

STUDI PERENCANAAN PLTS *HYBRID* DENGAN
PENAMBAHAN SISTEM *AUTOMATIC TRANSFER SWITCH*
PADA GEDUNG KANTOR BUPATI SIDENRENG RAPPANG



SKRIPSI

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

Muh. Daffa Abbas	442 22 220
Rizal Ashari	442 22 221
Nita Sri Indah Sari	442 22 222

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR

2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Studi Perencanaan PLTS *Hybrid* Dengan Penambahan Sistem *Automatic Transfer Switch* Pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang” oleh Muh. Daffa Abbas NIM 442 22 220, Rizal Ashari NIM 442 22 221 dan Nita Sri Indah Sari NIM 442 22 222 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, 8 Agustus 2023

Pembimbing I,



Ir. Chandra Buana, M.T.

NIP. 19650319 199103 1 003

Pembimbing II,



Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T.

NIP. 19800820 200501 1 001

Mengetahui
Koordinator Program Studi Teknik Pembangkit Energi,



Ir. Chandra Buana, M.T.

NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Rabu tanggal 23 Agustus 2023, tim penguji ujian sidang skripsi telah menerima hasil ujian sidang skripsi oleh mahasiswa Muh. Daffa Abbas NIM 42 22 220, Rizal Ashari NIM 442 22 221 dan Nita Sri Indah Sari NIM 442 22 222 dengan judul “Studi Perencanaan PLTS *Hybrid* Dengan Penambahan Sistem *Automatic Transfer Switch* Pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang.”

Makassar, 23 Agustus 2023

Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D.

Ketua


(.....)

Yiyin Klistafani, S.T., M.T.

Sekretaris


(.....)

Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D.

Anggota I


(.....)

Dr. Ir. Firman, M.T.

Anggota II


(.....)

Ir. Chandra Buana, M.T.

Pembimbing I


(.....)

Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T

Pembimbing II


(.....)

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muh. Daffa Abbas

NIM : 44222220

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Skripsi ini yang berjudul “Studi Perencanaan PLTS *Hybrid* Dengan Penambahan Sistem *Automatic Transfer Switch* Pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang” merupakan gagasan, hasil karya kami dengan arahan pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

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

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

Makassar, 23 Agustus 2023



Muh. Daffa Abbas
44222220

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rizal Ashari

NIM : 44222221

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Skripsi yang berjudul “Studi Perencanaan PLTS *Hybrid* Dengan Penambahan Sistem *Automatic Transfer Switch* Pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang” merupakan gagasan, hasil karya kami dengan arahan pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

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

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

Makassar, 23 Agustus 2023



Rizal Ashari
44222221

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nita Sri Indah Sari

NIM : 44222222

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Skripsi ini yang berjudul “Studi Perencanaan PLTS *Hybrid* Dengan Penambahan Sistem *Automatic Transfer Switch* Pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang” merupakan gagasan, hasil karya kami dengan arahan pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

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

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

Makassar, 23 Agustus 2023



Nita Sri Indah Sari
44222222

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa. karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul “Studi Perencanaan PLTS *Hybrid* Dengan Penambahan Sistem *Automatic Transfer Switch* Pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang” dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa untuk memperoleh gelar Diploma Empat (D-4) Teknik Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun berkat kehendak-Nyalah sehingga penulis berhasil menyelesaikannya. Selesaiannya penulisan dan penyusunan skripsi ini tak lepas dari bantuan dan partisipasi baik dari berbagai pihak, oleh karenanya penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membagi sebagian pengetahuannya dan turut andil dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyampaikan terima kasih pada beberapa pihak yang ikut membantu dalam pembuatan skripsi ini, yaitu:

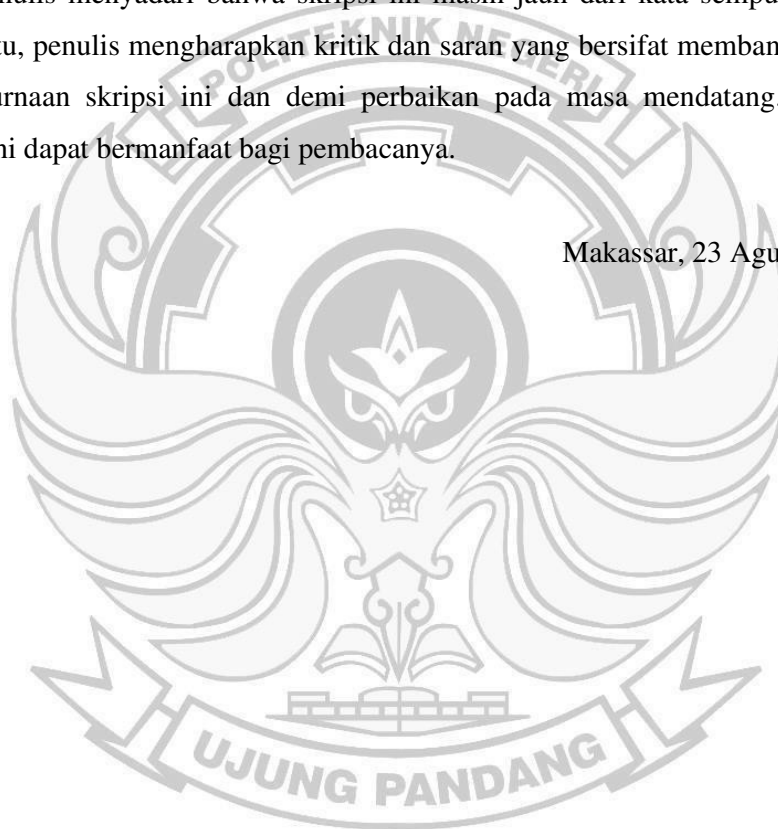
1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridhonya serta memberikan ketabahan, kesabaran, dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Kedua orang tua kami tercinta yang telah memberikan dukungan baik materiil maupun non materiil dan tidak pernah berhenti mendo'akan disetiap sujudnya.
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin Bapak Dr. Ir, Syaharuddin Rasyid, M.T.
4. Kordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi Spesialis Energi Terbarukan Bapak Ir. Chandra Buana, M.T.
5. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T., sebagai pembimbing I dan Bapak Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T., sebagai pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi.
6. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Pembangkit Energi Spesialis Energi Terbarukan yang telah memberikan ilmu selama dibangku perkuliahan.
7. Staff dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin yang sudah membantu dalam segala urusan skripsi mulai dari persuratan penelitian sampai sidang.

8. Terima kasih kepada Segenap Staff dan Karyawan Kantor Bupati Sidenreng Rappang yang telah memberikan izin dan membantu melakukan pengambilan data penelitian di Kantor Bupati Sidenreng Rappang.
9. Terima kasih kepada teman seperjuangan yaitu seluruh mahasiswa Teknik Mesin 2023 yang telah memberikan semangat, dukungan, dan sebagian pengetahuannya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Makassar, 23 Agustus 2023

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUTAN	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
RINGKASAN	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Penelitian Terkait.....	6
2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	9
2.3. PLTS <i>Hybrid</i>	10
2.4. Standar dan Peraturan Instalasi PLTS Atap Sistem <i>Hybrid</i>	12
2.5. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Panel Surya.....	12
2.5.1 Radiasi Matahari.....	12
2.5.2 Sudut Kemiringan Modul Surya.....	13
2.5.3 Orientasi Modul Surya	14

2.5.4	<i>Temperature</i>	15
2.5.5	Bayangan/ <i>Shading</i>	15
2.5.6	Kebersihan Modul Surya.....	16
2.6.	Komponen-Komponen PLTS Hybrid.....	16
2.6.1	Modul Surya	16
2.6.2	<i>Solar Charge Controller (SCC)</i>	18
2.6.3	Inverter	19
2.6.4	Baterai	20
2.6.5	Penyangga Modul (<i>Support Module</i>)	21
2.7.	Perhitungan PLTS.....	21
2.7.1	Perhitungan Luas <i>Array</i> Panel Surya	22
2.7.2	Perhitungan Daya Keluaran dan Jumlah Panel Surya	22
2.7.3	Perhitungan Kebutuhan <i>Solar Charge Controller (SCC)</i>	23
2.7.4	Perhitungan Kapasitas Inverter	24
2.7.5	Perhitungan Jumlah dan Kapasitas Baterai	24
2.7.6	Perhitungan Energi yang Dihasilkan PLTS	25
2.8.	<i>Automatic Transfer Switch (ATS)</i>	26
2.9.	Studi Aspek Ekonomi	26
2.9.1	Biaya Siklus Hidup (<i>Life Cycle Cost</i>).....	26
2.9.2	<i>Capital Cost</i> (Biaya Investasi)	27
2.9.3	Biaya Pemeliharaan dan Operasional.....	27
2.9.4	Nilai Sisa (<i>Salvage</i>).....	28
2.9.5	<i>Net Present Cost (NPC)</i>	29
2.9.6	Faktor Diskonto.....	29
2.9.7	<i>Cost of Energy</i> (Biaya Energi)	29
2.10.	Studi Aspek Kelayakan.....	30
2.10.1	<i>Net Present Value (NPV)</i>	30
2.10.2	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	31
2.10.3	<i>Profitability Index (PI)</i>	32
2.10.4	<i>Pay Back Periode (PBP)</i>	32
2.11.	<i>Software HOMER Pro</i>	32
2.12.	<i>Software Meteonom 8.1</i>	35

2.13. <i>Software</i> Google Earth.....	37
2.14. <i>Software</i> Sketchup	37
2.15. <i>Cable Size Calculator</i> AS/NZS 3008	38
2.16. Manajemen Risiko	40
BAB III METODE PENELITIAN.....	42
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian	42
3.2 Alat Dan Bahan	43
3.2.1 Alat	43
3.2.2 Bahan.....	44
3.3 Jenis Penelitian.....	44
3.4 Blok Sistem	45
3.5 Tahapan Penelitian	46
3.6 Studi Pendahuluan.....	47
3.7 Pengumpulan Data	48
3.7.1 Data Primer.....	48
3.7.2 Data Sekunder	49
3.8 Skema Smulasi Menggunakan Software HOMER Pro.....	49
3.8.1 Analisis Teknis.....	50
3.8.2 Analisis Ekonomi	50
3.8.3 Analisis Kelayakan.....	51
3.9 Perencanaan Sistem ATS	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
4.1 Kondisi Awal.....	53
4.2 Profil Beban Energi Listrik.....	54
4.3 Data Iklim.....	56
4.3.1 Data Intensitas Radiasi Matahari	56
4.3.2 Data Temperatur	57
4.4 Menentukan Lokasi Daerah Perencanaan PLTS Hybrid.....	58
4.5 Perhitungan Kapasitas Komponen PLTS.....	59
4.5.1 Menghitung Luas <i>Array</i> Panel Surya	59
4.5.2 Menghitung Daya Keluaran dan Jumlah Panel Surya.....	61

4.5.3	Penyusunan <i>Array</i> Panel Surya	61
4.5.4	Menghitung Kapasitas Baterai	63
4.5.5	Kapasitas <i>Solar Charge Controller</i>	64
4.5.6	Kapasitas Inverter.....	65
4.5.7	Energi Yang Dihasilkan PLTS.....	65
4.6	Menentukan Komponen	66
4.6.1	Panel Surya.....	66
4.6.2	Baterai.....	67
4.6.3	Inverter.....	69
4.6.4	Pengkabelan.....	70
4.7	Spesifikasi Komponen Pendukung	76
4.8	Simulasi Software HOMER Pro	79
4.8.1	Desain Sistem Hybrid Dengan Software HOMER Pro.....	79
4.8.2	Memasukkan Kordinat Lokasi	79
4.8.3	Memasukkan Data Radiasi Matahari	80
4.8.4	Memasukkan Data Temperatur	80
4.8.5	Memasukkan Data Beban Pada Lokasi Penelitian.....	81
4.8.6	Memasukkan Data Grid PLN	82
4.8.7	Memasukkan Data Panel Surya.....	82
4.8.8	Memasukkan Data Inverter	83
4.8.9	Memasukkan Data Baterai.....	83
4.9	Analisis Teknis Simulasi Software HOMER Pro.....	84
4.9.1	Energi Yang Diproduksi PLTS	84
4.9.2	Energi Listrik Yang Disimpan Baterai.....	85
4.9.3	Total Energi Yang Dihasilkan.....	86
4.9.4	<i>Grid Purchase</i>	87
4.9.5	<i>Grid Sales</i>	89
4.10	Simulasi Software PVsyst	90
4.10.1	Orientation.....	91
4.10.2	Pemilihan Komponen PV dan Inverter Pada Sistem.....	91
4.10.3	Pemilihan Bateri Penyimpanan	92
4.10.4	Hasil Simulasi Software PVsyst.....	93

4.11 Perbandingan Hasil Simulasi Software HOMER Pro dan PVsyst	95
4.12 Desain Sistem PLTS Hybrid	96
4.13 Perencanaan Sistem <i>Automatic Transfer Switch</i>	98
4.13.1 Diagram Alur Sistem ATS	98
4.13.2 Rangkaian Kontrol ATS.....	100
4.13.3 Rangkaian Daya ATS.....	102
4.14 Analisis Ekonomi	103
4.14.1 <i>Capital Cost</i>	103
4.14.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan.....	105
4.14.3 Nilai Sisa (<i>Salvage</i>).....	107
4.14.4 <i>Net Present Cost</i>	108
4.14.5 <i>Life Cycle Cost</i>	109
4.14.6 <i>Cost of Energy</i>	109
4.15 Analisis Kelayakan.....	111
4.15.1 <i>Payback periode</i>	111
4.15.2 <i>Net Present Value</i>	112
4.15.3 <i>Internal Rate of Return</i>	114
4.15.4 <i>Profitability Index</i>	118
4.16 Manajemen Risiko.....	119
4.17 Desain Layout 3D.....	120
BAB V PENUTUP.....	124
5.1 Kesimpulan.....	124
5.2 Saran.....	125
DAFTAR PUSTAKA	126
LAMPIRAN.....	129

