

DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)  
*HYBRID* PADA RUMAH TINGGAL DI DESA BENTENG GAJAH  
KABUPATEN MAROS



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. FAJRIANSYAH

44222207

NURDAHLIA

44222208

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

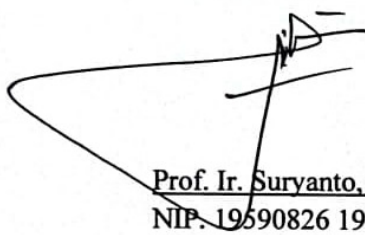
2023

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid Pada Rumah Tinggal Di Desa Benteng Gajah Kab. Maros** oleh Muh. Fajriansyah NIM 442 22 207 dan Nurdahlia NIM 442 22 208 dinyatakan telah diterima dan disahkan.


Makassar, 13 September 2023

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



Marhatang, S.ST., M.T.  
NIP. 19741117 200212 1 002

Mengetahui  
Ketua Program Studi  
D4 Teknik Pembangkit Energi



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



## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari Rabu tanggal 13 September 2023, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: Muh. Fajriansyah NIM 442 22 207 dan Nurdahlia NIM 442 22 208 dengan judul **Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid Pada Rumah Tinggal Di Desa Benteng Gajah Kabupaten Maros.**

Makassar, 13 September 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi :

- |                                                            |         |
|------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Prof. A. M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. Ketua | (.....) |
| 2. Ir. Chandra Buana, M.T. Sekretaris                      | (.....) |
| 3. Ir. Lewi, M.T. Anggota                                  | (.....) |
| 4. Sonong, S.T., M.T. Anggota                              | (.....) |
| 5. Prof. Ir. Suryanto, M.Sc. Ph.D. Pembimbing I            | (.....) |
| 6. Marhatang, S.ST., M.T. Pembimbing II                    | (.....) |



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena berkat rahmat dankarunia-Nya, sehingga penulisan Skripsi yang berjudul **“Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid Pada Rumah Tinggal Di Desa Benteng Gajah Kabupaten Maros”** dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini merupakan suatu perencanaan yang dilaksanakan mulai bulan Maret sampai dengan Agustus 2023 bertempat di Desa Benteng Gajah, Kecamatan TOMPOLU, Kabupaten Maros dengan titik koordinat lokasi  $5^{\circ}09'18''S$   $119^{\circ}38'28''E$ .

Kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang Tua serta segenap keluarga 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. Syahrudin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir. Chandra Bhuana, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. selaku Wali Kelas 4A RPL D4 Teknik Pembangkit Energi Konsentrasi Energi Terbarukan.
6. Bapak Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Marhatang, S.ST., M.T. selaku dosen pembimbing II yang senantiasa membimbing, mengarahkan, dan memberikan saran demi penyelesaian Skripsi ini.
7. Seluruh dosen Teknik Pembangkit Energi yang telah memberikan ilmu yang

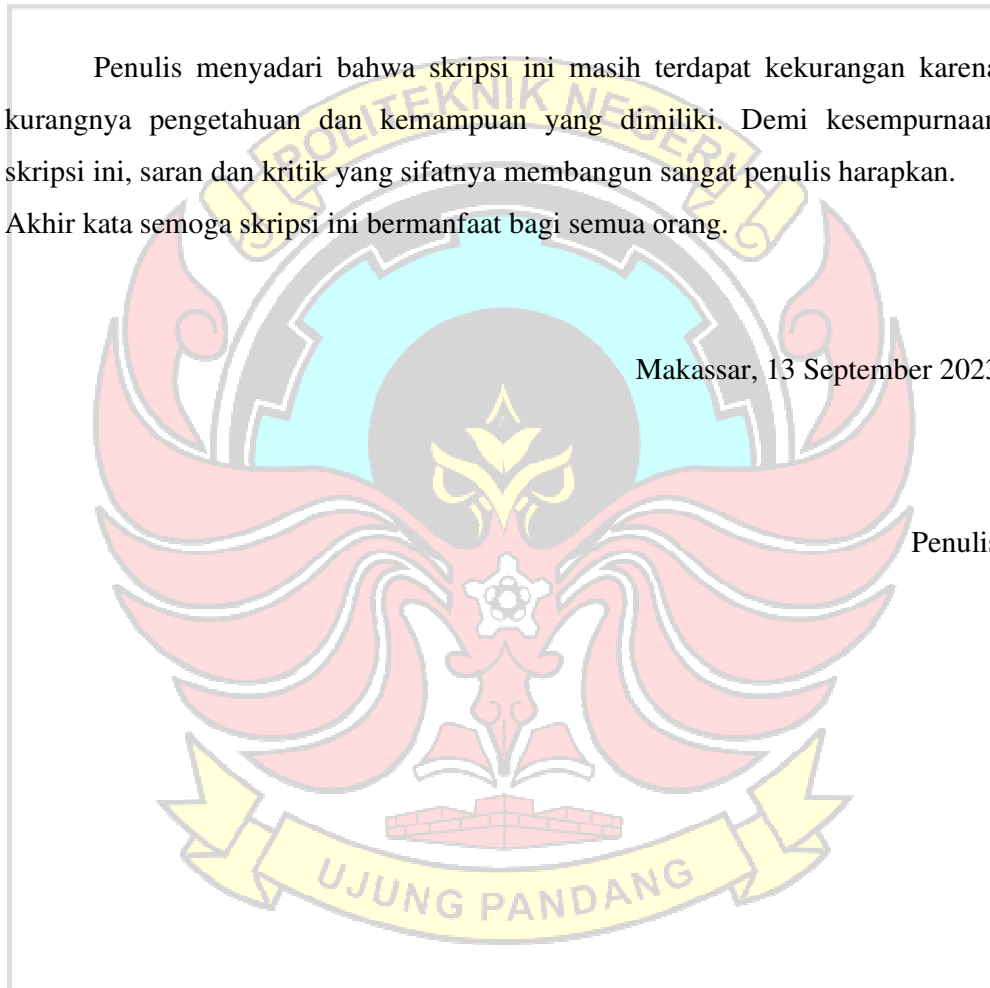
bermanfaat bagi penulis.

8. Taman-teman 4A dan 4B RPL Energi Baru Terbarukan 2022 yang turut membantu memberikan dukungan selama masa perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
9. Semua Pihak yang telah membantu untuk penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan karena kurangnya pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki. Demi kesempurnaan skripsi ini, saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua orang.

Makassar, 13 September 2023

Penulis



## DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 2.1 Jenis-Jenis Panel Surya .....	17
Tabel 2.2 Kuat Hantar Arus untuk Kabel dan Gawai Proteksi (MCB).....	20
Tabel 4.1 Kebutuhan Energi Listrik Harian Rumah Tinggal.....	41
Tabel 4.2 Tegangan Baterai yang di- <i>support</i> oleh Inverter .....	50
Tabel 4.3 Biaya Investasi PLTS.....	52
Tabel 4.4 Biaya Pergantian Komponen Selama Umur Proyek.....	55
Tabel 4.5 Perhitungan Arus Kas bersih, DF dan PVNCF dengan $i = 9,27\%$ ..	58
Tabel 4.6 Perhitungan DF dan PVr dengan $i = 8,27\%$ .....	61
Tabel 4.7 Perhitungan DF dan PVt dengan $i = 10,27\%$ .....	63
Tabel 4.8 Hasil Simulasi <i>Software PVSyst</i> .....	74
Tabel 4.9 Produksi Energi Tahunan ( <i>Balances and Main Result</i> ) .....	78
Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik, <i>PVSyst</i> , dan HOMER PRO .....	96

## DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 2.1 Peta Potensi Energi Surya Indonesia.....	7
Gambar 2.2 Skema Kerja PLTS.....	10
Gambar 2.3 Diagram Aliran Energi Yang Dihasilkan Pada Siang Hari .....	12
Gambar 2.4 Diagram Aliran Energi Yang Dihasilkan Pada Kondisi Berawan/ Mendung .....	12
Gambar 2.5 Diagram Aliran Energi Yang Dihasilkan Pada Malam Hari.....	13
Gambar 2.6 Konstruksi Sel Surya.....	14
Gambar 2.7 (a) <i>n-region</i> (Silicon di <i>doping Posphor</i> ) .....	15
Gambar 2.7 (b) <i>p-region</i> (Silicon di <i>doping Boron</i> ) .....	15
Gambar 2.8 Hubungan DOD dengan Siklus Hidup Baterai .....	19
Gambar 2.9 Kabel NYA.....	21
Gambar 2.10 Kabel NYM.....	21
Gambar 2.11 Kabel NYY.....	22
Gambar 2.12 Tampilan Awal <i>Software PVSystem 7.3.1</i> .....	30
Gambar 2.13 Tampilan Proyek <i>PVSystem 7.3.1</i> .....	30
Gambar 2.14 Tampilan Awal <i>Software HOMER PRO</i> .....	32
Gambar 3.1 Peta Lokasi .....	34
Gambar 3.2 Skema Desain PLTS.....	36
Gambar 3.3 Diagram Alir Prosedur Penelitian .....	38

Gambar 4.1 Lokasi Rumah Tinggal Klien .....	39
Gambar 4.2 Rumah Tinggal Klien .....	40
Gambar 4.3 Data Iradiasi Matahari dan Temperatur di Benteng Gajah .....	40
Gambar 4.4 Konstruksi Penyangga Atap Teras Rumah Tinggal .....	43
Gambar 4.5 Orientasi Bangunan Rumah Tinggal .....	43
Gambar 4.6 Konfigurasi Panel Surya .....	45
Gambar 4.7 Menu Utama <i>PVSyst</i> .....	65
Gambar 4.8 Menu Proyek <i>PVSyst</i> .....	66
Gambar 4.9 Menu <i>Geographical Coordinates</i> .....	66
Gambar 4.10 Menu <i>Variant</i> .....	67
Gambar 4.11 Menu <i>Orientation</i> .....	68
Gambar 4.12 Menu Penentuan <i>PV Module</i> dan Inverter .....	69
Gambar 4.13 Menu <i>Self-Consumption</i> (Data Beban) .....	70
Gambar 4.14 Menu <i>Hourly Distribution</i> .....	71
Gambar 4.15 Menu Penentuan <i>Storage</i> (Baterai) .....	72
Gambar 4.16 Menu <i>Economic Evaluation</i> .....	73
Gambar 4.17 Menu <i>Financial Parameters</i> .....	73
Gambar 4.18 <i>Detailed User's Needs</i> .....	76
Gambar 4.19 Grafik <i>Normalized Productions</i> .....	76
Gambar 4.20 Grafik <i>Performance Ratio PR</i> .....	77
Gambar 4.21 <i>Loss Diagram</i> .....	79



Gambar 4.22 <i>Cost Of The System</i> .....	80
Gambar 4.23 Hasil <i>Financial Analysis</i> .....	81
Gambar 4.24 Menu Utama HOMER PRO.....	82
Gambar 4.25 Menu Profil Beban .....	83
Gambar 4.26 Beban Listrik Per Jam Selama Satu Hari .....	84
Gambar 4.27 Input Data Radiasi Matahari .....	85
Gambar 4.28 Input Data Temperatur .....	86
Gambar 4.29 Menu <i>Economics</i> .....	87
Gambar 4.30 Menu Input Panel Surya.....	88
Gambar 4.31 Menu Input Inverter .....	89
Gambar 4.32 Menu Input Baterai .....	90
Gambar 4.33 Menu Input <i>Grid</i> .....	91
Gambar 4.34 Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i> pada HOMER PRO .....	92
Gambar 4.35 Hasil Simulasi <i>Electrical</i> .....	92
Gambar 4.36 Hasil Simulasi .....	93
Gambar 4.37 Detail Simulasi dan Optimasi HOMER PRO .....	94
Gambar 4.38 Grafik <i>Software</i> HOMER PRO.....	94
Gambar 4.39 Hasil Simulasi <i>Compare Economic</i> .....	95
Gambar 4.40 Diagram Blok Sistem PLTS.....	100
Gambar 4.41 <i>Single Line Diagram</i> .....	101

Gambar 4.42 Desain Pemasangan Panel Surya Mengikuti Konstruksi Atap.. 102

Gambar 4.43 Desain Pemasangan Panel Surya untuk Optimalisasi ..... 103

Gambar 4.44 Dimensi Mounting Panel Surya untuk Optimalisasi ..... 103



## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan	Keterangan
$i$	%	Tingkat diskonto
$n$	Tahun	Umur Proyek
$V_{mp}$	Volt	Tegangan op. panel
$I_{mp}$	Ampere	Arus op. panel
$P_{max}$	Wp	Daya maks. panel
$V_{oc}$	Volt	Tegangan <i>Open Circuit</i>
$I_{sc}$	Ampere	Arus <i>Short Circuit</i>
$I_r$	Watt/m <sup>2</sup>	Intensitas matahari
$P$	Watt	Daya
$W$	kWh	Energi Listrik
$I_B$	Ah	Arus Baterai
$T$	°C	Suhu
$L$	m <sup>2</sup>	Luas
$f$	Hz	Frekuensi
$\eta_p$	%	Efisiensi Panel Surya

## DAFTAR LAMPIRAN

	Hal.
Lampiran 1. Denah Rumah .....	111
Lampiran 2. Instalasi PLTS .....	111
Lampiran 3. Desain Mounting PV .....	112
Lampiran 4. Ilustrasi Peletakan Komponen .....	113
Lampiran 5. Spesifikasi Panel Surya .....	114
Lampiran 6. Spesifikasi Inverter .....	116
Lampiran 7. Spesifikasi Baterai .....	118
Lampiran 8. Data Beban .....	119
Lampiran 9. Harga Listrik PLN .....	122
Lampiran 10. Tingkat Suku Bunga .....	123
Lampiran 11. Tingkat Inflasi.....	123



## DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR SIMBOL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
SURAT PERNYATAAN.....	xvi
RINGKASAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
1.4.1 Tujuan Penelitian.....	4
1.4.2 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terkait.....	5
2.2 Potensi Energi Surya Di Indonesia.....	7
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	8
2.3.1 Cara Kerja PLTS.....	9

2.3.2 Keuntungan dan Kerugian .....	10
2.4 Sistem PLTS <i>Hybrid</i> .....	11
2.5 Pola Operasi PLTS <i>Hybrid</i> .....	11
2.6 Komponen-Komponen Penyusun PLTS.....	14
2.6.1 Sel Surya ( <i>Photo voltaic</i> ).....	14
2.6.2 Inverter .....	18
2.6.3 Baterai .....	18
2.6.4 Kabel dan Gawai Proteksi (MCB).....	20
2.7 Aspek-Aspek Biaya PLTS.....	22
2.7.1 Biaya Siklus Hidup ( <i>Life Cycle Cost</i> ).....	22
2.7.2 Faktor Diskonto .....	24
2.7.3 Biaya Energi ( <i>Cost of Energy</i> ).....	24
2.7.4 Faktor Pemulihan Modal ( <i>Capital Recovery Factor</i> ) .....	25
2.8 Teknik Analisis Kelayakan Investasi.....	25
2.8.1 <i>Net Present Value</i> (NPV).....	25
2.8.2 <i>Profitability Index</i> (PI).....	26
2.8.3 <i>Discounted Payback Period</i> (DPP).....	27
2.8.4 <i>Internal Rate Return</i> (IRR).....	27
2.9 <i>Software</i> (Perangkat Lunak) .....	29
2.9.1 <i>PVSyst</i> 7.3.1 .....	29
2.9.2 HOMER PRO .....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>34</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	34
3.1.1 Tempat Penelitian .....	34
3.1.2 Waktu Penelitian.....	34
3.2 Instrumen .....	34
3.3 Pengumpulan Data.....	35
3.4 Perencanaan Sistem PLTS.....	36
3.5 Metode Analisis Data .....	37
3.6 Prosedur Penelitian .....	37

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	39
4.1 Profil Rumah Tinggal .....	39
4.2 Data Hasil Survei .....	40
4.2.1 Data Iradiasi Matahari dan Temperatur .....	40
4.2.2 Data Kebutuhan Energi Listrik Harian .....	41
4.2.3 Kemiringan Atap Bagian Teras Rumah Tinggal .....	42
4.2.4 Orientasi Bangunan.....	43
4.3 Analisis Perhitungan Sistem PLTS .....	44
4.4 Analisis Perhitungan Biaya Ekonomi Sistem PLTS.....	51
4.5 Analisis Kelayakan Investasi Sistem PLTS .....	56
4.6 Teknis Perencanaan Sistem PLTS dengan Simulasi <i>Software</i> .....	64
4.6.1 Perencanaan Sistem PLTS dengan Simulasi <i>Software PVSyst</i> ..	65
4.6.2 Hasil Simulasi <i>PVSyst</i> .....	74
4.6.3 Perencanaan Sistem PLTS dengan Simulasi <i>Software HOMER</i> PRO .....	81
4.6.4 Hasil Simulasi HOMER PRO.....	91
4.7 Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik, <i>PVSyst</i> , dan HOMER PRO .....	95
4.8 Instalasi PLTS Pada Rumah Tinggal.....	97
4.8.1 Pemilihan Kabel dan Sistem Proteksi.....	97
4.8.2 Diagram Blok Sistem.....	100
4.8.3 <i>Single Line Diagram</i> .....	101
4.9 Desain Pemasangan Panel Surya Pada Rumah Tinggal .....	102
BAB V PENUTUP.....	104
5.1 Kesimpulan.....	104
5.2 Saran .....	105
DAFTAR PUSTAKA .....	106
LAMPIRAN.....	110

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Fajriansyah

NIM : 442 22 207

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **“Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid Pada Rumah Tinggal Di Desa Benteng Gajah Kabupaten Maros”** 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 dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.



Makassar, 13 September 2023

Muh. Fajriansyah

NIM : 442 22 207



## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurdahlia


NIM : 442 22 208

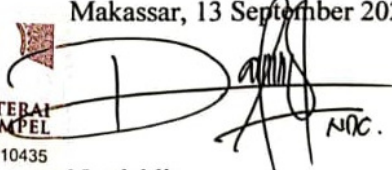
menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **“Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid Pada Rumah Tinggal Di Desa Benteng Gajah Kabupaten Maros”** merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah 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 dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 13 September 2023



  
Nurdahlia

NIM : 442 22 208

# DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) *HYBRID* PADA RUMAH TINGGAL DI DESA BENTENG GAJAH KABUPATEN MAROS

## RINGKASAN

Energi adalah sumber kehidupan manusia. Salah satu bentuk energi adalah energi listrik. Pada tahun 2021, pembangkitan listrik di Indonesia mencapai 73,74 Giga Watt (GW) dimana kontributor pembangkitan terbesar berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yaitu sebesar 36,98 GW. Pemerintah Indonesia mendorong pengembangan penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT). Salah satu Energi Baru Terbarukan adalah energi surya (*solar*) dengan memanfaatkan teknologi *photo voltaic* (PV) yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik atau biasa disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Tujuan penelitian ini yaitu untuk merencanakan kapasitas panel PV dan instalasi yang sesuai dengan jumlah daya yang dibutuhkan, untuk merencanakan sistem penyimpanan energi dan sistem *inverter hybrid* serta instalasi yang sesuai dengan kebutuhan energi pada rumah tinggal, serta untuk mengetahui biaya yang diperlukan untuk mengimplementasikan PLTS pada bangunan rumah tinggal yang berada di Dusun Sakeang, Desa Benteng Gajah, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan.

Perencanaan ini dilakukan dengan menggunakan metode analisis deskriptif dengan perhitungan berdasarkan teori dan simulasi perangkat lunak *PVSyst* serta HOMER PRO guna menentukan konfigurasi sistem yang optimal dan mengetahui biaya investasi dan kelayakan dari sistem tersebut.

Hasil dari perencanaan ini diperoleh jumlah panel yaitu 8 unit dengan kapasitas masing-masing 350Wp jenis *polycrystalline*. Konfigurasi panel surya terdiri dari 4 *string* yang terhubung secara paralel, dimana setiap *string* terdapat 2 unit panel surya yang terhubung secara seri. Sistem dilengkapi 1 unit *inverter hybrid* dengan kapasitas daya 3kW, dan 3 unit baterai 24V 100Ah jenis *LifePO4*. Biaya investasi awal yang digunakan untuk membangun PLTS khususnya pada rumah tinggal klien yaitu sebesar Rp 47.803.680, untuk simulasi *PVSyst* diperoleh nilai NPV sebesar Rp 55.667.276 dengan skema pengembalian yaitu 11,3 tahun dan IRR = 17,41%. Dengan menggunakan simulasi HOMER PRO diperoleh nilai NPV 17.670.210 dengan skema penembalian yaitu 12,88 tahun dan IRR = 9,5%.

**Kata Kunci:** PLTS *Hybrid*, Rumah Tinggal, HOMER PRO, *PVSyst*.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi adalah sumber kehidupan manusia. Salah satu bentuk energi adalah energi listrik. Listrik dianggap lebih mudah digunakan karena fleksibilitasnya dalam konversi ke bentuk energi lain, sehingga banyak digunakan saat ini. Energi listrik sendiri diperoleh dari berbagai sumber energi primer seperti bahan bakar fosil, energi matahari, energi angin, energi air yang melalui proses konversi oleh pembangkit listrik. Pada tahun 2021, pembangkitan listrik di Indonesia mencapai 73,74 Giga Watt (GW) dimana kontributor pembangkitan terbesar berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yaitu sebesar 36,98 GW (Pahlevi, 2022). Kebanyakan PLTU di Indonesia menggunakan energi fosil seperti batu bara. Saat ini cadangan batu bara diperkirakan akan habis 65 tahun mendatang apabila tidak ada temuan cadangan baru (Kementrian ESDM, 2021).

Melihat permasalahan tersebut, Pemerintah Indonesia mendorong pengembangan penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) yang terdapat pada Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Peraturan Presiden No. 22 tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) memiliki target penggunaan EBT pada tahun 2025 dan 2050 masing masing sebesar 23% dan 31% dari total kebutuhan energi nasional (Suharyati, 2019). Salah satu Energi Baru Terbarukan adalah energi surya (*solar*) dengan memanfaatkan teknologi *photo voltaic* (PV) yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik atau biasa disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menunjukkan penggunaan terbesar konsumsi energi listrik adalah rumah tangga dengan persentase mencapai 50,80% pada tahun 2020. Angka ini naik dari tahun sebelumnya yang sebesar 48,81%. Bahkan, konsumsi listrik rumah tangga selalu mendominasi dalam kurun waktu lima tahun terakhir (Dinhi, 2021).

Salah satu rumah tinggal yang berada di Dusun Sakeang, Desa Benteng Gajah, Kabupaten Maros saat ini menggunakan energi listrik dari PLN. Untuk merealisasikan kebijakan pemerintah dan mengurangi pembayaran ke pihak PLN, maka didesain sebuah sistem PLTS yang dapat diimplementasikan. Maka untuk itu perlu dilakukan suatu analisis yang teliti serta survei lapangan sebagai dasar. Dari survei yang telah dilakukan, posisi rumah klien menghadap ke timur dan terletak pada sebuah perkebunan yang produktif. Oleh karena itu, didesain suatu sistem PLTS berbasis *rooftop* untuk mengurangi penggunaan lahan yang berlebihan.

Pada proyek ini, PLTS berbasis *rooftop* didesain dengan menggunakan sistem *hybrid* untuk menyuplai beban di rumah tersebut pada siang maupun malam hari, tetapi PLTS tidak bisa dijadikan penopang beban dasar karena produksi listriknya tergantung pada cuaca. Karena itu, diperlukan energi *storage system* berupa baterai untuk menyimpan kelebihan daya listrik yang dihasilkan oleh panel PV.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan bahwa permasalahan yang ada sebagai berikut:

- 1) Bagaimana merencanakan kapasitas panel PV dan instalasi yang sesuai dengan jumlah daya yang dibutuhkan pada rumah tinggal?
- 2) Bagaimana merencanakan sistem penyimpanan energi dan sistem *inverter hybrid* serta instalasi yang sesuai dengan kebutuhan energi pada rumah tinggal?
- 3) Berapa biaya yang diperlukan untuk pembangunan PLTS pada bangunan rumah tinggal?

## 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian yang akan penulis angkat berdasarkan penulisan skripsi ini, yaitu:

- 1) Perencanaan proyek ini dimaksudkan pada sistem pemanfaatan energi matahari melalui panel surya terkait pemenuhan kebutuhan tenaga listrik pada rumah tinggal di Desa Benteng Gajah.
- 2) Total kebutuhan energi listrik yang digunakan pada rumah tinggal diperoleh dari perhitungan hasil survei lapangan yang telah dilakukan yaitu sebesar 11,693 kWh.
- 3) *Software* yang digunakan pada perencanaan ini yaitu *PVSyst versi 7.3* dan *HOMER PRO*.
- 4) Pada tahap pengerjaan skripsi ini, dilakukan pengambilan data dari *Meteonorm 8.1* guna mengetahui beragam parameter meteorologi dan klimatologi di Desa Benteng Gajah.
- 5) Tidak termasuk dalam proyek ini adalah pengerjaan konstruksi sistem.

## 1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

### 1.4.1 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Untuk merencanakan kapasitas panel PV dan instalasi yang sesuai dengan jumlah daya yang dibutuhkan pada rumah tinggal.
- 2) Untuk merencanakan sistem penyimpanan energi dan sistem *inverter hybrid* serta instalasi yang sesuai dengan kebutuhan energi pada rumah tinggal.
- 3) Untuk mengetahui biaya yang diperlukan untuk pembangunan PLTS pada bangunan rumah tinggal.

### 1.4.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu:

- 1) Menghasilkan sebuah perencanaan PLTS untuk rumah tinggal sesuai dengan energi listrik harian yaitu sebesar 11,698 kWh yang siap diimplementasikan oleh klien.
- 2) Memberikan pengalaman kepada mahasiswa untuk mendesain dan uji simulasi terhadap desain dan perencanaan PLTS untuk meningkatkan kompetensi.
- 3) Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan acuan dan pertimbangan bagi masyarakat umum yang ingin implementasi PLTS pada rumah tinggal.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Nugroho Ragil Adi, dkk (2021) dalam penelitiannya yang berjudul “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Hybrid* di Gedung ICT Universitas Diponegoro Menggunakan *Software PVSyst 7.0*” menyatakan bahwa menurut *Power Data Acces Viewer NASA* pada tahun 2019 Gedung ICT Universitas Diponegoro mempunyai tingkat radiasi rata-rata yang relatif tinggi yaitu sebesar 5,52 kWh/m<sup>2</sup>/hari, sehingga dapat memanfaatkan area *rooftop* dan area parkir terbuka menjadi *siteplan* PLTS. PLTS ini menggunakan sistem *Hybrid* yang mengandalkan energi matahari sebagai sumber utama dan baterai sebagai cadangan. Selain itu juga terdapat *Automatic Transfer Switch (ATS)* yang dapat menghubungkan ke jaringan PLN jika baterai dalam kondisi limit. Melalui *software PVSyst 7.0*, dengan komponen yang terdiri dari 135 modul berkapasitas 310 Wp/modul, 144 baterai dengan kapasitas 12v200 Ah/baterai, 9 unit inverter 5 kW dan 9 unit SCC 100 A/unit, energi listrik yang dihasilkan sebesar 99,1 MWh setiap tahunnya. Setelah melalui proses konversi energi listrik berkurang menjadi 68,230 MWh dengan pembagian 57,180 MWh mensuplai beban dan 11,050 MWh dikirim ke baterai sebagai cadangan dengan efisiensi sebesar 67%.

Manullang Victor Ragidup Tua, dkk (2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan *Software HOMER* di Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro” menyatakan bahwa dengan menggunakan *HOMER* diharapkan dapat mengetahui konfigurasi sistem pembangkit yang optimal juga dapat mengetahui besar potensi energi

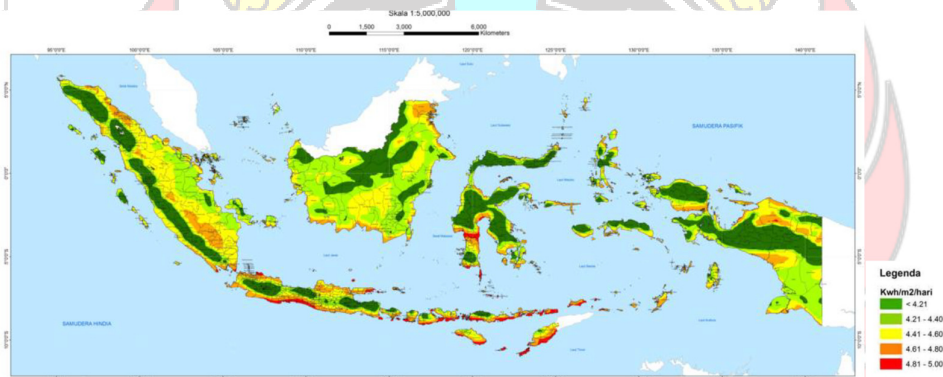
terbaharukan di Teknik Industri. Hasilnya dengan menggunakan HOMER di dapat konfigurasi yang optimal yaitu *photo voltaic (PV)-Grid* dengan 22.244 kWh/tahun untuk daya yang dihasilkan oleh PV dan 284.061 kWh/tahun daya yang disuplai oleh *grid* untuk memenuhi permintaan beban sebesar 305.305 kWh/tahun, dengan investasi awal sebesar \$13.597 pada HOMER menggunakan bunga sebesar 6 %, didapat nilai NPC sebesar \$392.973, nilai COE sebesar \$0,101/kWh dan BEP terjadi pada tahun ke-15,58.

Suriana Wayan, dkk (2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Antara PLN Dan PLTS” menyatakan bahwa Untuk mendapatkan energi listrik yang efisien dan aman (konsisten), dapat memanfaatkan energi matahari yang di-*backup* dengan energi listrik PLN (sistem *hybrid*). Sistem *hybrid* yang direncanakan menggunakan panel surya 200 Wp (11 unit), baterai 100 Ah 12 V (1 unit), sistem pengendali *hybrid* dengan inverter 1000 watt, *Charger Control* 12 Volt 10 A. Dalam penggunaannya, pengisian arus baterai selama 6 jam. Cara kerja sistem *hybrid* ini adalah tegangan dibaca menggunakan sensor tegangan INA219, yang akan diproses pada Arduino Nano, dan meneruskannya ke *relay* untuk mengatur sumber listrik yang digunakan, dan menampilkan berapa tegangan yang ada pada LCD. Ketika tegangan baterai habis, biasanya pada malam hari, atau cuaca mendung, terukur 11,2 volt atau di bawahnya, maka relay akan berpindah sumber dari baterai ke sumber PLN, *relay* membutuhkan waktu 1 detik. Dan ketika cuaca cerah atau panel surya terkena sumber sinar matahari, diukur pada 12,0 volt atau lebih, maka relay akan mengganti sumber listrik dari PLN ke baterai, dan *relay* membutuhkan waktu 1 detik.



## 2.2 Potensi Energi Surya Di Indonesia

Sebagai negara yang berada di wilayah khatulistiwa, Indonesia hampir sepanjang tahun mendapatkan sinar matahari yang cukup, sehingga memiliki potensi energi surya yang yang dapat dimanfaatkan dan dikembangkan baik untuk pembangkit listrik ataupun untuk keperluan lainnya. Sesuai dengan data yang disebutkan dalam RUEN (Rencana Umum Energi Nasional), Indonesia memiliki total potensi energi surya sebesar 207.898 MWp yang tersebar di 34 Provinsi (Kusdiana, 2020).



