solar Inverter*. Berikut adalah spesifikasi Inverter yang digunakan pada perancangan PLTS ini:



Gambar 5.6 Smart Inverter Hybrid

Tabel 5.2 Spesifikasi Powmr

Spesifikasi Inverter	
Nilai daya keluaran	16.500 W
Model Number	POW-HVM5.5K-48V-P*3
Nama Merek	PowMr
Bentuk gelombang tegangan keluaran	<i>Pure Sine Wave</i>
Frekuensi keluaran	50Hz/60Hz
Ukuran	448x295x105
Keluaran AC	230ac5%, 380Vac
Arus Pengisian AC	80 Amps
Tegangan Input Nominal	230Vac
Type	Inverter Surya Hybrid
Tegangan Baterai	48V
Rentang tegangan MPPT PV Array	120 Vdc – 450 Vdc
Berat bersih	34 Kg

(Sumber: Powmr.com, 2013)

### 3) Baterai

Baterai yang digunakan dalam perancangan ini adalah jenis baterai Lithium ion dengan merk “ZTE ZXDC48 FB101”. Berikut adalah spesifikasi Baterai yang digunakan pada perancangan PLTS ini:



Gambar 5.7 Baterai

Tabel 5.3 Spesifikasi Baterai ZTE ZXDC48 FB101

Spesifikasi	Nilai
Nominal Voltage	48 V
Rated Capacity	100Ah
Jenis Baterai	LiFePO <sub>4</sub>
Rentang Tegangan Operasi	-42V ~ -53.5 V
Design Life at 25	15 tahun (25 <sup>0</sup> C)
Dimensi (W x H x D)	442 x 395 x 176
Weight	42 kg

(Sumber: ZTE ZXDC48 FB101. 2020)

### 5.4 Manajemen Resiko (*Risk Management*)

Dalam proyek ini terdapat beberapa resiko yang memberikan dampak besar dan frekuensi terjadinya tinggi. Selain mengidentifikasi resiko yang dapat terjadi dilakukan pula kegiatan dalam hal mencegah ataupun menahan potensi resiko



tersebut agar tidak memberikan dampak yang besar terhadap kelangsungan proyek ini, hal ini dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Manajemen Resiko

No	Risk Description	Assessment before measure			Actions (Multiple Possible)	Assessment after measure		
		P	S	P. S		P	S	P. S
1	Kegagalan sistem	4	3	12	Kesalahan dalam pemasangan harus diperhatikan	3	1	3
2	Teknisi yang belum terlalu kompeten sehingga memerlukan teknisi luar ketika terdapat permasalahan yang lebih kompleks	3	4	12	Mempekerjakan teknisi dan operator berpengalaman dan memberikan Pembekalan kepada SDM setempat dalam Mengontrol Sistem PLTS.	3	1	3
3	Seluruh komponen pendukung berpotensi terkena air di saat turun hujan, sehingga terjadi konsleting listrik dan merusak komponen	5	3	15	Membuat sebuah pusat penyaluran energi yang tertutup dan aman	3	1	3
4	Hujan menyebabkan target pemenuhan energi tidak tercapai	5	4	20	Kelemahan sistem PLTS adalah cuaca, dimana jika cuaca sedang mendung dan hujan maka produksi dari PLTS akan berkurang sehingga tidak dapat memenuhi target. Oleh karena itu hal yang perlu dilakukan yaitu menyalurkan energi listrik dari baterai ke beban maupun membackup	4	2	8

					beban oleh PLN			
5	Terjatuh dari ketinggian	3	2	6	Memastikan peralatan yang digunakan sesuai standar dan SOP tersedia dan dilaksanakan dengan baik	2	1	2
6	Tersengat listrik	3	3	9	Dipastikan untuk semua peralatan telah sesuai dengan standar, pekerja telah mengetahui dan telah memiliki sertifikasi	3	2	6
7	Berpotensi terjadinya kehilangan komponen karena dicuri	3	4	12	Melakukan Program dan Jadwal untuk menjaga keamanan	2	1	2

Assessment Scale	Probability Of Occurrence	Scope Of Consequences (Damage)	Kemungkinan Terjadi	Lingkup Kerusakan
1	Not probable at all	Declinable	Tidak mungkin sama sekali	Dapat dihindari
2	Not probable	Low	Tidak mungkin	Rendah
3	Possible	Medium	Mungkin	Sedang
4	Probable	High	Mungkin	Tinggi
5	Certain	Very high	Yakin	Sangat tinggi