DAFTAR GAMBAR

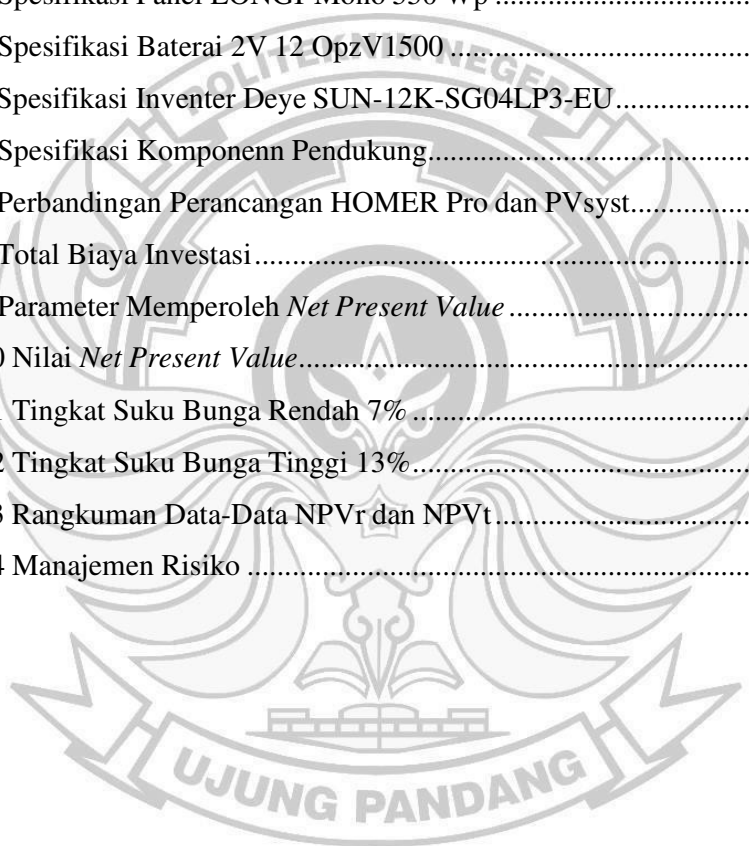
Gambar 2.1 Proses Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	10
Gambar 2.2 Skema PLTS <i>Hybrid</i>	11
Gambar 2.3 Pengaruh Intensitas Matahari Terhadap Arus dan Tegangan	13
Gambar 2.4 Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan dan Arus Modul Surya	15
Gambar 2.5 Dampak Bayangan Terhadap Efisiensi Produksi Listrik.....	16
Gambar 2.6 Modul Surya Jenis <i>Monocrystalline & Polycrystalline</i>	17
Gambar 2.7 <i>Solar Charge Controller</i>	19
Gambar 2.8 Inverter <i>Pure Sine Wave</i>	20
Gambar 2.9 Baterai	20
Gambar 2.10 Contoh Aplikasi Rangka Panel Surya di Atap	21
Gambar 2.11 Input Dan Output Simulasi HOMER Pro.....	33
Gambar 2.12 Software Meteonom 8	36
Gambar 2.13 Google Earth Pro.....	37
Gambar 2.14 SketchUp Pro 2022.....	38
Gambar 2.15 Cable Size Calculator AS/NZS 3008	39
Gambar 3.1 Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang	42
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem	45
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian.....	47
Gambar 3.4 Skema Simulasi HOMER Pro	49
Gambar 3.5 Diagram Kontrol ATS	52
Gambar 4.1 Alur <i>Grid</i> PLN Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang.....	53
Gambar 4.2 Grafik Profil Beban Listrik Kantor Bupati Sidenreng Rappang.....	56
Gambar 4.3 Data Intensitas Radiasi Matahari Perbulannya	56
Gambar 4.4 Data Intensitas Radiasi Matahari Perharinya.....	57
Gambar 4.5 Data <i>Temperatur</i>	57
Gambar 4.6 Ukuran Atap Gedung.....	58
Gambar 4.7 Ukuran <i>Rooftop</i>	59
Gambar 4.8 <i>Array</i> Panel Surya	62
Gambar 4.9 Susunan Baterai	64

Gambar 4.10 Panel Surya LONGI-Mono 550Wp.....	67
Gambar 4.11 Baterai 2V 12 OpzV1500.....	68
Gambar 4.12 Inverter Deye SUN-12K-SG04LP3-EU.....	69
Gambar 4.13 Inputan Kabel Panel Surya Terhubung ke Inverter.....	71
Gambar 4.14 Hasil Kalkulasi Kabel PV Terhubung ke Inverter	71
Gambar 4.15 Inputan Kabel Baterai Terhubung ke Inverter	72
Gambar 4.16 Hasil Kalkulasi Kabel Baterai Terhubung ke Inverter	72
Gambar 4.17 Inputan Kabel Grid Terhubung ke Inverter.....	73
Gambar 4.18 Hasil Kalkulasi Kabel <i>Grid</i> terhubung ke Inverter	73
Gambar 4.19 Inputan Kabel Inverter Terhubung ke Panel Distribusi.....	74
Gambar 4.20 Hasil Kalkulasi Kabel Inverter Terhubung ke Panel Distribusi	74
Gambar 4.21 Inputan Kabel Instalasi Perangkat ATS	75
Gambar 4.22 Hasil Kalkulasi Kabel Instalasi Perangkat ATS.....	75
Gambar 4.23 Desain Pembangkit Hybrid Pada Software HOMER Pro	79
Gambar 4.24 Lokasi Penelitian Pada Software HOMER Pro.....	80
Gambar 4.25 Memasukkan Data Radiasi Matahari	80
Gambar 4.26 Memasukkan Data Temperature	81
Gambar 4.27 Memasukkan Data Beban Lokasi Penelitian.....	81
Gambar 4.28 Memasukkan Data <i>Grid</i>	82
Gambar 4.29 Memasukkan data Panel Surya	82
Gambar 4.30 Memasukkan Data Inverter	83
Gambar 4.31 Memasukkan Data Baterai	83
Gambar 4.31 Hasil Simulasi Produksi Energi PLTS	84
Gambar 4.33 Grafik Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya	84
Gambar 4.34 Grafik Energi Yang Disuplai Oleh Panel Surya.....	85
Gambar 4.35 Hasil Penyimpanan Energi Pada Baterai.....	86
Gambar 4.36 Grafik <i>State of Charge</i> Pada Baterai	86
Gambar 4.37 Data Produksi Energi Listrik Dari Sistem PLTS.....	87
Gambar 4.38 <i>Grid Purchase</i>	88
Gambar 4.39 Grafik <i>Grid Purchase</i> Perbulannya.....	88
Gambar 4.40 Grafik <i>Grid Purchase</i> Per Jamnya Setiap Bulan.....	89

Gambar 4.41 Grafik <i>Grid Sales</i> Perbulannya.....	89
Gambar 4.42 Grafik <i>Grid Sales</i> Perjamnya Setiap Bulan	90
Gambar 4.43 Orientasi Panel Surya	91
Gambar 4.44 Pemilihan Komponen Sistem PLTS Pada PVsyst.....	91
Gambar 4.45 Pemilihan Baterai Penyimpanan Pada PVsyst.....	92
Gambar 4.46 Potensi Energi Listrik PLTS <i>Hybrid</i> Pada PVsyst	93
Gambar 4.47 <i>Loss Diagram</i> PLTS <i>Hybrid</i> Pada Software PVsyst	94
Gambar 4.48 Grafik Rasio Kinerja PLTS <i>Hybrid</i> Kantor Bupati Sidrap	94
Gambar 4.49 Diagram Perbandingan Software HOMER Pro dan PVsyst.....	95
Gambar 4.50 Wiring Diagram Sistem PLTS <i>Hybrid</i>	97
Gambar 4.51 Diagram Alur Sistem <i>Automatic Transfer Switch</i>	99
Gambar 4.52 Rangkaian Kontrol Sumber Cadangan Pada ATS.....	100
Gambar 4.53 Rangkaian Daya Pada ATS	102
Gambar 4.54 Tampilan <i>Cost Summary</i>	104
Gambar 4.55 Perbandingan Tarif Dasar Listrik	111
Gambar 4.56 Desain Layout PLTS <i>Hybrid</i> Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang.....	120
Gambar 4.57 Desain Layout PLTS Sisi Atap Kanan	121
Gambar 4.58 Desain Layout PLTS Sisi Atap Kiir	121
Gambar 4.59 Desain Layout PLTS Atap Tampak Samping	121
Gambar 4.60 Desain Layout PLTS Sisi Rooftop Tampak Atas	122
Gambar 4.61 Desain Layout PLTS Sisi Rooftop Tampak Samping	122
Gambar 4.62 Desain Layout Tampak Depan Ruangan Sistem Kelistrikan.....	123
Gambar 4.63 Desain Layout Tampak Atas Ruangan Sistem Kelistrikan.....	123

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Variabel Inputan <i>Cable Size Calculator</i> AS/NZS 3008.....	40
Tabel 3.1 Timeline Kegiatan	43
Tabel 4.1 Tagihan Pemakaian Listrik PLN Kantor Bupati Sidenreng Rappang	54
Tabel 4.2 Estimasi Kebutuhan Daya Listrik Penerangan.....	55
Tabel 4.3 Spesifikasi Panel LONGI-Mono 550 Wp	67
Tabel 4.4 Spesifikasi Baterai 2V 12 OpzV1500	68
Tabel 4.5 Spesifikasi Inverter Deye SUN-12K-SG04LP3-EU.....	69
Tabel 4.6 Spesifikasi Komponenn Pendukung.....	76
Tabel 4.7 Perbandingan Perancangan HOMER Pro dan PVsyst.....	95
Tabel 4.8 Total Biaya Investasi.....	104
Tabel 4.9 Parameter Memperoleh <i>Net Present Value</i>	113
Tabel 4.10 Nilai <i>Net Present Value</i>	113
Tabel 4.11 Tingkat Suku Bunga Rendah 7%	115
Tabel 4.12 Tingkat Suku Bunga Tinggi 13%.....	116
Tabel 4.13 Rangkuman Data-Data NPVr dan NPVt.....	118
Tabel 4.14 Manajemen Risiko	119



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Report Hasil Simulasi, Gambar Teknik dan Skematik.....	130
Lampiran 2 Dokumentasi Kegiatan Pengambilan Data.....	141
Lampiran 3 Surat Izin Penelitian dan Kartu Asistensi.....	143



STUDI PERENCANAAN PLTS *HYBRID* DENGAN PENAMBAHAN SISTEM *AUTOMATIC TRANSFER SWITCH* PADAGEDUNG KANTOR BUPATI SIDENRENG RAPPANG

RINGKASAN

Kantor Bupati Sidenreng Rappang merupakan salah satu gedung yang ada di Satuan Kantor Perangkat Daerah yang terletak di Jl. Harapan Baru, Batu Lappa, Kec. Watang Pulu, Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan. Pada kantor ini menggunakan energi dari PLN sebagai sumbernya, dimana Kantor Bupati Sidenreng Rappang mengkonsumsi beban penerangan berkisar 200 kWh perharinya. Sehingga, pembayaran listrik pada lokasi penelitian ini cukup tinggi. Diketahui sumber energi terbarukan yang potensial adalah PLTS dengan potensi radiasi matahari mencapai angka 5,8 kWh/m²/hari.

Dirancang sebuah sistem dengan menggabungkan PLTS dan PLN serta Generator dengan menggunakan konfigurasi AC Coupling. PLTS berperan sebagai sumber utama dan PLN serta Generator menjadi sumber energi cadangan dengan memanfaatkan sistem dalam proses perpindahan sumber cadangan (PLN-Generator). Konfigurasi ini menggunakan Software HOMER Pro dan PVsyst untuk mengetahui potensi dan performa dari sistem yang telah dirancang, serta menggunakan Software SketchUp Pro untuk mendesain dan menghasilkan tata letak tiga dimensi (3D). Untuk nilai keekonomian dan kelayakan akan diperoleh melalui perhitungan secara teoritis.

Hasil dari perancangan PLTS *Hybrid* ini memiliki kapasitas daya yang dibangkitkan sebesar 39,6 kWp dengan menghasilkan aspek teknis pada software HOMER Pro yang meliputi produksi energi listrik pada sistem yang dirancang sebesar 75.701 kWh/tahun, *Grid* sebesar 14.566 kWh/tahun, dan untuk *Grid Sales* sebesar 6.740 kWh/tahun, dengan *renewable penetration* sebesar 83,3%. Sedangkan pada software PVsyst potensi energi listrik sebesar 62.178 kWh/tahun, *Grid* sebesar 18.073 kWh/tahun dan *Grid Sales* 2.456 kWh/tahun serta *Performance Ratio* sebesar 78,3%. Untuk aspek ekonomi, memerlukan investasi sebesar Rp. 642.714.960,00, Net Present Cost sebesar Rp.1.573.177.823, dan nilai Cost of Energy sebesar Rp. 1.401,38/kWh. Sedangkan untuk aspek kelayakan menghasilkan Net Present Value sebesar Rp. 216.680.041 lebih besar daripada nol, nilai Profitability Index sebesar 1,33 lebih besar daripada satu, nilai Internal Rate of Return sebesar 12,488% yang lebih besar dari suku bunga kredit sebesar 8,43% serta untuk Payback Period yang dibutuhkan untuk pengembalian modal selama 7 tahun 7 bulan, sehingga dalam proyek perencanaan PLTS *Hybrid* pada Kantor Bupati Sidenreng Rappang dapat dikatakan layak.

Kata Kunci: PLTS *Hybrid*, *Grid*, HOMER Pro, PVsyst

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia setiap tahun meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan perkembangan teknologi. Penggunaan bahan bakar fosil di Indonesia seperti minyak bumi, gas dan batu bara semakin menipis dan menimbulkan pencemaran lingkungan seperti efek gas rumah kaca yang menjadi penyebab utama pemanasan global, maka perlu adanya sumber energi alternatif seperti energi terbarukan yang sifatnya berkelanjutan seperti energi angin, air, dan matahari (Mahesa, dkk., 2021).