Gambar 2.1. Peta Potensi Energi Surya Indonesia  
Sumber : P3TKEBTKE, KESDM, 2017

Gambar 2.1 menunjukkan peta potensi energi surya di Indonesia yang tersebar di berbagai wilayah, dimana daerah yang berwarna merah memiliki potensi paling tinggi yaitu 4,81- 5 kWh/m<sup>2</sup>/day sedangkan untuk daerah yang berwarna hijau memiliki potensi paling rendah yaitu < 4,21 kWh/m<sup>2</sup>/day.

Menurut Suhendar (2022), ada beberapa faktor yang mempengaruhi penerimaan radiasi matahari di bumi:

- 1) Sudut datang sinar matahari, sinar datang tegak lurus akan memberikan energi sinar yang lebih besar dibanding yang datangnya condong, karena sinar tegak

lurus akan menyinari wilayah yang lebih sempit dibanding sinar yang datang condong.

- 2) Panjang hari, bergantung pada musim dan letak lintang suatu tempat.
- 3) Pengaruh atmosfer, kejernihan atmosfer memberikan energi radiasi yang kuat, semakin banyak bahan penyerapan sinar di atmosfer energi radiasi semakin turun.

### **2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

PLTS adalah singkatan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang merupakan pembangkit listrik yang menggunakan energi yang bersumber dari matahari secara langsung untuk menghasilkan energi listrik. Komponen utama dari sebuah pembangkit listrik tenaga surya adalah sel surya (fotovoltaik) yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik sehari-hari. Arus yang dihasilkan oleh panel surya adalah arus searah (DC), sehingga diperlukan komponen lain seperti inverter untuk mengubah arus searah (DC) ini menjadi arus bolak-balik (AC) (Pawenary, 2023).

Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari bahan semi konduktor silikon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. PLTS menggunakan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan. Oleh karena itu meskipun cuaca mendung, selama masih terdapat cahaya, maka PLTS tetap dapat menghasilkan listrik.

PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri, maupun *hybrid* (dikombinasikan dengan sumber energi lain) baik dengan metode

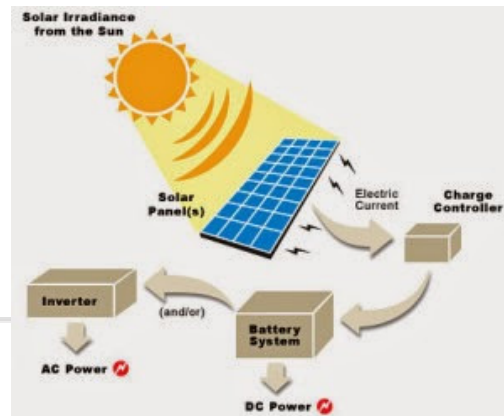
desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metode sentralisasi (listrik didistribusikan dengan jaringan kabel) (Sugirianta, 2019).

### 2.3.1 Cara Kerja PLTS

Sistem sel surya yang digunakan terdiri dari panel surya, rangkaian kontroler pengisian (*charge controller*), dan aki (baterai). Panel surya merupakan modul yang terdiri dari beberapa sel surya yang dihubungkan seri dan paralel tergantung ukuran dari kapasitas yang diperlukan. Secara sederhana, proses pada sel surya, yaitu:

- 1) Cahaya matahari yang menumbuk panel surya nantinya diserap oleh material semikonduktor seperti silikon.
- 2) Kemudian elektron terlempar keluar dari atomnya, sehingga mengalir melalui material semikonduktor untuk menghasilkan listrik.
- 3) Kemudian susunan beberapa panel surya mengubah energi surya menjadi sumber daya listrik dc, dimana nantinya akan disimpan dalam suatu wadah yaitu baterai.

Nantinya daya listrik dc tidak dapat langsung digunakan pada rangkaian listrik rumah sehingga harus mengubahnya terlebih dahulu menjadi daya listrik ac menggunakan inverter (Hidayat, 2022).



Gambar 2.2 Skema Kerja PLTS  
Sumber: Hidayat, 2022

### 2.3.2 Keuntungan dan Kerugian

Menurut Hidayat (2022), Adapun kelebihan dan kekurangan menggunakan PLTS sebagai berikut:

#### 1) Keuntungan

- a) Ramah lingkungan karena tidak mempengaruhi perubahan iklim
- b) PLTS ini memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi utamanya, yang dimana energi ini yang paling melimpah untuk diubah menjadi listrik
- c) Memiliki efisiensi tinggi dan masa pakainya dapat mencapai 20 tahun ke atas
- d) Membantu menghemat biaya energi listrik dalam jangka panjang dan lebih ekonomis dalam perawatan dan pengoperasian

#### 2) Kerugian

- a) Jika proses pemasangan kurang tepat, maka bisa memicu *overheat* pada panel surya
- b) Penggunaan panel surya sangat bergantung pada kondisi cuaca
- c) Biaya awal yang cukup mahal.

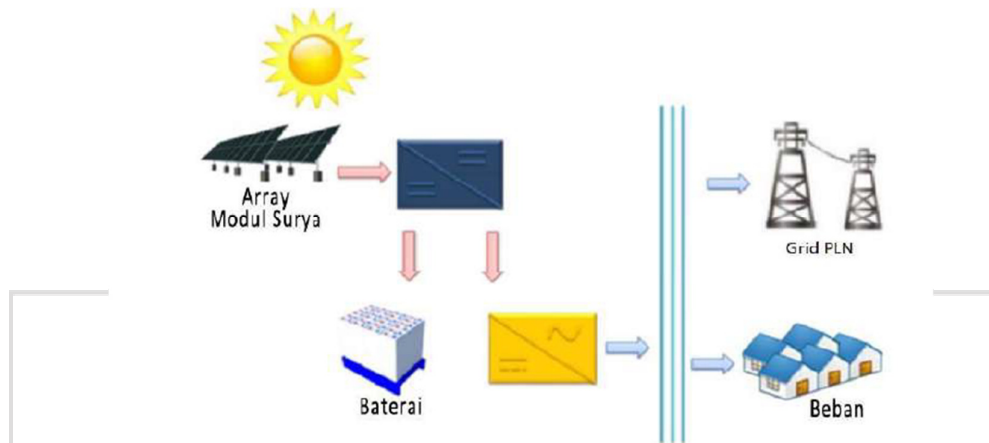
## 2.4 Sistem PLTS *Hybrid*

PLTS *Hybrid* merupakan jenis PLTS yang dalam pengoperasiannya digabungkan dengan jenis pembangkit listrik lain, dengan sumber energi berbeda (dua atau lebih). Dalam upaya menyediakan pasokan tenaga listrik ke suatu sistem, guna mendapatkan kehandalan sistem yang lebih baik, yang berkelanjutan atau kontinyu dan menggunakan manajemen operasi tertentu. Selain itu bertujuan agar dalam pengusahaan energi listrik lebih ekonomis. Contoh PLTS *Hybrid* yaitu, PLTS-Genset, PLTS - Mikrohidro, PLTS – Angin, dan lain-lain (Sugirianta, 2019).

## 2.5 Pola Operasi PLTS *Hybrid*

Menurut PT. Bernadi Utama, terdapat 3 (tiga) pola operasi yang umum pada PLTS *Hybrid*, yaitu:

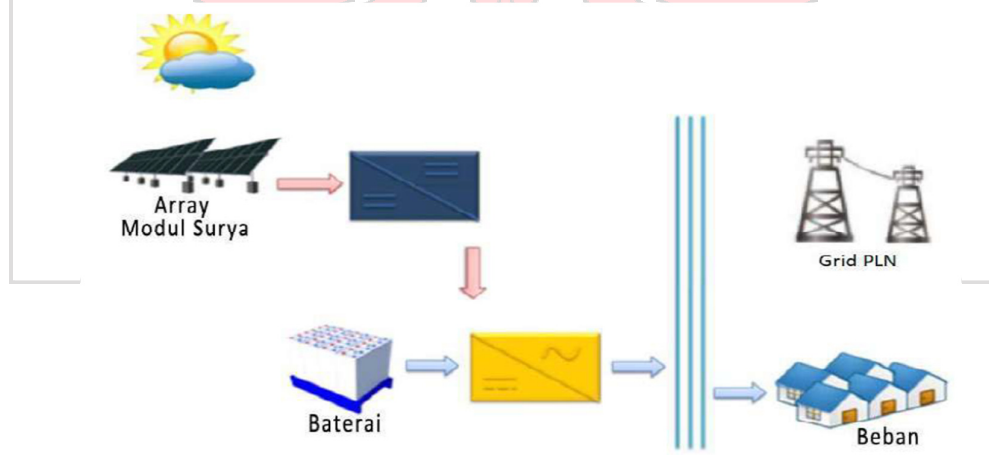
- 1) Siang Hari Pada Saat Energi PLTS *Hybrid* Lebih Besar Dari Kebutuhan Beban  
Besarnya energi yang dihasilkan oleh PLTS *Hybrid* sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh modul surya dan efisiensinya. Intensitas matahari ( $I_r$ ) maksimum mencapai  $1000 \text{ Watt/m}^2$ , apabila efisiensi modul surya sebesar 16% maka daya ideal yang dapat dihasilkan oleh modul surya adalah sebesar  $160 \text{ Watt/m}^2$ . Diagram aliran energi yang dihasilkan pada siang hari dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram Aliran Energi Yang Dihasilkan Pada Siang Hari  
 Sumber: PT. Industri Telekomunikasi Indonesia (Persero)

Pada sistem ini, energi yang dihasilkan modul surya pada kondisi tersebut langsung disalurkan ke beban (konsumen) melalui inverter, lalu sisanya disimpan di baterai. Jika baterai sudah terisi penuh dan kebutuhan beban sudah terpenuhi maka akan dikirim ke jaringan *grid* PLN.

2) Pada Siang Hari Kondisi Berawan/Mendung

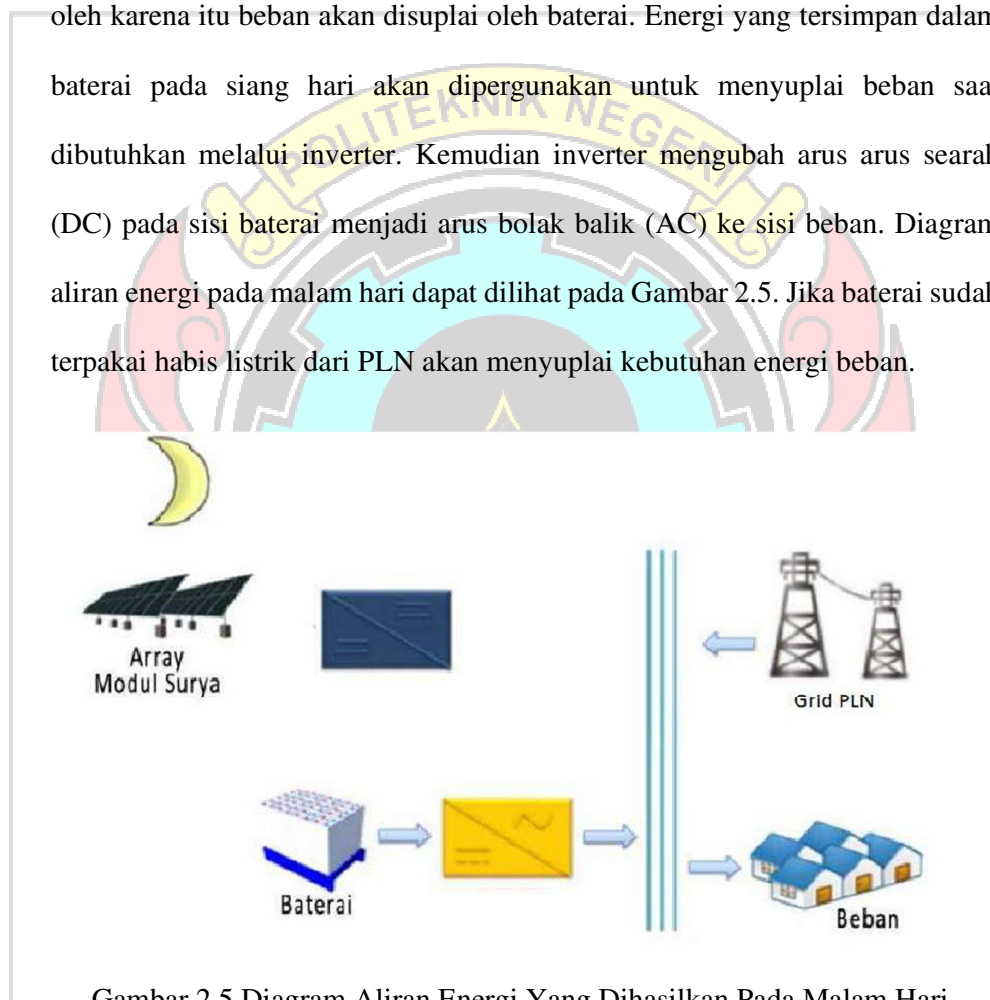


Gambar 2.4 Diagram Aliran Energi Yang Dihasilkan Pada Kondisi Berawan/Mendung  
 Sumber: PT. Industri Telekomunikasi Indonesia (Persero)

Pada sistem ini, energi yang dihasilkan modul surya dan energi yang tersimpan dalam baterai disalurkan secara paralel ke beban (konsumen).

### 3) Malam Hari

Pada malam hari sumber energi matahari tidak dapat dimanfaatkan lagi, oleh karena itu beban akan disuplai oleh baterai. Energi yang tersimpan dalam baterai pada siang hari akan dipergunakan untuk menyuplai beban saat dibutuhkan melalui inverter. Kemudian inverter mengubah arus searah (DC) pada sisi baterai menjadi arus bolak balik (AC) ke sisi beban. Diagram aliran energi pada malam hari dapat dilihat pada Gambar 2.5. Jika baterai sudah terpakai habis listrik dari PLN akan menyuplai kebutuhan energi beban.



Gambar 2.5 Diagram Aliran Energi Yang Dihasilkan Pada Malam Hari  
Sumber: PT. Industri Telekomunikasi Indonesia (Persero)

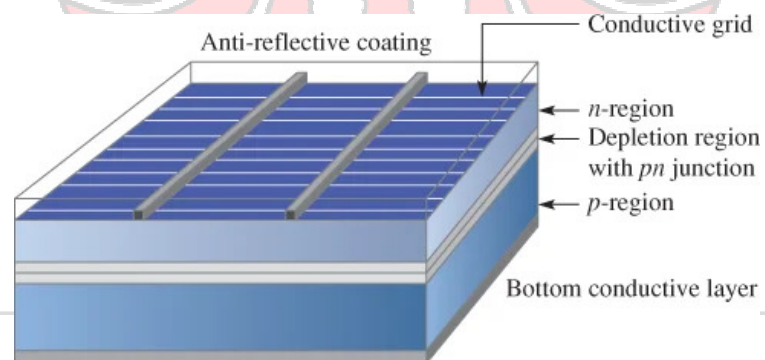
## 2.6 Komponen-Komponen Penyusun PLTS

PLTS merupakan suatu kesatuan sistem yang terdiri dari komponen-komponen, baik komponen utama maupun komponen pendukung, diantaranya adalah:

### 2.6.1 Sel Surya (*Photo voltaic*)

#### 1) Sel Surya

Sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm, Tiap sel surya biasanya menghasilkan tegangan 0,5 volt. Dalam satu panel sel surya biasanya terdapat 35 sampai 36 sel. Sel surya terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan kutub negatif. Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek fotovoltaik, yaitu suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik (Riswanto,2020). Konstruksi dari PV sel surya ditunjukkan seperti Gambar 2.6.



(a) Basic construction of a PV solar cell

Gambar 2.6 Konstruksi Sel Surya

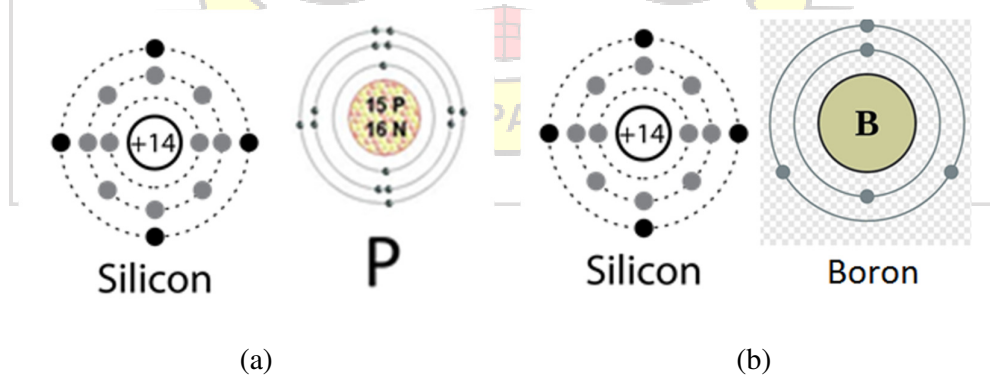
Sumber: <https://electricala2z.com/renewable-energy/photo-voltaic-pv-cell-structure-working-principle/>



## 2) Cara Kerja Sel Surya

Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda yang diketahui sebagai semikonduktor jenis “P” (positif) dan semikonduktor jenis “N” (Negatif). Semikonduktor jenis “N” terbuat dari kristal silikon yang didalamnya terdapat sejumlah kecil materi lain (umumnya posfor) dalam batasan bahwa material tersebut dapat memberikan suatu kelebihan elektron bebas. Semikonduktor jenis “P” juga terbuat dari kristal silikon yang didalamnya terdapat sejumlah kecil materi lain (umumnya boron) yang mana menyebabkan material tersebut kekurangan satu elektron bebas. Kekurangan atau hilangnya elektron ini disebut lubang (hole) (Riswanto,2020).

Sel surya menggunakan prinsip PN Junction yang saat cahaya mengenai permukaan sel surya, beberapa foton dari cahaya diserap oleh atom semikonduktor jenis “N” untuk membebaskan elektron dari ikatan atomnya sehingga menjadi elektron yang bergerak bebas. Elektron yang terlepas akan bergerak menuju lapisan semikonduktor jenis “P” yang kekurangan elektron. Adanya perpindahan elektron-elektron inilah yang menyebabkan terjadinya arus listrik (Suhendar, 2022).



Gambar 2.7 (a) *n-region* (Silicon di doping Posphor),  
(b) *p-region* (Silicon di doping Boron)  
Sumber : <https://www.popsi.com/technology/>

### 3) Jenis-Jenis Sel Surya

Menurut Islam (2020), ada dua jenis panel surya yang sering digunakan di Indonesia:

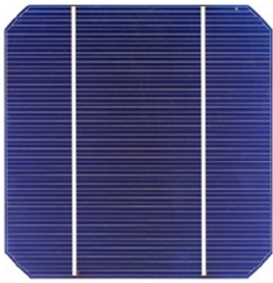
#### a) Monokristal (*Mono-crystalline*)

*Mono-crystalline* merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15% - 20%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik di tempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

#### b) Polikristal (*Poly-Crystalline*)

*Poly-Crystalline* merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikan dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.

Tabel 2.1 Jenis-Jenis Panel Surya

	<i>Mono-Crystalline</i>	<i>Poly-Crystalline</i>
Ilustrasi Modul surya		
Biaya	Lebih mahal	Lebih murah
Efisiensi	15-20%	1-2% lebih rendah dari <i>mono-crystalline</i>

Beberapa hal yang perlu diperhatikan sebelum merancang panel surya adalah sebagai berikut:

- a) Mencari Total Beban Harian Listrik Harian

Rumus yang digunakan untuk mencari total beban pemakaian per hari adalah sebagai berikut:

$$\text{Beban Pemakaian} = \text{Daya (Watt)} \times \text{Lama Pemakaian (h)} \dots\dots\dots(2-1)$$

- b) Menentukan Jumlah Panel Surya

Rumus yang digunakan untuk menentukan jumlah panel surya sesuai dengan beban pemakaian adalah (Zian,2018);

$$\text{Kebutuhan Daya PLTS} = \frac{\text{Jumlah Total Kebutuhan Energi (Wh)}}{\text{Equivalen Sun Hours (h)}} \dots\dots\dots(2-2)$$

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{\text{Kebutuhan Daya (W)}}{\text{Kapasitas Modul (Wp)}} \dots\dots\dots(2-3)$$

Sedangkan untuk kWh produksi tahunan PLTS diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$A \text{ kWh} = \text{Jumlah panel surya} \times \text{Kapasitas panel surya} \times \text{ESH} \times 365..(2-4)$$

### 2.6.2 Inverter

Inverter adalah peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah (*direct current*) dari panel surya atau baterai menjadi arus listrik bolak-balik (*alternating current*) dengan frekuensi 50Hz/60Hz. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu, tergantung pada kebutuhan beban dan juga tergantung pada apakah inverter akan menjadi bagian dari sistem yang terhubung ke jaringan listrik atau sistem yang berdiri sendiri.

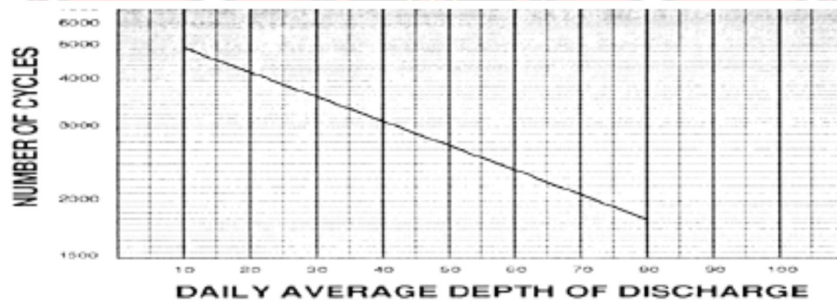
Inverter dikelompokkan menjadi tiga yaitu inverter dengan gelombang keluaran berbentuk *square*, *modified* dan *true sine wave*. Inverter yang terbaik adalah yang mampu menghasilkan gelombang sinusoidal murni atau *true sine wave* yaitu bentuk gelombang yang sama dengan bentuk gelombang dari jaringan listrik (*grid utility*). Pada pemilihan inverter, diupayakan kapasitas kerjanya mendekati kapasitas daya yang dilayani, agar efisiensi kerja inverter menjadi maksimal (Suhendar, 2022).

### 2.6.3 Baterai

Baterai adalah perangkat kimia-listrik yang menyimpan energi dan melepaskan energi dalam bentuk listrik. Baterai dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya digunakan sebagai komponen yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari, kemudian memasok listrik ke beban pada malam hari atau saat cuaca mendung (Muhammad, 2021). Baterai yang dipergunakan pada PLTS mengalami proses siklus mengisi (*charging*) dan mengosongkan (*discharging*), tergantung pada ada atau tidaknya sinar matahari. Selama ada sinar matahari, panel surya akan menghasilkan energi

listrik. Apabila energi listrik yang dihasilkan tersebut melebihi kebutuhan bebannya, maka energi listrik tersebut akan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Sebaliknya selama matahari tidak ada, permintaan energi listrik akan disuplai oleh baterai. Proses pengisian dan pengosongan ini disebut satu siklus baterai.

Tingkat kedalaman pengosongan (*Depth of Discharge*) baterai biasanya dinyatakan dalam persentase. Misalnya, suatu baterai memiliki DOD 80%, ini berarti bahwa hanya 80% dari energi yang tersedia dapat dipergunakan dan 20% tetap berada dalam cadangan. Pengaturan DOD berperan dalam menjaga usia pakai dari baterai tersebut. Semakin dalam DOD yang diberlakukan pada suatu baterai maka semakin pendek pula siklus hidup dari baterai tersebut. Gambar 2.8, menunjukkan hubungan antara DOD dengan siklus hidup baterai (Suhendar, 2022).



Gambar 2.8 Hubungan DOD dengan Siklus Hidup Baterai  
Sumber: Suhendar, 2022

Besar arus baterai yang dibutuhkan ( $C_b$ ) untuk memenuhi konsumsi energi

harian, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Satryawan, 2018):

$$C_b = \frac{\text{Total Beban Pemakaian Harian (Wh)}}{\text{Tegangan Sistem (Volt)}} \dots\dots\dots(2-5)$$

$$\text{Jumlah Baterai} = \frac{C_b \text{ (Ah)}}{\text{Kapasitas Baterai (Ah)}} \dots\dots\dots(2-6)$$

#### 2.6.4 Kabel dan Gawai Proteksi (MCB)

Dalam menentukan jenis kabel harus terlebih dahulu memperhitungkan Kuat Hantar Arus (KHA) yang akan melewati kabel (Megantara, 2018). Untuk menghitung nilai KHA dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$KHA = 125\% \times \text{Arus Maksimum} \dots \dots \dots (2-7)$$

Setelah nilai KHA sudah ditentukan, akan dibandingkan dengan standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) untuk menentukan luas penampang kabel dan gawai proteksi yang dibutuhkan. Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL, 2016), dalam menentukan ukuran kabel dan gawai proteksi yang dibutuhkan pada perencanaan PLTS dapat mengacu pada Tabel 2.2.

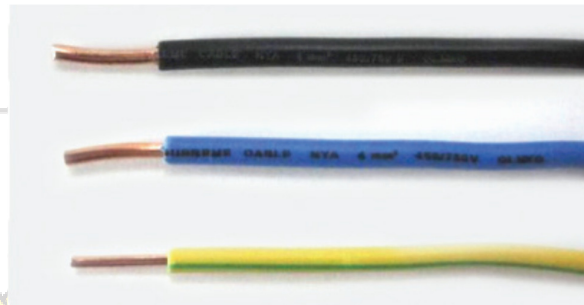
Tabel 2.2 Kuat Hantar Arus untuk Kabel dan Gawai Proteksi (MCB)

Jenis Kabel	Luas Penampang mm <sup>2</sup>	Kuat Hantar Arus	
		Terus Menerus (Kabel) A	Gawai Proteksi (MCB) A
NYN	1,5	26	20
NYBY	2,5	35	25
NYF	4	46	35
NYFGbY	6	58	50
NYRGbY	10	79	63
NYCY	16	105	80
NYCWY	25	140	100
	35	174	125
NYSY	50	212	160

Menurut PUIL, (2016), nomenklatur kabel yang biasa dikenal di pasar adalah sebagai berikut:

- NYA (kabel inti tunggal berinsulasi PVC nirselukung). Suhu maksimum PVC: 70°C. Lapisan isolasi PVC hanya terdiri dari 1 lapis dan tidak tahan

terhadap gigitan hewan pengerat seperti tikus, serta mudah cacat terhadap faktor cuaca hujan dan panas. Untuk menghindari hal tersebut digunakan tambahan saluran pipa PVC untuk melindungi jalur kabel.



Gambar 2.9 Kabel NYA  
Sumber: PUIL 2016

- NYM (kabel multiinti berinsulasi dan berselubung PVC). Penggunaan kabel ini tidak dapat ditanam langsung ke tanah dan untuk harganya lumayan mahal jika dibandingkan kabel NYA. Khusus untuk instalasi tetap bangunan biasanya di luar atau di dalam tembok.



Gambar 2.10 Kabel NYM  
Sumber: PUIL 2016

- NYY (kabel multiinti berinsulasi dan berselubung PVC dengan voltase pengenal sampai dengan 1 kV). Kabel NYY bisa dibilang penyempurna dari kabel NYA dan NYM. Cocok digunakan untuk instalasi bawah tanah ataupun tempat *outdoor* lain. Bahan isolasi untuk kabel jenis ini memiliki konstruksi

yang lebih kuat karena terdapat selubung tambahan dan berbahan anti gigitan tikus.



Gambar 2.11 Kabel NYY  
Sumber: PUIL 2016

## 2.7 Aspek-Aspek Biaya PLTS

Menurut Suhendar (2022), ada empat aspek- aspek perhitungan biaya PLTS sebagai berikut:

### 2.7.1 Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Pada sistem PLTS, biaya siklus hidup (LCC) ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal, biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional. Biaya siklus hidup (LCC) diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$LCC = C + M_{PW} + R_{PW} \dots \dots \dots (2-8)$$

Dengan:

LCC = Biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*).



C = Biaya investasi awal adalah biaya awal yang dikeluarkan untuk pembelian komponen-komponen PLTS, biaya instalasi dan biaya lainnya misalnya biaya untuk rak penyangga.

$M_{PW}$  = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun atau selama umur proyek.

$R_{PW}$  = Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian yang harus dikeluarkan selama umur proyek. Contohnya adalah biaya untuk penggantian baterai.

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2%. Adapun besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$M = 1\% \times \text{Total Biaya Investasi} \dots\dots\dots (2-9)$$

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

$$M_{PW} = M \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \dots\dots\dots (2-10)$$

Dengan:

$M_{PW}$  = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek.

M = Biaya pemeliharaan dan operasional

i = Tingkat diskonto.

n = Umur proyek.

### 2.7.2 Faktor Diskonto

Faktor diskonto (*Discount factor*) adalah faktor yang digunakan untuk nilai penerimaan-penerimaan di masa mendatang sehingga dapat dibandingkan dengan pengeluaran pada masa sekarang. Sedangkan tingkat diskonto yang digunakan untuk penerimaan-penerimaan tersebut dapat berupa tingkat suku bunga pasar (tingkat suku bunga bank). Adapun persamaan faktor diskonto adalah sebagai berikut:

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \dots\dots\dots(2-11)$$

Dengan:

DF = Faktor diskonto.

i = Tingkat diskonto.

n = Periode dalam tahun (umur investasi).

### 2.7.3 Biaya Energi (*Cost of Energy*)

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

- a) Biaya awal (biaya modal) yang tinggi;
- b) Biaya pemeliharaan dan operasional rendah;
- c) Biaya penggantian rendah (terutama hanya untuk inverter dan baterai).

Perhitungan biaya energi suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan AkWh produksi tahunan PLTS. Perhitungan biaya energi PLTS dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \dots\dots\dots (2-12)$$

Dengan:

COE = *Cost of energy* atau biaya energi (Rp/kWh).

CRF = Faktor pemulihan modal.

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

#### 2.7.4 Faktor Pemulihan Modal (*Capital Recovery Factor*)

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

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

Dengan:

CRF = Faktor pemulihan modal.

i = Tingkat diskonto.

n = Periode dalam tahun (umur investasi).

### 2.8 Teknik Analisis Kelayakan Investasi

Menurut Suhendar (2022), ada tiga teknik analisis untuk menentukan

kelayakan investasi PLTS sebagai berikut:

#### 2.8.1 *Net Present Value* (NPV)

*Net Present Value* menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilai sekarang atas dasar faktor diskonto (*discount factor*). Teknik ini menghitung selisih

antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang ditanamkan.

Untuk menghitung *Net Present Value* dipergunakan persamaan sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{n=1}^n \left( \frac{NCF_t}{(1+i)^n} \right) - C \dots \dots \dots (2-14)$$

Dengan :

C = Investasi awal proyek

i = Tingkat diskonto

NCFt = Alur kas bersih setiap tahunnya

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

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

### 2.8.2 *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 persamaan sebagai berikut:

$$PI = \frac{\sum_{n=1}^n NCF (1+i)^{-n}}{c} \dots \dots \dots (2-15)$$

Dengan:

NCF = *Net cash flow* periode tahun ke-1 sampai tahun ke-n.

C = Investasi awal (*Initial Investment*).

i = Tingkat diskonto.

n = Periode dalam tahun (umur investasi).

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

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

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

*Payback Period* adalah periode lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek (investasi). Sedangkan *Discounted Payback Period* adalah periode pengembalian yang didiskontokan. *Discounted Payback Period* dapat dicari dengan menghitung berapa tahun kas bersih nilai sekarang kumulatif (PVNCF) yang ditaksir akan sama dengan investasi awal.