## 5.5 Manajemen Stakeholder

Tabel 5.5 Manajemen Stakeholder

Pemangku Kepentingan	Pengaruh Kepentingan	Level	Kekuasaan, pengaruh dan wewenang	Level	Reaksi yang diharapkan pada proyek	Evaluasi	Tindakan
PLN	Distributor dan pengelolah listrik	3	Badan usaha negara yang bergerak di bidang pembangkit, transmisi dan distribusi kelistrikan negara	3	Proyek berjalan dengan baik, lancar dan dapat mensejahterakan serta bermanfaat bagi masyarakat sekitar	+	Mendukung pemerintah daerah/desa dalam mengembangkan kapasitas / pemahaman masyarakat tentang sistem PLTS manfaat kelistrikan, mekanisme pembayaran, dan keberlanjutan proyek
			Bertanggung jawab dalam melaporkan isu-isu atau kendala yang terjadi di lapangan untuk penanganan lebih lanjut				Melakukan operasi dan pemeliharaan sistem PLTS
PT. Infrastruktur	Konsumen listrik	3	Pengguna akses	1	Sangat positif	+	Kontribusi lahan dan SDM

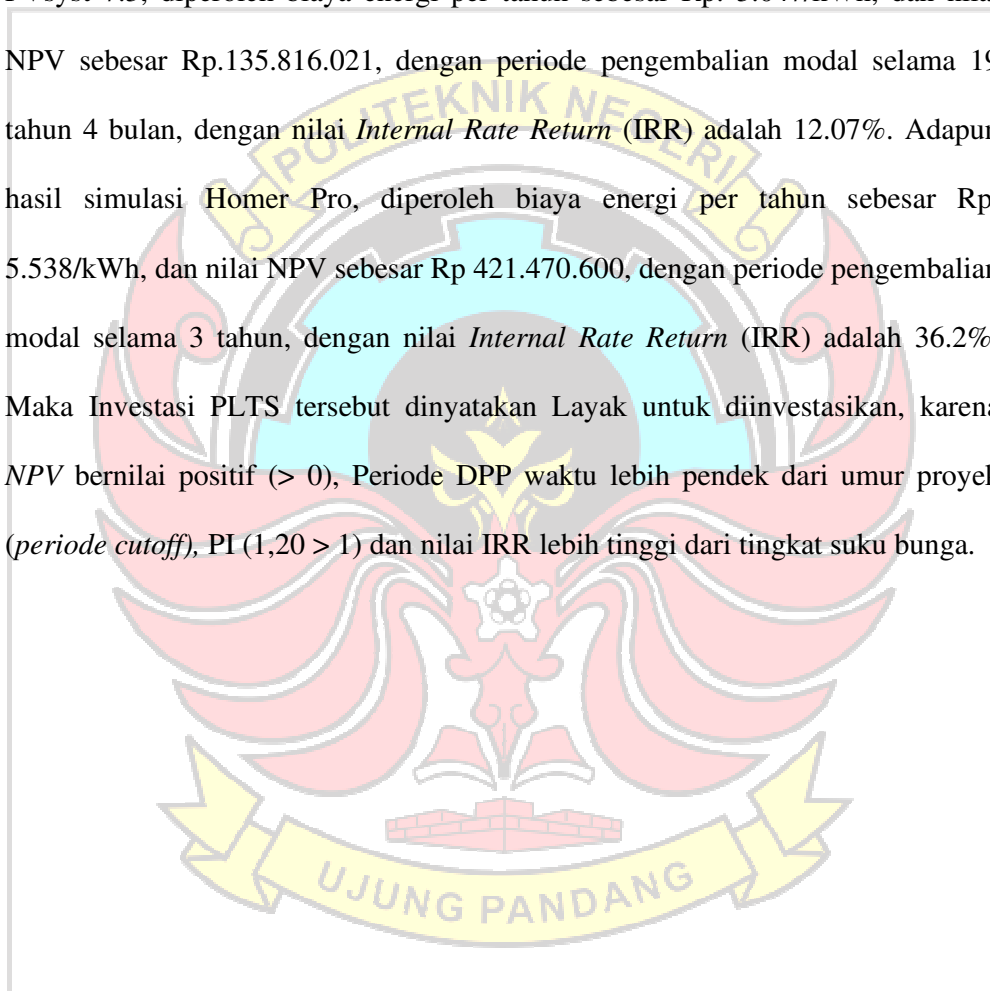
Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Territory Operation Bone (TO Bone)	dan pemilik lahan		listrik				untuk proyek, jika diperlukan
Mahasiswa	Sebagai agen perubahan dalam pengembangan energi baru dan terbarukan (EBT)	1	Penyebarluasan informasi penerapan dan pemanfaatan energi terbarukan	3	Sangat positif	+	Dapat Menjadikan PLTS sebagai tempat penerapan ilmu dan praktek kerja lapangan
Politeknik Negeri Ujung Pandang	Lembaga pendidikan tinggi yang menyelenggarakan pendidikan	3	Memfasilitasi pengembangan mahasiswa dalam penerapan dan pemanfaatan energi terbarukan	3	Sangat Positif	+	Mengoptimalkan tridharma pendidikan tinggi untuk mendukung pengembangan energi baru terbarukan