Indonesia sangat kaya akan energi terbarukan dengan potensi lebih dari 400.000 Mega Watt (MW), 50% diantaranya atau sekitar 200.000 MW merupakan potensi energi surya. Sementara pemanfaatannya masih rendah sekitar 150 MW atau 0,08% dari potensinya. Sehingga pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menargetkan terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap sebesar 3.600 MW secara bertahap hingga tahun 2025, melalui revisi Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2018 (Direktorat Jendral EBTKE, 2021). Di Sulawesi Selatan sendiri memiliki 21 unit Pembangkit Listrik Tenaga Energi Terbarukan yang diresmikan berkapasitas total 1.688 kW, total sambungan 4.926 rumah dengan nilai aset sebesar Rp 136.528.768.595, tersebar di Kabupaten/Kota di Sulawesi Selatan dan dibangun menggunakan APBN tahun 2017 (Sugiyono, 2020).

Kabupaten Sidenreng Rappang atau lebih dikenal dengan Kabupaten Sidrap merupakan salah satu dari 21 kabupaten di Provinsi Sulawesi Selatan, yang terletak antara 3°43-4°09 Lintang Selatan dan 119°41-120°10 Bujur Timur. Luas wilayah Kabupaten Sidrap tercatat 1.883,25 Km². Diharapkan kabupaten ini memiliki peran yang besar dalam pengembangan energi baru terbarukan, dimulai dari Kantor Bupati Sidenreng Rappang sebagai pembaharu atau pelopor dari pemanfaatan energi terbarukan khususnya pemanfaatan sinar

matahari sebagai PLTS di wilayah Kabupaten Sidrap dan di wilayah perkantoran pemerintahan agar dapat meningkatkan minat dari masyarakat serta investor akan pemanfaatan energi terbarukan.

Pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang ini mengkonsumsi energi listrik yang cukup besar per bulannya yaitu berkisar rata-rata 25.000 kWh atau sekitar 800 kWh perharinya. Sedangkan untuk beban penerangan berkisar 200 kWh perharinya. Berdasarkan dari pemakaian energi listrik tersebut perbulannya, maka biaya tagihan listrik yang dibayar oleh Pemerintah Kabupaten Sidenreng Rappang cukup besar. Selain itu, Kantor Bupati Sidrap memiliki potensi yang cukup besar untuk instalasi PLTS karena letak bangunan gedung kantor berada ditengah-tengah dari kompleks perkantoran pemerintah Kabupaten Sidenreng Rappang. Dengan kondisi lingkungan yang tidak terlalu berdebu karena intensitas kendaraan yang tidak terlalu ramai, serta tidak ada bangunan atau tumbuhan disekitar gedung kantor yang dapat menyebabkan bayangan (*shading*). Luas atap seluruh bangunan gedung kantor bupati dapat dimanfaatkan sebagai lahan untuk pembangunan PLTS.

Pembangunan PLTS Hybrid atau penggabungan antara sel surya sebagai pembangkit utama dan sumber listrik PLN sebagai sumber cadangan, serta genset sebagai sumber cadangan tambahan jika pada PLN terjadi pemadaman. Dengan sistem ini diharapkan menjadi solusi yang tepat, namun hal ini akan mengalami kendala jika tidak dilakukan perpindahan energi cadangan secara otomatis. Penambahan sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) merupakan solusi agar sistem bekerja secara optimal khususnya antara sumber cadangan utama dan cadangan tambahan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini membahas tentang studi perencanaan PLTS *Hybrid* dengan penambahan sistem *Automatic Transfer Switch* pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang, yang didasari dari besarnya biaya tagihan listrik perbulannya serta pemanfaatan atap gedung sebagai pembangkit listrik yang ramah lingkungan sebagai bentuk dukungan pengembangan EBT.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perencanaan dan analisis kapasitas PLTS *Hybrid* untuk energi penerangan pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang menggunakan Software HOMER Pro 3.14.2 dan PVsyst 7.3?
2. Bagaimana perencanaan sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) sebagai komponen pendukung sumber energi cadangan (PLN-Generator) pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang?
3. Bagaimana perhitungan dan analisis perkiraan biaya menggunakan perhitungan teoritis dan Software HOMER Pro untuk mengetahui kelayakan proyek PLTS *Hybrid* pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang?
4. Seperti apa layout perencanaan sistem PLTS *Hybrid* dalam bentuk tiga dimensi (3D)?
5. Bagaimana penerapan manajemen risiko dalam perencanaan PLTS *Hybrid* untuk mengidentifikasi dan mengurangi risiko-risiko yang mungkin terjadi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai penulis adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan hasil perencanaan dan analisis kapasitas PLTS *Hybrid* untuk energi penerangan pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang menggunakan Software HOMER Pro 3.14.2 dan PVsyst 7.3.
2. Mampu membuat perencanaan sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) sebagai komponen pendukung sumber energi cadangan (PLN-Generator) pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang.
3. Mampu menghitung dan menganalisis perkiraan biaya menggunakan perhitungan teoritis dan Software HOMER Pro untuk mengetahui kelayakan proyek PLTS *Hybrid* pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang.

4. Menghasilkan layout perencanaan sistem PLTS *Hybrid* dalam bentuk tiga dimensi (3D).
5. Mengetahui manajemen risiko dalam perencanaan PLTS *Hybrid* untuk mengidentifikasi dan mengurangi risiko-risiko yang mungkin t.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

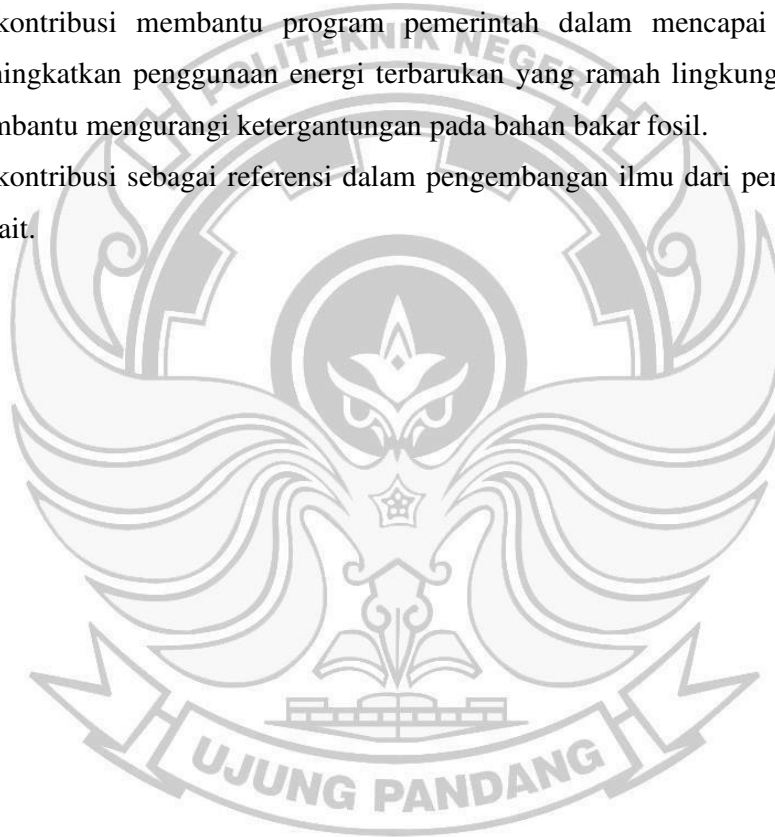
Dalam perencanaan PLTS *Hybrid* ini banyak hal yang dapat ditinjau, untuk menghindari topik yang tidak perlu maka penulis membatasi ruang lingkup pada beberapa hal berikut:

1. Perencanaan PLTS ini hanya ditujukan untuk mensuplai beban penerangan pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang.
2. Simulasi perencanaan sistem PLTS *Hybrid* menggunakan Software HOMER Pro 3.14.2 dan PVsyst 7.3.
3. Pembahasan teknik berfokus pada spesifikasi dan komponen-komponen yang digunakan dalam perencanaan PLTS *Hybrid* dengan estimasi umur pakai selama 25 tahun.
4. Analisis keekonomian pada penelitian ini merupakan biaya investasi awal, *Net Present Cost* (NPC), *Life Cycle Cost* (LCC), *Salvage*, Biaya *Operational & Maintenance* (O&M), serta *Cost of Energy* (COE) dengan menggunakan perhitungan teoritis dan menggunakan Software simulasi HOMER Pro 3.14.2. Untuk Analisis kelayakan menggunakan parameter *Net Present Value* (NPV), *Payback Period* (PBP), Profitability Index (PI), dan *Internal Rate of Return* (IRR).
5. Pada perencanaan sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) hanya menghasilkan *Wiring Diagram* (diagram pengkabelan) dan menggunakan perangkat ATS pabrikan (*Built-in*). Prinsip kerja dari perangkat ATS pada perencanaan ini hanya digunakan pada sumber energi cadangan (*Backup*) yaitu jaringan PLN dan Generator.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu:

1. Sebagai bahan pertimbangan dan informasi pemikiran pada pihak terkait tentang perencanaan PLTS *Hybrid* untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dan dapat membantu menekan biaya tagihan listrik.
2. Membantu mengurangi emisi gas rumah kaca sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada lingkungan dan dapat menarik minat dari masyarakat.
3. Berkontribusi membantu program pemerintah dalam mencapai tujuan meningkatkan penggunaan energi terbarukan yang ramah lingkungan dan membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.
4. Berkontribusi sebagai referensi dalam pengembangan ilmu dari penelitian terkait.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis terinspirasi dan mereferensi dari beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan masalah yang akan diteliti sesuai pada latar belakang pada ini. Berikut beberapa penelitian yang dijadikan referensi:

Pada penelitian yang berjudul “Perencanaan PLTS Atap Pada Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara Dengan Arsitektur Rumah Adat Batak Toba”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui berapa potensi energi listrik yang dihasilkan pada PLTS atap kantor Bupati Tapanuli Utara yang memiliki kemiringan atap 52,70 dan untuk mengetahui perkiraan biaya investasi awal pada perancangan. Didapatkan bahwa PLTS kantor Bupati Tapanuli Utara berpotensi menghasilkan daya listrik 39,6 kWp. Simulasi HOMER menghasilkan data energi yang dihasilkan sistem PV sebesar 45.646 kWh dalam satu tahun dan memiliki peran mensuplai energi listrik hingga 52,9 %. Jadi total dari sistem PV dengan Grid energi listrik yang disuplai ke beban sebesar 86.233 kWh/tahun. Sedangkan untuk harga yang harus dibayarkan total per tahunnya adalah \$3150,03 (Rp 43.874.826,4). Sedangkan untuk perkiraan biaya investasi awal pada perancangan PLTS Atap beban kantor Bupati Tapanuli Utara sebesar Rp 628.071.600 (Silaban, dkk., 2021).

Pada penelitian berjudul “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid* Sebagai Sumber Energi Alternatif”. Pada penelitian ini mempertimbangkan dari segi teknik, biaya dan ekonomis. Perencanaan PLTS sistem hybrid di Rumah Makan Pondok Meranti bertujuan untuk pemanfaatan energi alternatif yang belum maksimal di wilayah tersebut, energi listrik PLTS yang diperhitungkan sebesar 50% dari beban harian pada siang hari, total energi listrik yang dapat dibangkitkan dari PLTS sebesar 707,4121 Wh. Komponen PLTS yang dipergunakan setelah diperhitungkan untuk kebutuhan

back up daya listrik adalah 11 panel surya 100 wp, 14 unit baterai tegangan 12V berkapasitas 100 Ah yang diperkirakan akan diisi sekitar 10,05 jam, 2 unit *solar charger controller*, dan 1 unit inverter berkapasitas 1500 W. Dari aspek ekonomis yang telah diperhitungkan, perkiraan biaya investasi sebesar Rp.52.074.000, dengan perhitungan ekonomis menggunakan metode *Net Present Value* (NPV) mendapatkan hasil positif, perhitungan ekonomis menggunakan metode *Profitability Index* (PI) mendapatkan hasil yang sama bernilai lebih dari satu, dan perhitungan ekonomis menggunakan metode *Discounted Payback Period* (DPP) mendapatkan hasil investasi kembali sebelum 25 tahun menunjukkan bahwa investasi PLTS sistem *hybrid* di Rumah Makan Pondok Meranti layak untuk diterapkan (Mahesa, dkk., 2021).

Pada penelitian yang berjudul *Design of Hybrid Solar Power Plant For Household Electricity*, diketahui bahwa di Kota Semarang memiliki tingkat radiasi rata-rata 5,6 kWh/m²/hari. Penelitian ini dilakukan di rumah yang berlokasi di pudak payung, Kota Semarang dengan atap luas 24 m². Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid* yang dirancang adalah sebuah sistem penyediaan tenaga listrik yang sumbernya berasal dari PLTS dan Perusahaan Listrik Negara secara bergantian yaitu, diatur secara otomatis oleh peralatan kontrol otomatis dengan kapasitas baterai. Hasil perhitungan yang diperlukan komponen terdiri dari 9 modul surya dengan kapasitas 120 WP, 4 baterai dengan kapasitas 12v100Ah, 1 unit inverter 3000Watt dan 1 unit *Solar Charger Controller* 60A. Hasil tes yang telah dilakukan, panel surya menghasilkan daya rata-rata 5446 wh per hari, baterai akan penuh pada pukul 13.00. (Winardi, dkk., 2022).