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

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

### 2.8.4 *Internal Rate Return (IRR)*

*Internal Rate Return (IRR)* adalah tingkat diskonto yang membuat nilai sekarang dari seluruh penerimaan atau manfaat yang diharapkan sama dengan nilai sekarang dari seluruh biaya yang terlibat dalam proyek. Semakin tinggi nilai IRR, semakin menguntungkan proyek tersebut, dan umumnya, proyek yang memiliki

IRR lebih besar dari tingkat diskonto yang digunakan dianggap layak untuk dijalankan. IRR adalah indikator dalam pengambilan keputusan investasi karena membantu dalam menilai tingkat pengembalian yang diharapkan dari proyek dan membandingkan alternatif proyek untuk menentukan pilihan terbaik (Yonata,2017). Teknik *Internal Rate Return* (IRR) dihitung dengan persamaan

sebagai berikut:

$$IRR = ir + \left( \frac{NPV_r}{NPV_r - NPV_t} \right) (it - ir) \dots \dots \dots (2-16)$$

Dengan :

IRR = *Internal Rate of Return* (%)

NPVr = *Net Present Value* dengan suku bunga rendah (Rp)

NPVt = *Net Present Value* dengan suku bunga tinggi (Rp)

it = Suku bunga tinggi (%)

ir = Suku bunga rendah (%)

Kriteria untuk memutuskan penerimaan atau penolakan suatu investasi adalah sebagai berikut (Nugroho, 2016):

- a) Jika tingkat IRR lebih tinggi dari tingkat suku bunga, maka proyek akan diterima.
- b) Jika tingkat IRR lebih rendah dari tingkat suku bunga, maka proyek akan ditolak

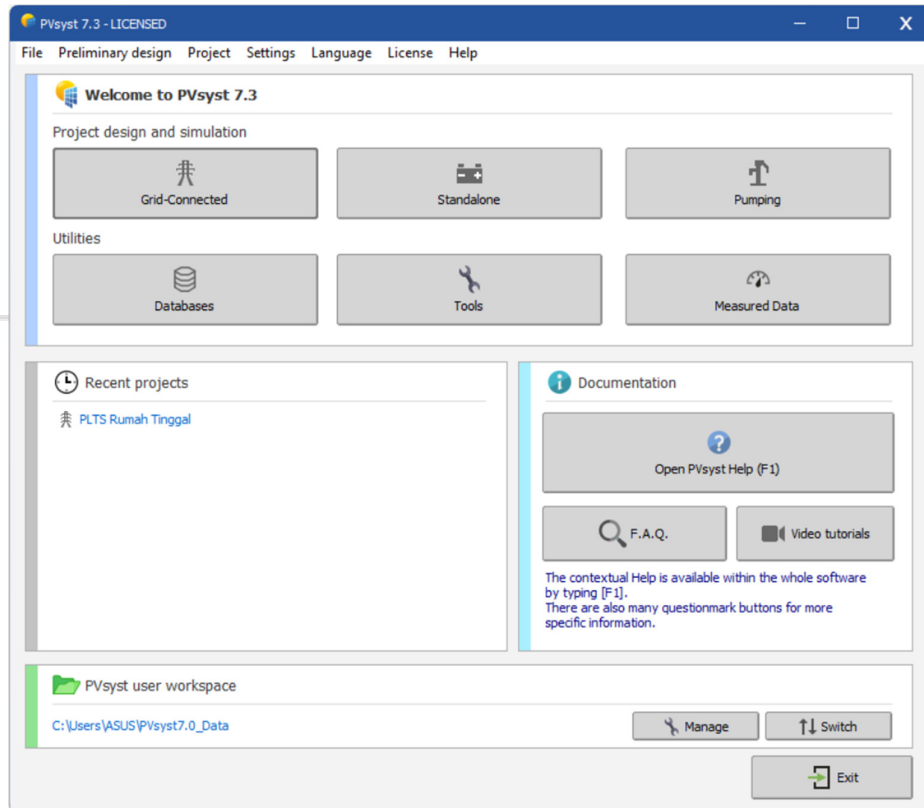
## 2.9 Software (Perangkat Lunak)

*Software* yang akan digunakan pada perencanaan sistem PLTS ini sebagai berikut:

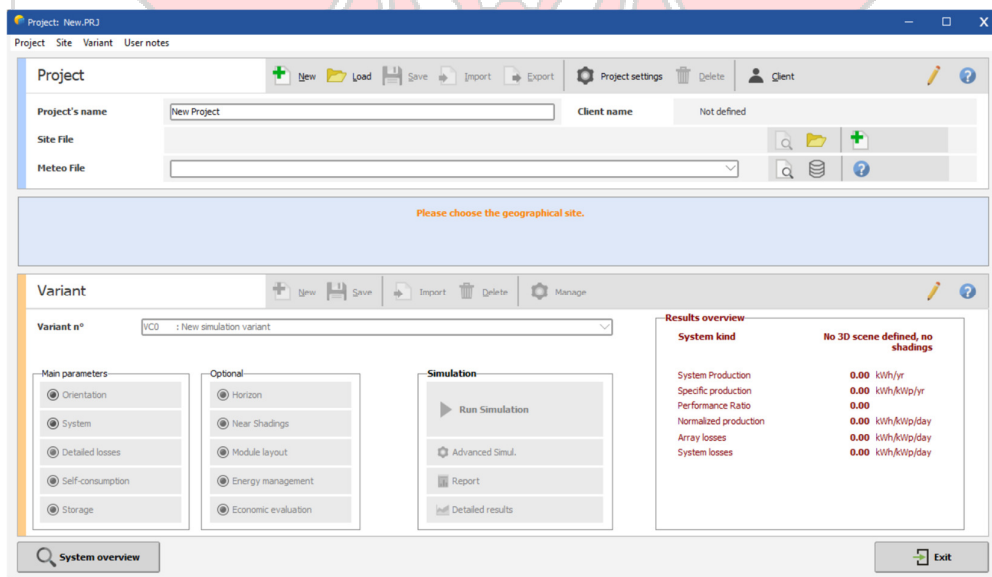
### 2.9.1 PVSyst 7.3.1

*PVSyst* merupakan paket perangkat lunak/*software* yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisa data dari sistem PLTS secara lengkap. *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.

Melalui *software PVSyst 7.3.1* dengan mengabaikan pengaruh bayangan/*shading factor* maka potensi produksi listrik, perencanaan sistem, spesifikasi komponen pendukung, dan beragam parameter lainnya selama periode waktu, dapat teridentifikasi dengan baik (Nugroho, 2021).



Gambar 2.12 Tampilan Awal Software PVsyst 7.3.1  
Sumber: Pribadi



Gambar 2.13 Tampilan Proyek PVsyst 7.3.1  
Sumber: Pribadi



Pada tampilan proyek (Gambar 2.13), terdapat main parameters (*orientation, system, detailed losess, self-consumption* dan *storage*) yang dapat diatur.

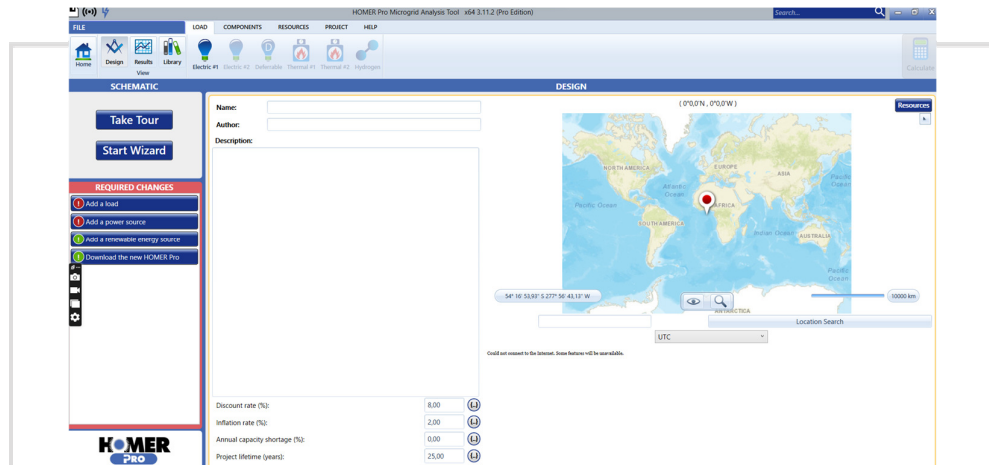
- 1) *Orientation* digunakan untuk mengatur posisi azimuth dan tilt (kemiringan) dari panel surya yang akan dirancang.
- 2) *System* digunakan untuk memilih komponen-komponen yang akan digunakan pada perencanaan seperti model, spesifikasi dan jumlah komponen serta memasukkan besar daya yang akan dibangkitkan.
- 3) *Self-consumption* digunakan untuk mengatur beban (jumlah, daya dan waktu pengoprasian) yang akan disuplai.
- 4) *Storage* digunakan untuk memilih komponen penyimpanan energi (baterai) seperti model, spesifikasi dan jumlah yang akan digunakan pada perencanaan.

### 2.9.2 HOMER PRO

Perangkat lunak HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*) adalah suatu perangkat lunak yang dikembangkan oleh *The National Renewable Energy Laboratory* (NREL). HOMER 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 (Windarta, dkk, 2019).

HOMER memiliki beberapa fitur yang dapat ditemukan pada menu utamanya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Tampilan Awal *Software* HOMER PRO  
Sumber: Pribadi

Gambar 2.14 di atas menunjukkan laman utama pada perangkat lunak HOMER. Dari sisi kiri adalah *home*, *design*, *result*, dan *library*. Selain itu terdapat juga fitur yang lainnya yang membantu proses simulasi yang dijalankan di perangkat lunak HOMER seperti *load*, *resources*, *components*, *project*, dan *help*. Kelima fitur tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda, yaitu:

- 1) *Load* adalah fitur yang digunakan dalam memilih serta menentukan besarnya beban. *Load* terbagi menjadi beberapa jenis yaitu *electrical load*, *thermal load*, *hydrogen load*, dan *deferrable load*.
- 2) *Components* adalah fitur yang digunakan dalam memilih komponen-komponen dalam suatu sistem pembangkit listrik. Contoh: jenis pembangkit

(diantaranya generator, *photo voltaic*, *wind turbin*), konverter, baterai dan lain-lain.

- 3) *Resources* adalah fitur yang berisi berupa sumber energi terbarukan seperti sinar matahari, kecepatan angin, temperatur, biomassa dan lain-lain.
- 4) *Project* adalah fitur yang digunakan dalam mengatur proyek yang sedang dikerjakan seperti mengatur emisi udara, kebutuhan ekonomi proyek, *constraints*, dan lain-lain.
- 5) *Help* adalah fitur yang digunakan sebagai *problem solved*. *Help* dapat digunakan saat pengguna HOMER mengalami kesulitan dalam mengerjakan *project* (Dzakiyah, 2020).



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

#### 3.1.1 Tempat Penelitian

Rumah tinggal yang terletak di Desa Benteng Gajah merupakan lokasi sebagai subjek perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Hybrid*. Desa Benteng Gajah ini terletak di Kecamatan Tompobulu, Kabupaten Maros. Sementara letak koordinat geografis rumah tinggal yaitu  $5^{\circ}09'18''S$   $119^{\circ}38'28''E$ . Letak rumah tinggal lebih detail dapat diketahui melalui lokasi berikut ini.



Gambar 3.1 Peta Lokasi

Sumber: <https://earth.google.com/>

#### 3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 5 bulan yaitu mulai Maret 2023 sampai dengan Agustus 2023.

### 3.2 Instrumen

Alat yang digunakan untuk simulasi perencanaan PLTS yaitu sebuah laptop yang memiliki aplikasi *software PVSyst* versi 7.3.1 dan HOMER PRO.

### 3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1) Data Radiasi Matahari

Letak geografis Indonesia yang berada dalam garis khatulistiwa memberikan keuntungan tersendiri bagi Indonesia, dimana akan mendapatkan cahaya matahari dengan intensitas yang lebih besar dibanding wilayah bumi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia berpotensi untuk memanfaatkan energi cahaya matahari sebagai energi alternatif dalam pembangkitan listrik. Data radiasi matahari pada sistem simulasi yang dijalankan diperoleh dari *Meteonorm 8.1* (2016-2021).

#### 2) Data Spesifikasi dan Parameter Komponen

Data spesifikasi dan parameter dari komponen sistem *hybrid* dibutuhkan untuk keperluan pemodelan dan simulasi dengan perangkat lunak *PVSyst* dan *HOMER PRO*, agar nantinya simulasi dapat dilakukan sedemikian rupa dengan kondisi aktual. Data-data tersebut diperoleh dari *datasheet* setiap komponen yang nantinya akan diinputkan ke perangkat lunak.

#### 3) Biaya- Biaya Komponen

Data terkait biaya-biaya komponen seperti biaya pembelian komponen, hingga biaya operasional dan pemeliharaan dibutuhkan untuk keperluan simulasi sistem dan perhitungan *net present cost*. Data-data biaya tersebut diperoleh melalui data sekunder, jurnal, hingga situs jual beli komponen elektronik.

#### 4) Data Beban

Data Beban adalah data komponen listrik (perangkat atau mesin) yang merupakan bagian dari rangkaian listrik yang mengkonsumsi listrik (daya), seperti penerangan dan peralatan elektronik lainnya.

### 3.4 Perencanaan Sistem PLTS

Metode perencanaan diperlukan agar penelitian dapat terstruktur sehingga hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem yang akan didesain adalah sistem PLTS *Hybrid* yang akan digunakan untuk menyuplai beban rumah tinggal pada siang hari maupun malam hari.

Tahapan ini dilakukan perencanaan dengan skema desain dengan tujuan sebagai acuan dalam perakitan komponen PLTS. Skema desain untuk sistem PLTS pada rumah tinggal klien dapat dilihat pada Gambar 3.2.



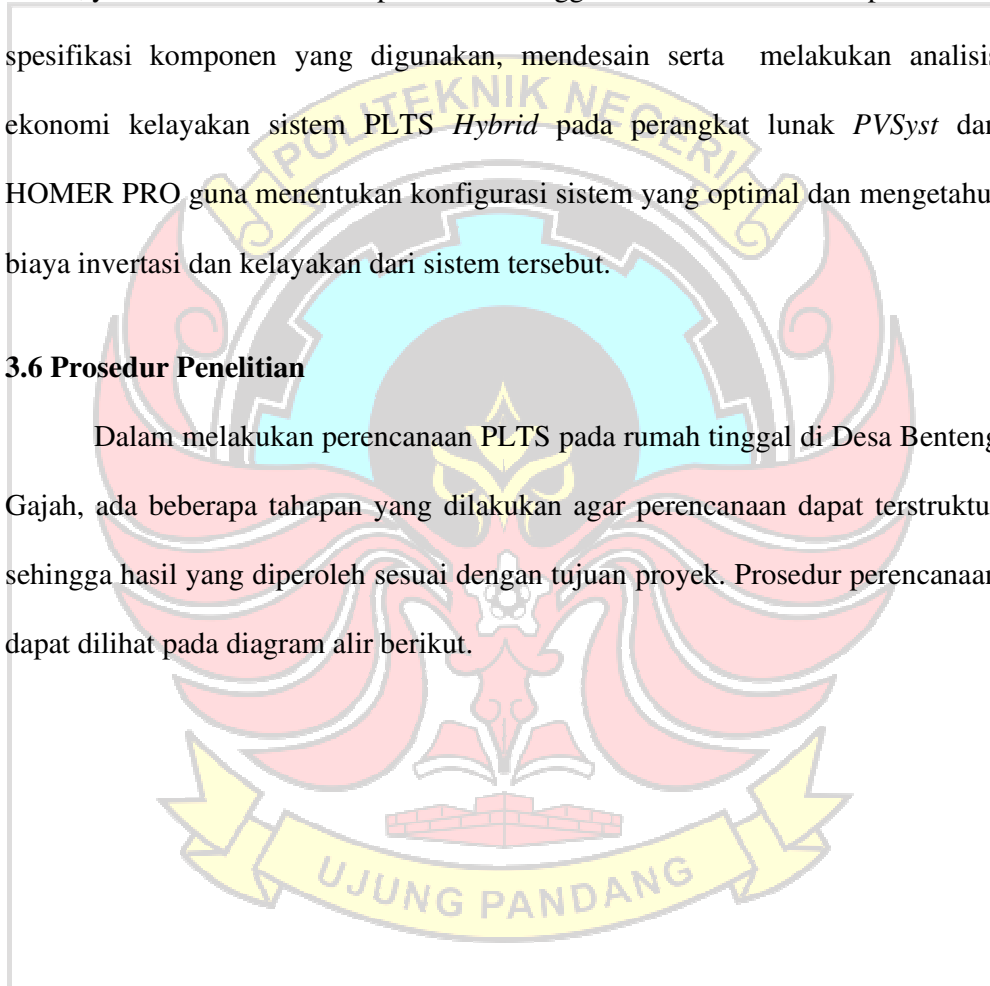
Gambar 3.2 Skema Desain PLTS

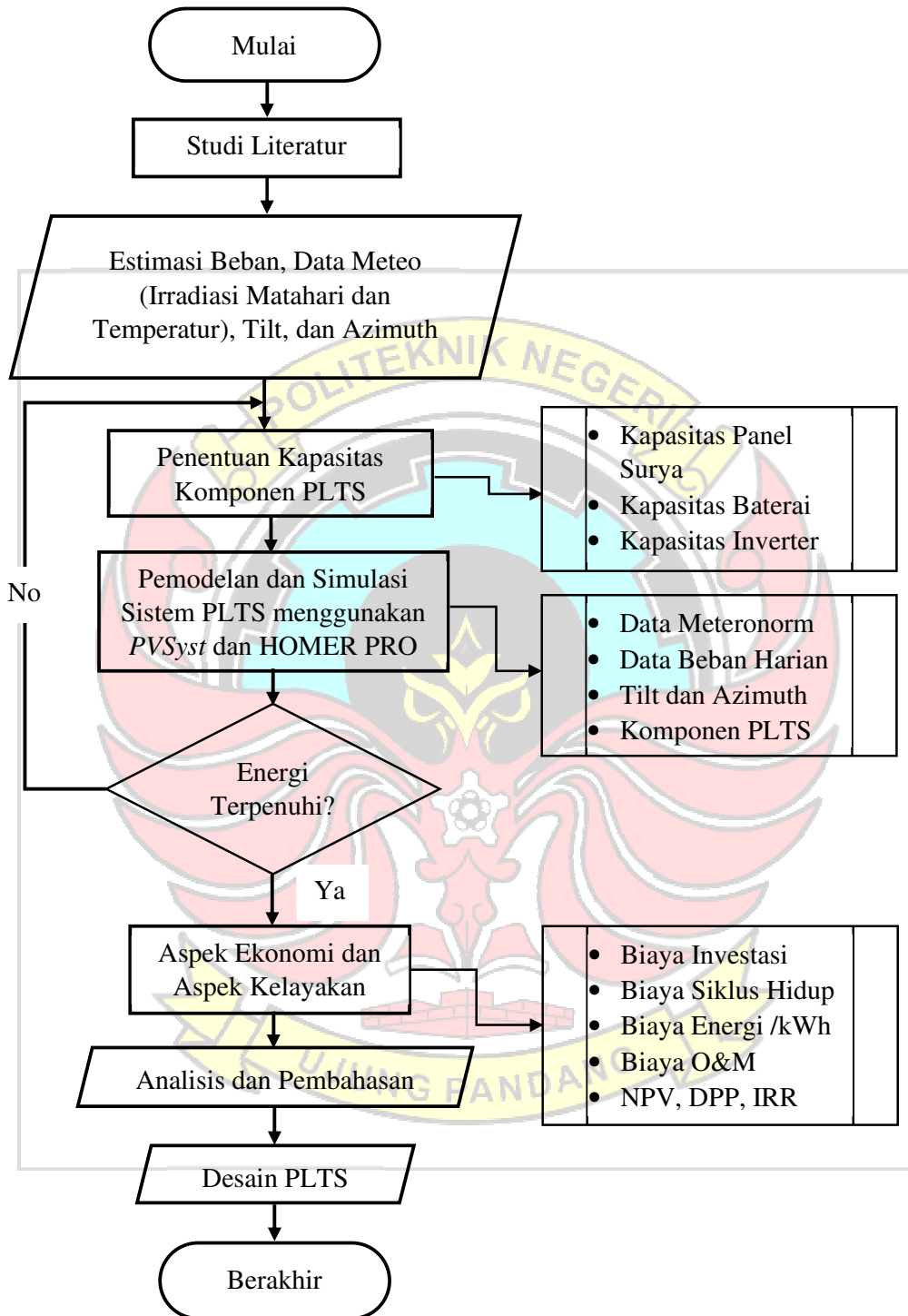
### 3.5 Metode Analisis Data

Dalam penelitian ini teknik analisis data yang digunakan yaitu metode analisis deskriptif dengan perhitungan berdasarkan teori dan simulasi pada perangkat lunak *PVSyst* dan *HOMER PRO*. Penelitian ini mencakup tiga tahap utama, yaitu studi beban listrik pada rumah tinggal untuk menentukan kapasitas dan spesifikasi komponen yang digunakan, mendesain serta melakukan analisis ekonomi kelayakan sistem *PLTS Hybrid* pada perangkat lunak *PVSyst* dan *HOMER PRO* guna menentukan konfigurasi sistem yang optimal dan mengetahui biaya investasi dan kelayakan dari sistem tersebut.

### 3.6 Prosedur Penelitian

Dalam melakukan perencanaan *PLTS* pada rumah tinggal di Desa Benteng Gajah, ada beberapa tahapan yang dilakukan agar perencanaan dapat terstruktur sehingga hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan proyek. Prosedur perencanaan dapat dilihat pada diagram alir berikut.





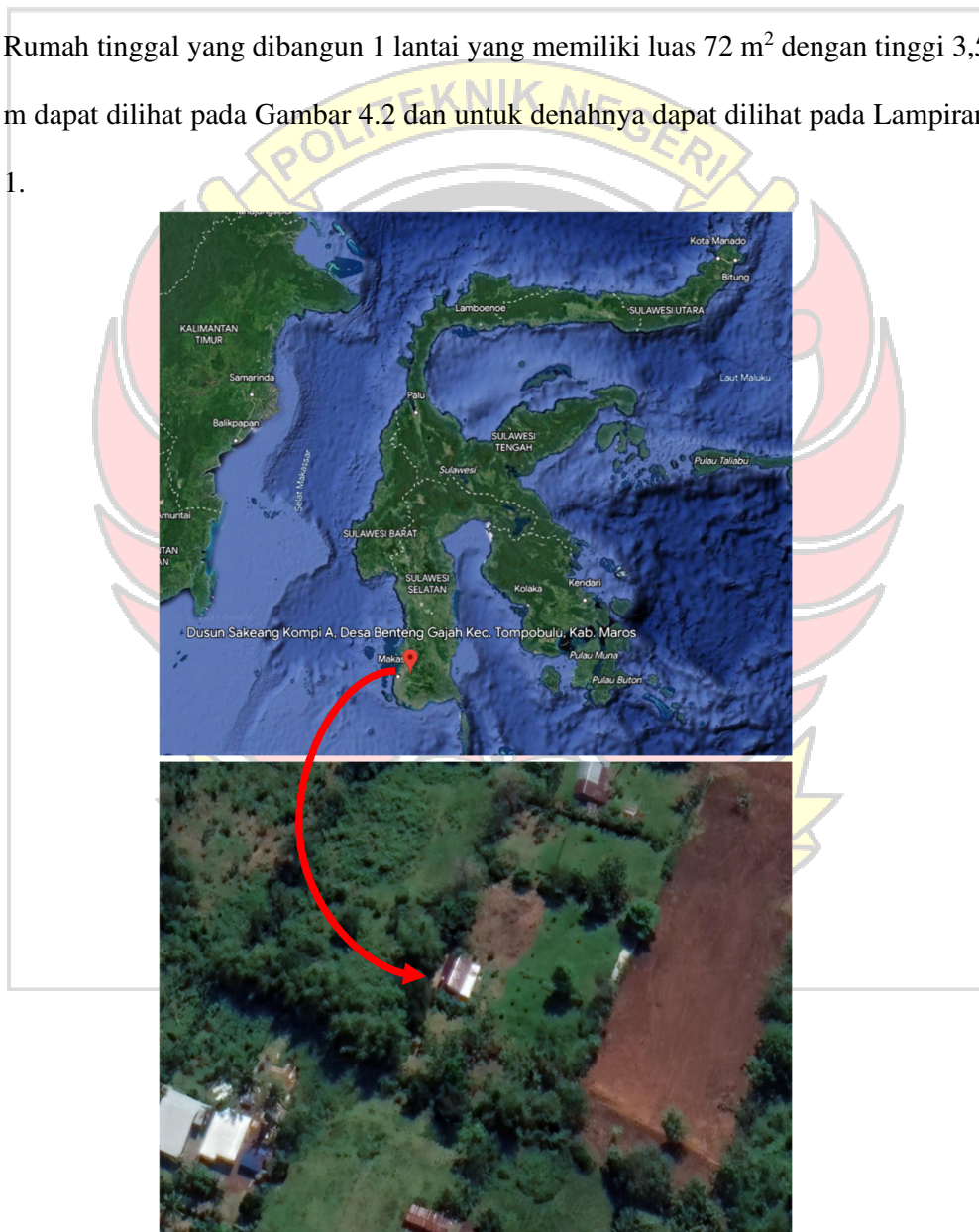
Gambar 3.3 Diagram Alir Prosedur Penelitian



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Profil Rumah Tinggal

Rumah tinggal klien berlokasi Dusun Sakeang, Desa benteng Gajah, Kec. Tompobulu, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan, dapat dilihat pada Gambar 4.1. Rumah tinggal yang dibangun 1 lantai yang memiliki luas 72 m<sup>2</sup> dengan tinggi 3,5 m dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan untuk denahnya dapat dilihat pada Lampiran 1.



Gambar 4.1 Lokasi Rumah Tinggal Klien



Gambar 4.2 Rumah Tinggal Klien

## 4.2 Data Hasil Survei

### 4.2.1 Data Iradiasi Matahari dan Temperatur

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

Site: <b>Balocci (Indonesia)</b>						
Data source: <b>Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100%</b>						
	Global horizontal irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature	Wind Velocity	Linke turbidity	Relative humidity
	kWh/m <sup>2</sup> /day	kWh/m <sup>2</sup> /day	°C	m/s	[ ]	%
January	5.34	2.32	26.5	1.00	3.668	80.3
February	4.63	2.70	26.7	0.98	3.595	80.9
March	4.88	2.73	26.9	1.00	3.449	81.1
April	5.40	2.35	26.8	0.99	3.406	83.5
May	5.12	2.34	27.5	1.01	3.505	81.3
June	4.95	2.15	26.6	1.19	3.627	83.4
July	5.61	1.92	26.7	1.51	3.536	80.1
August	6.34	1.88	26.9	1.69	3.564	76.9
September	6.32	2.16	27.2	1.49	3.702	77.2
October	6.53	2.47	27.8	1.19	4.021	76.5
November	5.80	2.50	27.0	1.31	3.881	80.0
December	5.08	2.41	27.0	1.30	3.674	79.2
<b>Year</b>	<b>5.51</b>	<b>2.32</b>	<b>27.0</b>	<b>1.2</b>	<b>3.636</b>	<b>80.0</b>
	Paste	Paste	Paste	Paste		
Global horizontal irradiation year-to-year variability <b>6.2%</b>						

Gambar 4.3 Data Iradiasi Matahari dan Temperatur di Benteng Gajah

Berdasarkan Gambar 4.3 pada *software PVsyst* menunjukkan rata – rata iradiasi matahari yang ada di Benteng Gajah sebesar 5.51 kWh perhari dengan suhu harian sebesar 27,0 °C.

#### 4.2.2 Data Kebutuhan Energi Listrik Harian

Adapun data kebutuhan energi listrik yang akan disuplai pada rumah tinggal sebagai berikut.

Tabel 4.1. Kebutuhan Energi Listrik Harian Rumah Tinggal

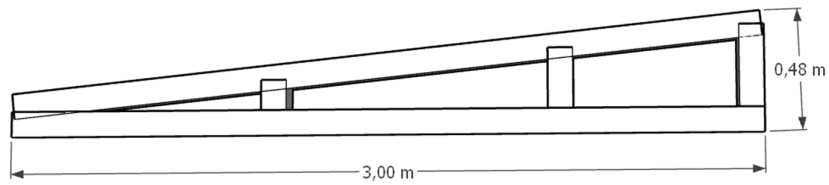
No.	Jenis Peralatan/ Beban	Jumlah (Unit)	Daya		Operasi per Hari		Kebutuhan Energi Harian		Kebutuhan Energi Harian Total (Wh)
			(Watt)		(Jam)		(Wh)		
					Siang	Malam	Siang	Malam	
1	Jet Pump	1	638	638	1	0	638	0	638
2	AC	2	450	900	4	1	3600	900	4500
3	Kipas	1	45	45	2	2	90	90	180
4	LED Hias	6	4	24	0	5	0	120	120
5	Lighting	11	8	88	0	12	0	1056	1056
6	Rice Cooker	1	400	400	1	1	400	400	800
7	Kulkas	1	242	367	6	6	1452	1452	4404
			Pencairan Bunga Es		125	6	6	750	
Total			1912	2462			6930	4768	11698

Tabel 4.1 menunjukkan jenis peralatan pada rumah tinggal tersebut terdiri dari jet pump, AC, kipas, sistem penerang, *rice cooker*, dan kulkas, dimana masing-masing memiliki waktu operasi yang berbeda-beda per hari. Salah satu peralatan rumah tangga yang beroperasi selama 24 jam yaitu kulkas, dimana kulkas direncanakan dengan pengatur suhu dalam waktu 24 jam. Kulkas pada rumah klien menggunakan kompresor jenis *smart inverter compressor* dimana inverter kompresor akan bekerja selama 24 jam dengan suhu yang berbeda-beda. Pada pemakaian yang normal inverter kompresor bekerja secara optimum sehingga membutuhkan daya optimum ( $\pm 10 - 15$  menit) dan jika suhu di dalam kulkas telah mencapai suhu yang telah ditentukan maka kecepatan kompresor akan berkurang (proses pencairan bunga es) ( $\pm 10 - 20$  menit) sehingga daya yang digunakan lebih rendah dibandingkan pada saat kompresor beroperasi dikondisi normal. Inverter kompresor akan bekerja lebih lama, pada waktu beban lemari es besar waktu pintu lemari es sering dibuka atau udara ruang sangat panas.

Adapun total energi listrik harian pada rumah tinggal yaitu sebesar 11,698 kWh/hari.

#### 4.2.3 Kemiringan Atap Bagian Teras Rumah Tinggal

Peletakan panel surya yang optimal sangat penting untuk memaksimalkan energi produksi. Maka dari itu, salah satu yang perlu dipertimbangkan yaitu kemiringan atap. Dimana kemiringan atap juga mempengaruhi efisiensi panel surya. Adapun ukuran penyangga atap pada bagian teras rumah tinggal pada dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Konstruksi Penyangga Atap Teras Rumah Tinggal

Dengan menggunakan rumus trigonometri maka di peroleh kemiringan atas sebagai berikut:

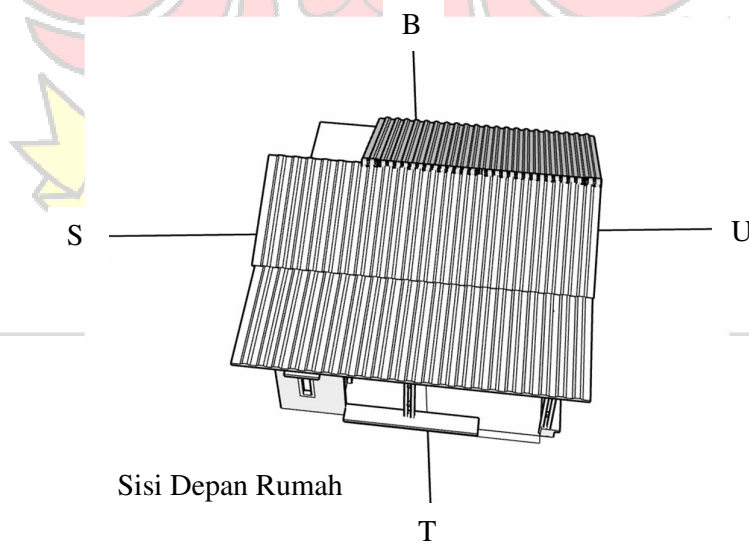
$$\tan \alpha = \frac{\text{sisi depan}}{\text{sisi samping}}$$

$$\tan \alpha = \frac{0,48 \text{ m}}{3 \text{ m}}$$

$$\alpha = 10,1^\circ$$

#### 4.2.4 Orientasi Bangunan

Bangunan rumah tinggal klien menghadap kearah timur. Dimana bangunan tersebut memiliki kemiringan terhadap arah mata angin, dengan kemiringan 8 derajat kearah tenggara.