Dukungan	3	PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Teritory Operation Bone (TO Bone)		PLN (+) Politeknik Negeri Ujung Pandang (+)
	2			
	1			Mahasiswa (+)
		1	2	3
<b>Pengaruh</b>				

Sehingga pada perencanaan PLTS di *rooftop* tower BTS Pasar Palakka Kab. Bone dengan sistem *Hybrid* menggunakan *software* PVsyst dan Homer Pro dengan menyesuaikan kebutuhan beban pada *site* di atap bangunan kantor PT. PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Teritory Operation Bone (TO Bone), dimana potensi radiasi matahari sebesar 5.91 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan energi sebesar 74472 Wh/day, dan PV module yang digunakan yaitu jenis *Monocrystalline* model CanadianSolar HiKu Mono PERC 530-550W sebanyak 27 modul, 9 modul terpasang seri dengan 3 string yang terhubung secara seri paralel yang diinput ke dalam *software* PVsyst dan Homer Pro. Adapun Baterai yang dibutuhkan pada perencanaan ini menggunakan jenis Lithium-ion dengan merek “ZTE ZXDC48 FB101”. Baterai yang digunakan sebanyak 10 unit menggunakan kapasitas 48 V 100 Ah, inverter menggunakan merek Powmr 16.5 kW Hybrid Inverter.

Dengan biaya investasi yang dikeluarkan untuk perencanaan sistem PLTS *rooftop* tower BTS Pasar Palakka Kab. Bone dengan sistem *Hybrid* adalah sebesar

Rp 303.691.550. Berdasarkan hasil perhitungan numerik, maka diperoleh biaya energi per tahun sebesar Rp. 1.512/kWh, dan nilai NPV sebesar Rp.62.148.591, dengan periode pengembalian modal selama 3 tahun 11 bulan dengan nilai *Internal Rate Return* (IRR) adalah 11.62%. Sedangkan berdasarkan hasil simulasi PVsyst 7.3, diperoleh biaya energi per tahun sebesar Rp. 3.047/kWh, dan nilai NPV sebesar Rp.135.816.021, dengan periode pengembalian modal selama 19 tahun 4 bulan, dengan nilai *Internal Rate Return* (IRR) adalah 12.07%. Adapun hasil simulasi Homer Pro, diperoleh biaya energi per tahun sebesar Rp. 5.538/kWh, dan nilai NPV sebesar Rp 421.470.600, dengan periode pengembalian modal selama 3 tahun, dengan nilai *Internal Rate Return* (IRR) adalah 36.2%. Maka Investasi PLTS tersebut dinyatakan Layak untuk diinvestasikan, karena NPV bernilai positif ( $> 0$ ), Periode DPP waktu lebih pendek dari umur proyek (*periode cutoff*), PI ( $1,20 > 1$ ) dan nilai IRR lebih tinggi dari tingkat suku bunga.