Pada penelitian berjudul *Hybrid Power Plant System Analysis in Seruni Beach, Bantaeng District, South Sulawesi*. Penelitian ini dilakukan di Pantai Seruni Bantaeng, Sulawesi Selatan. Dimana, listrik di pantai ini dipasok langsung oleh PLN. Sehingga, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan PLTS dan angin yang efisien sebagai cadangan genset dalam mensuplai beban-beban yang ada di sekitar pantai. Studi ini menggunakan HOMER sebagai optimal penentu pembangkit. Indikator yang digunakan

sebagai valuasi ekonomi yaitu *Payback period* (PP), *Net Present Value* (NPV), *Net Present Cost* (NPC), dan *Cost of Energy* (COE). Studi menggunakan 2 skema untuk menghitung indikator yang digunakan. Skema 1 hanya menggunakan jaringan sebagai pemasok listrik, dan pada skema 2 menggunakan turbin angin, panel surya, dan jaringan listrik. Hasil dari penelitian ini adalah pembangkit listrik tenaga surya dan angin hibrida menghasilkan 390.620 kWh/tahun. Skema 1 memiliki nilai NPC yang lebih tinggi sebesar Rp 4.632.183.000 sedangkan skema 2 memiliki nilai NPC sebesar Rp 2.555.496.645. Biaya yang dikeluarkan dengan skema 2 menghasilkan listrik per kWh lebih kecil yaitu Rp. 304.709 dibandingkan dengan skema 1 sebesar Rp. 1467.28. pada skema 2, NPV positif sebesar Rp. 1.037.919.493 dan dari hasil perhitungan payback period waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian biaya investasi pembangkit listrik tenaga surya dan angin adalah 5 tahun 10 bulan (Mubarok, dkk., 2019).

Pada penelitian yang berjudul *Automatic Transfer Switch System Design on Solar Cell-Grid Hybrid Based on Android Application*. Dimana tujuan penelitian ini untuk mengetahui penghematan daya PLN yang mengalir ke beban setelah menggunakan sistem ATS, bekerja spesifikasi, dan spesifikasi desain sistem. Dalam penelitian ini, surya sel dengan kapasitas maksimum 20 watt digunakan. Hasil dari penghematan daya setelah menggunakan sistem ATS dalam cuaca cerah kondisi selama 10 jam penyinaran dengan intensitas matahari rata-rata sebesar 318.551 lux adalah 16,84%. Spesifikasi kinerja sistem adalah kecil, portabel, dan mudah dioperasikan. Nilai ketelitian dan presisi dalam penghematan daya adalah 96,13% dan 95% (Washilla, dkk., 2022).

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dijelaskan diatas terdapat beberapa kekurangan dan kelebihan. Pada penelitian ini penulis berpedoman pada penelitian yang telah dilakukan oleh Sialaban Irwan pada tahun 2021 dengan menambahkan beberapa hal yang belum ada pada penelitian tersebut, seperti menghasilkan Layout PLTS Hybrid System dalam bentuk Tiga Dimensi (3D) dan mendesain konsumsi energi listrik. Sehingga, penelitian tersebut akan

dijadikan referensi dalam proses penyelesaian masalah saat mengerjakan penelitian ini. Sedangkan, untuk analisis ekonomi pada penelitian ini meliputi biaya investasi, NPC, biaya O&M, LCC dan COE. Selanjutnya untuk analisis kelayakan meliputi biaya PBP, NPV, IRR, dan PI. Sehingga nantinya diharapkan dapat tercapainya tujuan utama dari penelitian sistem PLTS Hybrid ini yaitu memperoleh nilai perancangan yang meliputi aspek teknis, aspek ekonomi, dan aspek kelayakan.

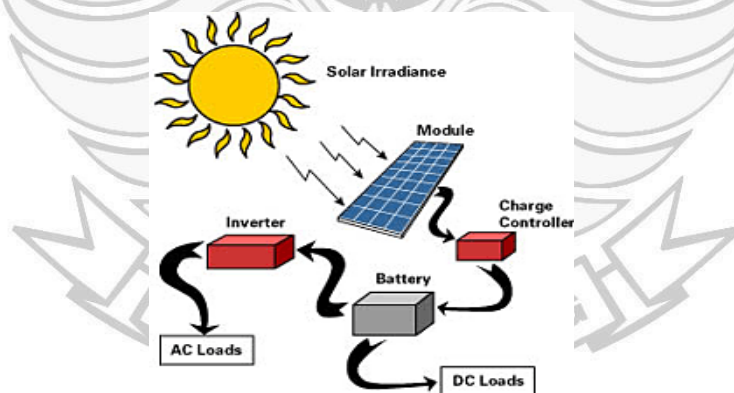
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS merupakan suatu teknologi pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik yang menggunakan sel photovoltaic (photovoltaic cell) atau yang sering dikenal dengan sebutan PV. PV *cell* biasanya dirancang dan dikemas dalam suatu unit yang disebut Panel Surya/Modul (*solar cell* panel). Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari silicon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. Apabila bahan tersebut mendapat energi foton, akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas dan akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah. Dengan hubungan seri-paralel, sel surya/sel fotovoltaik dapat digabungkan menjadi PV modul dengan jumlah sekitar 40 sel surya, serta kumpulan dari beberapa modul surya dapat membentuk suatu PV array (Sampeallo, dkk., 2018).

Pada sistem pembangkit listrik tenaga surya konfigurasi terhadap jaringan yang terhubung dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu sistem PLTS On-Grid (*grid connected*) merupakan sistem PLTS yang dihubungkan langsung dengan jaringan PLN. Sedangkan sistem PLTS Off-Grid (*stand alone*) adalah sistem PLTS yang tidak terhubung ke jaringan PLN dengan kata lain sistem ini memproduksi energi secara mandiri. Untuk PLTS *Hybrid* merupakan sistem PLTS yang digabung dengan dua atau lebih jenis pembangkit lain seperti PLN/Genset, PLTD atau PLTMH untuk memenuhi kebutuhan listrik.

PLTS pada dasarnya adalah pecatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri, maupun hybrid. PLTS terdiri dari beberapa komponen yaitu: panel Surya (*module*), *Battery Control Regulator* (BCR), Baterai (*accu*), dan inverter. Panel surya sebagai komponen utama pembangkit listrik tenaga surya, akan menghasilkan energi listrik sepanjang adanya paparan sinar matahari. Dimana energi listrik yang dihasilkan akan tersimpan dalam baterai melalui suatu proses pengisian (*charging*), sehingga energi listrik dapat digunakan setiap saat (baik siang maupun malam). BCR digunakan untuk mengatur proses pengisian pada baterai. Energi listrik yang tersimpan di baterai dapat langsung digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban DC (*Dirrect Current*). Untuk memenuhi kebutuhan beban AC (*Alternathing Current*), maka energi listrik DC yang tersimpan di baterai harus diubah menjadi energi listrik AC dengan menggunakan alat inverter (Sampeallo, dkk., 2018).

Dalam proses penghasilan energi listrik pada PLTS dapat dilihat pada Gambar 2.1.



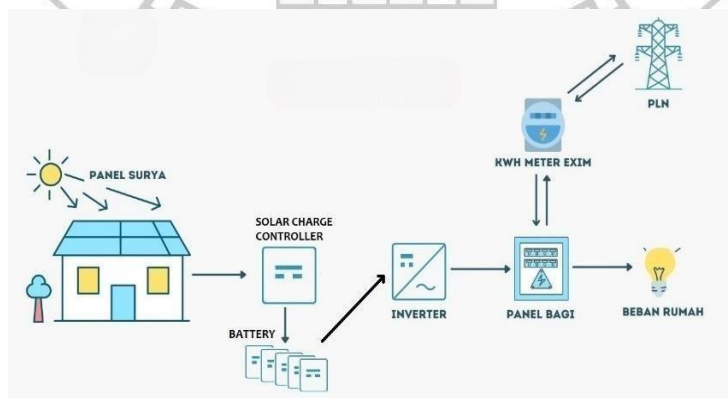
Gambar 2.1 Proses Pembangkit Listrik Tenaga Surya
(Sumber: Sampeallo, dkk., 2018)

2.3 PLTS Hybrid

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

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

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



Gambar 2.2 Skema PLTS *Hybrid*

2.4 Standar dan Peraturan Instalasi PLTS Atap Sistem Hybrid

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

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

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

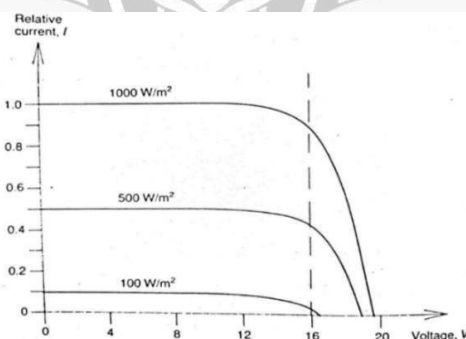
2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Panel Surya

2.5.1 Radiasi Matahari

Radiasi mempengaruhi variasi arus dan tegangan. Terdapat hubungan antara variasi pada radiasi dan variasi pada hubungan arus.

Tegangan pada rangkaian terbuka tidak berubah secara drastis terhadap radiasi. Namun, bagaimanapun tetap terjadi sedikit peningkatan pada saat kenaikan radiasi. Semakin tinggi radiasi maka, semakin besar pula arus dan tegangan yang dihasilkan. Salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah radiasi yang sampai pada modul adalah terjadinya bayangan-bayangan yang dapat menghalangi radiasi sampai kepada modul surya seperti bayangan pohon, bayangan awan, bayangan bangunan dan lain-lain (Hakim, 2020).

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



Gambar 2.3 Pengaruh Intensitas Matahari terhadap Arus dan Tegangan (Sumber: Saputra, 2019)

2.5.2 Sudut Kemiringan Modul Surya

Sudut kemiringan memiliki dampak yang besar terhadap tingkat radiasi matahari yang diterima pada permukaan modul surya. Untuk sudut kemiringan tetap, daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan modul surya sama dengan lintang lokasi. Sistem pengaturan berfungsi untuk memberikan sebuah kontrol dan pengaman dalam sistem PLTS sehingga sistem pembangkit tersebut dapat bekerja secara efisien dan optimal. Peralatan pengaturan pada

sistem PLTS ini dapat dibuat secara manual, yaitu dengan cara selalu menempatkan kearah matahari. Dapat juga dibuat secara otomatis, mengingat sistem ini banyak dipergunakan untuk daerah terpencil yang dibuat dengan rangkaian elektronik. Tetapi jika ditinjau dari kepraktisan dan kemudahan perawatan, posisi pemasangan modul surya direkomendasikan secara tetap dengan sudut kemiringan tertentu.

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

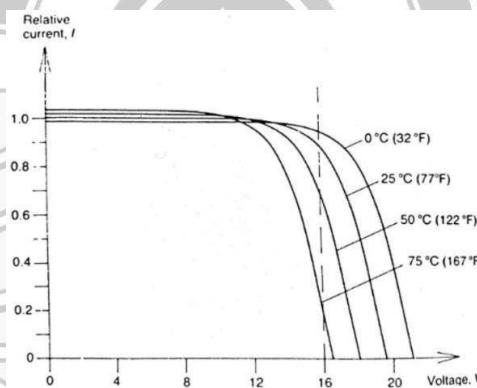
2.5.3 Orientasi Modul Surya

Orientasi modul surya mengacu pada arah atau sudut di mana panel surya diatur atau dipasang untuk menangkap sinar matahari dengan efisiensi maksimum. Pemilihan orientasi yang tepat dapat meningkatkan kinerja dan produksi energi dari modul surya.

Penempatan modul surya untuk mendapatkan energi maksimum sebaiknya dihadapkan ke arah utara atau selatan, walaupun dihadapkan ke arah timur atau barat juga memungkinkan untuk mendapat energi matahari tetapi jumlah listrik yang dihasilkan akan lebih rendah. Selain itu, sudut peletakan modul surya tidak boleh kurang dari 10 derajat atau melebihi 45 derajat. Orientasi dari rangkaian modul surya ke arah matahari merupakan sebuah hal yang penting agar modul surya dapat menghasilkan energi yang maksimum. Misalnya, untuk lokasi yang terletak di belahan bumi utara (di atas garis khatulistiwa) maka modul surya sebaiknya diorientasikan ke selatan. Begitu pula untuk lokasi yang terletak di belahan bumi selatan (di bawah garis khatulistiwa) maka modul surya diorientasikan ke utara (Hakim, 2020).

2.5.4 Temperature

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

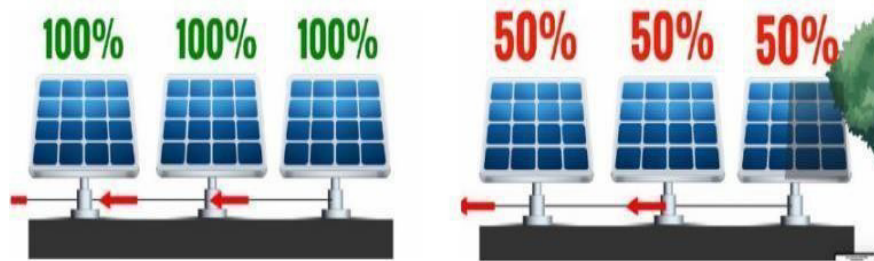


Gambar 2.4 Pengaruh Suhu terhadap Tegangan dan Arus Modul Surya (Sumber: Saputra, 2019)

2.5.5 Bayangan/Shading

Pemasangan modul surya juga mempertimbangkan bayangan yang menutupi permukaan modul surya. Lokasi terbaik adalah lokasi dengan kondisi yang terhindar dari objek penghalang pada modul surya yang dapat tertutupi oleh bayangan pepohonan, dedaunan yang jatuh, awan, bangunan tinggi maupun panel surya yang terpasang di dekatnya. Ketika modul tertutup oleh bayangan, maka sambungan P-N di dalam sel surya berhenti memproduksi energi dan menjadi beban pasif sehingga mengakibatkan penurunan kinerja. Sel ini berperilaku seperti sebuah

diode yang memblokir arus yang diproduksi oleh sel-sel lainnya yang terhubung seri. Selain itu juga dapat menyebabkan panas berlebih dan kerusakan pada modul (Hakim, 2020).



Gambar 2.5 Dampak Bayangan terhadap Efisiensi Produksi Listrik
(Sumber: ICED, 2020)

2.5.6 Kebersihan Modul Surya

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

2.6 Komponen-Komponen PLTS Hybrid

2.6.1 Modul Surya

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

Berikut ini adalah jenis-jenis modul surya yang biasa digunakan adalah sebagai berikut (Fakhri, 2020):

1. *Mono-crystalline*

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

2. *Poly-crystalline*

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



Gambar 2.6 Modul Surya Jenis *Monocrystalline* & *Polycrystalline*
(Sumber: Wibowo, dkk., 2022)

2.6.2 Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charger Controller adalah salah satu komponen PLTS yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian karena baterai sudah penuh). *Solar charger controller* juga digunakan untuk melindungi baterai saat melakukan pengisian untuk menghindari arus berlebihan yang mengalir masuk ke baterai. *Solar charger controller* biasanya dilengkapi dengan enam terminal yang terdiri dari satu pasang terminal output input dari panel surya, satu pasang terminal output input terhubung ke baterai, dan 1 pasang terminal output input yang diteruskan ke beban (Mahesa, dkk., 2021).