Gambar 4.5 Orientasi Bangunan Rumah Tinggal

### 4.3 Analisis Perhitungan Sistem PLTS

PLTS yang akan didesain pada penelitian ini direncanakan untuk mensuplai seluruh kebutuhan energi listrik pada rumah tinggal tersebut. Berdasarkan hal tersebut maka, pada penelitian ini sistem PLTS yang akan didesain adalah *Hybrid System*. Sistem PLTS ini terdiri dari susunan komponen seperti panel surya, inverter dan baterai.

#### 1) Menentukan Jam Matahari Ekivalen (*Equivalent Sun Hours*, ESH)

Jam matahari ekivalen suatu tempat ditentukan berdasarkan peta insolasi matahari dunia yang dikeluarkan oleh Solarex (Solarex, 1996) (Solly, 2017). Berdasarkan peta insolasi matahari dunia, diperoleh:

$$ESH \text{ untuk Wilayah Sulawesi} = 4,5 \text{ h}$$

#### 2) Menghitung Jumlah dan Konfigurasi Panel Surya

Berdasarkan total konsumsi energi listrik harian pada rumah tinggal yang akan dibangkitkan sebesar 11,698 kWh dan *Equivalent Sun Hours* (ESH) di Sulawesi yaitu 4,5 jam per hari, maka kebutuhan daya yang akan dibangkitkan PLTS, diperhitungkan dengan persamaan (2-2) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Daya PLTS} &= \frac{\text{Jumlah Total Kebutuhan Energi (Wh)}}{\text{Equivalen Sun Hours (h)}} \\ &= \frac{11698 \text{ Wh}}{4,5 \text{ h}} \end{aligned}$$

$$= 2599,56 \text{ W}$$

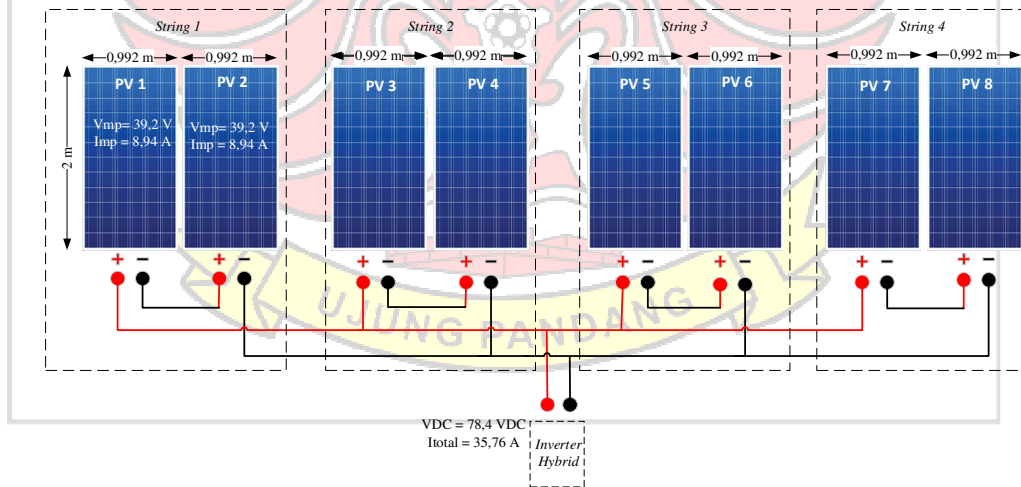
$$= 2,6 \text{ kW (pembulatan)}$$

Berdasarkan besar kebutuhan daya yang akan dibangkitkan dan kapasitas modul panel surya yang akan digunakan yaitu sebesar 350 Wp. Maka

jumlah panel surya yang diperlukan, diperhitungkan dengan persamaan (2-3) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{\text{Kebutuhan Daya (kW)}}{\text{Kapasitas Modul Surya (Wp)}} \\
 &= \frac{2,6 \text{ kW}}{350 \text{ Wp}} \\
 &= 7,43 \\
 &= 8 \text{ unit (pembulatan)}
 \end{aligned}$$

Sehingga jumlah panel surya yang akan digunakan dan cocok untuk beban rumah tinggal yakni 8 unit  $\approx$  8 unit panel surya 350 Wp dengan tipe *polychristalline* dengan spesifikasi nilai  $V_{mp} = 39,2 \text{ V}$  dan  $I_{mp} = 8,94 \text{ A}$ . Adapun spesifikasi panel surya dapat dilihat pada Lampiran 5 dan konfigurasi panel surya dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Konfigurasi Panel Surya

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa konfigurasi panel surya terdiri dari 4 string yang terhubung secara paralel, dimana setiap string terdapat 2 unit panel

surya yang terhubung secara seri. Adapun tegangan maksimum pada setiap *string* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{String1} &= V_{panel\ 1} + V_{panel\ 2} \\ &= 39,2\ V + 39,2\ V \end{aligned}$$

$$= 78,4\ V$$

Sedangkan untuk arus maksimum pada setiap *string* dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{string1} = I_{panel\ 1} = I_{panel\ 2} = 8,94\ A$$

Dikarenakan setiap *string* terdiri dari 2 unit panel surya dengan merk dan spesifikasi yang sama maka nilai tegangan dan arus setiap *string* adalah sama sebesar 78,4 V dan 8,94 A. Adapun total tegangan maksimum panel surya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{Sistem\ DC} = V_{string\ 1} = V_{string\ 2} = V_{string\ 3} = V_{string\ 4} = 78,4\ V$$

Sedangkan untuk total arus maksimum panel surya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{Total\ Input} = I_{string\ 1} + I_{string\ 2} + I_{string\ 3} + I_{string\ 4}$$

$$= 8,94\ A + 8,94\ A + 8,94\ A + 8,94\ A$$

$$= 35,76\ A$$



Berdasarkan hasil perhitungan, maka total arus maksimum panel surya yaitu sebesar 35,76 A dan tegangan maksimum panel surya yaitu sebesar 78,4V yang disesuaikan dengan rating tegangan input inverter di kisaran tegangan 30 – 80 VDC.

Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa dimensi panel surya 2 m x 0,992 m.

Luas area yang digunakan untuk 8 unit dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A &= 8 (P \times L) \\ &= 8 (2 \text{ m} \times 0,992 \text{ m}) \\ &= 8 (1,984 \text{ m}^2) \\ &= 15,87 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka luas area yang digunakan untuk 8 unit panel surya yaitu sebesar 15,87 m<sup>2</sup>.

### 3) Menghitung Produksi Energi Listrik Harian Panel Surya

Produksi energi listrik harian PLTS diperhitungkan dengan persamaan (2-4) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A \text{ kWh} &= \text{Jumlah panel surya} \times \text{Kapasitas panel surya} \times \text{ESH} \\ &= 8 \times 350 \times 4,5 \\ &= 12,6 \text{ kWh/day} \end{aligned}$$

Sedangkan produksi energi listrik tahunan PLTS diperhitungkan dengan persamaan (2-4) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A \text{ kWh} &= \text{Jumlah panel surya} \times \text{Kapasitas panel surya} \times \text{ESH} \times 365 \\ &= 8 \times 350 \times 4,5 \times 365 \\ &= 4599 \text{ kWh/Tahun} \end{aligned}$$

#### 4) Menghitung Efisiensi Panel Surya

Berdasarkan nilai irradiansi matahari yaitu 5,51 kWh/m<sup>2</sup>/day, luas area panel surya yaitu 15,87 m<sup>2</sup>, dan produksi energi harian yaitu 12,6 kWh/day, maka efisiensi panel surya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\eta_p &= \frac{A \text{ kWh}}{I_r \times A} \times 100\% \\ &= \frac{12,6 \text{ kWh/day}}{5,51 \text{ kWh/m}^2/\text{day} \times 15,87 \text{ m}^2} \times 100\% \\ &= 14,41 \%\end{aligned}$$

#### 5) Menentukan Kapasitas dan Spesifikasi Inverter

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

Berdasarkan besar kapasitas daya yang harus dilayani, maka dalam perencanaan ini digunakan 1 buah inverter SAKO SVP 3 kW *pure sine wave* dengan *total harmonic distortion* (THD) > 3%, 1 *phase* dengan input tegangan sebesar 30 - 80 VDC. Adapun spesifikasi inverter yang dipilih dapat dilihat pada Lampiran 6.

##### a) Kelengkapan Inverter SAKO SVP:

1. *Pulse Width Modulation (PWM) Solar Charge Controller* atau pengontrol pengisian daya, yang berfungsi mencegah pengisian energi baterai yang berlebihan dengan membatasi jumlah dan laju pengisian

daya ke baterai dan pengurasan baterai dengan mematikan sistem jika daya yang tersimpan turun di bawah kapasitas 30 persen dan mengisi baterai pada level voltase yang benar.

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

b) Mode Operasional Inverter SAKO SVP:

Mode 1 Prioritas panel surya, kebutuhan energi yang dibutuhkan oleh rumah, utamanya disuplai dari panel surya jika sumber energi yang diperoleh dari panel surya tidak cukup maka kekurangan energi disuplai menggunakan dari jaringan PLN.

Mode 2 Prioritas PLN, pada saat panel surya tidak memproduksi energi listrik misalnya pada malam hari, energi disuplai dari jaringan PLN

Mode 3 Prioritas panel surya, jika panel surya tidak menghasilkan energi misalnya pada malam hari maka energi listrik disupali dari baterai sebelum menggunakan PLN.

6) Menghitung Kapasitas Baterai

Adapun tegangan baterai yang sesuai dengan spesifikasi inverter, dipilih baterai dengan tegangan yaitu 24 VDC. Adapun spesifikasi yang di *compatible* seperti yang ditunjukkan seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tegangan Baterai yang di-support oleh Inverter

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

Berdasarkan Tabel 4.1 jumlah kebutuhan energi listrik pada malam hari yang harus dilayani yaitu sebesar 4768 Wh, maka kapasitas baterai dari persamaan (2-5) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 C_b (\text{Awal}) &= \frac{\text{Jumlah Kebutuhan Energi Malam Hari (Wh)}}{\text{Tegangan Kerja Sistem (Vdc)}} \\
 &= \frac{4768 \text{ Wh}}{24 \text{ VDC}} \\
 &= 198,67 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

Baterai yang dipilih untuk sistem PLTS adalah yang memiliki jenis karakter *Deep Discharge*. Baterai jenis ini bisa di-discharge energi listriknya hingga tersisa sekitar 20% -30% dari kapasitas simpan baterai. Jika di-discharge melebihi kapasitas tersebut, maka umur baterai akan lebih singkat, sehingga perhitungan kapasitas baterai adalah:

$$\begin{aligned}
 C_b \text{ Akhir} &= C_b (\text{Awal}) + (30\% \times C_b (\text{Awal})) \\
 &= 198,67 + (30\% \times 198,67) \\
 &= 258,27 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

Sehingga dalam perencanaan ini dipilih baterai dengan tegangan 24 VDC dengan kapasitas 100Ah sebanyak 3 unit jenis *LifePO4* yang dihubungkan secara paralel. *LiFePO4* memiliki siklus hidup atau *lifecycle* baterai *LiFePO4*

lebih dari 4x baterai *lithium ion* lainnya dan 10x lipat dibanding baterai asam timbal (aki). Baterai *LiFePO4* yang berkualitas baik bisa diisi ulang sekitar 3000 siklus, pada siklus pengisian / pengosongan 100% penuh itu berarti bisa bertahan selama lebih dari 8 tahun. *LiFePO4* dapat bertahan lebih lama lagi (10-15 tahun) bila digunakan dalam siklus kurang dari-100%. Meskipun harganya lebih mahal tapi jika dibandingkan dengan siklus hidup, maka baterai jenis ini jauh lebih ekonomis dibanding dengan baterai asam timbal (aki) yang harganya relative lebih murah dengan siklus hidup yang singkat (Jelly,2022). Adapun spesifikasi baterai yang dipilih untuk digunakan dapat dilihat pada Lampiran 7.

#### **4.4 Analisis Perhitungan Biaya Ekonomi Sistem PLTS**

##### **1) Menghitung Biaya Investasi PLTS**

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

Berdasarkan hasil perhitungan numerik diatas dan harga komponen yang diperoleh dari situs online maka biaya investasi PLTS pada rumah tinggal dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Biaya Investasi PLTS

No.	Komponen	Jumlah	Harga Satuan	Total Harga
<b>Komponen Utama</b>				
1.	Panel Surya 350Wp	8 Unit	Rp 3.080.000	Rp 24.640.000
2.	Inverter 3kW	1 Unit	Rp 4.200.000	Rp 4.200.000
3.	Baterai 100Ah 24V	3 Unit	Rp 4.045.500	Rp 12.136.500
Jumlah				Rp 40.976.500
<b>Komponen Pendukung</b>				
4.	Mur	18 Unit	Rp 22.500	Rp 405.000
5.	Siku L	1 Pasang	Rp 40.000	Rp 40.000
6.	Penjepit Baterai	2 Pasang	Rp 1.300	Rp 2.600
7.	Terminal Box	1 Unit	Rp 200.000	Rp 200.000
8.	Konektor Tenaga Surya	8 Pasang	Rp 26.860	Rp 214.880
9.	MCB DC 50 A	1 Unit	Rp 43.000	Rp 43.000
10.	MCB DC 100A	1 Unit	Rp 43.000	Rp 43.000
11.	Kabel NYY 1.5mm <sup>2</sup>	5 Meter	Rp 11.500	Rp 57.500
12.	Kabel NYY 6 mm <sup>2</sup>	36 Meter	Rp 27.000	Rp 972.000
13.	Kabel NYY 25 mm <sup>2</sup>	9 Meter	Rp 78.800	Rp 709.200
14.	SPD DC 500V	1 Unit	Rp 220.000	Rp 220.000
15.	Mounting Bracket PV	18 Meter	Rp 78.000	Rp 1.404.000
16.	End Clamp Kit Mounting PV	4 Unit	Rp 12.000	Rp 48.000
17.	Middle Clamp Kit Mounting PV	14 Unit	Rp 12.000	Rp 168.000
Jumlah				Rp 4.527.180
<b>Instalasi</b>				
18.	Transportasi	1	Rp 300.000	Rp 300.000
19.	Pemasangan	2	Rp 1.000.000	Rp 2.000.000
Jumlah				Rp 2.300.000
<b>Biaya Invertasi Awal PLTS</b>				<b>Rp 47.803.680</b>

## 2) Menghitung Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal (Suhendar,2022).

Berdasarkan acuan tersebut maka pada penelitian ini, besar persentase untuk biaya pemeliharaan dan operasional per tahun PLTS yang mencakup biaya

untuk pekerjaan pembersihan panel surya, biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan dan instalasi akan ditetapkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal. Penentuan persentase 1% didasarkan bahwa negara Indonesia hanya mengalami dua musim, yaitu musim penghujan dan musim kemarau sehingga biaya pembersihan dan pemeliharaan panel surya tidak sebesar pada negara yang mengalami empat musim dalam satu tahun. Selain itu penentuan persentase ini juga didasarkan pada tingkat upah tenaga kerja di Indonesia yang lebih murah dibandingkan dengan tingkat upah tenaga kerja di negara maju (Suhendar,2022).

Berdasarkan Tabel 4.3 biaya investasi awal, maka besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan diimplementasikan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-8) sebagai berikut:

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

$$= 1\% \times \text{Rp } 47.803.680$$

$$= \text{Rp } 478.037 \text{ per tahun}$$

### 3) Menghitung Biaya Siklus Hidup

Biaya siklus hidup (LCC) untuk PLTS yang akan didesain pada rumah tinggal, ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal (C), biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional ( $M_{PW}$ ) dan ( $R_{PW}$ ) biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian selama umur proyek.

PLTS yang akan didesain pada perencanaan ini, diasumsikan beroperasi selama 20 tahun. Penetapan umur proyek ini mengacu kepada *life time* PLTS yang berada pada perencanaan di *software PVSyst*.

Besarnya tingkat diskonto ( $i$ ) yang dipergunakan untuk menghitung nilai sekarang pada perencanaan ini adalah sebesar 9,27%. Penentuan tingkat diskonto ini mengacu kepada tingkat suku bunga kredit bank bulan april tahun 2023. Adapun tabel tingkat suku bunga dapat dilihat pada Lampiran 10.

Besar nilai sekarang (*present value*) untuk biaya pemeliharaan dan operasional ( $M_{PW}$ ) PLTS selama umur proyek 20 tahun dengan tingkat diskonto 9,27%, dihitung dengan menggunakan persamaan (2-9) sebagai berikut:

$$M_{pw} = M \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$
$$= Rp\ 478.037 \left[ \frac{(1 + 9,27\%)^{20} - 1}{9,27\%(1 + 9,27\%)^{20}} \right]$$

$$= Rp\ 4.281.101$$

Besar nilai sekarang (*present value*) untuk biaya penggantian selama umur proyek ( $R_{PW}$ ), dapat dilihat pada Tabel 4.4.



Tabel 4.4 Biaya Pergantian Komponen Selama Umur Proyek

Komponen	Umur Komponen (Tahun)	Pergantian	Total Harga
Baterai	10	1	Rp 12.136.500
Inverter	10	1	Rp 4.200.000
Jumlah Biaya Penggantian Komponen			Rp 16.336.500

Berdasarkan biaya investasi awal (C), perhitungan  $M_{PW}$  dan biaya penggantian baterai dan inverter, maka biaya siklus hidup (LCC) untuk PLTS yang akan didesain selama umur proyek 20 tahun dihitung dengan menggunakan persamaan (2-7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 LCC &= C + M_{PW} + R_{PW} \\
 &= Rp\ 47.803.680 + Rp\ 4.281.101 + Rp\ 16.336.500 \\
 &= Rp\ 68.421.281
 \end{aligned}$$

#### 4) Menghitung Biaya Energi PLTS

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

Faktor pemulihan modal untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian biaya tahunan, diperhitungkan dengan menggunakan persamaan (2-12) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 CRF &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\
 &= \frac{9,27\% (1 + 9,27\%)^{20}}{(1 + 9,27\%)^{20} - 1} \\
 &= 0,1117
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan LCC yaitu Rp 68.421.281, CRF yaitu 0,1117 dan produksi energi listrik tahunan yaitu 4599 kWh maka besar biaya energi (COE) untuk PLTS yang didesain pada rumah tinggal dihitung dengan menggunakan persamaan (2-11) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} COE &= \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \\ &= \frac{Rp 68.421.281 \times 0,1117}{4599 \text{ kWh}} \\ &= Rp 1.661 \text{ per kWh} \end{aligned}$$

#### 4.5 Analisis Kelayakan Investasi Sistem PLTS

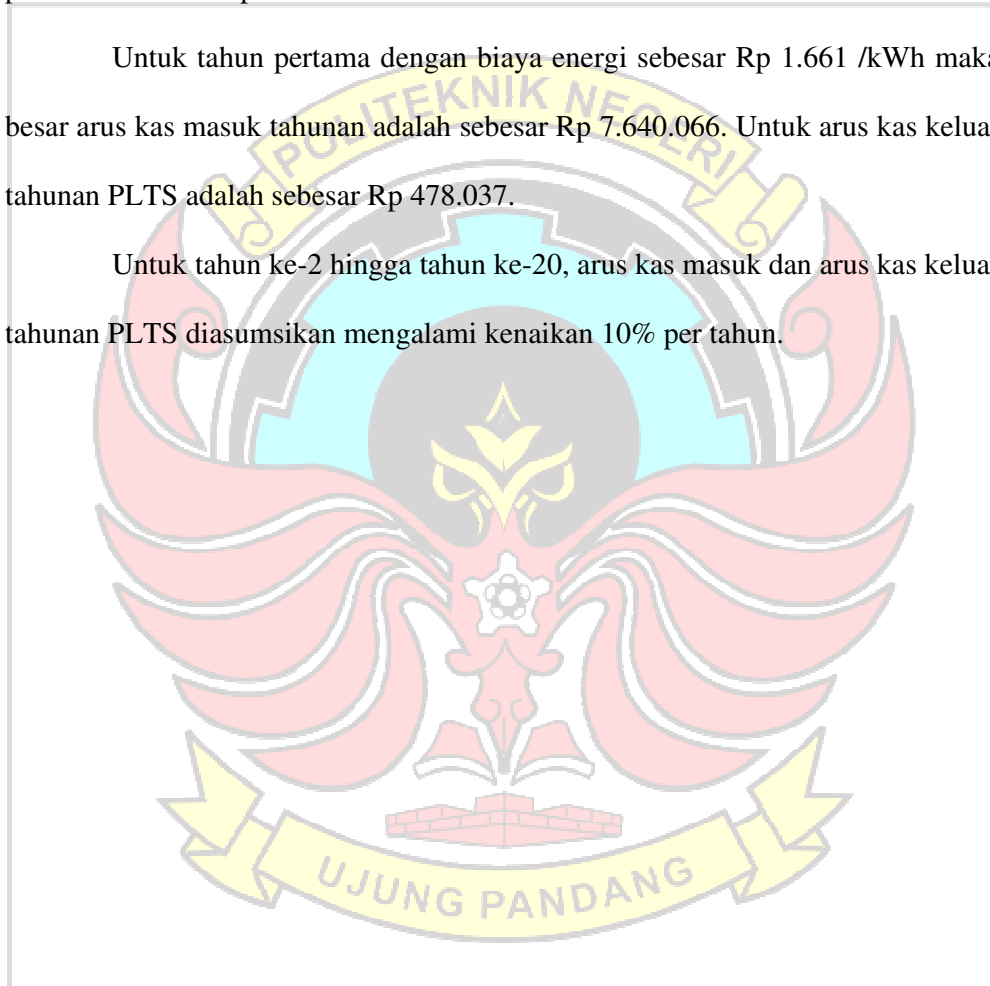
Kelayakan investasi PLTS yang akan didesain pada rumah tinggal ditentukan berdasarkan hasil perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI), *Discounted Payback Period* (DPP) dan *Internal Rate Return* (IRR).

Perhitungan NPV, PI, DPP dan IRR dan ditentukan oleh besar arus kas bersih (*Net Cash Flow*), faktor diskonto (*discount factor*), *Present Value* (PV) dan nilai sekarang arus kas bersih kumulatif (*Present Value Net Cash Flow*). Arus kas bersih (NCF) dihasilkan dengan mengurangi arus kas masuk dengan arus kas keluar. *Present Value* (PV) dihasilkan dengan mengalikan arus kas bersih dengan faktor diskonto. Sedangkan untuk nilai sekarang arus kas bersih kumulatif (PVNCF) dihasilkan dengan menjumlahkan arus kas bersih dari tahun ke tahun. Tabel 4.5 menunjukkan hasil perhitungan arus kas bersih, faktor diskonto dengan tingkat diskonto (i) sebesar 9,27% dan nilai sekarang arus kas bersih.

Arus kas masuk tahunan PLTS yang akan didesain pada rumah tinggal dihasilkan dengan mengalikan kWh produksi energi listrik tahunan PLTS dengan biaya energi. Dengan kWh produksi energi listrik tahunan PLTS sebesar 4599 kWh. Untuk arus kas keluar tahunan PLTS ditentukan berdasarkan biaya pemeliharaan dan operasional tahunan PLTS.

Untuk tahun pertama dengan biaya energi sebesar Rp 1.661 /kWh maka besar arus kas masuk tahunan adalah sebesar Rp 7.640.066. Untuk arus kas keluar tahunan PLTS adalah sebesar Rp 478.037.

Untuk tahun ke-2 hingga tahun ke-20, arus kas masuk dan arus kas keluar tahunan PLTS diasumsikan mengalami kenaikan 10% per tahun.



Tabel 4.5 Perhitungan Arus Kas Bersih, DF dan PVNCF dengan  $i = 9,27\%$

Tahun	Investasi Awal	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Faktor Diskonto 9,27%	PV	PVNCF
0	Rp 47.803.680						
1		Rp 7.640.066	Rp 478.037	Rp 7.162.029	0,915	Rp 6.554.433	Rp 6.554.433
2		Rp 8.404.072	Rp 525.840	Rp 7.878.232	0,838	Rp 6.598.221	Rp 13.152.654
3		Rp 9.244.479	Rp 578.425	Rp 8.666.055	0,766	Rp 6.642.302	Rp 19.794.956
4		Rp 10.168.927	Rp 636.267	Rp 9.532.660	0,701	Rp 6.686.677	Rp 26.481.633
5		Rp 11.185.820	Rp 699.894	Rp 10.485.926	0,642	Rp 6.731.349	Rp 33.212.982
6		Rp 12.304.402	Rp 769.883	Rp 11.534.519	0,587	Rp 6.776.319	Rp 39.989.301
7		Rp 13.534.842	Rp 846.871	Rp 12.687.971	0,538	Rp 6.821.589	Rp 46.810.890
8		Rp 14.888.327	Rp 931.558	Rp 13.956.768	0,492	Rp 6.867.162	Rp 53.678.052
9		Rp 16.377.159	Rp 1.024.714	Rp 15.352.445	0,450	Rp 6.913.040	Rp 60.591.092
10		Rp 18.014.875	Rp 1.127.186	Rp 16.887.689	0,412	Rp 6.959.224	Rp 67.550.316
11		Rp 19.816.363	Rp 1.239.904	Rp 18.576.458	0,377	Rp 7.005.716	Rp 74.556.032
12		Rp 21.797.999	Rp 1.363.895	Rp 20.434.104	0,345	Rp 7.052.519	Rp 81.608.552
13		Rp 23.977.799	Rp 1.500.284	Rp 22.477.515	0,316	Rp 7.099.635	Rp 88.708.187
14		Rp 26.375.579	Rp 1.650.313	Rp 24.725.266	0,289	Rp 7.147.066	Rp 95.855.253
15		Rp 29.013.137	Rp 1.815.344	Rp 27.197.793	0,265	Rp 7.194.813	Rp 103.050.066
16		Rp 31.914.450	Rp 1.996.878	Rp 29.917.572	0,242	Rp 7.242.879	Rp 110.292.945
17		Rp 35.105.895	Rp 2.196.566	Rp 32.909.329	0,222	Rp 7.291.267	Rp 117.584.212
18		Rp 38.616.485	Rp 2.416.223	Rp 36.200.262	0,203	Rp 7.339.978	Rp 124.924.190
19		Rp 42.478.133	Rp 2.657.845	Rp 39.820.288	0,186	Rp 7.389.014	Rp 132.313.204
20		Rp 46.725.947	Rp 2.923.630	Rp 43.802.317	0,170	Rp 7.438.378	Rp 139.751.581
<b>Total</b>						Rp 139.751.581	Rp 139.751.581

Berdasarkan hasil perhitungan arus kas bersih (NCF), faktor diskonto dan nilai sekarang arus kas bersih kumulatif (PVNCF), maka NPV, PI dan DPP untuk PLTS yang akan diimplementasikan dapat diperhitungkan.

1) *Net Present Value (NPV)*

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa total nilai sekarang arus kas bersih (PV) yang merupakan hasil perkalian antara arus kas bersih dengan faktor diskonto  $\left(\sum_{t=1}^n \frac{NCF}{(1+i)^n}\right)$  adalah sebesar Rp 139.751.581. Sehingga dengan biaya investasi awal (C) sebesar Rp 47.803.680, maka besar nilai NPV dapat dihitung dengan persamaan (2-13) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} NPV &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF}{(1+i)^n} - C \\ &= Rp\ 139.751.581 - Rp\ 47.803.680 \\ &= Rp\ 91.947.901 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan NPV yang bernilai positif Rp 91.947.901 (> 0) untuk tingkat suku bunga 9,27% menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan diimplementasikan pada rumah tinggal layak untuk dilaksanakan.

2) *Profitability Index (PI)*

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa total nilai sekarang arus kas bersih (PV) sebesar Rp 139.751.581. Sehingga dengan biaya investasi awal (C) sebesar Rp 47.803.680, maka besar nilai PI dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-14) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 PI &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF (1+i)^{-n}}{C} \\
 &= \frac{\text{Rp } 139.751.581}{\text{Rp } 47.803.680} \\
 &= 2,92
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan PI yang bernilai 2,92 (> 1), menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan diimplementasikan pada rumah tinggal layak untuk dilaksanakan.

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

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

Pada Tabel 4.5 menunjukkan tahun ke-7, nilai sekarang arus kas bersih kumulatif mendekati nilai investasi awal dengan kekurangan sebesar Rp 992.790 yaitu dari Rp 47.803.680 – Rp 46.810.890. Dalam tahun ke-8, nilai sekarang arus kas bersih adalah sebesar Rp 6.867.162. Sehingga untuk dapat menutupi kekurangan investasi awal sebesar Rp 992.790, maka lama waktu yang diperlukan adalah sekitar 2 bulan ( $\text{Rp } 992.790 / \text{Rp } 6.867.162 = 0,145$  dari 12 bulan).

Dhasilkannya DPP sekitar 7 tahun 2 bulan, menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan diimplementasikan pada rumah tinggal layak untuk dilaksanakan. Hal ini karena DPP yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih kecil dari periode umur proyek yang ditetapkan, yaitu selama 20 tahun.

4) *Internal Rate Return (IRR)*

Untuk menentukan nilai IRR digunakan metode interpolasi antara suku bunga untuk menghasilkan nilai NPV positif. Pada perencanaan ini menggunakan suku bunga yaitu sebesar 9,27%. Untuk mengitung IRR digunakan tingkat suku bunga yang lebih rendah dan tingkat suku bunga yang lebih tinggi dari tingkat suku bunga yang telah ada, dimana suku bunga rendah yang digunakan adalah 8,27% dan suku bunga tinggi adalah 10,27%.