## DAFTAR PUSTAKA

- Canadian Solar. (2020, 06 Desember). HiKu Mono PERC. Diakses pada 27 Juli 2023, dari [https://static.csisolar.com/wp-content/uploads/2020/06/21135332/CS-Datasheet-HiKu6\\_CS6W-MS\\_v2.1\\_EN.pdf](https://static.csisolar.com/wp-content/uploads/2020/06/21135332/CS-Datasheet-HiKu6_CS6W-MS_v2.1_EN.pdf)
- DEN, 2019. Outlook energi indonesia. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>. Diakses pada 17 Juli 2023.
- ICAsolar. 2023. <https://tenagasuryadotblog.wordpress.com/2018/06/28/perbedaan-monocrystalline-vs-polycrystalline/>. diakses tanggal 11 Oktober 2023
- IESR, Kementrian ESDM. *Matahari Untuk PLTS di Indonesia*. 2012. Jakarta Selatan:12810.
- Kristiawan, H., Kumara, I. N. S., & Giriantari, I. A. D. 2019. Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Gedung Sekolah di Kota Denpasar. *Jurnal Spektrum*, 6(4).
- Mamarimbing, E. A., Handono, B. D., & Sumajouw, M. D. 2020. PERENCANAAN STRUKTUR TOWER BTS TIPE SELF-SUPPORTING TOWER. *JURNAL SIPIL STATIK*, 8(5).
- Mubarok, A. 2023. Perencanaan Instalasi PLTS On-Grid Kapasitas 118 kWp di Cijerah Bandung Pada Proyek PT ATW Solar.
- Rizkasari, D., Wilopo, W., & Ridwan, M. K. 2020. Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Untuk Plts Di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral (Pup-Esdm) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Journal of Appropriate Technology for Community Services*, 1(2), 104-112.
- Santoso, K., A. 2016. Perancangan Dan Simulasi Sistem Offgrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Toxwer BTS 1500 watt. Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta
- Sihotang, G. H. 2019. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop di Hotel Kini Pontianak. *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, 7(1).
- Syaeful Anwar, A. 2021. ANALISIS KELAYAKAN PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK TENAGA SURYA ROOFTOP DI GEDUNG FAKULTAS

TEKNIK UNIVERSITAS SILIWANGI (Doctoral dissertation, Universitas Siliwangi).

Widyanto, M., & Nur, S. 2022. Perancangan dan Analisis Tekno Ekonomi PLTS Rooftop On-Grid System di Tefa Fish Canning Politeknik Negeri Jember Menggunakan Software HelioScope (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Jember).

ZTE ZXDC48 FB101. 2020. <https://doku.pub/download/zxdc48-fb101-lithium-ion-battery-user-manual-v10-4qzdyx8kj9lk>. Diakses pada 10 September 2023







Swiss Confederation  
Federal Department of Economic Affairs,  
Education and Research EAER  
State Secretariat for Economic Affairs SECO



## STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA HYBRID UNTUK TOWER BTS ROOFTOP DI PASAR PALAKKA KABUPATEN BONE

Coach: Prof. Ir. Makmur Saeni, M.T., Ph.D. & Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.  
Team: Muh. Iksan Fachruddin & Rustan Evendi

### PENDAHULUAN

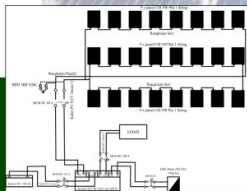
PT. Infrastruktur Telekomunikasi Indonesia (Telkominfra), Territory Operation Bone (TO Bone) terletak di Kompleks Pasar Palakka Kelurahan Bulu Tempe, Kecamatan Tanete Riatang Barat, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Territory Operation Bone (TO Bone) ini merupakan pihak pengelola dari Tower BTS yang bangunan tersebut disewa oleh PT. Telkom Indonesia Tbk. Tower BTS *Rooftop* saat ini menggunakan daya mencapai 3102Watt dengan mengandalkan power yang sumber utamanya masih berasal dari listrik PLN dan ketika listrik padam maka harus dibantu oleh genset. Namun akses jalan menuju lokasi tower sedikit terkendala karena lokasinya berada di atas atap di dalam wilayah padat penduduk dan tidak sedikit warga yang merasa terganggu dari suara genset tersebut. Maka dilakukanlah sebuah perencanaan yang menggabungkan ke listrik PLN dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS berperan sebagai pembangkit listrik utama, sementara PLN berfungsi sebagai sumber yang memenuhi kekurangan energi yang dihasilkan dari PLTS dengan menggunakan sistem PLTS Hybrid.

### OBJEKTIF

1. Melakukan perencanaan PLTS Hybrid untuk Tower BTS *Rooftop* dengan menggunakan software PVSyst 7.3 dan HOMER PRO.
2. Menghitung *Capital Cost* PLTS Hybrid untuk Tower BTS *Rooftop*.