Oleh karena itu peran SCC dalam sistem PLTS sangatlah penting, khususnya *off grid* yang menempatkan baterai sebagai backup satu-satunya saat malam tiba. Agar dapat memperoleh produksi solar panel yang maksimal maka diperlukan SCC yang handal sesuai dengan kebutuhan sistem. Ada beberapa pilihan SCC, diantaranya SCC tipe PWM dan tipe MPPT. Kedua tipe ini punya kelebihan dan kekurangan tersendiri sebagai berikut (Fakhri, 2020):

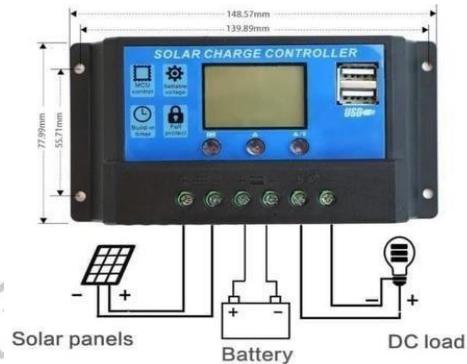
1. SCC *Pulse Width Modulation* (PWM)

SCC PWM adalah alat yang berfungsi mengendalikan keberlangsungan pengisian baterai. Pada tipe ini saat baterai akan penuh perangkat ini perlahan menurunkan jumlah daya yang dikirim ke baterai agar baterai tidak mengalami kejenuhan.

2. SCC *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)

SCC MPPT adalah alat yang berfungsi menelusuri kekuatan maksimum yang dapat dihasilkan panel surya dan mengontrol pengisian baterai. SCC MPPT merupakan sistem elektronik yang bekerja untuk melacak keberadaan titik daya maksimum yang diproduksi panel surya. SCC jenis MPPT terdiri atas perangkat

elektronik yang tidak hanya berfungsi sebagai pengatur pengisian baterai namun juga bisa mengoptimalkan kinerja antara panel surya dengan bank baterai.



Gambar 2.7 *Solar Charge Controller*
(Sumber: Wibowo, dkk., 2022)

2.6.3 Inverter

Inverter merupakan peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan frekuensi 50/60 Hz. Pada PLTS, inverter satu phase (L-N) biasanya digunakan untuk sistem dengan beban yang kecil sedangkan untuk inverter tiga phase (R-S-T) digunakan untuk sistem dengan beban yang besar maupun sistem yang terhubung dengan jaringan PLN (*grid-connected*). Agar gelombang yang dihasilkan berbentuk sinusoidal, teknik yang digunakan adalah *pulse width modulation* (PWM). Teknik PWM ini memungkinkan suatu pengaturan untuk menghasilkan frekuensi yang baik sesuai dengan nilai rms dari bentuk gelombang keluaran (Silaban, dkk., 2021).

Berdasarkan bentuk gelombang inverter dibagi menjadi empat yaitu:

1. *Square sine wave inverter*
2. *Modifies sine wave inverter*
3. *Pure sine wave inverter*
4. *Grid tie inverter*



Gambar 2.8 Inverter *Pure Sine Wave*

2.6.4 Baterai

Baterai merupakan sebuah komponen yang digunakan pada sistem PLTS dengan fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya. Energi listrik yang disimpan pada baterai ditujukan sebagai sumber cadangan ketika modul surya sedang tidak menghasilkan energi listrik seperti pada saat malam hari dan cuaca mendung. Satuan kapasitas energi yang dihasilkan pada baterai adalah *ampere hour* (Ah), dengan maksud arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam. Proses pengosongan baterai (*discharge*) tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimum karena akan memengaruhi usia pakai (*life time*) dari baterai tersebut. Batas pengosongan dari baterai tersebut dengan *depth of discharge* (DOD) yang dinyatakan dalam satuan persen. Suatu baterai memiliki DOD 80% ini berarti bahwa hanya 80% dari energi yang tersedia dapat dipergunakan dan 20% tetap berada dalam cadangan. Semakin dalam DOD yang diberlakukan pada suatu baterai maka akan semakin pendek pula siklus dari baterai tersebut (Hakim, 2020).



Gambar 2.9 Baterai
(Sumber: Wibowo, dkk., 2022)

2.6.5 Penyangga Modul (*Support Module*)

Penyangga modul (*support module*) adalah salah satu peralatan pada PLTS yang berfungsi sebagai penopang panel surya (*modul photovoltaic*). Penyangga modul biasanya terbuat dari pipa galvanis atau pipa aluminium. Secara teknis, besarnya sudut kemiringan panel surya ditentukan oleh disain kemiringan penyangga modul (Sampeallo, dkk., 2018).

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

Dalam pemasangan penting untuk memastikan penyangga dipasang pada posisi yang tepat dan dengan jarak yang sesuai antara panel surya untuk mengoptimalkan kinerja sistem. Salah satu contoh struktur support module yang biasa digunakan sebagai penopang panel surya pada sistem PLTS atap dapat dilihat seperti Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Contoh Aplikasi Rangka Panel Surya di Atap

2.7 Perhitungan PLTS

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

2.7.1 Perhitungan Luas Array Panel Surya

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

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

$$PV \text{ area} = \frac{EL}{G_{av} \times \eta_{PV} \times FKT \times \eta_{out}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

PV area = Luas permukaan array panel surya (m²)

E_L = Pemakaian energi (kWH/hari)

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

η_{PV} = Efisiensi panel surya (%)

η_{out} = Efisiensi keluaran sistem (%)

FKT = Faktor koreksi temperatur (%)

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

2.7.2 Perhitungan Daya Keluaran dan Jumlah Panel Surya

Kapasitas daya dari panel dapat ditentukan berdasarkan beberapa faktor yang sudah ada, seperti rata-rata total kebutuhan energi, nilai intensitas radiasi matahari untuk setiap wilayah berbeda-beda, dimana dapat diperoleh melalui dua cara yaitu pengukuran langsung dan melalui data sekunder (ICED, 2020).

Data sekunder diperoleh dari badan atau otoritas yang memiliki kewenangan untuk menerbitkan data iradiasi. Misalnya, NASA, Solargis maupun dari data Meteonorm (ICED, 2020).

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

$$P_{\text{wattpeak}} = \text{Luas Array} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{PV}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

P_{wattpeak} = Daya yang akan dibangkitkan PLTS (W_p)

PSI = *Peak solar insolation* ($1000W/m^2$)

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

$$\text{Jumlah panel} = \frac{P_{\text{wattpeak}}}{P_{\text{max}}} \quad (2.3)$$

Keterangan:

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

2.7.3 Perhitungan Kebutuhan *Solar Charger Controller* (SCC)

Untuk menghitung kebutuhan solar charge controller, maka harus diketahui terlebih dahulu karakteristik dan spesifikasi dari panel surya yang ingin digunakan. Berikut rumus untuk menghitung kapasitas solar charge controller (Hajir, 2021):

$$\text{Kapasitas SCC} = \frac{P_{\text{mpp}} \times \text{safety factor}}{V_{\text{mpp}}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

P_{mpp} = Daya keluaran maksimum panel surya (W)

V_{mpp} = Tegangan keluaran maksimum panel surya (V)

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

2.7.4 Perhitungan Kapasitas Inverter

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

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

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

Keterangan:

P_{mpp} = Daya keluaran maksimum panel surya (W)

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

2.7.5 Perhitungan Jumlah dan Kapasitas Baterai

Perlu menentukan terlebih dahulu tegangan (Vdc), Ampere Hour (AH), dan DOD baterai sesuai spesifikasi pabrikan serta menentukan hari otonomi dari baterai, yang artinya jumlah hari yang dapat dilayani oleh baterai untuk mensuplai energi ke beban tanpa adanya energi dari PLTS. Untuk PLTS yang memiliki energi diatas 3 kWh dianjurkan untuk menggunakan sistem 48 Volt. Adapun persamaannya sebagai berikut (Hajir, 2021):

$$C = \frac{E_t \times N}{V_s \times \text{DoD} \times \eta} \quad (2.6)$$

Keterangan:

C = Kapasitas baterai yang dibutuhkan (Ah)

N = Jumlah hari otonom (hari)

E_t = Pemakaian rata-rata energi dimalam hari (kWh)

V_s = Tegangan sistem (V)

DoD = *Depth of Discharge* (%)

η = Efisiensi baterai (%)

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

$$\text{Baterai seri} = \frac{\text{Tegangan kerja Sistem (Vdc)}}{\text{Tegangan kerja unit baterai (Vdc)}} \quad (2.7)$$

$$\text{Baterai paralel} = \frac{\text{Kapasitas yang dibutuhkan}}{\text{Kapasitas baterai}} \quad (2.8)$$

$$\text{Jumlah Baterai} = \text{Baterai seri} \times \text{Baterai paralel}$$

2.7.6 Perhitungan Energi yang Dihasilkan PLTS

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

$$P_i = N_{\text{panel}} \times P_{\text{maks}} \quad (2.9)$$

Keterangan:

P_i = Daya input panel surya (W)

Energi yang dihasilkan oleh panel surya sangat berpengaruh terhadap insolasi matahari yang ada. Setiap insolasi harian matahari sam dengan lama penyinaran efektif matahari per hari. Maka energi yang dihasilkan PLTS selama satu hari dapat dihitung dengan persamaan (Mahesa, dkk., 2021):

$$E_{\text{out}} = P_i \times \text{insolasi matahari} \quad (2.10)$$

Keterangan:

E_{out} = Energi yang dihasilkan panel surya (Wh)

Untuk mengetahui besar energi yang dihasilkan selama satu tahun dapat menggunakan persamaan:

$$E_{\text{out tahunan}} = E_{\text{out}} \times \text{jumlah hari selama satu tahun} \quad (2.11)$$

2.8 Automatic Transfer Switch (ATS)

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

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

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

2.9 Studi Aspek Ekonomi

2.9.1 Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Sistem PLTS ini sendiri biaya siklus hidupnya ditentukan dari biaya investasi awal (C), biaya jangka panjang dari pemeliharaan,

Operasional serta penggantian peralatan (Mpw). Besarnya tingkat diskonto (i) yang digunakan untuk menghitung nilai pada perencanaan ini adalah sebesar 12%. Penentuan tingkat diskonto ini mengacu pada tingkat suku bunga kredit Bank Indonesia pada bulan Januari tahun 2017 yaitu rata-rata sebesar 12%. Sehingga dapat dihitung menggunakan rumus dibawah ini : (Wibowo,2022)

$$MPW = A \frac{(1+i)^n}{i(1+i)^n} - 1 \quad (2.12)$$

Keterangan:

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

A = Biaya tahunan (Rp)

i = Tingkat Diskonto atau Suku bunga (%)

n = Umur proyek (tahun)

Biaya siklus hidup (LCC) diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut: (Kossi,2018)

$$LCC = C + M_{pw} \quad (2.13)$$

Keterangan:

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

A = Biaya tahunan (Rp)

i = Tingkat Diskonto atau Suku bunga (%)

n = Umur proyek (tahun)

2.9.2 Capital Cost (Biaya Investasi)

Capital Cost untuk rancangan sistem PLTS Hybrid di Kantor Bupati Sidenreng Rappang adalah seluruh biaya untuk komponen sistem PLTS, biaya instalasi sistem PLTS Hybrid, dll. Yang termasuk kedalam komponen biaya sistem PLTS adalah pembelian panel dan inverter.

2.9.3 Biaya Operasi dan Perawatan (O&M Cost)

Biaya operasional dan perawatan tetap system adalah biaya tahunan yang sesuai dengan ukuran atau konfigurasi system pembangkit. Biaya ini digunakan untuk menghitung biaya modal

tahunan lainnya, yang juga mempengaruhi total biaya bersih sekarang dari tiap sistem. Hal ini mengacu pada operasional dan pemeliharaan PLTS yang umumnya sebesar 1-2% dari total biaya investasi. Biaya operasional dan pemeliharaan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$A = 1\% \times I_a \quad (2.14)$$

Keterangan:

A = Biaya Pemeliharaan (Rp)

I_a = Total Investasi Awal (Rp)

2.9.4 Nilai Sisa (Salvage)

Nilai sisa adalah nilai yang tersisa dalam komponen sistem daya pada akhir masa proyek. HOMER mengasumsikan penyusutan komponen linier, yang berarti bahwa nilai penyelamatan suatu komponen berbanding lurus dengan sisa hidupnya. Ini juga mengasumsikan bahwa nilai penyelamatan tergantung pada biaya penggantian daripada biaya modal awal. HOMER menghitung nilai sisa menggunakan persamaan berikut (Reza, 2021):

$$S = C_{rep} \left[\frac{R_{rem}}{R_{comp}} \right] \quad (2.15)$$

R_{rem}, sisa umur komponen pada akhir masa proyek, dicari dengan persamaan berikut:

$$R_{rem} = R_{comp} - (R_{proj} - R_{rep}) \quad (2.16)$$

R_{rep}, durasi biaya penggantian, dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R_{rep} = R_{comp} \times INT \left[\frac{R_{proj}}{R_{comp}} \right] \quad (2.17)$$

Keterangan:

C_{rep} = Biaya Penggantian (Rp)

R_{comp} = Umur Komponen (tahun)

R_{proj} = Umur Proyek (tahun)

INT = Fungsi mengembalikan jumlah integer dari bilangan real; misalnya, INT (6,843) = 6

2.9.5 Net Present Cost (NPC)

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

$$\text{NPC} = \text{Capital Cost} + \text{Replacement Cost} + \text{O\&M Cost} + \text{Fuel Cost} \\ - \text{Salvage} \quad (2.18)$$

Keterangan:

Capital Cost = Biaya Komponen (Rp)

Replacement Cost = Biaya Pergantian Komponen (Rp)

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

Fuel Cost = Biaya Bahan Bakar (Rp)

2.9.6 Faktor Diskonto

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

$$\text{DF} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (2.19)$$

Keterangan:

DF = Faktor Diskonto

I = Tingkat diskonto (%)

N = Periode dalam tahun (umur investasi)

2.9.7 Cost of Energy (Biaya Energi)

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

- a. Biaya awal (biaya modal) yang tinggi.
- b. Tidak ada biaya untuk bahan bakar.