Tabel 4.6 Perhitungan DF dan PVr, dengan  $i = 8,27\%$

Tahun	Investasi Awal	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Faktor Diskonto 8,27%	PVr
0	Rp 47.803.680					
1		Rp 7.640.066	Rp 478.037	Rp 7.162.029	0,924	Rp 6.614.971
2		Rp 8.404.072	Rp 525.840	Rp 7.878.232	0,853	Rp 6.720.669
3		Rp 9.244.479	Rp 578.425	Rp 8.666.055	0,788	Rp 6.828.055
4		Rp 10.168.927	Rp 636.267	Rp 9.532.660	0,728	Rp 6.937.158
5		Rp 11.185.820	Rp 699.894	Rp 10.485.926	0,672	Rp 7.048.004
6		Rp 12.304.402	Rp 769.883	Rp 11.534.519	0,621	Rp 7.160.621
7		Rp 13.534.842	Rp 846.871	Rp 12.687.971	0,573	Rp 7.275.037
8		Rp 14.888.327	Rp 931.558	Rp 13.956.768	0,530	Rp 7.391.282
9		Rp 16.377.159	Rp 1.024.714	Rp 15.352.445	0,489	Rp 7.509.384
10		Rp 18.014.875	Rp 1.127.186	Rp 16.887.689	0,452	Rp 7.629.373
11		Rp 19.816.363	Rp 1.239.904	Rp 18.576.458	0,417	Rp 7.751.280

12		Rp 21.797.999	Rp 1.363.895	Rp 20.434.104	0,385	Rp 7.875.134
13		Rp 23.977.799	Rp 1.500.284	Rp 22.477.515	0,356	Rp 8.000.968
14		Rp 26.375.579	Rp 1.650.313	Rp 24.725.266	0,329	Rp 8.128.812
15		Rp 29.013.137	Rp 1.815.344	Rp 27.197.793	0,304	Rp 8.258.698
16		Rp 31.914.450	Rp 1.996.878	Rp 29.917.572	0,280	Rp 8.390.661
17		Rp 35.105.895	Rp 2.196.566	Rp 32.909.329	0,259	Rp 8.524.731
18		Rp 38.616.485	Rp 2.416.223	Rp 36.200.262	0,239	Rp 8.660.944
19		Rp 42.478.133	Rp 2.657.845	Rp 39.820.288	0,221	Rp 8.799.334
20		Rp 46.725.947	Rp 2.923.630	Rp 43.802.317	0,204	Rp 8.939.935
<b>Total</b>					9,624	Rp 154.445.050

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa total nilai sekarang arus kas bersih (PV) dengan tingkat suku bunga rendah yaitu sebesar 8,27% yang merupakan hasil perkalian antara arus kas bersih dengan faktor diskonto  $\left(\sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^n}\right)$  adalah sebesar Rp 154.445.050, dengan biaya investasi awal (C) sebesar Rp 47.803.680, maka besar nilai NPVr dapat dihitung dengan persamaan (2-13) sebagai berikut:

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

$$= Rp 154.445.050 - Rp 47.803.680$$

$$= Rp 106.641.370$$



Tabel 4.7 Perhitungan DF dan PVt dengan  $i = 10,27\%$

Tahun	Investasi Awal	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Faktor Diskonto 10,27%	PVt
0	Rp 47.803.680					
1		Rp 7.640.066	Rp 478.037	Rp 7.162.029	0,907	Rp 6.494.993
2		Rp 8.404.072	Rp 525.840	Rp 7.878.232	0,822	Rp 6.479.090
3		Rp 9.244.479	Rp 578.425	Rp 8.666.055	0,746	Rp 6.463.226
4		Rp 10.168.927	Rp 636.267	Rp 9.532.660	0,676	Rp 6.447.400
5		Rp 11.185.820	Rp 699.894	Rp 10.485.926	0,613	Rp 6.431.613
6		Rp 12.304.402	Rp 769.883	Rp 11.534.519	0,556	Rp 6.415.865
7		Rp 13.534.842	Rp 846.871	Rp 12.687.971	0,504	Rp 6.400.156
8		Rp 14.888.327	Rp 931.558	Rp 13.956.768	0,457	Rp 6.384.485
9		Rp 16.377.159	Rp 1.024.714	Rp 15.352.445	0,415	Rp 6.368.852
10		Rp 18.014.875	Rp 1.127.186	Rp 16.887.689	0,376	Rp 6.353.258
11		Rp 19.816.363	Rp 1.239.904	Rp 18.576.458	0,341	Rp 6.337.702
12		Rp 21.797.999	Rp 1.363.895	Rp 20.434.104	0,309	Rp 6.322.184
13		Rp 23.977.799	Rp 1.500.284	Rp 22.477.515	0,281	Rp 6.306.704
14		Rp 26.375.579	Rp 1.650.313	Rp 24.725.266	0,254	Rp 6.291.261
15		Rp 29.013.137	Rp 1.815.344	Rp 27.197.793	0,231	Rp 6.275.857
16		Rp 31.914.450	Rp 1.996.878	Rp 29.917.572	0,209	Rp 6.260.490
17		Rp 35.105.895	Rp 2.196.566	Rp 32.909.329	0,190	Rp 6.245.161
18		Rp 38.616.485	Rp 2.416.223	Rp 36.200.262	0,172	Rp 6.229.870
19		Rp 42.478.133	Rp 2.657.845	Rp 39.820.288	0,156	Rp 6.214.616
20		Rp 46.725.947	Rp 2.923.630	Rp 43.802.317	0,142	Rp 6.199.399
<b>Total</b>					8,359	Rp 126.922.183

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa total nilai sekarang arus kas bersih (PV) dengan tingkat suku bunga tinggi yaitu sebesar 10,27% yang merupakan hasil perkalian antara arus kas bersih dengan faktor diskonto  $\left(\sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^n}\right)$  adalah sebesar Rp 126.922.183, dengan biaya investasi awal (C) sebesar Rp 47.803.680, maka besar nilai NPVt dapat dihitung dengan persamaan (2-13) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} NPV_t &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^n} - C \\ &= Rp\ 126.922.183 - Rp\ 47.803.680 \\ &= Rp\ 79.118.503 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan  $NPV_r$  dan  $NPV_t$  yang telah dilakukan selama umur proyek yaitu 20 tahun, maka IRR dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan (2-15) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} IRR &= ir + \left( \frac{NPV_r}{NPV_r - NPV_t} \right) (it - ir) \\ &= 8,27\% + \left( \frac{Rp\ 106.641.370}{Rp\ 106.641.370 - Rp\ 79.118.503} \right) (10,27\% - 8,27\%) \\ &= 16,02\% \end{aligned}$$

#### 4.6 Teknis Perencanaan Sistem PLTS dengan Simulasi *Software*

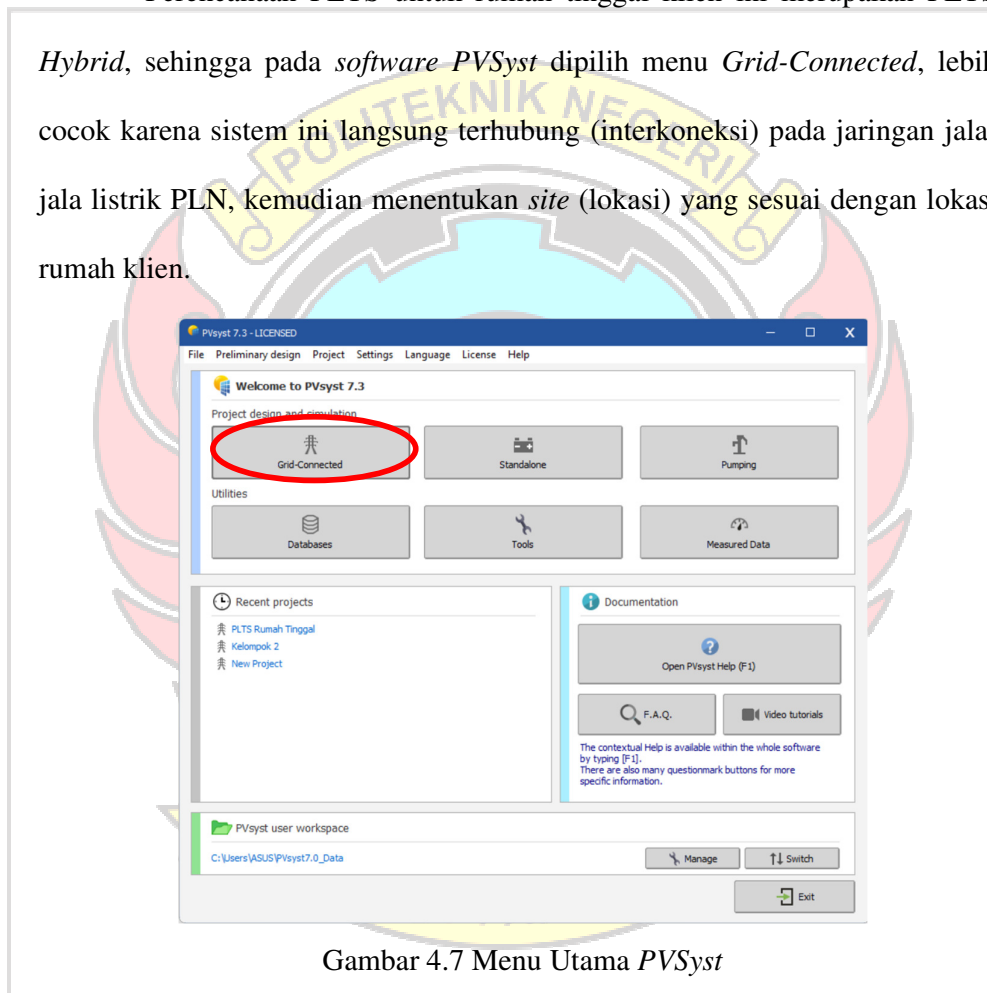
Pada perencanaan ini dilakukan simulasi sistem pada *software* dengan tujuan untuk membandingkan hasil perhitungan numerik dan hasil simulasi, selain itu juga pada simulasi dapat menghasilkan perkiraan produksi energi yang akurat secara *realtime* dengan menambahkan parameter-parameter yang tidak

diperhitungkan pada perhitungan numerik seperti orientasi panel surya dan lain-lain.

#### 4.6.1 Perencanaan Sistem PLTS dengan Simulasi *Software PVsyst*

##### 1) Menu Utama *PVsyst*

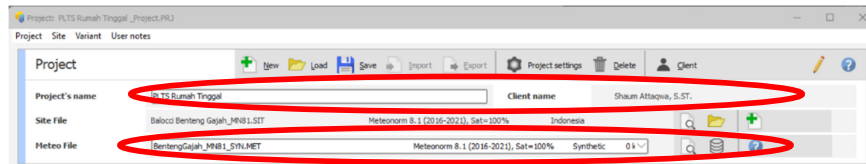
Perencanaan PLTS untuk rumah tinggal klien ini merupakan PLTS *Hybrid*, sehingga pada *software PVsyst* dipilih menu *Grid-Connected*, lebih cocok karena sistem ini langsung terhubung (interkoneksi) pada jaringan jala-jala listrik PLN, kemudian menentukan *site* (lokasi) yang sesuai dengan lokasi rumah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



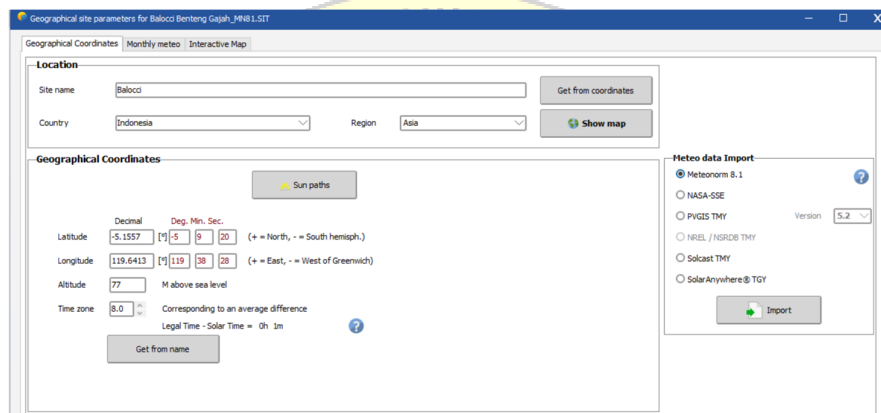
##### 2) Menu Proyek

Memberi nama dari proyek yang akan dilakukan dan memberi nama pemilik dari rumah tinggal tersebut. Menentukan koordinat lokasi dari rumah

tinggal klien pada menu pertama sebuah proyek. Setelah selesai, lalu menyimpan file proyek tersebut.



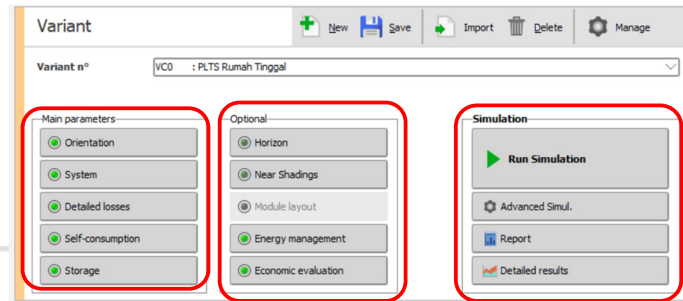
Gambar 4.8 Menu Proyek PVSyst



Gambar 4.9 Menu Geographical Coordinates

Gambar 4.9 pada menu ini kita dapat menentukan lokasi titik koordinat dari Rumah Tinggal Klien yaitu *Latitude*  $-5.1557^{\circ}$  S, *Longitude*  $119.6413^{\circ}$  E. Dapat juga dilakukan dengan menentukan langsung pada menu *Interactive Map* yang dimiliki oleh *software PVSyst*. Pada perencanaan ini menggunakan data input meteo yaitu *Meteonorm 8.1*.

### 3) Menu *Variant*



Gambar 4.10 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*, *Energy Management*, dan *Economic Evaluation*. Pada bagian *Simulation* merupakan langkah akhir untuk melihat hasil dari simulasi dan mendapatkan laporan hasil dari simulasi yang telah dikerjakan.

### 4) *Orientation*

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



Gambar 4.11 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.

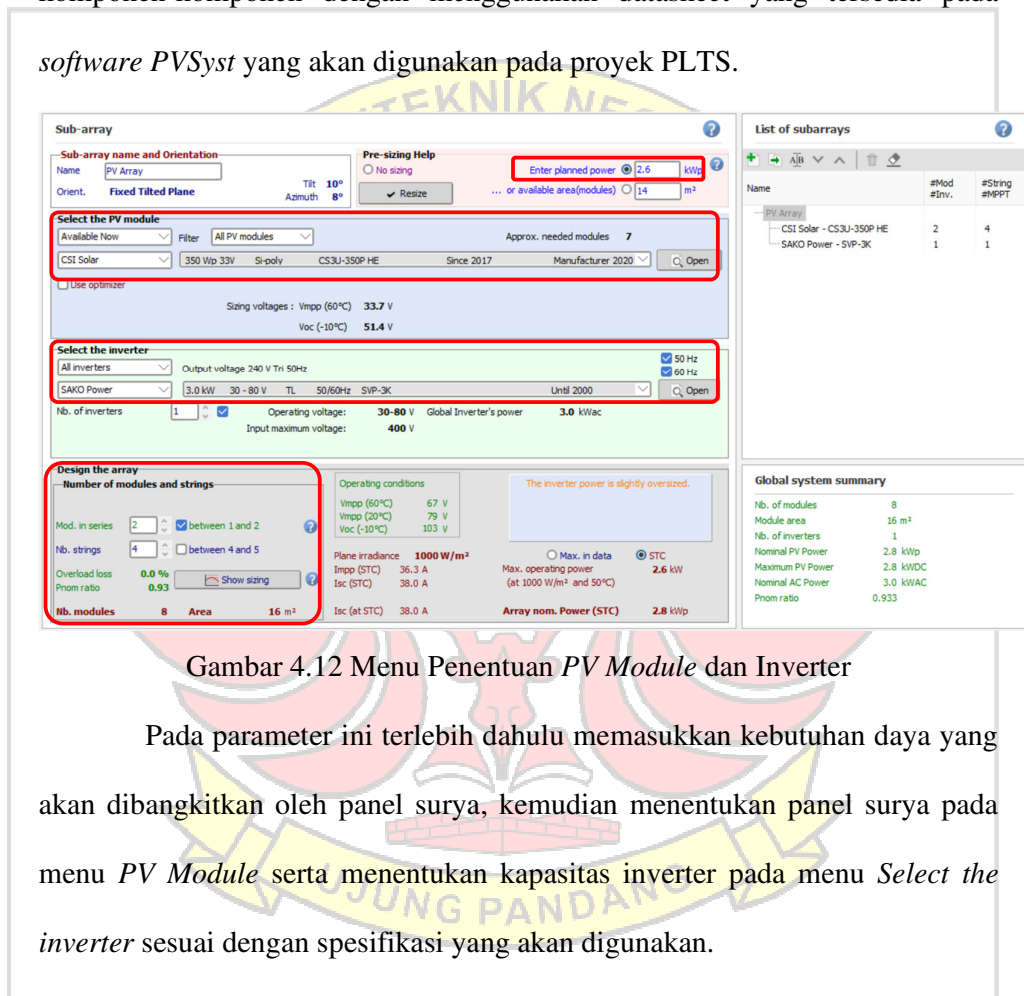
*Azimuth* (derajat kemiringan objek) adalah posisi rumah tinggal klien terhadap arah mata angin.

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

menggerakkan titik merah sampai mendapatkan *losses* 0,0%, sehingga didapatkan nilai tilt sebesar 10° dan titik azimuth 8°.

### 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 Menu Penentuan *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.

### 6) Self-Consumption

Pada bagian *self-consumption* ini merupakan bagian untuk memasukkan data beban listrik yang digunakan perhari. Usulan beban untuk rancangan PLTS pada rumah tinggal berdasarkan daya listrik peralatan yang dilengkapi dengan berbagai jenis komponen listrik. Usulan beban ini

dimasukkan pada parameter *self-consumption* pada *software PVSyst* sebagai berikut:

Daily use of energy, variant "PLTS Rumah Tinggal"

Definition of daily household consumptions for the year.

Consumption | Hourly distribution

Daily consumptions

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib.	Daily energy
11	Lighting	8 W/lamp	12.0 h/day	OK	1056 Wh
1	Jet Pump	638 W/app	1.0 h/day	OK	638 Wh
2	AC	450 W/app	5.0 h/day	OK	4500 Wh
1	Kulkas	4.40 kWh/day	24.0	OK	4404 Wh
1	Kipas	45.0 W aver.	4.0 h/day	OK	180 Wh
1	Rice Cooker	400 W/app	2.0 h/day	OK	800 Wh
6	LED Hias	4 W/app	5.0 h/day	OK	120 Wh
Stand-by consumers		0 W tot	24 h/day		0 Wh
<b>Total daily energy</b>					<b>11698 Wh/day</b>
<b>Monthly energy</b>					<b>350.9 kWh/mth</b>

Appliances info

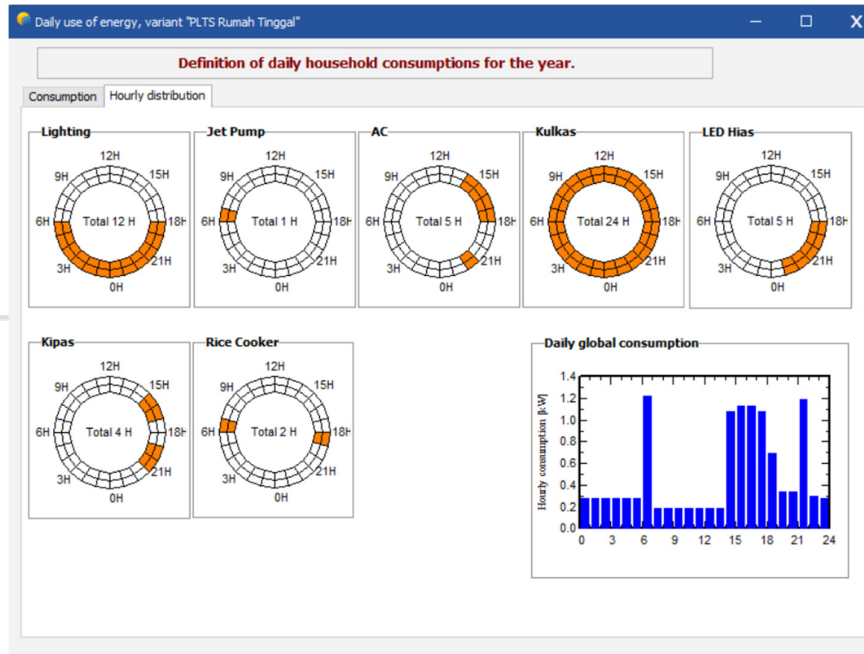
Consumption definition by:  Years,  Seasons,  Months

Week-end or Weekly use:  Use only during,  7 days in a week

Gambar 4.13 Menu *Self-Consumption* (Data Beban)

Sesuai dengan usulan beban yang dimasukkan pada menu *self-consumption* pada Gambar 4.13, maka didapatkan total konsumsi energi pada rumah tinggal tersebut adalah sebesar 11698 Wh/ hari, dan 350,9 kWh/ bulan.





Gambar 4.14 Menu *Hourly Distribution*

Untuk mendapatkan gambaran simulasi pembebanan, kita masukkan juga *hourly distribution* dengan memperhatikan waktu beban daya tersebut digunakan perhari.

#### 7) *Energy Storage*

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

Storage pack | Self-consumption

**Specify the battery set**

Sort batteries by  voltage  capacity  manufacturer

Turbo Energy 24 V 100 Ah Li LFP LifePO4 24V [Open]

Lithium-ion The selected battery is a module

1  modules in series Number of modules 3 Battery pack voltage 24 V

3  modules in parallel Number of elements 45 Global capacity (C10) 300 Ah

100.0 % Initial State of Wear (nb. of cycles) Stored energy (72% DOD) 5.2 kWh

100.0 % Initial State of Wear (static) Total weight 69 kg

Nb. cycles at 50% DOD 10956

Total stored energy during the battery life 39021 kWh

**Operating battery temperature**

Temper. mode Fixed (air-conditioned)

Fixed temperature 30 °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 2.80 kWp

PV array daily production (summer clear day) 15.50 kWh

Maximum user's power 1.22 kW

Average daily user's needs 11.70 kWh

This battery pack represent about :

Charging Time during full sun conditions 1.9 hours

Discharging under average load 10.6 hours

Discharging under maximum load 4.2 hours

Gambar 4.15 Menu Penentuan *Storage* (Baterai)

#### 8) *Economic Evaluation*

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

Description	Quantity	Unit price	Total	
<b>PV modules</b>			26.260.000,00	IDR
CS3U-350P HE	8,00	3.080.000,00	24.640.000,00	IDR
Supports for modules	8,00	202.500,00	1.620.000,00	IDR
<b>Inverters</b>			4.200.000,00	IDR
SVP-3K	1,00	4.200.000,00	4.200.000,00	IDR
<b>Batteries</b>			12.136.500,00	IDR
	3,00	4.045.500,00	12.136.500,00	IDR
<b>Other components</b>			2.907.180,00	IDR
Accessories, fasteners	1,00	1.168.480,00	1.168.480,00	IDR
Wiring	50,00	34.774,00	1.738.700,00	IDR
<b>Installation</b>			2.300.000,00	IDR
Transport	1,00	300.000,00	300.000,00	IDR
Pemasangan	2,00	1.000.000,00	2.000.000,00	IDR
<b>Total installation cost</b>			<b>47.803.680,00</b>	<b>IDR</b>
Depreciable asset			43.764.980,00	IDR

Description	Yearly cost	
<b>Maintenance</b>	2.111.687,00	IDR
Provision for inverter re...	420.000,00	IDR
Provision for battery re...	1.213.650,00	IDR
O & M	478.037,00	IDR
<b>Land rent</b>	0,00	IDR
<b>Insurance</b>	0,00	IDR
<b>Bank charges</b>	0,00	IDR
<b>Administrative, accounti...</b>	0,00	IDR
<b>Taxes</b>	0,00	IDR
<b>Subsidies</b>	0,00	IDR
<b>Operating costs (OPEX)</b>	<b>2.111.687,00</b>	<b>IDR/year</b>

Gambar 4.16 Menu *Economic Evaluation*

Asset	Type	Depreciation period	Depreciable
<b>PV modules</b>			
<b>Inverters</b>			
Batteries	Straight-line	20 years	12.136.500,00 IDR
<b>Other compon...</b>			
<b>Total redeemable</b>			<b>43.764.980,00 IDR</b>

Financing	Value	
Investment	47.803.680,00	IDR
Own funds	47.803.680,00	IDR
Subsidies	0,00	IDR
Loans		

Gambar 4.17 Menu *Financial Parameters*

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

- Simulation priod*: Bagian ini untuk menentukan umur dan waktu mulai proyek
- Projected variations*: Bagian ini untuk menentukan tingkat inflasi dan tingkat suku bunga
- Financing*: Bagian ini mendefinisikan sumber dana yang digunakan untuk membiayai investasi. *PVSyst* memungkinkan untuk menentukan tiga

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

#### 4.6.2 Hasil Simulasi PVSyst

Laporan dibawah ini merupakan hasil simulasi PLTS pada *software PVSyst* dengan parameter-parameter yang telah diinput sebelumnya. Hasil simulasi akan dijelaskan pada Tabel 4.8.

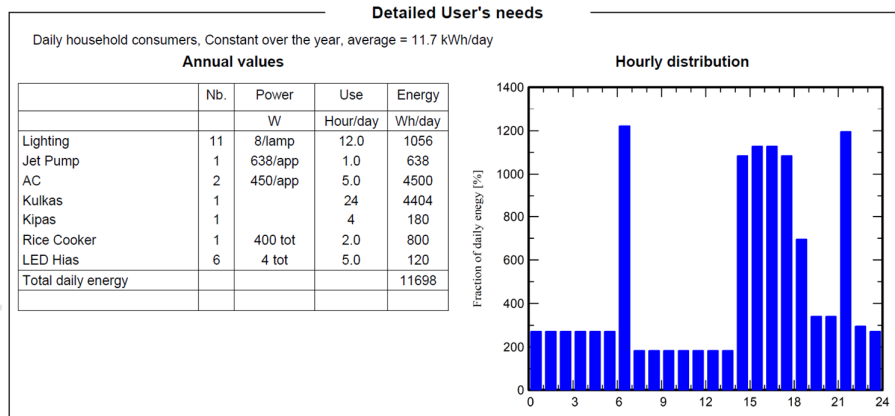
Tabel 4.8 Hasil Simulasi *Software PVSyst*

<b>General Parameters</b>	
Tilt / Azimuth	10 / 8°
User's Needs Average	11,7 kWh/ day
Near Shadings	No Shadings
<b>PV String Characteristics</b>	
PV Module	
Manufacturer	CSI Solar
Model	CS3U-350P HE
Unit Nom. Power	350 Wp
Number of PV modules	8 Units
Nominal (STC)	2800 Wp
Modules	4 String x 2 In Series
Module Area	15,9 m <sup>2</sup>
Inverter	
Manufacturer	SAKO Power
Model	SVP – 3K
Unit Nom. Power	3.00 kWac
Number of Inverter	1 Unit
Operating voltage	30-80 V
Baterai	
Manufacturer	Turbo Energy
Model	LifePO4 24 V
Nominal Capacity	100 Ah
Nb. Of units	3 Unit
Discharging min SOC	28%
Stored Energy	5,1 kWh
<b>Main Results</b>	
Produced Energy	3827 kWh/year
Used Energy	4270 kWh/year

Tabel 4.8 merupakan laporan hasil simulasi pada perencanaan ini sesuai dengan usulan beban membutuhkan rata – rata energi yaitu 11,7 kWh/hari, sehingga panel surya yang digunakan jenis *polycrystalline* model CS3U-350P HE dengan pabrikan CSI Solar sebanyak 8 unit, konfigurasi panel surya terdiri dari 4 *string* yang terhubung secara paralel, dimana setiap *string* terdapat 2 unit panel surya yang terhubung secara seri yang menghasilkan daya sebesar 2,8 kWp, tegangan *string* sebesar 78,4 V dengan menggunakan *grid connected system*. PLTS ini dapat memproduksi energi listrik sebesar 3827 kWh per tahun dan energi yang terpakai oleh konsumen sebesar 4270 kWh per tahun. Modul surya diletakkan pada kemiringan 10° dan titik azimuth 8°. Rumah tinggal klien terletak pada *latitude* dan *longitude* -5.1557° S, 119.6413° E dengan menggunakan meteo data *meteonorm* 8.1. Luas area yang dibutuhkan untuk pemasangan modul adalah 15,9 m<sup>2</sup>. Adapun spesifikasi panel surya dapat dilihat pada Lampiran 5.

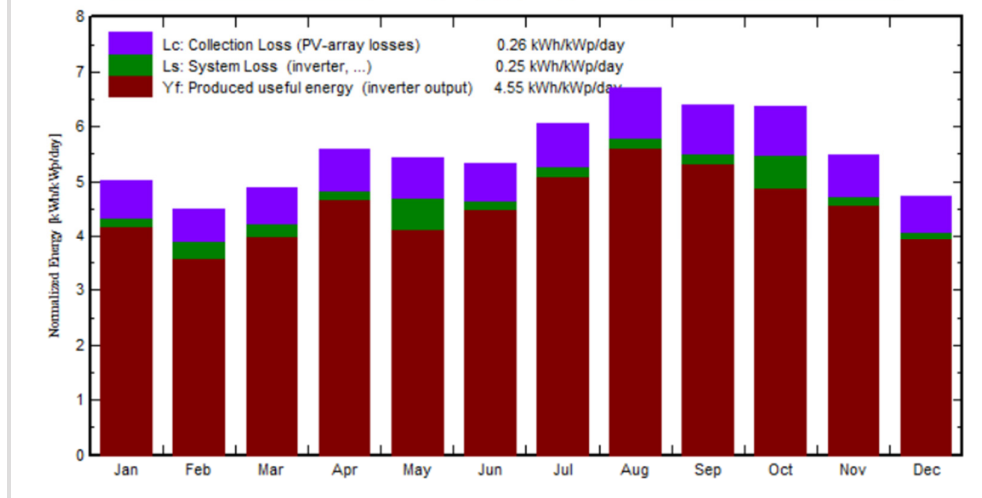
Inverter yang dibutuhkan pada perencanaan ini yaitu model SVP-3K dengan pabrikan SAKO *Inverter Hybrid* sebanyak 1 unit dengan daya sebesar 3kW. Adapun spesifikasi inverter dapat dilihat pada Lampiran 6.

Baterai yang dibutuhkan pada rancangan ini adalah jenis lithium ion dengan model *LifePO4*, manufaktur dari *Turbo Energy*. Baterai yang digunakan ada 3 unit baterai yang dihubung paralel. Tegangan baterai 24 VDC dan kapasitas baterai adalah 100 Ah. Dapat menyimpan energi sebesar 5,1 kWh. Adapun spesifikasi panel surya dapat dilihat pada Lampiran 7.



Gambar 4.18 *Detailed User's Needs*

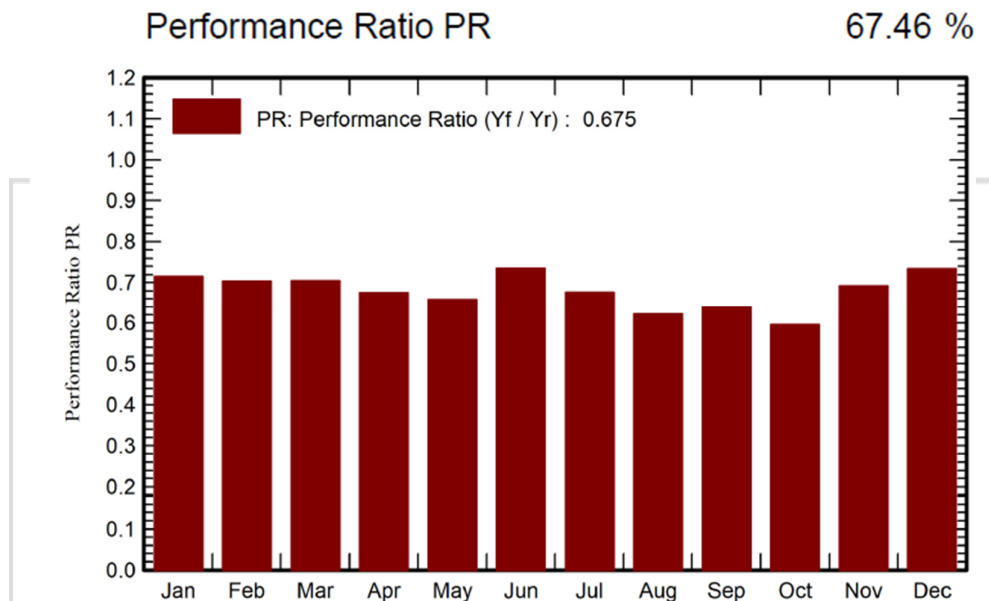
Gambar 4.18 menunjukkan data pemakaian beban pada rumah tinggal klien berdasarkan jenis, jumlah, dan waktu pemakaian dari komponen-komponen yang digunakan pada rumah tersebut. Dimana rata-rata pemakaian beban yaitu 11,7 kWh/hari.