### METODE

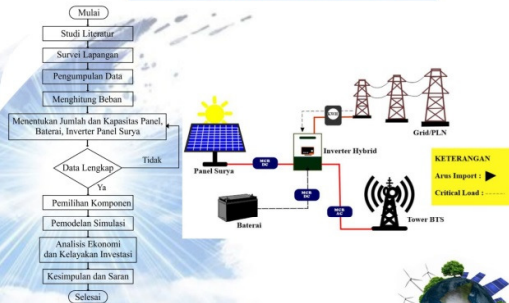
Untuk mendukung proses perencanaan capstone project ini, maka perlu dilakukan metode lebih lanjut mengenai tahapan dalam menyelesaikan project tersebut. Perencanaan dalam capstone project ini didukung dengan penggunaan software PVSyst 7.3 untuk melakukan perencanaan dan simulasi sistem PLTS, kemudian software Homer Pro untuk menghitung potensi dan keekonomian dari sistem perencanaan. Gambar dibawah ini merupakan skematik PLTS Hybrid yang telah dirancang berdasarkan beban dan komponen pendukung yang dapat dimanfaatkan dalam perencanaan PLTS. Sistem ini terdiri dari 27 Unit Panel Surya 550 Wp, 1 Unit Inverter Hybrid dengan kapasitas 16.500 Watt dan 10 Unit Baterai 48 V 100 Ah yang dibantu dengan Grid dari PLN.



### DISKUSI

1. Apabila perencanaan PLTS ingin dilaksanakan maka diperlukan pengawasan dengan para tenaga ahli di bidang energi khususnya energi terbarukan untuk mendapatkan perspektif dan saran yang tepat dalam merancang sistem yang ada saat ini, agar sistem lebih andal dan efisien.
2. Pada perencanaan capstone project berikutnya dapat dilakukan penambahan perencanaan sistem kontrol berbasis internet of things (IoT) untuk melakukan monitoring secara real time.

### FLOWCHART & DIAGRAM BLOK



### HASIL

No.	PARAMETER	PVSyst 7.3	Homer Pro
1	Project Lifetime (year)	25	25
2	Panel Surya (unit)	27	27
3	System Power (kWp)	14,85	14,85
4	Inverter (unit)	1	1
5	Baterai (unit)	10	10
6	Beban Kelistrikan (kWh)	74448 Wh	74448 Wh
7	Produce Energy (kWh/year)	20.739 kWh/year	26.258 kWh/year
9	Biaya Investasi Awal	Rp. 303.691.546	Rp. 303.691.550
10	Payback Period (year)	19,4 tahun	3 Tahun
11	Net Present Value (NPV)	Rp 135.816.021	Rp 421.470.600
12	IRR	12,07%	

### KESIMPULAN

Perencanaan PLTS di *rooftop* tower BTS Pasar Palakka Kab. Bone dengan sistem *Hybrid* menggunakan software PVSyst dan Homer Pro dengan potensi radiasi matahari sebesar 5,91 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan energi sebesar 74472 Wh/day, dan PV module yang digunakan yaitu jenis *Monocrystalline* model CanadianSolar HiKu Mono PERC 530-550W sebanyak 27 modul, 9 modul terpasang seri dengan 3 string yang terhubung secara seri paralel yang diinput ke dalam software PVSyst dan Homer Pro. Adapun Baterai yang dibutuhkan pada perencanaan ini menggunakan jenis Lithium-ion dengan merek "ZTE ZXDC48 FB101". Baterai yang digunakan sebanyak 10 unit menggunakan kapasitas 48 V 100 Ah, inverter menggunakan merek Powmr 16,5 kW Hybrid Inverter. Dengan Biaya Investasi yang dikeluarkan untuk perencanaan sistem PLTS *rooftop* tower BTS Pasar Palakka Kab. Bone dengan sistem *Hybrid* berdasarkan hasil simulasi PVSyst 7.3, diperoleh biaya energi per tahun sebesar Rp. 3.047/kWh, dan nilai NPV sebesar Rp.135.816.021, dengan periode pengembalian modal selama 19 tahun 4 bulan, dengan nilai *Internal Rate Return* (IRR) adalah 12,07%. Adapun hasil simulasi Homer Pro, diperoleh biaya energi per tahun sebesar Rp. 5.538/kWh, dan nilai NPV sebesar Rp 421.470.600, dengan periode pengembalian modal selama 3 tahun, dengan nilai *Internal Rate Return* (IRR) adalah 36,2%. Maka Investasi PLTS tersebut dinyatakan Layak untuk diinvestasikan, karena NPV bernilai positif (> 0), Periode DPP waktu lebih pendek dari umur proyek (*periode cutoff*), PI (1,20 > 1) dan nilai IRR lebih tinggi dari tingkat suku bunga.