- c. Biaya pemeliharaan dan operasional rendah.
- d. Biaya penggantian rendah (terutama hanya untuk baterai).

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

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

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.20)$$

Keterangan:

CRF = Faktor Pemulihan modal (Rp)

i = Tingkat Diskonto (%)

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

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

$$CoE = \frac{LCC + CRF}{A kWh} \quad (2.21)$$

Keterangan:

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

CRF = Faktor pemulihan modal

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

2.10 Studi Aspek Kelayakan

2.10.1 Net Present Value (NPV)

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

$$\sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - IA \quad (2.22)$$

Keterangan:

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

n = Umur investasi (tahun)

i = Suku bunga (%)

IA = Investasi Awal (Rp)

2.10.2 Internal Rate of Return (IRR)

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

$$IRR = ir \frac{NPV_r}{NPV_t - NPV_r} (it - ir) \quad (2.23)$$

Keterangan:

IRR = Internal Rate of Return (%)

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

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

ir = Suku bunga rendah (%)

it = Suku bunga tinggi (%)

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

2.10.3 Profitability Index (PI)

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

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t(1+i)^{-t}}{II} \quad (2.24)$$

Keterangan:

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

II = Investasi awal (Rp)

- n = Umur investasi (tahun)
 i = Suku bunga (%)

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

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

2.10.4 Pay Back Periode (PBP)

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

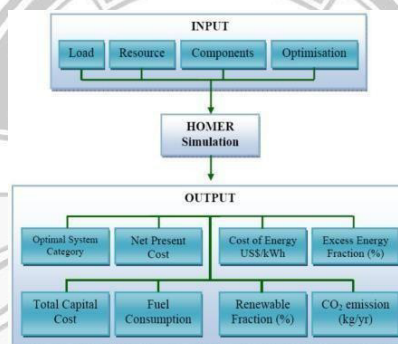
$$PBP = \frac{\text{Modal Investasi Awal}}{\text{Profit}} \quad (2.25)$$

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

2.11 Software HOMER Pro

HOMER merupakan sebuah software yang di buat dan dikembangkan di Amerika Serikat oleh perusahaan *The National Renewable Energi Laboratory* (NREL) dengan tujuan untuk mengoptimasi sistem pembangkit listrik, Output yang tersedia dalam software HOMER yaitu berupa *lifecycle cost*, estimasi kapasitas sistem, dan emisi gas rumah kaca. HOMER dapat membuat kronologi yang detail tentang optimasi suatu model yang mudah digunakan sesuai dengan proyek yang akan dibuat. Dalam pengerjaan proyek kecil HOMER dapat memberikan 2 faktor untuk hasil simulasi yaitu dalam segi teknis dan segi ekonomi. Untuk proyek yang lebih besar HOMER dapat menghasilkan output berupa biaya dan kelayakan untuk perangkat keras yang lebih rinci (Haryanto, 2018).

Software ini dapat mempermudah peneliti dalam melakukan analisis teknis dan ekonomi dalam proyek dengan jangka waktu yang panjang. Dalam segi teknis, peneliti dapat menganalisis kinerja sistem pembangkit listrik dan jumlah energi yang dihasilkan oleh sistem tersebut. Dalam aspek ekonomi, peneliti dapat mengetahui nilai *Net Present Cost* (NPV) berdasarkan nilai pengeluaran uang selama umur proyek dan nilai jual energi atau *Levelized Cost Of Energy* (LCOE) selama umur proyek. Hasil dari simulasi pada software ini akan merekomendasikan komponen yang paling efektif digunakan pada sistem pembangkit listrik baik dari aspek teknis maupun aspek ekonomi (Navies, 2021). Adapun input dan output dari software HOMER Pro dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.11 Input dan Output Simulasi HOMER Pro (Sumber: Navies, 2021)

Dalam software HOMER Pro, input data sangat diperlukan untuk digunakan sebagai dasar dalam melakukan simulasi. Beberapa data yang dibutuhkan sebagai input dalam HOMER Pro adalah sebagai berikut:

1. *Input load* (beban)

Berdasarkan bebannya, beban terbagi atas 2; beban termal dan beban listrik, beban listrik dan beban termal akan disajikan dalam bentuk per jam, per hari hingga perbulan yang bisa disesuaikan dengan profil beban di lokasi penelitian, dan grafik profil beban langsung ditampilkan pada parameter input ini. Untuk beban listrik, pada parameter input ini juga terdapat pemilihan electrical bus sesuai beban listrik di lokasi penelitian.

2. *Input Components* (Komponen)

Input komponen ini meliputi komponen apa saja yang digunakan, komponen-komponen ini meliputi baterai, photovoltaic, converter, boiler, genset, tanki hidrogen dan lain-lain. Pemilihan komponen ini disesuaikan dengan spesifikasi komponen dari aspek teknis dan ekonominya. Aspek teknis meliputi daya maksimum dari komponen dan performa sistem, sementara aspek ekonomi meliputi harga komponen, biaya perawatan dan operasional komponen tersebut.

3. *Input resources* (Sumber Daya)

Input resources ini meliputi potensi angin, bahan bakar, potensi air, potensi biomassa, potensi matahari, potensi suhu, potensi hidrogen dan lain-lain. Pemasukkan data dapat dilakukan secara manual yang didapatkan di luar software HOMER Pro, seperti bahan bakar minyak atau gas yang juga dapat ditentukan Lower Heating Value (LHV) sesuai spesifikasinya. Selain itu, pada parameter di HOMER Pro ini juga terdapat data yang berasal dari National Aeronautics and Space Administration (NASA) seperti data temperatur, Global Horizontal Irradiation (GHI), Direct Normal Irradiance (DNI), dan kecepatan angin. Parameter input ini digunakan untuk dianalisis besarnya output energi yang dihasilkan dari suatu pembangkit listrik.

4. *Input Ekonomi*

Parameter input ini mencakup seluruh parameter ekonomi di luar komponen sistem. Parameter ini meliputi nilai inflasi, suku bunga dan biaya komponen lain dari sistem pembangkit listrik.

Terdapat 3 tugas utama perangkat lunak HOMER, yaitu sebagai berikut (Haryanto, 2018):

1. Simulasi

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan membuat perhitungan keseimbangan energi selama 8.760 jam dalam setahun. Untuk setiap jam, HOMER membandingkan permintaan listrik dan panas

dalam setahun, dan menghitung aliran energi dari setiap komponen. Untuk sistem seperti baterai dan photovoltaic, HOMER juga mensimulasikan apakah photovoltaic dapat digunakan setiap jam atau tidak dan memutuskan dapat mengisi baterai atau tidak. HOMER melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap konfigurasi sistem yang akan digunakan. Setelah itu menentukan konfigurasi sistem apakah layak untuk digunakan atau tidak. Tujuannya untuk mengetahui konfigurasi tersebut dapat digunakan dalam kondisi yang telah ditentukan, dan memperkirakan biaya pemasangan dan pengoperasian sistem selama masa proyek.

2. Optimasi

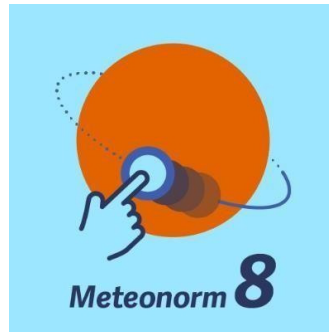
Setelah mensimulasikan semua konfigurasi sistem yang mungkin digunakan, HOMER menampilkan daftar konfigurasi yang telah disimulasikan berdasarkan biaya operasional dan pemasangan yang bertujuan untuk mengetahui sistem yang terbaik.

3. Analisis Sensitivitas

HOMER melakukan beberapa optimasi dengan berbagai asumsi input untuk mengetahui efek ketidakpastian dalam perubahan input seperti harga bahan bakar.

2.12 Software Meteonorm 8.1

Meteonorm 8.1 adalah perangkat lunak yang digunakan dalam analisis energi terbarukan dan perencanaan sistem energi. Ini menyediakan data cuaca global terkini dan historis, seperti suhu, sinar matahari, kecepatan angin, dan kelembaban relatif. Meteonorm memungkinkan pengguna untuk mengakses data cuaca dari ribuan stasiun cuaca di seluruh dunia. Perangkat lunak ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk perencanaan instalasi energi surya, angin, hidro, dan biomassa, serta studi energi dan efisiensi.



Gambar 2.12 Software Meteororm 8

Langkah-langkah kerja komputasi pada Meteororm 8 adalah sebagai berikut:

1. Menghitung dengan menggunakan data yang sudah ada dalam bentuk nilai rata-rata setiap bulan. Pada tahap ini, Meteororm akan mengambil data cuaca dan melakukan interpolasi berdasarkan data yang dimasukkan, seperti nama lokasi, koordinat lintang dan bujur, ketinggian, dan zona waktu.
2. Membagi data menjadi hitungan per jam. Data hasil interpolasi dari tahap sebelumnya dibagi menjadi sebaran data per jam selama sepuluh tahun. Tentunya, perhitungan ini didasarkan pada data yang telah ada sebelumnya.
3. Membuat data yang terdiri dari beberapa elemen yang membentuk iklim dan cuaca, seperti suhu udara, radiasi, kelembaban, dan lainnya. Sumber data Meteororm 8 berasal dari stasiun cuaca yang dimiliki oleh hampir semua negara di dunia. Dengan menghitung data secara komprehensif, Meteororm 8 menjadi bank data cuaca karena kelengkapannya. Beberapa sumber data cuaca yang menjadi acuan Meteororm 8 antara lain:
 - a) Typical Meteorological Year 2 (TMY2)
 - b) Typical Meteorological Year 3 (TMY3)
 - c) Terrestrial Reference Data Set (TRY)
 - d) Terrestrial Reference Data Set (TRY) V1.2

Dari stasiun-stasiun cuaca yang terintegrasi tersebut, Meteonorm 8 kemudian juga dapat membuat data prediksi di lokasi yang tidak memiliki stasiun cuaca. Lokasi dengan data jenis ini disebut interpolated city, yang dilengkapi dengan informasi asal stasiun cuaca yang menghasilkan prediksi data tersebut.

2.13 Software Google Earth

Beberapa pengertian dari google earth oleh Keyhole google earth adalah program globe virtual yang sebenarnya disebut earth viewer merupakan media yang menampilkan bentuk, letak, posisi, dengan tampilan 3d secara lebih detail dan nyata. Google earth adalah basis multimedia yang dapat di akses melalui jaringan internet melalui google untuk menemukan lokasi atau tempat yang dicari dengan tampilan 3d dilihat secara nyata dapat juga menambahkan atau menandai sebagai user titik koordinat yang diinginkan. Google earth juga memiliki data model elevasi digital (DEM) yang dikumpulkan oleh misi topografi radar ulang alik NASA. Ini bermaksud agar dapat melihat grand canyon, gedung, meseum dll dalam 3d, dari pada 2d di situs/program peta lainnya (Dayu, 2022).



Gambar 2.13 Google Earth Pro

2.14 Software Sketchup

Sketchup adalah sebuah program aplikasi komputer untuk membuat model 3 Dimensi (3-D) atas benda-benda fisik seperti gedung-gedung, peralatan rumah tangga, disain tata ruang dan sebagainya. Disain arsitektur merupakan salah satu aplikasi pemakaian SketchUp. Sebelum ada Google

Building Maker, SketchUp adalah satu-satunya program aplikasi yang dipakai untuk membuat bangunan 3-Dimensi yang dapat dilihat di Google Earth (Harrynov, 2009).

Sebetulnya sebelumnya sudah banyak program aplikasi pembuatan model 3-D seperti ini beredar, khususnya bagi kalangan profesional seperti Autodesk 3ds Max dan ArchiCAD, atau program aplikasi khusus lainnya. Tapi kesemua program aplikasi tersebut program aplikasi berbayar sedangkan SketchUp gratis tentunya menambah pertimbangan untuk memilih.

Yang membuat SketchUp berbeda dari produk lainnya adalah pembuatan model dengan SketchUp dilakukan dengan teknik dan alat-alat yang pemakaiannya sangat intuitif, hampir seperti menangani benda fisik nyata, tapi tanpa hambatan fisika. Misalnya apabila ingin meninggikan suatu benda agar sama dengan benda lain, cukup pilih permukaan yang ditinggikan kemudian tarik sampai ketinggiannya sama dengan benda lain.



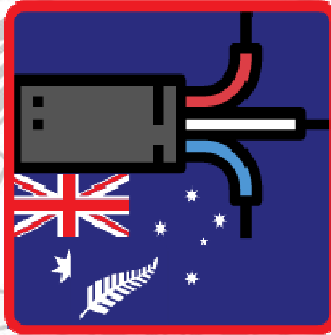
Gambar 2.14 SketchUp Pro 2022

2.15 Cable Size Calculator AS/NZS 3008

Cable Size Calculator merupakan sebuah *platform web* yang memudahkan perhitungan panjang kabel tanpa perlu melibatkan rumus-rumus rumit, grafik penurunan volt, atau nilai Zs yang kompleks. Kalkulator ini dirancang dengan antarmuka yang *user-friendly*, menyediakan semua informasi yang diperlukan yang telah diprogram sebelumnya untuk keperluan

teknik. Hanya dengan memasukkan kriteria desain yang diinginkan dalam kalkulator ukuran kabel berbasis *cloud* yang inovatif ini secara online.