Gambar 4.19 Grafik *Normalized Productions*

Gambar 4.19 menunjukkan rugi-rugi yang terdapat pada hasil simulasi ini yaitu *PV-string losses* dan *system losses* yang terjadi di inverter dan baterai. *PV-string losses* di dapat sebesar 0,26 kWh/kWp/hari dan *system losses* sebesar 0,25

kWh/kWp/hari. Setelah ada rugi-rugi maka energi yang dapat disuplai sebesar 4,55 kWh/kWp/hari.



Gambar 4.20 Grafik *Performance Ratio PR*

Gambar 4.20 menunjukkan persentase efisien energi matahari yang tersedia (sesuai dengan insolasi matahari yang sebenarnya) dikonversi menjadi energi listrik oleh pembangkit listrik tenaga surya. *Performance Ratio* sebesar 67,5% menunjukkan bahwa 32,5% dari energi matahari yang diterima oleh modul surya yang terpasang tidak dikonversi menjadi energi listrik.

*Performance ratio* yang baik umumnya berkisar antara 70-80%, meskipun angka ini dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti lokasi geografis, kondisi cuaca, dan ukuran dan kualitas sistem PLTS yang digunakan. Semakin tinggi *performance ratio*, semakin efisien dan produktif sistem PLTS tersebut. *Performance ratio* (PR) sudah meliputi rugi-rugi cahaya, rugi-rugi rangkaian PV, dan rugi-rugi sistem PLTS (Karuniawan, 2023).

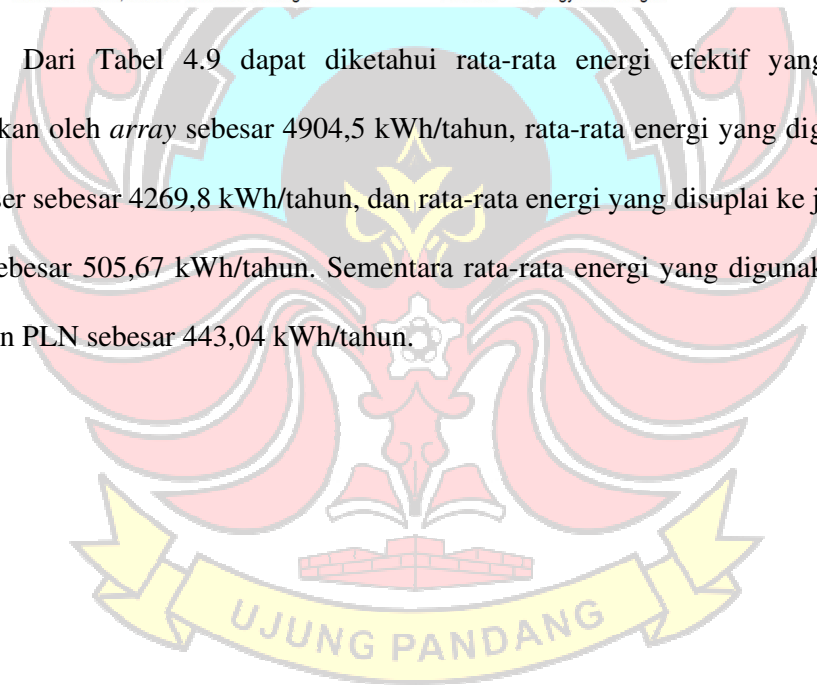
Tabel 4.9. Produksi Energi Tahunan (*Balances and Main Results*)

	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	165.5	71.93	26.48	155.7	147.4	376.8	362.6	311.9	30.99	50.76
February	129.6	75.62	26.72	125.5	119.1	305.0	327.5	247.4	13.69	80.10
March	151.2	84.47	26.87	151.2	143.6	366.6	362.6	298.4	19.07	64.21
April	162.1	70.39	26.81	167.8	159.9	406.5	350.9	317.1	49.23	33.84
May	158.8	72.56	27.47	168.6	160.8	409.2	362.6	310.8	20.65	51.83
June	148.4	64.54	26.61	160.0	152.6	390.8	350.9	329.1	21.11	21.81
July	173.8	59.51	26.70	188.0	179.6	457.7	362.6	356.1	55.22	6.54
August	196.6	58.35	26.94	208.0	198.8	503.0	362.6	362.3	95.29	0.37
September	189.6	64.91	27.16	192.0	183.1	462.3	350.9	343.4	76.98	7.53
October	202.5	76.70	27.82	197.8	188.3	475.3	362.6	330.0	67.94	32.64
November	174.0	74.90	26.97	164.3	155.7	396.6	350.9	318.3	34.31	32.59
December	157.4	74.56	26.96	147.0	138.6	354.7	362.6	301.8	21.20	60.82
Year	2009.4	848.44	26.96	2025.8	1927.4	4904.5	4269.8	3826.7	505.67	443.04

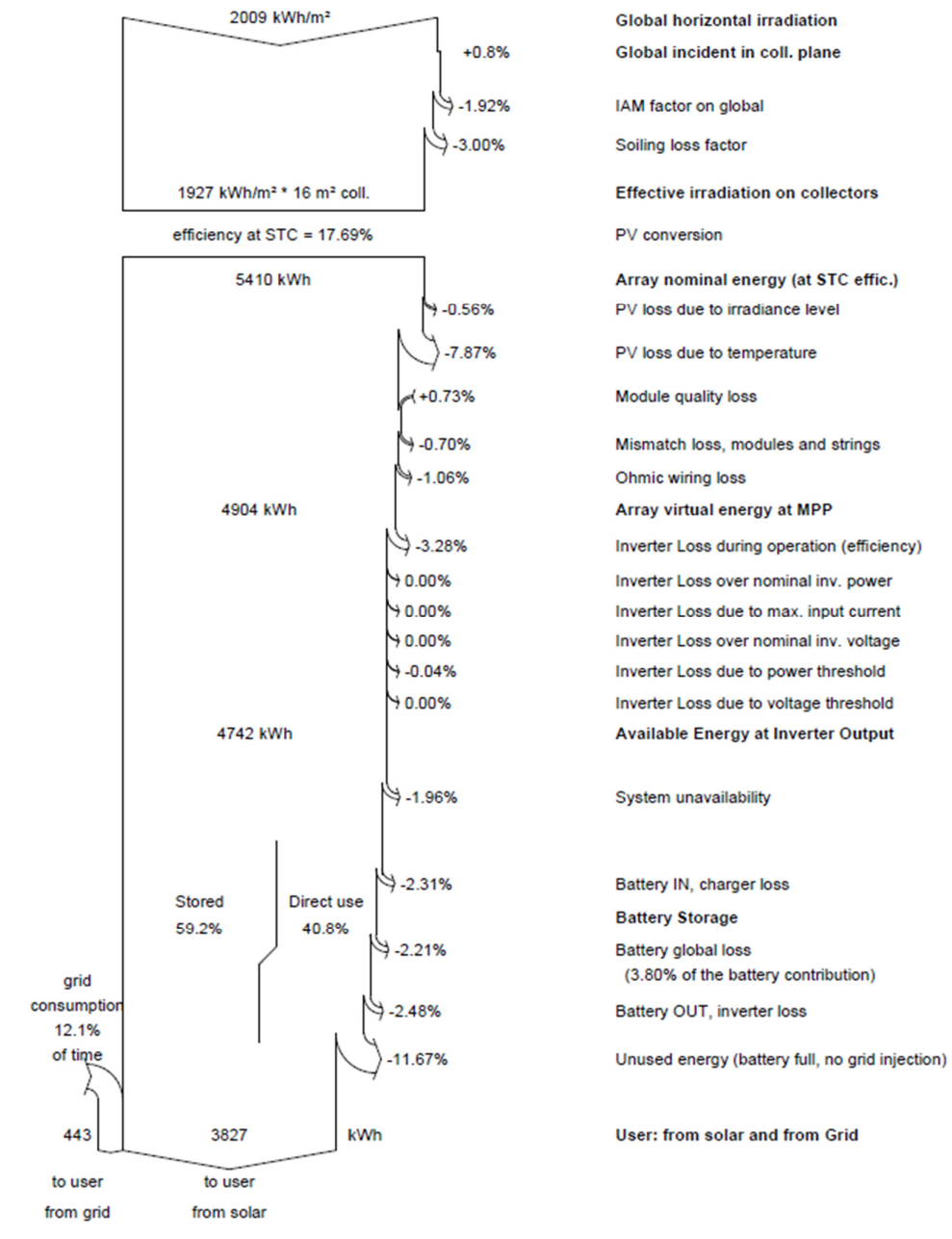
**Legends**

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

Dari Tabel 4.9 dapat diketahui rata-rata energi efektif yang dapat dihasilkan oleh *array* sebesar 4904,5 kWh/tahun, rata-rata energi yang digunakan oleh user sebesar 4269,8 kWh/tahun, dan rata-rata energi yang disuplai ke jaringan PLN sebesar 505,67 kWh/tahun. Sementara rata-rata energi yang digunakan dari jaringan PLN sebesar 443,04 kWh/tahun.







Gambar 4.21 *Loss Diagram*

Gambar 4.21 ini merupakan *loss diagram* dari hasil simulasi PLTS ini. Dimana *global horizontal irradiation* yaitu 2009 kWh/m<sup>2</sup>/tahun dan mendapatkan *loss* sehingga nilai *effective irradiation on collectors* yaitu 1927 kWh/m<sup>2</sup>/tahun.

*String nominal energy* yang dihasilkan yaitu 5410 kWh/tahun namun akibat beberapa faktor yang mempengaruhi seperti rugi akibat level iradiasi, rugi akibat suhu yang tinggi dan rugi-rugi lainnya yang mempengaruhi inverter dan baterai sehingga energi yang tersuplai dari panel surya ke beban yaitu 3827 kWh/tahun dan energi yang tersuplai dari *grid* ke beban yaitu 443 kWh/tahun.

Cost of the system			
<b>Installation costs</b>			
Item	Quantity units	Cost IDR	Total IDR
PV modules			
CS3U-350P HE	8	3.080.000.00	24.640.000.00
Supports for modules	8	202.500.00	1.620.000.00
Inverters			
SVP-3K	1	4.200.000.00	4.200.000.00
Batteries	3	4.045.500.00	12.136.500.00
Other components			
Accessories, fasteners	1	1.168.480.00	1.168.480.00
Wiring	50	34.774.00	1.738.700.00
Installation			
Transport	1	300.000.00	300.000.00
Pemasangan	2	1.000.000.00	2.000.000.00
		Total	47.803.680.00
		Depreciable asset	43.764.980.00
<b>Operating costs</b>			
Item			Total IDR/year
Maintenance			
Provision for inverter replacement			420.000.00
Provision for battery replacement			1.213.650.00
O & M			478.037.00
Total (OPEX)			2.111.687.00
Including inflation (4.33%)			3.253.967.49
<b>System summary</b>			
Total installation cost		47.803.680.00 IDR	
Operating costs (incl. inflation 4.33%/year)		3.253.967.49 IDR/year	
Produced Energy		3827 kWh/year	
Cost of produced energy (LCOE)		2.147.741 IDR/kWh	

Gambar 4.22 *Cost Of The System*

Biaya dari sistem PLTS ini terdapat pada Gambar 4.22. Sesuai dengan harga komponen tersebut dapat diperkirakan investasi awal pada perencanaan ini yaitu Rp 47.803.680. Biaya *maintenance* sistem yang meliputi biaya pergantian inverter, biaya pergantian baterai dan biaya O & M yaitu Rp 2.111.687 per tahun. Biaya produksi energi yaitu sebesar Rp 2.147 per kWh.

Financial analysis			
<b>Simulation period</b>			
Project lifetime	20 years	Start year	2024
<b>Income variation over time</b>			
Inflation			4.33 %/year
Production variation (aging)			0.00 %/year
Discount rate			9.27 %/year
<b>Financing</b>			
Own funds			47.803.680.00 IDR
<b>Return on investment</b>			
Payback period			11.3 years
Net present value (NPV)			55.616.809.56 IDR
Internal rate of return (IRR)			17.41 %
Return on investment (ROI)			116.3 %

Gambar 4.23 Hasil *Financial Analysis*

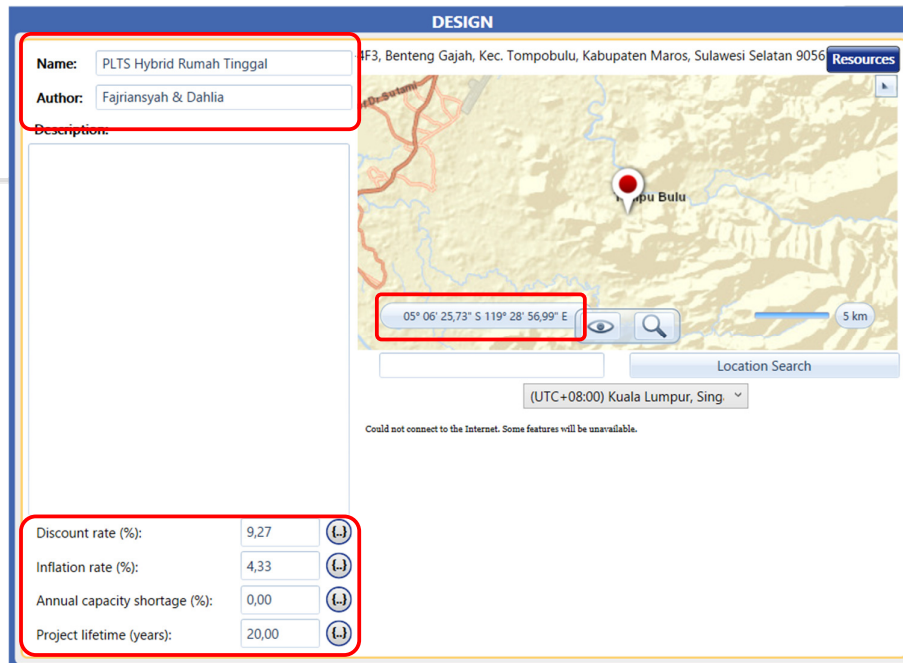
Gambar 4.23 menunjukkan analisis finansial dari simulasi perencanaan PLTS pada *PVSyst*. *Project lifetime* ini yaitu 20 tahun yang dimulai dari tahun 2024. Tingkat inflasi yaitu sebesar 4.33% per tahun dan tingkat suku bunga yaitu sebesar 9.27 % per tahun. Sumber dana yang digunakan diasumsikan dari dana sendiri (pemilik rumah tinggal/ klien) yaitu berjumlah Rp 47.803.680. *Payback Period* yaitu 11,3 tahun, *Net Present Value (NPV)* yaitu Rp 55.616.809, *Internal Rate of Return (IRR)* yaitu 17,41%.

#### 4.6.3 Perencanaan Sistem PLTS dengan Simulasi *Software 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 dibagian bawahnya terdapat 4 parameter ekonomi yang disediakan, yaitu *Discount rate (%)*: *Interest rate* (tingkat bunga), *Inflation rate (%)*, *Annual capacity shortage (%)*, dan *Project lifetime (years)*. Kemudian

disebelah kanan terdapat kolom yang digunakan untuk menetapkan lokasi proyek perencanaan.

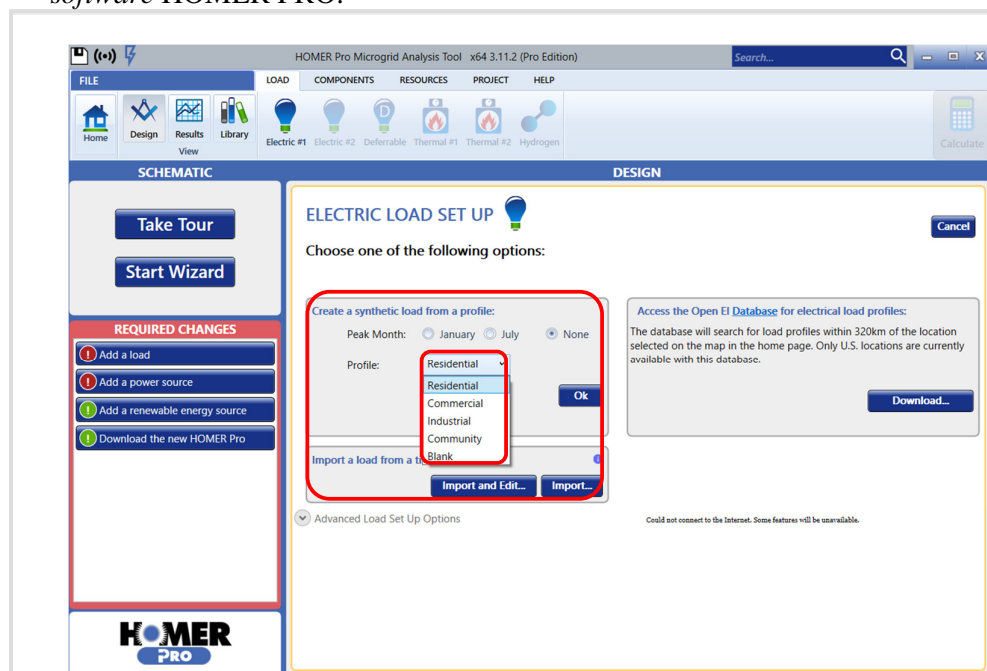


Gambar 4.24 Menu Utama HOMER PRO

Gambar 4.24 menunjukkan nama proyek yang digunakan adalah PLTS Hybrid Rumah Tinggal. Kemudian 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° 13'33 11"S 119° 29'17 14"E. Alamat yang ditampilkan yaitu Benteng Gajah, Kec. Tompobulu, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan. Terdapat 3 parameter ekonomi yang ditetapkan, yaitu *Discount rate* = 9,27 (%), *inflation rate* = 4,33 (%), dan *Project lifetime* = 20 (years).

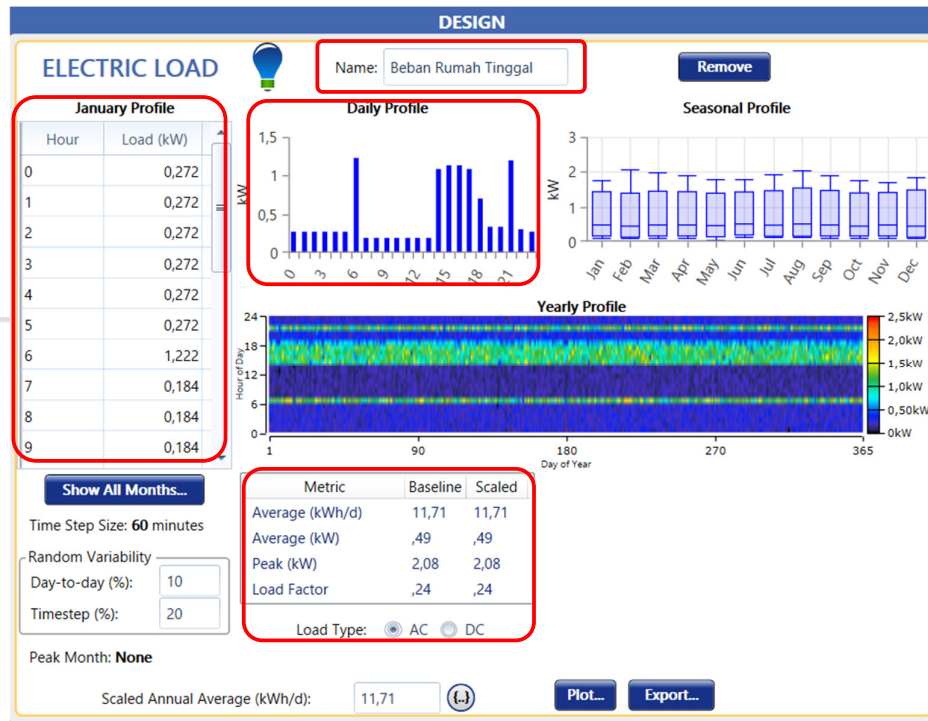
## 2) Electric Load Setting

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 4.25 Menu Profil Beban

Gambar 4.25 menunjukkan profil beban yang akan digunakan pada perencanaan ini yaitu *Residential*. Berdasarkan beban listrik yang telah ditentukan sebelumnya, diperoleh asumsi pemakaian beban listrik perjamnya yang menjadi untuk masukan pada HOMER seperti pada Gambar 4.26.

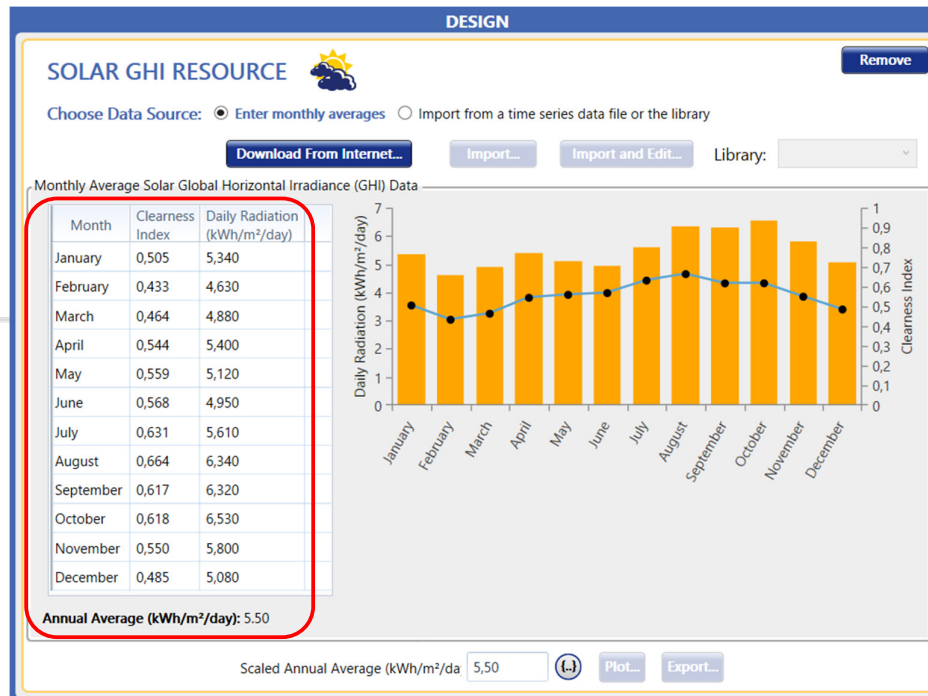


Gambar 4.26 Beban Listrik Per Jam Selama Satu Hari

Pada menu parameter ini, terdapat beberapa grafik yang menampilkan *Daily Profile*, *Seasonal Profile*, dan *Yearly Profile*. Tipe beban yang digunakan adalah beban AC. Berdasarkan Gambar 4.26 data beban harian yang diperoleh, HOMER PRO melakukan simulasi penggunaan beban harian pada pukul 00.00 - 24.00 dengan rata-rata konsumsi daya setiap harinya adalah sebesar 11,71 kWh/day.

### 3) Data Parameter Radiasi Matahari dan Temperatur

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

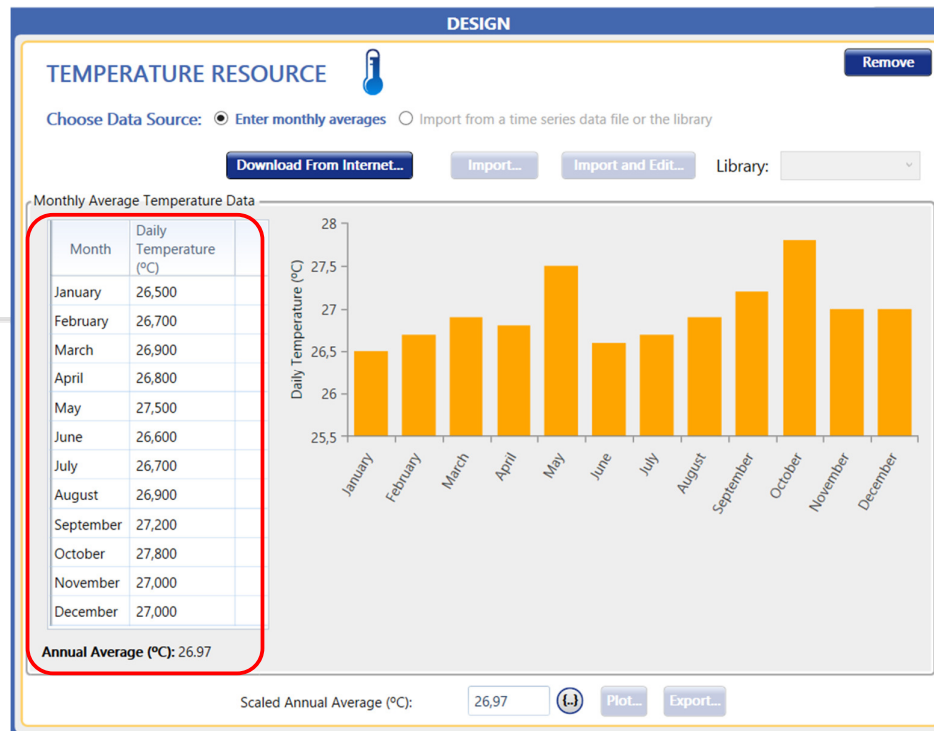


Gambar 4.27 Input Data Radiasi Matahari

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

Gambar 4.27 menunjukkan bahwa rata-rata radiasi matahari di Desa Benteng Gajah setiap tahunnya adalah 5,50 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 Agustus.



Gambar 4.28 Input Data Temperatur

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

Gambar 4.28 menunjukkan bahwa rata-rata temperatur di Desa Benteng Gajah dalam 1 tahun adalah 26,97°C. Kemudian pada bagian kanan, terdapat grafik kurva suhu matahari dalam periode 1 tahun. Terlihat bahwa temperatur 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)	20,00
System fixed capital cost (Rp)	6.827.180,0
System fixed O&M cost (Rp/yr)	68.272,00
Capacity shortage penalty (Rp/kWh)	0,00
Currency	Indonesian Rupiah (Rp)
Real discount rate (%)	4.73

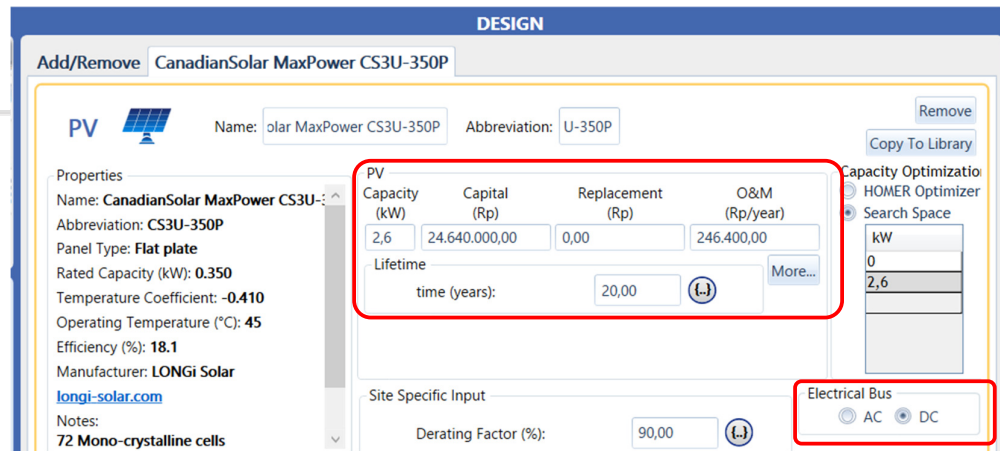
Gambar 4.29 Menu *Economics*

Gambar 4.29 menunjukkan terdapat 4 parameter yang ditetapkan terdiri dari tingkat diskonto nominal = 9,27(%), tingkat inflasi = 4,33 (%), masa pakai proyek 20 (tahun), biaya sistem diluar biaya komponen utama meliputi biaya aksesoris, biaya transportasi dan biaya instalasi sebesar Rp 6.827.180, dan biaya *operation & maintenance* untuk sistem per tahun yaitu 1% dari *capital cost* yaitu sebesar Rp 68.272.

#### 5) Panel Surya

Gambar 4.30 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 4.3, dengan total kapasitas panel surya yang akan dibangkitkan adalah sebesar 3 kW dan jumlah panel surya yang dirancang adalah sebanyak 8 unit.

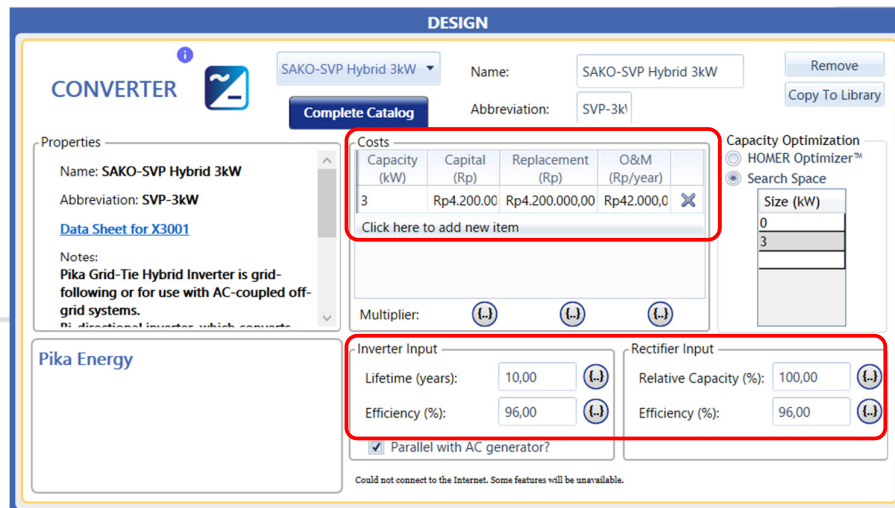


Gambar 4.30 Menu Input Panel Surya

Gambar 4.30 menunjukkan total kapasitas panel surya yang digunakan yaitu 2,6 kW dengan umur panel yaitu 20 tahun. Kemudian biaya investasi berdasarkan data yang diperoleh di-input senilai  $8 \times \text{Rp } 3.080.000 = \text{Rp } 24.640.000$  dan biaya *operation & maintenance* per tahun yaitu 1% dari *capital cost* PV yaitu sebesar Rp 246.400.

#### 6) 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 3 kW. Inverter yang digunakan dalam perencanaan ini adalah tipe SVP-3k dengan pabrik SAKO.



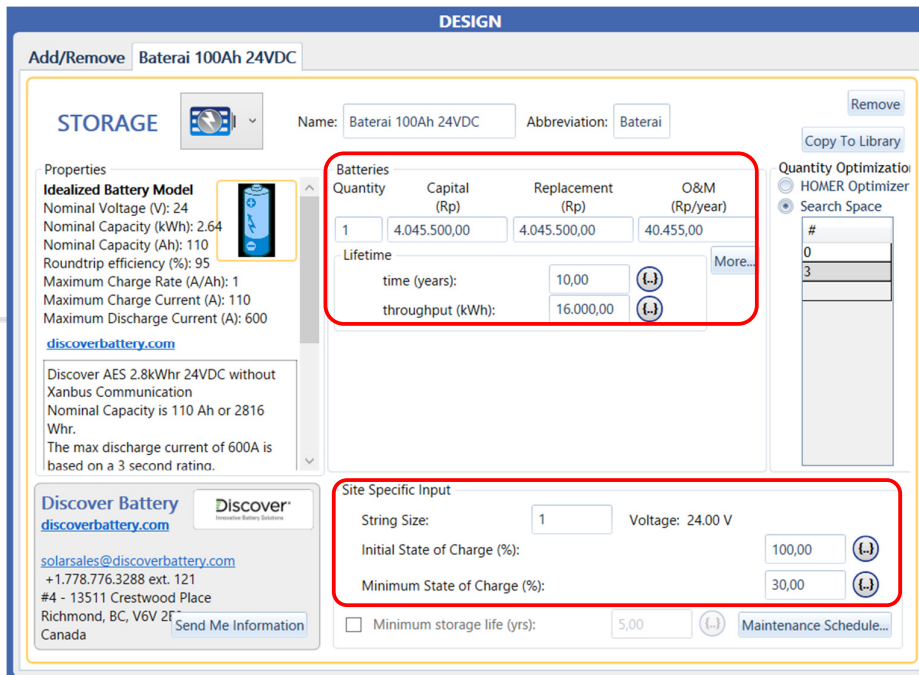
Gambar 4.31 Menu Input Inverter

Gambar 4.31 menunjukkan total kapasitas *inverter hybrid* yang digunakan yaitu 3 kW dengan umur inverter yaitu 10 tahun. Kemudian biaya investasi inverter berdasarkan data yang diperoleh dari toko online adalah sebesar Rp 4.200.000, harga pergantian inverter selama umur proyek diisi sesuai nilai investasi awal dan biaya *operation & maintenance* per tahun yaitu 1% dari *capital cost* inverter yaitu sebesar Rp 42.000.

#### 7) 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 24V sebanyak 3 unit yang dihubung paralel.

Baterai yang digunakan dalam perencanaan ini adalah jenis *LifePO4*.






Gambar 4.32 Menu Input Baterai

Gambar 4.32 menunjukkan jumlah baterai yang digunakan yaitu 1 unit dengan umur baterai yaitu 10 tahun. Kemudian biaya investasi baterai berdasarkan data yang diperoleh dari jaringan internet adalah sebesar Rp 4.045.500 per unit dan harga pergantian baterai selama umur proyek diisi sesuai nilai investasi awal.

#### 8) 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 dimasa yang akan datang.

GRID  Name:

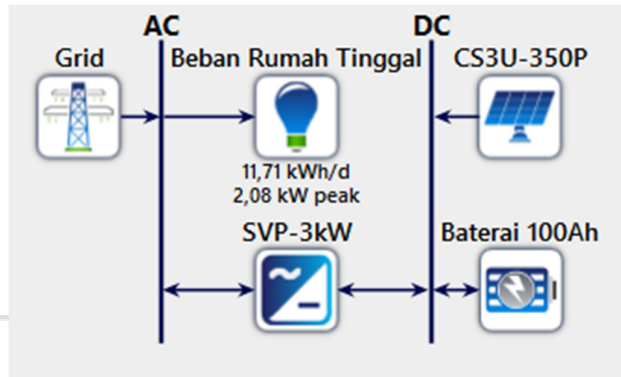
Grid Power Price (Rp/kWh):    
Grid Sellback Price (Rp/kWh):  

Gambar 4.33 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.

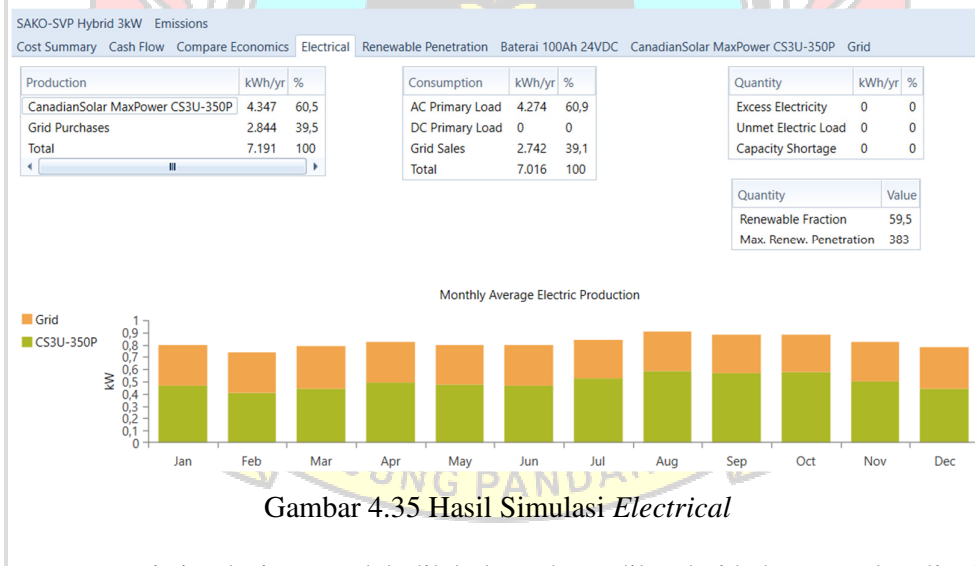
#### 4.6.4 Hasil Simulasi HOMER PRO

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 4.34.



Gambar 4.34 Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik *Hybrid* pada HOMER PRO

Skema pada rancangan perencanaan PLTS tersusun dari komponen-komponen utama dari sistem perencanaan untuk pembangkit listrik di Desa Benteng Gajah, Kabupaten Maros adalah Panel Surya, Baterai, Inverter, dan Grid, sedangkan komponen pendukungnya yaitu AC DC Bus.



Gambar 4.35 Hasil Simulasi *Electrical*

Dari simulasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa pasokan listrik yang dihasilkan oleh PV sebesar 4.347 kWh per tahun sedangkan energi listrik yang dibeli dari *grid* yaitu 2.844 kWh per tahun. Total energi yang dihasilkan dari sistem *hybrid* berjumlah 7.191 kWh per tahun.

**RESULTS**

Tabular Graphical

**Sensitivity Cases**  
Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results.

Compare Economics Column Choices...

Architecture				Cost				System		
CS3U-350P (kW)	Baterai 100Ah	Grid (kW)	SVP-3kW (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
2,60		999.999	3,00	CC	Rp529.89	Rp47,4M	Rp920.550	Rp35,7M	59,5	0

---

**Optimization Results**  
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.

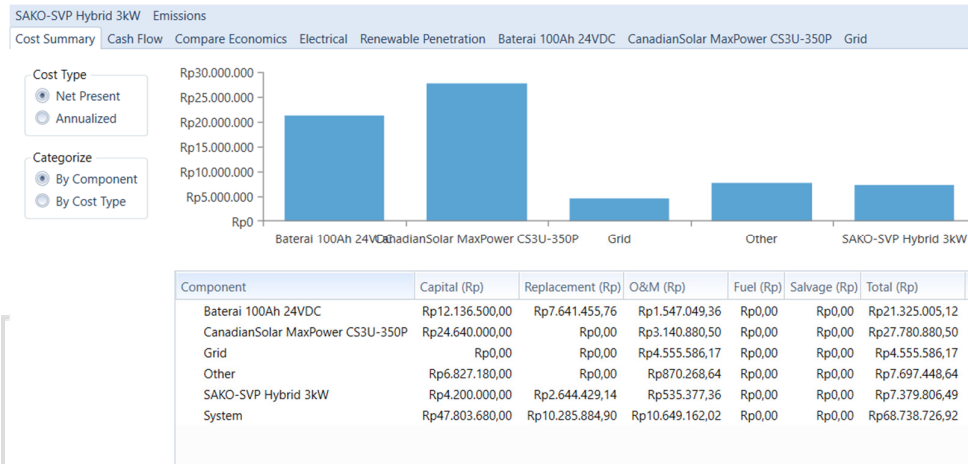
Categorized Overall

Architecture				Cost				System		
CS3U-350P (kW)	Baterai 100Ah	Grid (kW)	SVP-3kW (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
2,60	3	999.999	3,00	CC	Rp768,56	Rp68,7M	Rp1,64M	Rp47,8M	59,5	0
		999.999		CC	Rp1.586	Rp86,4M	Rp6,24M	Rp6,83M	0	0
	3	999.999	3,00	LF	Rp2.111	Rp115M	Rp7,21M	Rp23,2M	0,121	0

**Gambar 4.36 Hasil Simulasi**

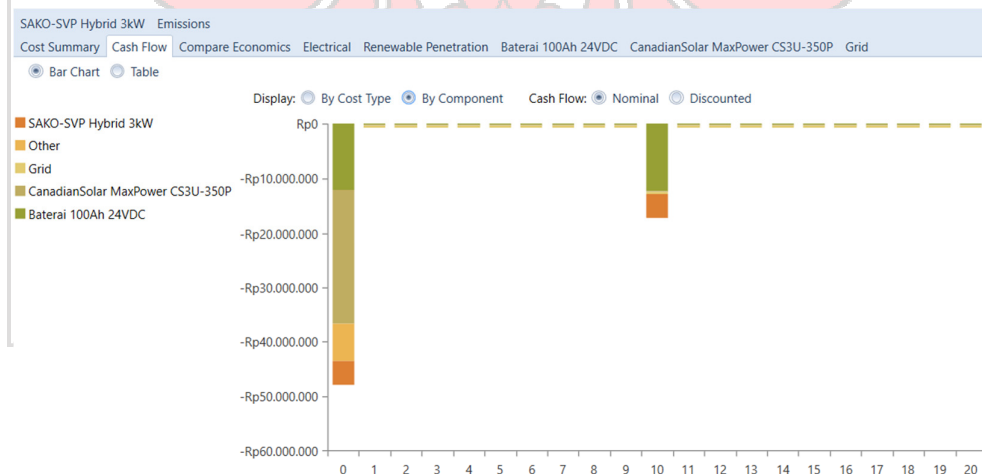
Gambar 4.36 menunjukkan empat hasil konfigurasi terbaik, tetapi pada perencanaan ini memilih konfigurasi sistem yang terhubung dengan jaringan PLN dan komponen energi terbarukan berupa panel surya dengan kapasitas 2,6 kW, 3 unit baterai dengan kapasitas 24 V 100Ah, dan 1 unit inverter dengan kapasitas 3kW. Berdasarkan total *Net Present Cost* (NPC) terendah yaitu sebesar Rp 68.700.000 dan *Initial Capital Cost* Rp 47.800.000 dan *Cost of Energy* (COE) Rp 768,56. Hasil simulasi *renewable fraction*, HOMER PRO mendapatkan nilai 59,5%.

HOMER PRO juga memiliki menu untuk menampilkan hasil simulasi yang lebih detail, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.37.



Gambar 4.37 Detail Simulasi dan Optimasi HOMER PRO

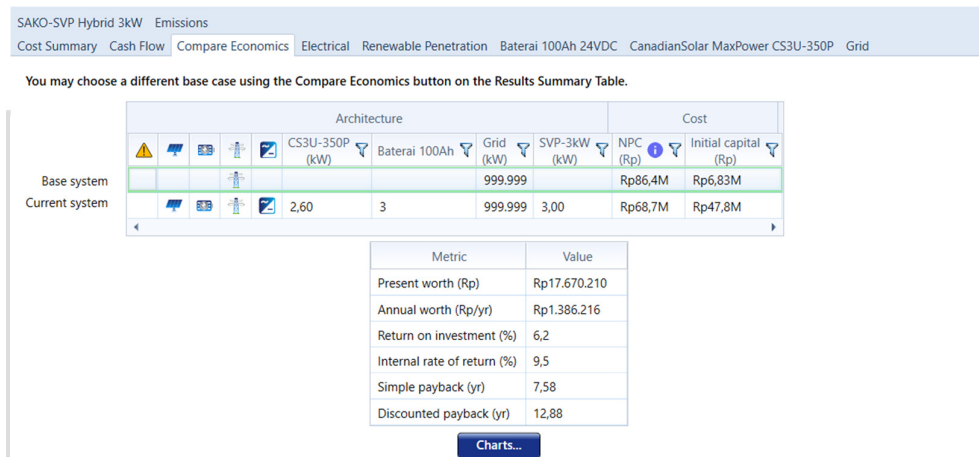
Gambar 4.37 menunjukkan *cost summary* yang ditampilkan berdasarkan kategori *Net Present*. Menu *cost summary* menampilkan jumlah pengeluaran (*capital*) pada awal instalasi PLTS sebesar Rp. 47.803.680, biaya operasional dan pemeliharaan sebesar Rp 10.649.162,02, jumlah biaya pergantian sebesar Rp 10.285.884,90, dan total keseluruhan biaya selama umur proyek (NPC) sebesar Rp 68.738.726,92.



Gambar 4.38 Grafik *Software* HOMER PRO



Gambar 4.38 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 4.39 Hasil Simulasi *Compare Economic*

Gambar 4.39 menunjukkan *Present worth* adalah selisih dari nilai NPC *base system* dan nilai NPC dari sistem PLTS *Hybrid* pada rumah tinggal di Desa Benteng Gajah. Nilai positif menunjukkan bahwa sistem PLTS *Hybrid* menghemat nilai investasi selama masa proyek dibandingkan dengan *base system* (jaringan PLN). Terlihat bahwa nilai *present worth* hasil simulasi bernilai positif, yaitu Rp 17.670.210, nilai *internal rate of return* sebesar 9,5%, dengan *discounted payback* 12,88 tahun. Sehingga proyek ini layak untuk dilaksanakan.

#### 4.7 Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik, *PVSyst* dan *HOMER PRO*

Berdasarkan hasil perhitungan numerik dan hasil simulasi *software* (*PVSyst* dan *HOMER PRO*) yang telah dilakukan diatas maka diperoleh hasil perbandingan yang dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik, *PVSyst*, dan HOMER PRO

	Perhitungan Numerik	<i>PVSyst</i>	HOMER PRO
Energi Produksi (kWh/Thn)	4599	4650	4347
Biaya O & M / Thn	Rp 478.037	Rp 478.037	Rp 835.420
Biaya Energi (COE) / kWh	Rp 1.661	Rp 2.147	Rp 768
Biaya Siklus Hidup	Rp 68.421.281	Rp 73.700.916	Rp 68.738.730
<i>Net Present Value</i>	Rp 91.947.901	Rp 55.667.276	Rp 17.670.210
<i>Payback Priode</i> (Tahun)	7,2	11,3	12,88
<i>Internal Rate Of Return</i> (IRR) (%)	15,02%	17,41%	9,5%

Pada Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan numerik diperoleh energi produksi yaitu sebesar 4.599 kWh/tahun dengan COE yaitu sebesar Rp 1.661/kWh, biaya siklus hidup yaitu sebesar Rp 68.421.281 dengan *payback priode* yaitu 7,2 tahun atau setara 7 tahun 2 bulan dan IRR sebesar 15,02 %. Hasil simulasi *PVSyst* diperoleh energi produksi yaitu sebesar 4.650 kWh/tahun dengan biaya energi Rp 2.147/kWh, biaya siklus hidup yaitu sebesar Rp 73.700.916 dengan *payback priode* yaitu 11,3 atau setara 11 tahun 3 bulan dan IRR sebesar 17,41%. Sedangkan hasil simulasi HOMER PRO diperoleh energi produksi yaitu sebesar 4.347 kWh/tahun dengan biaya energi Rp 768/kWh, biaya siklus hidup yaitu sebesar Rp 68.738.730 dengan *payback priode* yaitu 12,88 tahun atau setara 12 tahun 11 bulan dan IRR sebesar 9,5%.

## 4.8 Instalasi PLTS Pada Rumah Tinggal

### 4.8.1 Pemilihan Kabel dan Sistem Proteksi

#### a) Instalasi Listrik Panel Surya ke Inverter

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

$$\begin{aligned} I_{sc_{Total}} &= I_{sc_{string\ 1}} + I_{sc_{string\ 2}} + I_{sc_{string\ 1}} + I_{sc_{string\ 2}} \\ &= 9,51\ A + 9,51\ A + 9,51\ A + 9,51\ A \\ &= 38,04\ A \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2-7) diperoleh nilai KHA sebagai berikut:

$$\begin{aligned} KHA &= 125\% \times \text{Arus Maksimum} \\ &= 125\% \times 38,04\ A \\ &= 47,55\ A \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka diperoleh nilai KHA yaitu 47,55 A. Dengan mengacu pada Tabel 2.2 maka ukuran kabel yang digunakan yaitu sebesar 6 mm<sup>2</sup> dengan jenis kabel yaitu NYY dan untuk Gawai Proteksi (MCB) DC yaitu sebesar yaitu 35 A.

Dalam menentukan *Surge Protection Device* (SPD) DC dapat menggunakan *Open Circuit Voltage* ( $V_{oc}$ ) panel surya yaitu sebesar 46,6 V. Jika panel surya dipasang secara seri maka arus yang mengalir pada rangkaian akan

sama, sedangkan tegangan yang dihasilkan merupakan jumlah dari masing-masing tegangan per panel. Dengan demikian total *Open Curcuit Voltage* ( $V_{oc}$ ) dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{oc_{Total}} = V_{oc_{panel\ 1}} + V_{oc_{panel\ 2}}$$

$$= 46,6\ V + 46,6\ V$$

$$= 93,2\ V$$

Faktor kali dalam menghitung rating SPD DC adalah 1,2 (Putranto, 2021), maka rating minimal SPD DC dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$V_{rating} = V_{oc_{Total}} \times \text{Faktor kali}$$

$$= 93,2\ V \times 1,2$$

$$= 111,84\ V$$

Sesuai dengan perhitungan maka nilai rating tegangan minimal SPD DC adalah 111,84 V, sehingga SPD DC yang dipilih adalah SPD DC 500 V.

b) Kabel Penghubung Inverter ke Baterai

Penggunaan daya minimum pada siang hari yaitu sebesar 125 W (kulkas, pencairan bunga es), daya maksimum yang dihasilkan panel surya yaitu sebesar 2600 W, dan tegangan baterai yaitu sebesar 24V, maka arus maksimum yang mengalir ke baterai dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{maks} = \frac{(\text{Daya maksimum panel surya} - \text{daya minimum beban})}{\text{tegangan baterai}}$$

$$= \frac{(2600\ W - 125\ W)}{24\ V}$$

$$= 103,125\ A$$

Dengan menggunakan persamaan (2-7) diperoleh nilai KHA sebagai berikut:

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

$$= 125\% \times 103,125 \text{ A}$$

$$= 128,9 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka diperoleh nilai KHA yaitu 128,9A. Dengan mengacu pada Tabel 2.2 maka ukuran kabel yang digunakan yaitu sebesar 25 mm<sup>2</sup> dengan jenis kabel yaitu NYY dan untuk Gawai Proteksi (MCB) DC yaitu sebesar yaitu 100 A.

c) Kabel Penghubung Inverter ke Beban

Penggunaan daya maksimum yang dihasilkan panel surya yaitu sebesar 2600 W, dan tegangan keluaran inverter 230V, maka arus maksimum yang mengalir ke beban dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{\text{Daya maksimum panel surya}}{230 \text{ V}}$$

$$= \frac{2600 \text{ W}}{230 \text{ V}}$$

$$= 11,30 \text{ A}$$

Dengan menggunakan persamaan (2-7) diperoleh nilai KHA sebagai berikut:

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

$$= 125\% \times 11,30 \text{ A}$$

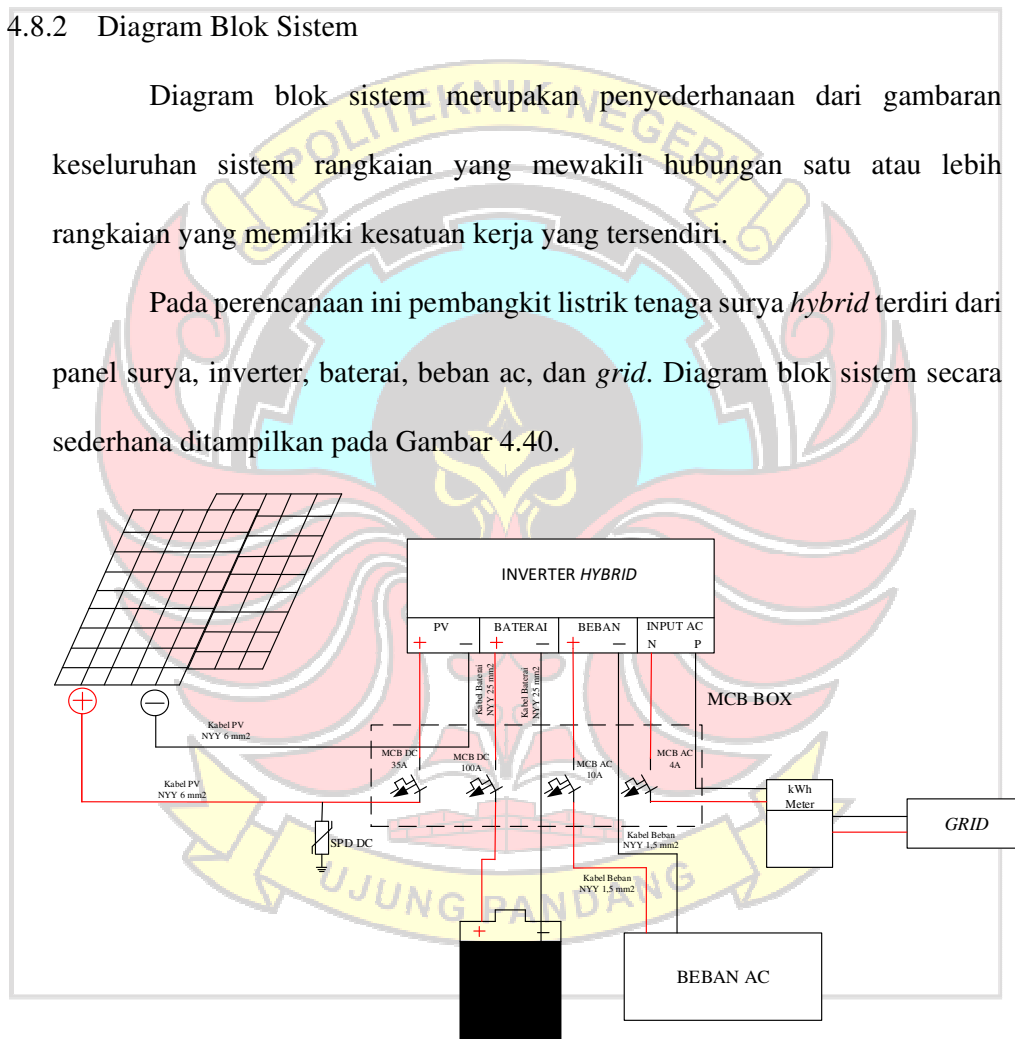
$$= 14,125 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka diperoleh KHA yaitu 14,125A. Dengan mengacu pada Tabel 2.2 maka ukuran kabel yang digunakan yaitu sebesar 1,5 mm<sup>2</sup> dengan jenis kabel yaitu NYY dan untuk Gawai Proteksi (MCB) AC yaitu sebesar yaitu 10 A.

#### 4.8.2 Diagram Blok Sistem

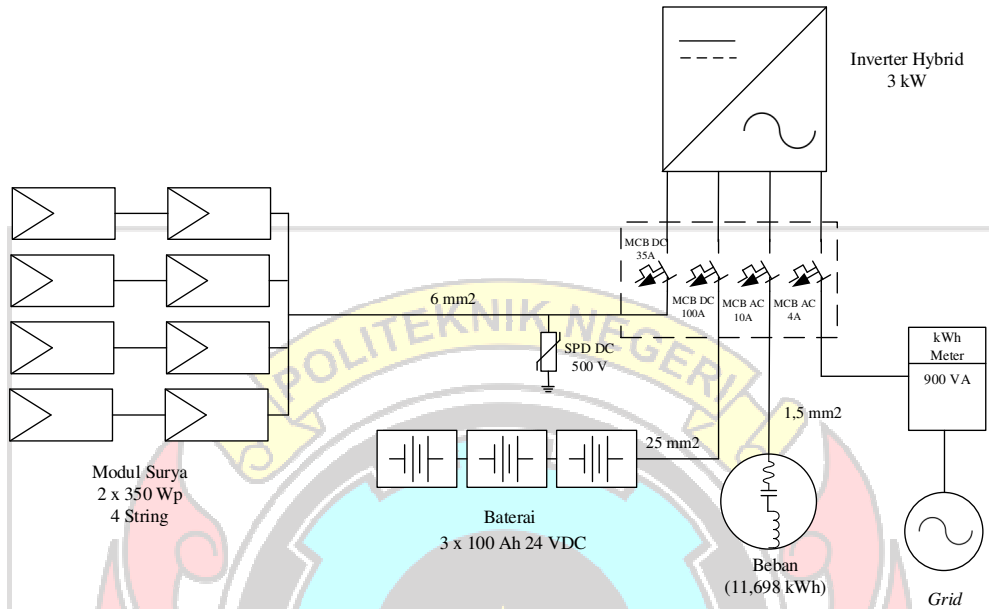
Diagram blok sistem merupakan penyederhanaan dari gambaran keseluruhan sistem rangkaian yang mewakili hubungan satu atau lebih rangkaian yang memiliki kesatuan kerja yang tersendiri.

Pada perencanaan ini pembangkit listrik tenaga surya *hybrid* terdiri dari panel surya, inverter, baterai, beban ac, dan *grid*. Diagram blok sistem secara sederhana ditampilkan pada Gambar 4.40.



Gambar 4.40 Diagram Blok Sistem PLTS

### 4.8.3 Single Line Diagram

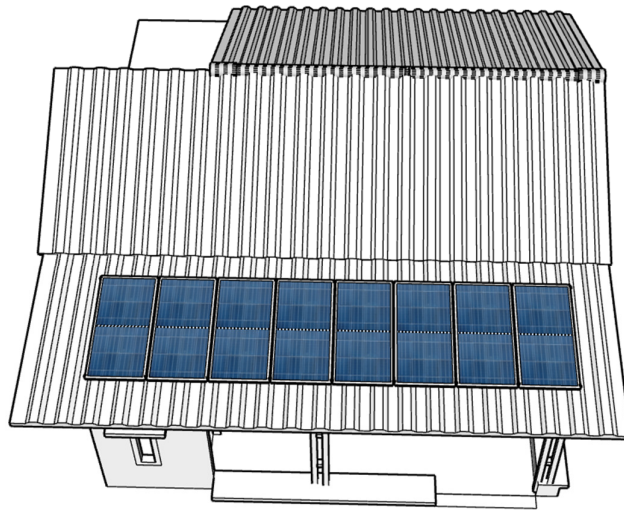


Gambar 4.41 Single Line Diagram

Gambar 4.41 menunjukkan sistem kelistrikan dari sumber listrik ke pengguna listrik. Pada perencanaan ini, sumber listriknya adalah PLTS dan PLN, sedangkan pengguna listrik dapat didefinisikan sebagai beban statis yang terdiri dari induktor, kapasitor, dan resistor untuk kebutuhan rumah tangga.

#### 4.9 Desain Pemasangan Panel Surya Pada Rumah Tinggal

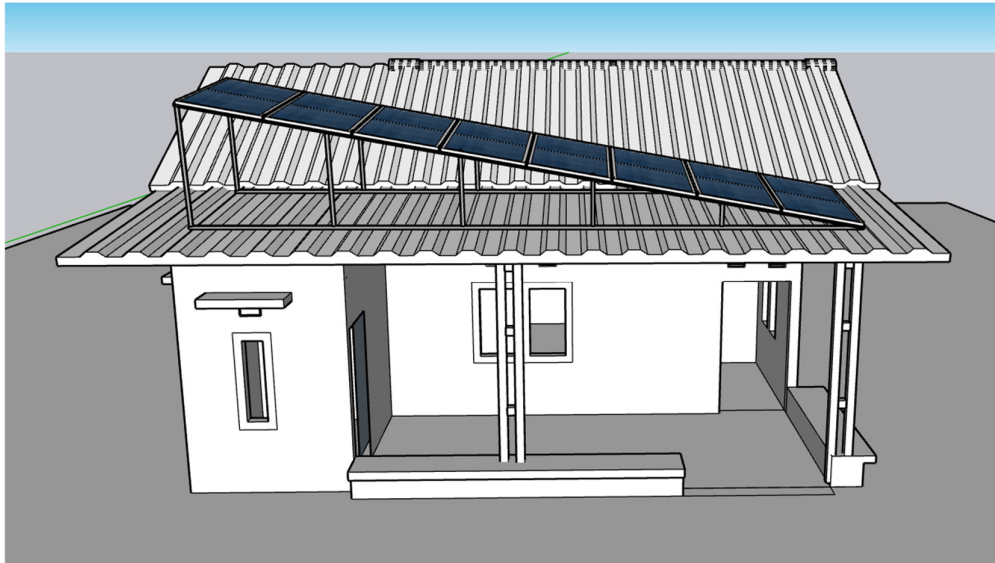
Adapun desain pemasangan panel surya pada atap rumah tinggal dapat dilihat pada Gambar 4.42.



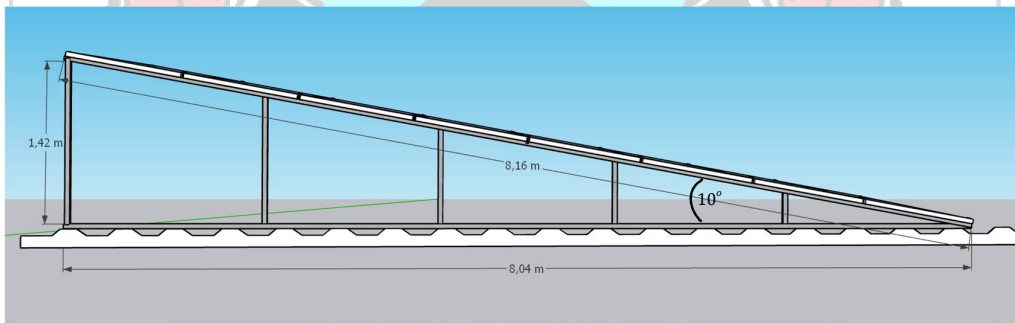
Gambar 4.42 Desain Pemasangan Panel Surya Mengikuti Konstruksi Atap

Gambar 4.42 merupakan desain pemasangan panel surya pada atap rumah tinggal, ketentuan pemasangan panel surya yaitu bagian yang berwarna biru merupakan susunan panel surya dengan ukuran =  $2 \times 0,992$  m, dimana konfigurasi panel surya terdiri dari 4 *string* yang terhubung secara paralel, dimana setiap *string* terdapat 2 unit panel surya yang terhubung secara seri dengan lebar bentangan susunan panel surya = 8,16 m. Sehingga luas area yang digunakan untuk panel surya =  $16,33 \text{ m}^2$ . Secara detail desain mounting PV dapat dilihat pada Lampiran 4.