Selain itu, kalkulator ini juga mampu menghitung penurunan tegangan pada jaringan kabel dengan cepat tanpa memerlukan perhitungan manual yang memakan waktu. Dengan memasukkan ukuran konduktor yang sesuai, kalkulator kabel akan secara akurat menghitung kerugian tegangan yang terjadi. Hal ini membantu untuk menentukan ukuran kabel minimum yang dibutuhkan berdasarkan daya dukung arus, penurunan tegangan, dan arus hubung singkat yang relevan.



Gambar 2.15 *Cable Size Calculator AS/NZS 3008*

Kalkulator kabel ini dapat menghitung persentase pengisian saluran dan probabilitas kemacetan untuk beberapa konduktor berdasarkan AS / NZS 3008. Dengan menggunakan web ini, maka dapat diketahui ukuran kabel yang sesuai untuk instalasi, dan memungkinkan pengguna untuk memasukkan opsi penurunan lebih lanjut berdasarkan metode pemasangan. Parameter dapat mencakup suhu sekitar, sirkuit lain dalam enklosur, jarak, kedalaman peletakan kabel, jarak kabel, atau faktor penurunan yang ditentukan pengguna.

Dalam menentukan ukuran kabel dalam perencanaan PLTS diperlukan beberapa inputan data pada Cable Size Calculator AS/NZS 3008 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Variabel Inputan Cable Size Calculator AS/NZS 3008

Variabel	
Phase	Menentukan pemilihan jenis kelistrikan seperti AC 3 phase, AC 1 phase, dan DC.
Voltage	Menentukan tegangan yang terdapat pada sistem.
Rating	Menentukan rating yang terdapat pada sistem dalam kW, kVA, A atau hp.
Max. Voltage Drop (%)	Penurunan tegangan maksimum yang diperbolehkan pada beban atau sistem.
Cable Distance	Panjang kabel dari sumber ke beban.
Cable Type	Menentukan tipe kabel kelistrikan untuk jenis kelistrikan DC, 1 phase dan 3 phase dan jenis kabel single core dan multi core
Insulation	Menentukan insulasi untuk kabel. Untuk kabel multi-inti, ini berlaku untuk konduktor aktif, netral dan pembumian. Untuk kabel inti tunggal, ini berlaku untuk konduktor aktif dan netral.
Instalation	Menentukan metode instalasi. Mempertimbangkan bagian terburuk dari pemasangan kabel. Yaitu bagian instalasi dengan peringkat arus terendah
Check Short Circuit Rating	Menentukan sistem proteksi perlindungan baik dari type perlindungan berupa MCB ataupun Generic dan menentukan rating dari proteksi yang dipilih.

2.16 Manajemen Risiko

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

Adapun langkah-langkah manajemen risiko sebagai berikut:

1. Identifikasi Risiko: Tim perencana harus mengidentifikasi risiko-risiko potensial melalui analisis mendalam terhadap aspek-aspek proyek atau kegiatan yang mungkin menghadirkan tantangan atau masalah. Risiko-risiko ini dapat mencakup berbagai bidang seperti teknis, keuangan, lingkungan, operasional, dan hukum/regulasi
2. Analisis Risiko: tim perencanaan menganalisis risiko-risiko yang telah diidentifikasi dan dianalisis untuk menilai dampaknya serta kemungkinan terjadinya. Dalam analisis risiko, penting untuk mempertimbangkan skala dampak, probabilitas terjadinya, dan waktu ketika risiko dapat terjadi. Hal ini membantu dalam memprioritaskan risiko dan menentukan tingkat risiko yang harus ditangani
3. Evaluasi Risiko: Tim perencana menganalisis risiko, risiko-risiko dievaluasi dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti tingkat risiko, ketersediaan sumber daya, dan potensi dampak. Evaluasi risiko membantu dalam menentukan tindakan yang perlu diambil untuk mengelola risiko tersebut.
4. Pengendalian Risiko: Tim perencana harus merancang langkah-langkah pengendalian dan mplementasikanya. Pengendalian risiko dapat meliputi menghindari risiko, mengurangi risiko, mentransfer risiko melalui asuransi atau perjanjian kontrak, atau menerima risiko dengan pemahaman dan persiapan yang memadai.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian perencanaan PLTS *Hybrid* ini dilakukan di Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang yang terletak di Jl. Harapan Baru, Batu Lappa, Kec. Watang Pulu, Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan, yang berdiri dalam kompleks perkantoran pemerintah kabupaten Sidenreng Rappang. Pada lokasi tersebut memiliki kordinat dengan Latitude -3.93340° dan Longitude 119.76931° . Kabupaten Sidenreng Rappang atau biasa dikenal dengan Kabupaten Sidrap, merupakan salah satu kabupaten di Propinsi Sulawesi Selatan yang terletak kira-kira 183 Km di sebelah Utara Kota Makassar (Ibukota Provinsi Sulawesi Selatan).



Gambar 3.1 Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang

Pada penelitian ini dilakukan selama periode 15 minggu dari retang bulan April hingga bulan Juli 2023. Rincian jadwal waktu (*time schedule*) untuk setiap tahapan kegiatan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Timeline Kegiatan

Jenis Kegiatan	Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4
Peninjauan Lokasi	■			
Survei Kebutuhan Energi Listrik	■			
Analisis Potensi Radiasi Matahari Dengan Software	■			
Perancangan Sistem PLTS <i>Hybrid</i>		■		
Survei Spesifikasi dan Harga Komponen		■		
Perencanaan Sistem Kontrol <i>Automatic Transfer Switch (ATS)</i>			■	
Analisis Pemodelan Sistem dan Simulasi PLTS <i>Hybrid</i>			■	
Analisis Teknis			■	■
Analisis Ekonomi dan Kelayakan			■	■
Menggambar <i>layout</i> perencanaan PLTS dalam bentuk 3 Dimensi				■
Manajemen Risiko				■
Penulisan Laporan	■	■	■	■

3.2 Alat dan Bahan

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

3.2.1 Alat

Alat pendukung yang digunakan terbagi menjadi 2 yaitu, perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) antara lain:

1. Laptop dan smartphone sebagai Human Machine Interface
2. Software Homer Pro digunakan untuk menganalisis aspek teknis dan keekonomian desain PLTS Hybrid.
3. Software PVsyst digunakan untuk menganalisis kinerja dari sistem PLTS *Hybrid*
4. Software SketchUp Pro digunakan untuk membuat model

visualisasi, rendering, dan dokumentasi proyek arsitektur, konstruksi, desain produk dan desain interior.

5. Microsoft Office Excel digunakan untuk mengolah data yang berkaitan dengan keekonomian dan kelayakan dari sistem PLTS hybrid serta untuk pembuatan tabel.
6. Software Microsoft Word digunakan dalam penyusunan laporan skripsi.
7. Software Meteonorm 8 digunakan untuk mengumpulkan dan menyediakan data cuaca global yang akurat untuk berbagai aplikasi.

3.2.2 Bahan

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

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

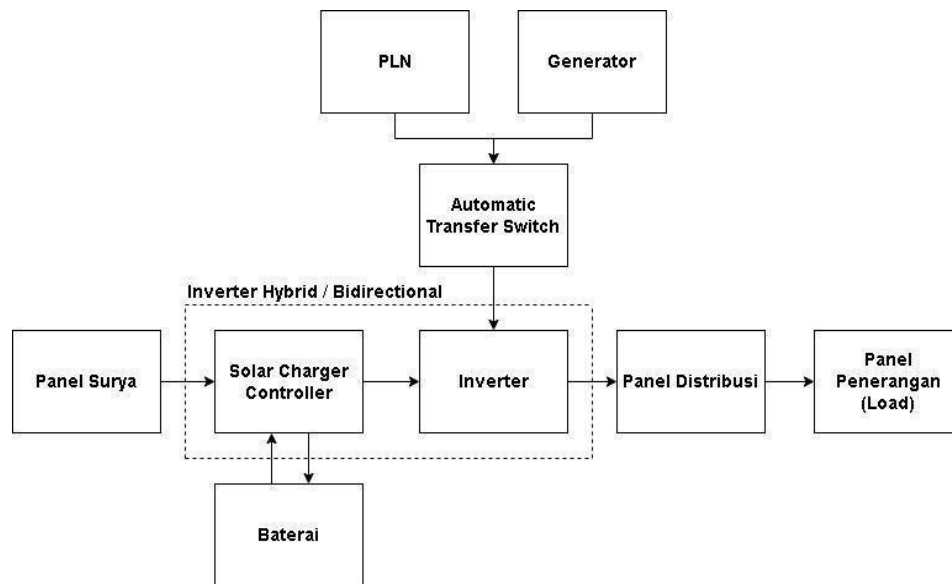
3.3 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian yang menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengumpulkan dan menganalisis data terkait dengan aspek-aspek tertentu dalam implementasi PLTS *Hybrid* seperti analisis performa energi, estimasi produksi energi dan evaluasi ekonomi dengan data numerik yang terukur. Pendekatan ini melibatkan pengumpulan data kuantitatif, analisis statistik, penggunaan alat atau perangkat lunak untuk pemodelan dan perhitungan serta pengumpulan sampel kebutuhan listrik.

Data yang terkumpul akan dianalisis secara objektif untuk mendapatkan hasil yang dapat diinterpretasikan. Hasil analisis ini akan digunakan untuk mengambil keputusan atau membuat rekomendasi terkait perencanaan PLTS hybrid dengan penambagan sistem ATS pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang.

3.4 Blok Sistem

Prinsip kerja sistem PLTS *Hybrid* dapat dilihat melalui gambar berikut, dimana pada penelitian ini bertujuan untuk mengadakan PLTS *Hybrid* pada Kantor Bupati Sidenreng Rappang dengan mengkombinasikan energi surya dan PLN yang dilengkapi dengan sistem ATS sehingga energi dapat tersalurkan dengan baik pada beban.



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

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

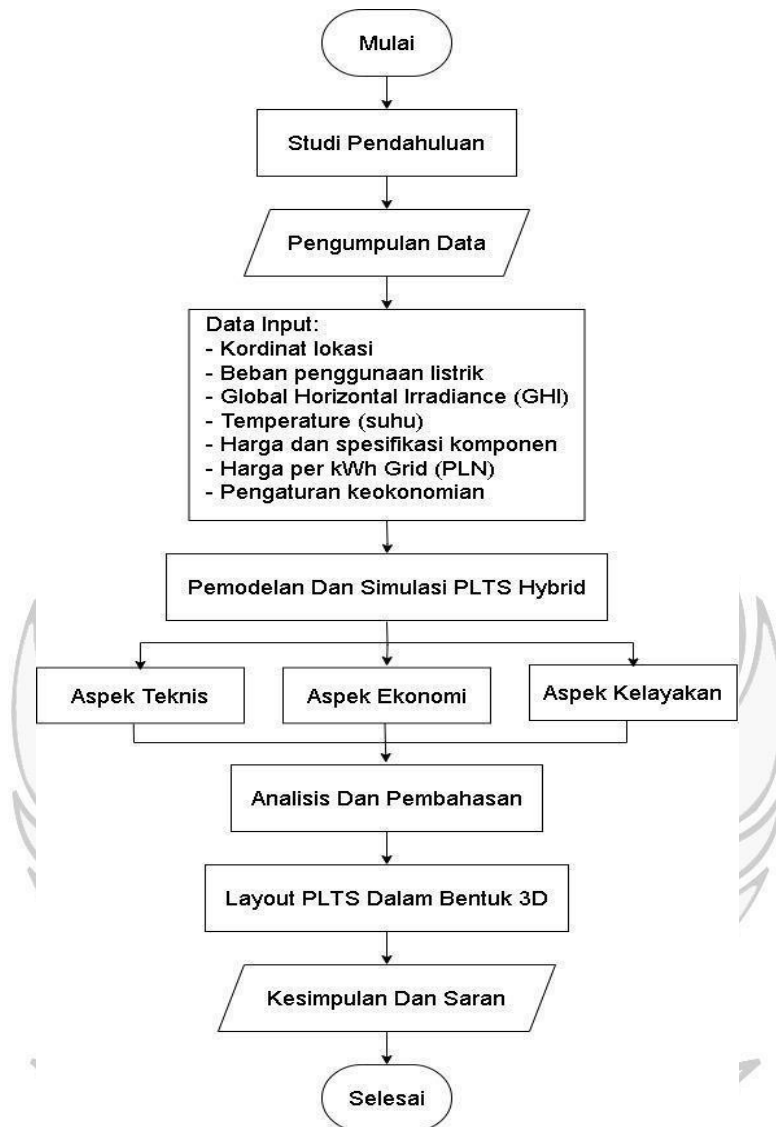
Sumber cadangan akan bersiap jika sewaktu-waktu energi yang diperoleh panel surya kurang dan tidak beroperasi. Sistem ATS kemudian akan memantau tegangan listrik dari PLN, pada saat kondisi malam hari atau pasokan listrik dari baterai sudah tidak memiliki cadangan energi dan pada sumber cadangan utama yaitu PLN terjadi pemadaman listrik, maka dengan cepat sistem ATS akan beralih secara otomatis ke pasokan listrik alternatif atau cadangan tambahan yaitu Generator yang akan membantu pemenuhan kebutuhan energi ke beban listrik.

Hal ini dapat memastikan bahwa pasokan listrik tetap terjaga dan risiko pemutusan daya dapat diminimalkan. Pada saat jaringan PLN sudah kembali normal sehingga dapat membantu PLTS mencukupi kebutuhan beban listrik, maka sistem ATS akan kembali mengalihkan pasokan listrik yang tadinya dari sumber cadangan tambahan menjadi ke sumber cadangan utama, kemudian akan diteruskan ke inverter dan ke beban listrik, begitupun seterusnya.

Dengan kombinasi ini, dapat menghemat tagihan listrik dan mengurangi ketergantungan pada PLN, serta dapat meningkatkan keandalan sistem PLTS *Hybrid* dengan memastikan bahwa pasokan listrik yang tersedia terus menerus selalu siap digunakan.