Gambar 4.43 Desain Pemasangan Panel Surya untuk Optimalisasi



Gambar 4.44 Dimensi Mounting Panel Surya untuk Optimalisasi



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

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

- 1) Pada rumah tinggal klien dengan kebutuhan energi listrik sebesar 11,698 kWh/day maka didesain sebuah PLTS *Hybrid* dengan kapasitas 2,8 kWp, sehingga dibutuhkan sebanyak 8 unit panel surya jenis *polycrystalline* model CS3U-350P HE dengan pabrikan CSI Solar, dimana setiap unit panel surya memiliki kapasitas 350Wp. Konfigurasi panel surya terdiri dari 4 *string* yang terhubung secara paralel, dimana setiap *string* terdapat 2 unit panel surya yang terhubung secara seri. Instalasi panel surya yang terhubung ke inverter menggunakan kabel jenis NYY dengan ukuran kabel yaitu sebesar 6 mm<sup>2</sup>, MCB DC yaitu sebesar 35 A, dan *Surge Protection Device* (SPD) yang digunakan yaitu SPD DC 500V.
- 2) *Inverter* yang digunakan adalah jenis *inverter hybrid* model SVP-3kW pabrikan SAKO sebanyak 1 unit dengan kapasitas 3kW yang telah dilengkapi dengan SCC, dan ATS. Instalasi inverter yang terhubung ke beban menggunakan kabel jenis NYY dengan ukuran 1,5 mm<sup>2</sup>, MCB DC yaitu sebesar 10 A. Baterai yang digunakan yaitu baterai jenis *LifePO4* dengan spesifikasi 24V 100Ah sebanyak 3 unit yang dihubung secara paralel. Instalasi inverter yang terhubung ke baterai menggunakan kabel jenis NYY dengan ukuran kabel yaitu sebesar 25 mm<sup>2</sup>, MCB DC yaitu sebesar 100A.

3) Biaya investasi awal yang digunakan untuk mengimplementasikan PLTS pada rumah tinggal yang terletak di Dusun Sakeang, Desa Benteng Gajah, Kabupaten Maros yaitu sebesar Rp 47.803.680, maka diperoleh *payback priode* dan IRR:

a) Perhitungan Numerik, DPP= 7 tahun 2 bulan dan IRR = 15,02%

b) Simulasi *PVSyst* = 11,3 tahun atau 11 tahun 3 bulan dan IRR = 17,41%

c) Simulasi HOMER PRO = 12,88 tahun atau 12 tahun 11 bulan dan IRR = 9,5%

Dari hasil yang diperoleh pada perhitungan numerik, simulasi *PVSyst* dan HOMER PRO maka dapat disimpulkan bahwa untuk mengimplementasikan PLTS dengan kebutuhan energi harian 11,698 kWh dinyatakan layak untuk dilaksanakan.

## 5.2 Saran

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

## DAFTAR PUSTAKA

- Dinhi, Vika Azkiya. 2021. "Listrik, Sumber Energi Paling Banyak Digunakan Rumah Tangga Indonesia, (Daring)", "<https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/12/03/listrik-sumber-energi-paling-banyak-digunakan-rumah-tangga-indonesia>, diakses tanggal 17 Agustus 2023".
- Hidayat, Putra Fadhil. 2022. "Pembangkit Listrik Tenaga Surya, (Daring)". "<https://anyflip.com/rzxfu/lklc>, diakses tanggal 23 Juli 2023".
- Islam, Fahrul. 2020. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Perahu Nelayan. *Skripsi*, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Jellykom. 2022. "Kelebihan Baterai LiFePO4 Dibanding Baterai Lithium Lain, (Daring)", "<https://www.jellykom.com/2022/01/apa-itu-baterai-lifepo4-lpo-dan.html>, diakses tanggal 15 Juli 2023".
- Karuniawan, Eriko Arvin, dkk. 2023. "Analisis Potensi Daya Listrik Plts Atap Di Gedung Direktorat Politeknik Negeri Semarang Dengan Perangkat Lunak PVSYST". *Journal Of Energy And Electrical Engineering (JEEE)*, Vol. 4, No. 2, pp 75-80.
- Kementrian ESDM. 2021. "Cadangan Batubara Masih 38,84 Miliar Ton, Teknologi Bersih Pengelolaannya Terus Didorong (Daring)", "<https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/cadangan-batubara-masih-3884-miliar-ton-teknologi-bersih-pengelolaannya-terus-didorong>, diakses tanggal 17 Agustus 2023".
- Kusdiana, Dadan. 2020. *Panduan Pengelolaan Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Jakarta: Kementerian Sumber Daya Mineral.
- Manullang Victor Ragidup Tua, dkk. 2020. "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan *Software* HOMER di Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro." *TRANSIENT*, Vol. 9, No. 2, pp 148-156.

Megantara, Lazuardi Bagas, dkk. 2018. “Perancangan Instalasi Listrik Sistem Pemilihan Kabel dan Pemutus pada Rumah Pempa Bandara Ahmad Yani Semarang Menggunakan Software Etap 12.6”. *TRANSIENT*, VOL. 7, NO. 4, ISSN: 2302-9927, 990.

Muhammad, Uais Sabilah dan Bambang Purwahyudi. 2021. “Design of Solar Power Plant For Electricity Source Of The Drying Machine”. *Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, Vol. 6, P-ISSN: 2528-0260 E-ISSN: 2579-53926, pp 1081-1086.

Nugroho, Adi Ragil. 2021. “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid di Gedung ICT Universitas Diponegoro Menggunakan Software Pvsyst 7.0.” *TRANSIENT*, Vol. 10, No. 2, pp 377-383.

Nugroho, Yusuf Adi. (2016). Analisis Tekno-Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Pt Pertamina (Persero) Unit Pengolahan IV Cilacap. *Skripsi*, Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

Pahlevi, Reza. 2022. “Kapasitas Pembangkitan Listrik Indonesia Capai 73,74 GW pada 2021, PLTU Mendominasi, (Daring)”, “<https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/01/26/kapasitas-pembangkitan-listrik-indonesia-capai-7374-gw-pada-2021-pltu-mendominasi>, diakses tanggal 17 Agustus 2023”.

Pawenary dan Arditiyan Elyas Pradana. 2023. “Analysis Of Work System And Maintenance of Solar Power Plant With A Capacity of 10.8 kWp in Graha YPK PLN”. *Journal Research of Social Science Economics and Management*, Vol. 02, No. 8, E-ISSN: 2807 - 6311, P-ISSN: 2807 – 6494, pp. 1644 – 1651.

Persyaratan Umum Instalasi Listrik. 2016. *Keselamatan dan Pemasangan Instalasi Listrik Voltase Rendah untuk Rumah Tinggal Edisi 2016*. Jakarta: PUIL.

PT. Bernadi Utama. *Panduan Pengoperasian dan Perawatan PLTS Hybrid*. Bekasi: PT. Bernadi.

Putranto, Choirul Alfian. 2021. "Pengujian Dan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *Hybrid* Kapasitas 1230Wp Pada SMA Negeri 3 Surakarta". *TRANSIENT*, VOL. 10, NO. 3. e-ISSN: 2685-0206.

Riswanto, Eko. 2020. "Pemasangan Solar Cell Untuk Setrika Listrik Pada Usaha Sonic Laundry Condong Catur." *ERA-ABDIMAS*, Vol. IV No. II, pp 8-17.

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

Solly, Aryza, dkk. 2017. "Implementasi Energi Surya Sebagai Sumber Suplai Alat Pengering Pupuk Petani Portabel." *IT Journal Research and Development*, vol. 2, no. e-ISSN: 2528-4053, pp. 12-18, 2017.

Sugirianta, Ida Bagus Ketut, dkk. 2019. *Draft Buku Ajar Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Bali: Jurusan Teknik Elektro.

Suharyati. 2019. *Outlook Energi Indonesia (OEI) 2019*. Jakarta: Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional.

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

Suriana Wayan, dkk. 2020. "Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Antara PLN Dan PLTS." *Jurnal Ilmiah TELSINAS*, Vol. 3, No. 2.

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.

Yonata, Kiki. 2017. Analisis Tekno-Ekonomi Terhadap Desain Sistem PLTS Pada Bangunan Komersial Di Surabaya, Indonesia. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Industri. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Zian, Iqtimeal dkk. 2018. “Aplikasi Sistem Tenaga Surya Sebagai Sumber Tenaga Listrik Pompa Air”. *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, Vol 3 No. 1, pp 1-8.



**L**

**A**



**M**

**P**

**I**

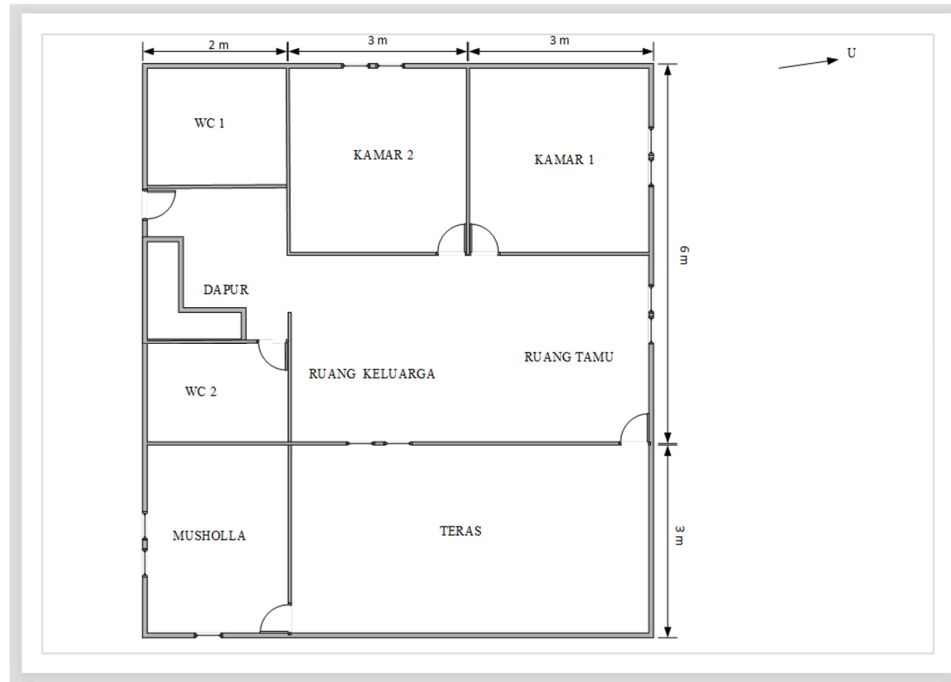
**R**

**A**

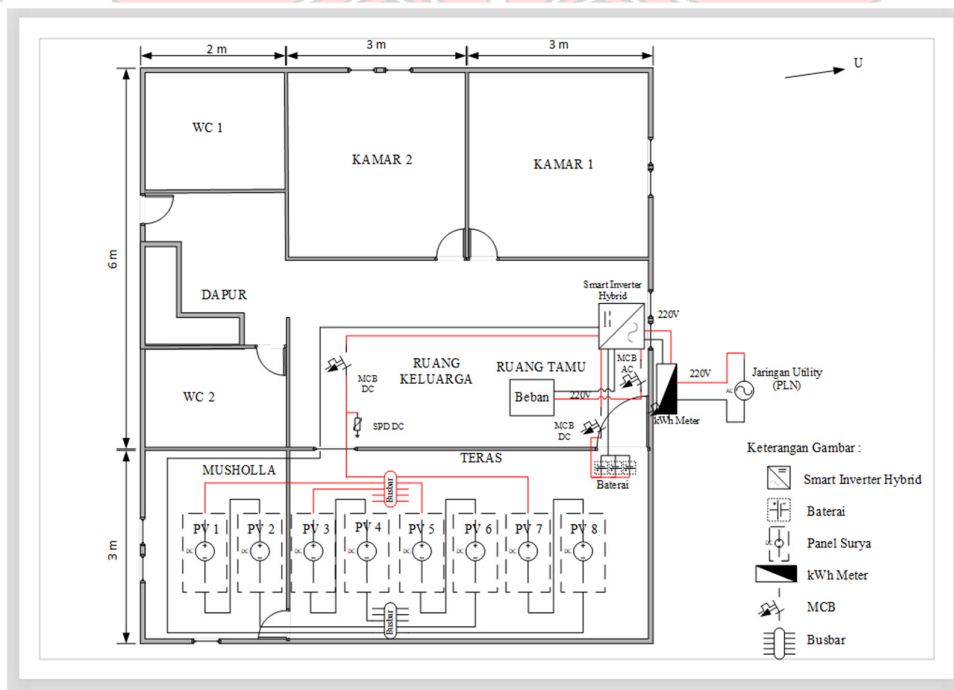
**N**



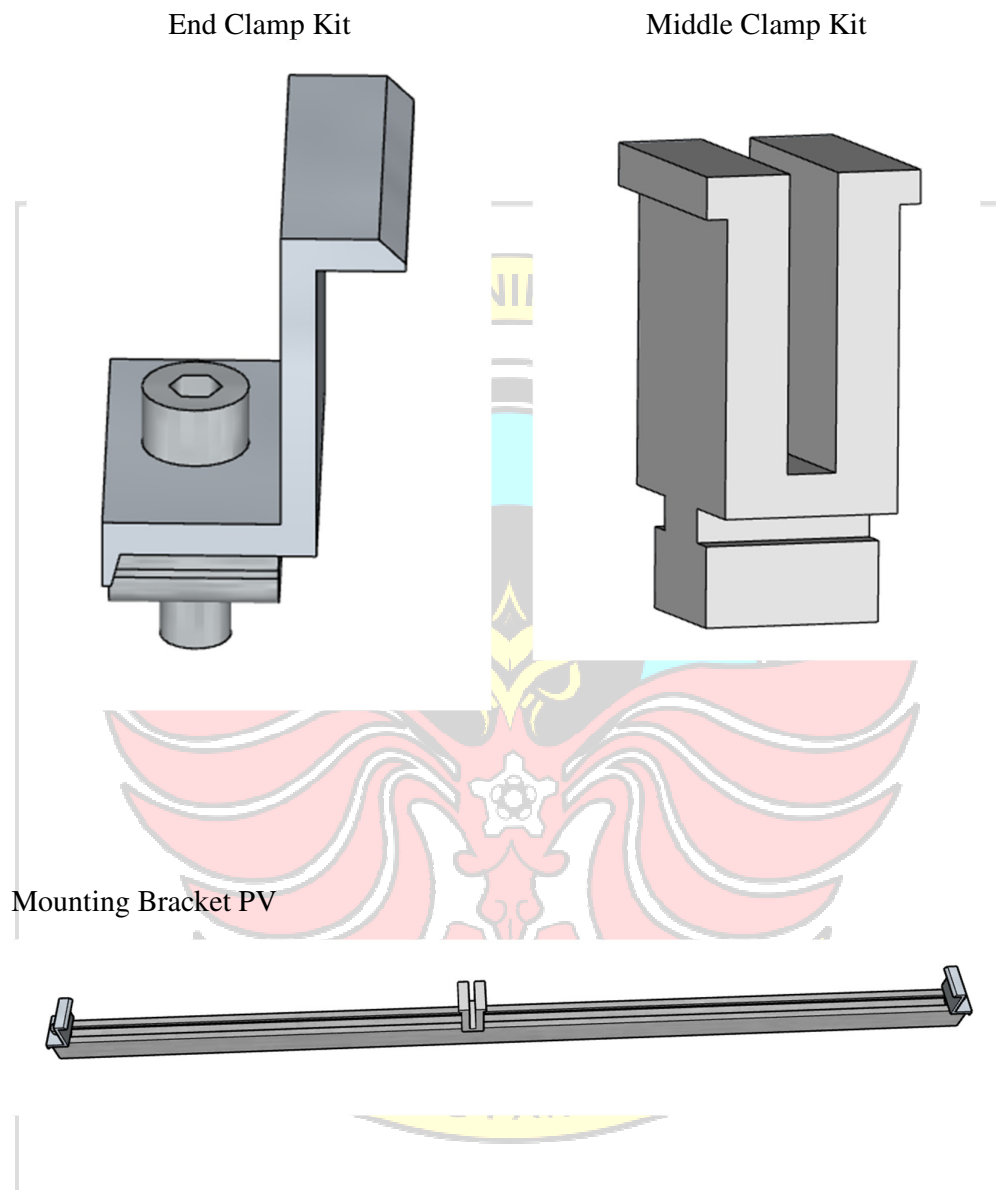
## Lampiran 1. Denah Rumah



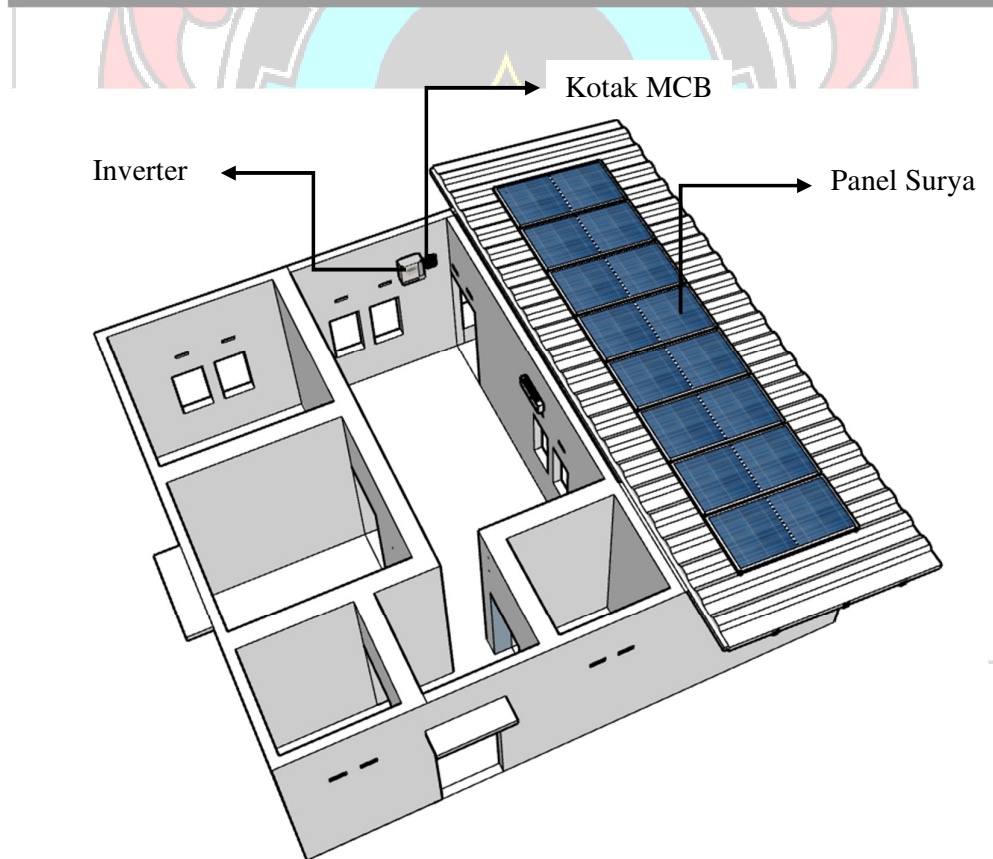
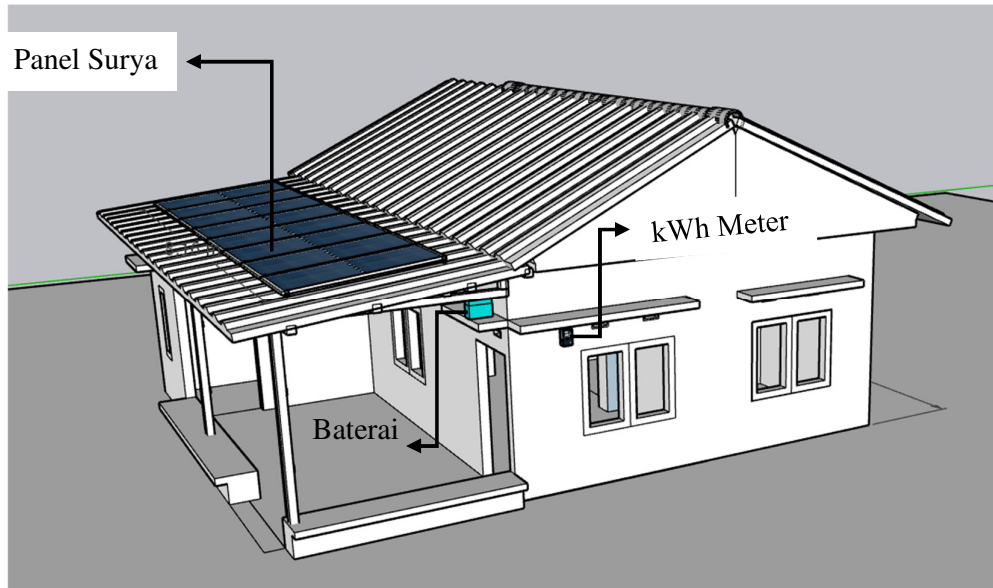
## Lampiran 2. Instalasi PLTS



**Lampiran 3. Desain Mounting PV**



**Lampiran 4.** Ilustrasi Peletakan Komponen



## Lampiran 5. Spesifikasi Panel Surya





### KuMax (1000 V / 1500 V)

#### SUPER HIGH EFFICIENCY POLY<sup>GEN4</sup> MODULE

#### CS3U-345|350|355|360P

With Canadian Solar's industry leading black silicon cell technology and the innovative LIC (Low Internal Current) module technology, we are now able to offer our global customers high power poly modules up to 360 W.

The KuMax poly modules with a dimension of 2000 x 992 mm, close to our 72 cell MaxPower modules, have the following unique features:

- Higher power classes for equivalent module sizes
- High module efficiency up to 18.15 %
- LOW hot spot temperature risk
- LOW temperature coefficient (Pmax): -0.38 % / °C
- LOW NMOT (Nominal Module Operating Temperature): 43 ± 2 °C



More power output thanks to low NMOT: 43 ± 2 °C



Low power loss in cell connection



Safer: lower hot spot temperature



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



Low BoS cost with 1500 V<sub>DC</sub> system voltage

25  
years

linear power output warranty

10  
years

product warranty on materials and workmanship

PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: 2005 & 2016: VDE / CE / UL 1703: CSA

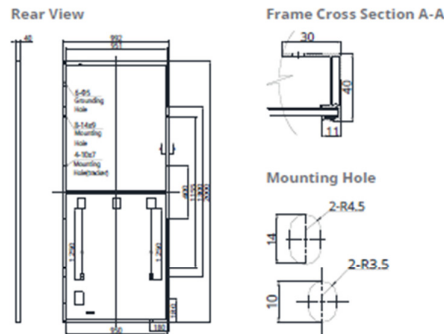




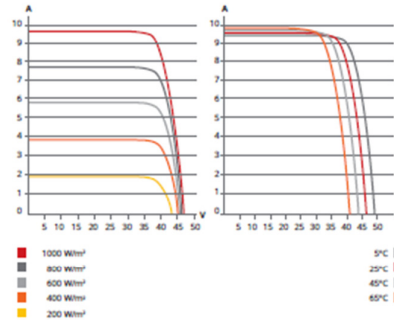
\* Please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific product certificates applicable in your market.



### ENGINEERING DRAWING (mm)



### CS3U-355P / I-V CURVES



### ELECTRICAL DATA | STC\*

CS3U	345P	350P	355P	360P
Nominal Max. Power (Pmax)	345 W	350 W	355 W	360 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	39.0 V	39.2 V	39.4 V	39.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.86 A	8.94 A	9.02 A	9.10 A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.4 V	46.6 V	46.8 V	47.0 V
Short Circuit Current (Isc)	9.43 A	9.51 A	9.59 A	9.67 A
Module Efficiency	17.39%	17.64%	17.89%	18.15%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC / UL) or 1500 V (IEC / UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	30 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

### MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 156.75 x 78.38 mm
Cell Arrangement	144 [2 x (12 x 6)]
Dimensions	2000 x 992 x 40 mm (78.7 x 39.1 x 1.57 in)
Weight	22.6 kg (49.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 diodes
Cable	4.0 mm <sup>2</sup> & 12 AWG
Cable Length	1670 mm (65.7 in)
Connector	T4 (IEC / UL)
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

### ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS3U	345P	350P	355P	360P
Nominal Max. Power (Pmax)	255 W	259 W	263 W	266 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.6 V	35.8 V	36.0 V	36.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.17 A	7.24 A	7.29 A	7.37 A
Open Circuit Voltage (Voc)	43.3 V	43.5 V	43.7 V	43.9 V
Short Circuit Current (Isc)	7.61 A	7.68 A	7.74 A	7.80 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.38 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	43±2 °C

### PARTNER SECTION



The aforesaid datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.

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.

CANADIAN SOLAR (USA) INC. August 2017 | All rights reserved | PV Module Product Datasheet V5.552\_E1\_NA  
3000 Oak Road, Suite 400, Walnut Creek, CA 94597, USA | www.canadiansolar.com/na | sales.us@canadiansolar.com






## Lampiran 6. Spesifikasi Inverter

### SVP Series

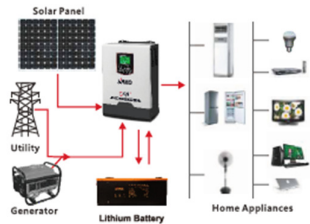
SVP SERIES HYBRID SOLAR INVERTER,  
HIGH FREQUENCY



#### MAIN FEATURES

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

#### Solar System Connection



#### Back Panel



#### TECHNICAL PARAMETER

MODEL	SVP-1K	SVP-2K	SVP-3K
The rated power	1KW	2KW	3KW
<b>INPUT</b>			
Voltage	230 VAC		
Selectable Voltage	170-280VAC (For Personal Computers), 90-280VAC (For Home Appliances)		
Range/Frequency Range	50Hz/60Hz (Auto sensing)		
<b>OUTPUT</b>			
AC Voltage Regulation (Batt. Model)	230VAC ± 5%		
Surge Power	2000VA	4000VA	6000VA
Efficiency (Peak)	90%	93%	
Transfer Time	10ms (For Personal Computers), 20ms (For Home Appliances)		
Wave form	Pure sine wave		
<b>BATTERY</b>			
Battery voltage	12VDC	24VDC	
Floating Charge Voltage	13.5VDC	27VDC	
Overcharge Protection	16VDC	32VDC	
<b>SOLAR CHARGER &amp; AC CHARGER</b>			
Maximum PV Array Power	600W	1200W	
PWM Range Operation Vol.	16-22VDC	32-44VDC	
Maximum PV Array Open Circuit Vol.	40VDC	60VDC	
Standby Power Consumption	2W		
Maximum Solar Charge Current	PWM 50A		
Maximum AC Charge Current	20A	20A	25A
Maximum solar Charge Current	50A	70A	
Maximum Efficiency	98%		
<b>BEST PANEL CONFIGURATION</b>			
Max. generated from solar charger	600W	1200W	
Best Panel configuration	150W*18V*4 Parallel	330W*36V*4 Parallel	
<b>PHYSICAL</b>			
Dimension, D*W*H(mm)	400*320*190MM		420*390*193MM
Net Weight (kgs)	5.4	6.15	7.8
<b>OPERATING ENVIRONMENT</b>			
Humidity	5% to 95% Relative Humidity (Non-condensing)		
Operation Temperature	0°C-50°C		

## Deskripsi Produk

Hybrid Inverter

Brand : Sako Power

Model : SVP 3KW

Kapasitas Inverter Continuous (pemakaian biasa) : 3000W

Kapasitas Inverter Surge Power (lonjakan awal) : 6000W

Inverter Pure Sine Wave + PWM Solar Charge Controller + Charger + ATS + Bypass , dan bisa menjadi UPS

Indikator lengkap, suhu, watt meter, persentase aki, ampere charge,dll. Setting parameter lengkap bisa cocok untuk semua AKI

Bisa penggunaan beberapa mode, contoh

- Prioritas Solar Panel, Solar panel mati / kurang kuat baru memakai PLN
- Prioritas PLN, PLN mati, menggunakan solar panel / Aki
- Prioritas Solar Panel, solar panel mati, bisa memakai baterai sebelum PLN

Output Form : PURE SINE WAVE

- Solar Panel PV Input -

Charging type : PWM

Max PV Array Power : 1200W

PV Array MPPT Voltage : 30-80VDC

Max PV Array Voltage : 80VDC

Max Charging Current : 50 Amps

Best Configuration 250WP x 5 \* 30V (1250WP) 5 Parralel

- AC Input - Built in Charger di dalam Inverter

Charging Algorithm : 3 Step

AC Charging Current : 25 Amps

NOMINAL DC VOLTAGE: 24V

Nominal Input Voltage : 230VAC

Nominal Frequency : 50HZ / 60 HZ ( Auto Detect)

Transfer time (UPS) : 10 ms Computer, 20ms typical

## Lampiran 7. Spesifikasi Baterai



### Other attributes

Brand Name	CP
Model Number	24v 100Ah
Warranty	10years
Place of Origin	Guangdong, China
Application	marine solar storage 32650 lithium ion 24v lifepo4 battery pack
Cycle life	over 3500cycles
Features	Unique Bolt In
Warranty	3 years
Battery cell	32650 5000mAh LiFePo4 Battery Cells
Size	522*238*220
BMS	Built-in
Charge Current	100A
Type	LiFePO4
Discharge Current	100a

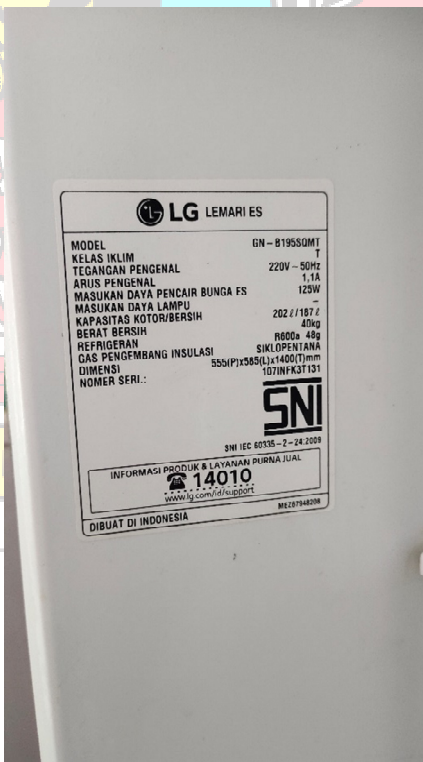


## Lampiran 8. Data Beban

### 1) Rice Cooker



### 2) Kulkas



### 3) Kipas Angin



### 4) Jet Pump



5) AC



## Lampiran 9. Harga Listrik PLN



### PENETAPAN PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)

JANUARI - MARET 2023

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

Catatan :

- \*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):  
RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.
- \*\*\*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):  
RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.  
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
- \*\*\*\*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):  
RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.  
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
- \*\*\*\*\*) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).
- K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ( $1,4 \leq K \leq 2$ ), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

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

## Lampiran. 10 Tingkat Suku Bunga

Kelompok Bank	Suku Bunga Kredit Rupiah Menurut Kelompok Bank 2023						
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli
Bank Persero - Modal Kerja	8.51	8.73	8.83	8.85	-	-	-
Bank Persero - Investasi	8.86	9.05	9.20	9.27	-	-	-
Bank Persero - Konsumsi	9.65	9.63	9.60	9.59	-	-	-
Bank Pemerintah Daerah - Modal Kerja	8.79	8.90	8.93	8.94	-	-	-
Bank Pemerintah Daerah - Investasi	9.20	9.15	9.09	9.14	-	-	-
Bank Pemerintah Daerah - Konsumsi	10.63	10.61	10.58	10.56	-	-	-
Bank Swasta Nasional - Modal Kerja	9.27	9.31	9.32	9.25	-	-	-
Bank Swasta Nasional - Investasi	8.35	8.39	8.42	8.43	-	-	-
Bank Swasta Nasional - Konsumsi	10.58	10.69	10.72	10.69	-	-	-
Bank Asing dan Bank Campuran - Modal Kerja	6.71	6.85	6.90	6.89	-	-	-
Bank Asing dan Bank Campuran - Investasi	8.08	8.20	8.19	8.26	-	-	-
Bank Asing dan Bank Campuran - Konsumsi	23.72	22.82	23.06	23.17	-	-	-
Bank Umum - Modal Kerja	8.75	8.89	8.95	8.92	-	-	-
Bank Umum - Investasi	8.62	8.72	8.80	8.84	-	-	-
Bank Umum - Konsumsi	10.38	10.39	10.39	10.37	-	-	-

Sumber: Bank Indonesia

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

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

## Lampiran 11. Tingkat Inflasi