3.5 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian perencanaan PLTS *Hybrid* dengan penambahan sistem *Automatic Transfer Switch* pada gedung Kantor Bupati sidenreng Rappang terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan. Untuk mempermudah maka ditampilkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.6 Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan merupakan langkah awal dalam proses penelitian yang bertujuan untuk mengumpulkan informasi awal sebelum melakukan penelitian lanjutan dan mengidentifikasi masalah atau area penelitian sesuai dengan tema penelitian yang menjadi fokus dalam permasalahan yang akan teliti. Pada studi pendahuluan ini dilakukan tinjauan lokasi, bahwa lokasi penelitian ini berada pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang, Provinsi Sulawesi Selatan.

3.7 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian ini. Dalam pengumpulan data ini dilakukan dengan menggunakan beberapa metode seperti observasi dengan dilakukan pengamatan terhadap lokasi, metode dokumentasi dilakukan dengan menulis atau mengambil gambar di lapangan serta dilakukan studi pada beban penggunaan energi listrik di lokasi. Adapun data yang dikumpulkan yakni data primer dan data sekunder sebagai berikut.

3.7.1 Data Primer

Data primer dalam penelitian mengacu pada data yang dikumpulkan secara langsung di lapangan oleh peneliti dari orang atau sumber yang bersangkutan.

Tabel 3.2 Data primer yang dibutuhkan dan sumber data

No.	Data Yang Dibutuhkan	Sumber Data
1.	Sumber energi saat ini, kapasitas terpasang, jam operasi kantor bupati, dan tagihan listrik	Wawancara dengan karyawan kantor dan teknisi bagian kelistrikan serta melihat beberapa sampel tagihan listrik
2.	Profil beban yang mencakup konsumsi listrik bulanan dan rata-rata konsumsi harian pada panel penerangan kantor	Wawancara dengan teknisi bagian kelistrikan dan melihat beberapa sampel penggunaan daya
3.	Jumlah fasilitas seperti peralatan elektronik, ruangan, gedung dan jumlah pegawai atau pekerja	Wawancara dengan karyawan kantor dan teknisi bagian kelistrikan serta observasi langsung
4.	Kondisi lingkungan di sekitar gedung kantor, lahan perencanaan (atap/rooftop)	Observasi langsung di lokasi dan melakukan dokumentasi

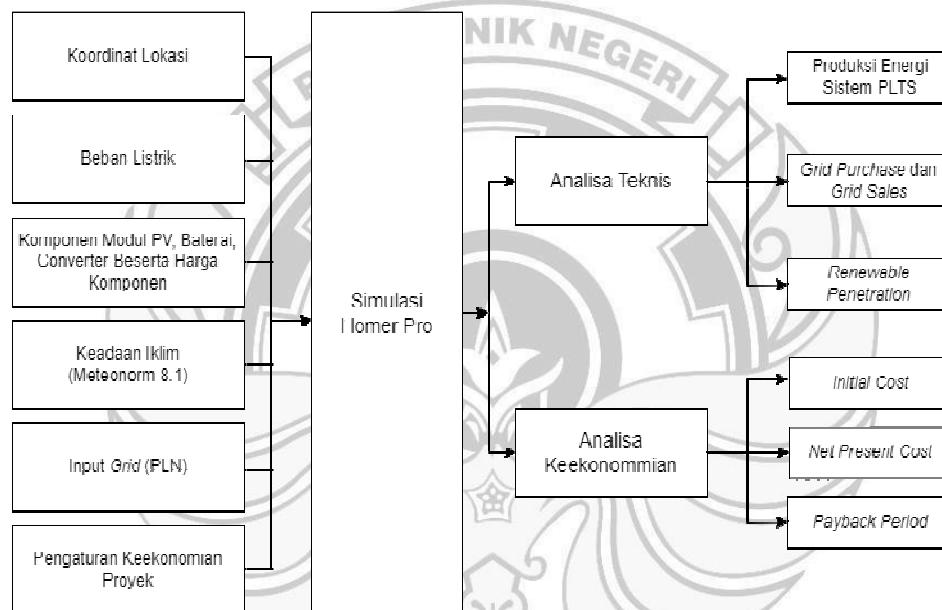
3.7.2 Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian mengacu pada data yang dikumpulkan secara tidak langsung atau sudah tersedia untuk tujuan penelitian.

Tabel 3.3 Data sekunder yang dibutuhkan dan sumber data

No.	Data Yang Dibutuhkan	Sumber Data
1.	Titik kordinat lokasi penelitian	Google Earth
2.	Potensi energi surya & keadaan iklim	Software Meteonorm 8.1
3.	Harga dan spesifikasi komponen	Internet & Marketplace

3.8 Skema Simulasi Menggunakan Software HOMER Pro Proses Perencanaan



Gambar 3.4 Skema Simulasi HOMER Pro

Skema proses perencanaan ini berisi tahapan dalam melakukan analisis konsumsi energi, analisis ekonomi, dan analisis kelayakan pada capstone project ini. Hal ini dimulai dengan melakukan input lokasi berdasarkan garis lintang (*latitude*) dan garis bujur (*longitude*) yang diperoleh dari google maps, kemudian memasukkan azimuth dan kemiringan pada modul PV yang dipasang. Setelah itu kita memasukkan beban listrik, dimana beban listrik yang kita masukkan adalah beban listrik pada panel penerangan yang ada pada Kantor Bupati Sidenreng Rappang.

Setelah memasukkan beban listrik, kita selanjutnya memasukkan komponen sesuai dengan spesifikasi yang akan digunakan pada capstone project ini, komponen yang dimaksud seperti jenis PV, inverter, dan baterai. Pada langkah ini bukan hanya spesifikasi komponen yang dimasukkan tapi beserta dengan harga komponen sesuai dengan yang ada di pasaran. Setelah melakukan input komponen, kita memasukkan lagi data iklim, seperti *Global Horizontal Irridation* (GHI) dan temperatur. Hal ini dimasukkan karna merupakan faktor yang mempengaruhi daya yang dibangkitkan pada sistem PLTS. Kemudian terakhir kita memasukkan input grid dalam hal ini kita menggunakan Tenaga dari PLN untuk menjadi tenaga cadangan ketika sistem PLTS tidak dapat lagi mengalirkan listrik ke beban.

3.8.1 Analisis Teknis

Pada analisis teknis yang dapat diperoleh pada skema proses di atas menggunakan aplikasi HOMER Pro ada 3 parameter diantaranya adalah Produksi Energi Sistem PLTS, dimana Produksi Energi Sistem PLTS ini adalah energi yang dibangkitkan oleh sistem PLTS yang telah di rancang perbulannya, setelah itu ada juga *Grid Purchase* dan *Grid Sales*, dimana *Grid Purchase* adalah jumlah energi yang disuplai dari PLN perbulannya sedangkan *Grid Sales* adalah jumlah energi yang yang dihasilkan oleh PLTS namun di ekspor ke PLN dikarenakan baterai tidak bisa lagi menampung kelebihan daya tersebut, sedangkan untuk paramater terakhir yaitu *Renewable Penetration*, dimana *Renewable Penetration* adalah persentase atau tingkat kontribusi sumber energi terbarukan dalam pasokan atau generasi energi total dalam sistem yang dibangun.

3.8.2 Analisis Ekonomi

Selanjutnya dilakukan analisis ekonomi dan kelayakan pada capstone project ini, dengan melakukan pendekatan menggunakan software HOMER Pro dengan memasukkan beberapa input-input seperti: Input Komponen sesuai dengan spesifikasi dan memasukkan harga serta pengaturan keekonomian proyek yang kemudian disimulasikan dengan

software HOMER Pro. Adapun output dari simulasi ini berupa ekonomi dan kelayakan.

Parameter analisis ekonomis pada proyek PLTS *Hybrid* ini terdiri dari: biaya *Operation and Maintenance* (O&M), *present value* dari biaya pemeliharaan dan operasional (M_{pw}), *Life Cycle Cost* (LCC), *Capital Recovery Factor* (CRF) dan *Cost of Energy* (CoE). Dimana nantinya hasil dari perhitungan ekonomi tersebut akan menjadi dasar untuk menganalisis suatu kelayakan proyek, seperti; umur proyek, suku bunga, biaya investasi dan biaya siklus hidup (*Life Cost*).

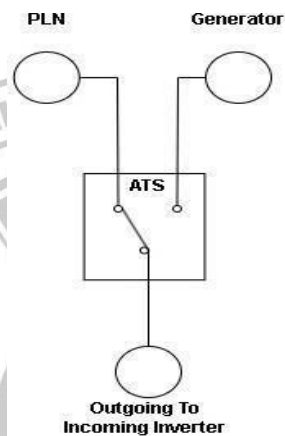
3.8.3 Analisis Kelayakan

Pada analisis kelayakan investasi Capstone Project PLTS *Hybrid* ini dapat ditentukan dari perhitungan NPV, IRR, PI, dan PBP. Dimana, nilai NPV sendiri dapat diperoleh dari hasil simulasi yang ada pada software dan nilai PI serta PBP dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan secara teoritis dengan input dalam perhitungan dapat dilihat pada simulasi yang telah dilakukan dan analisis kelayakan ini merupakan tahapan akhir dari penelitian ini, dimana pada tahap ini akan memberikan kesimpulan apakah sistem dalam penelitian ini layak untuk dibangun atau sebaliknya.

3.9 Perencanaan Sistem ATS

Pada perencanaan rangkaian kontrol, digunakan pendekatan yang melibatkan penggabungan komponen-komponen dari beberapa peralatan, seperti relay, kontaktor, dan peralatan lainnya untuk membentuk suatu sistem perpindahan catu daya berupa perangkat ATS yang dapat mengurangi efek *flicker*. Pada sistem ATS juga diperlukan komponen pengaman seperti MCB yang sesuai dengan perangkat ATS agar dapat menjamin keamanan dan aliran listrik pada sistem.

Dalam upaya untuk menghindari *flicker*, yang merupakan fluktuasi cepat dalam tegangan catu daya yang dapat mengganggu kinerja peralatan listrik. Berbagai langkah diambil dalam merancang rangkaian kontrol, dengan penggunaan komponen seperti relay dan kontaktor dapat memungkinkan pengaturan yang tepat dalam perpindahan, sehingga dapat mengurangi kemungkinan efek *flicker* yang timbul.



Gambar 3.5 Diagram Kontrol ATS

Berdasarkan gambar di atas dapat dijabarkan bahwa kontrol ATS dipasang diantara suplai daya PLN dengan suplai daya Generator yang terintegrasi menuju ke inputan inverter yang sama. Untuk mengontrol perpindahan kedua sumber energi tersebut, digunakan perangkat ATS yang bertugas untuk mengatur suplai dari kedua sumber energi tersebut.

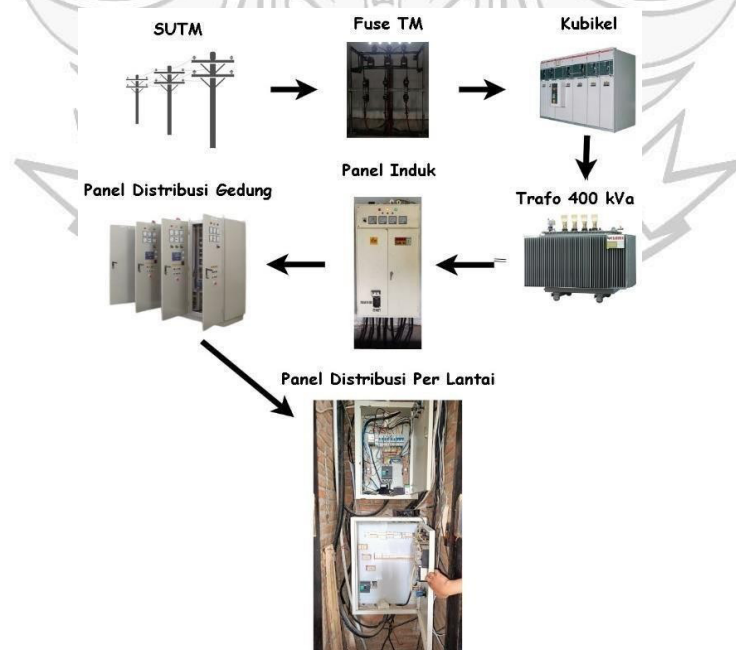
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Awal

Selama ini sistem kelistrikan Kantor Bupati Sidenreng Rappang dilayani oleh PT. PLN Persero yang menyuplai energi kurang lebih sebesar 25000-27000 kWh selama sebulan dan sekitar 800-900 kWh per harinya. Energi listrik sendiri kebanyakan digunakan ketika jam kerja dari pukul 08.00 – 17.00 WITA dan di malam hari digunakan untuk penerangan ataupun ada beberapa beban yang tidak dimatikan ketika jam pulang kantor seperti *air conditioner* (AC).

Gedung kantor Bupati Sidenreng Rappang memiliki daya terpasang sebesar 345.000 VA yang disuplai dari Trafo dengan kapasitas 400 kVA yang akan menyuplai kantor bupati serta gedung aula SKPD. Trafo terhubung dengan MDP (Main Distribution Panel) dan terhubung dengan SDP (Sub Distribution Panel) di tiap gedung dan lantainya, serta di tiap ruangan memiliki MCB tersendiri. Dalam SDP terdapat pembagian tegangan antara AC dan penerangan.



Gambar 4.1 Alur Grid PLN Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang

Pemakaian perhari khusus untuk penerangan di Kantor Bupati Sidrap sekitar 200 kWh. Golongan tarif di kantor Bupati Sidrap dikategorikan pada golongan P-2 dengan biaya sekitar 1.522,88 per kWh dengan ID pelanggan 325500161005. Data rekening pembayaran listrik di Kantor Bupati Sidrap pada beberapa bulan di tahun 2022 (7 bulan) dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Tagihan Pemakaian Listrik PLN Kantor Bupati Sidenreng Rappang

Bulan/Tahun	Daya (VA)	Pemakaian Listrik (kWh)	Tagihan PLN (Rp.)
Januari 2022	345.000	27.788	30.470.576
Juni 2022	345.000	21.204	23.251.189
Juli 2022	345.000	27.060	29.689.598
Agustus 2022	345.000	26.204	39.160.667
September 2022	345.000	26.832	40.223.074
November 2022	345.000	25.748	38.856.174
Desember 2022	345.000	25.360	37.959.058
Total		180.196	239.610.336

Sumber: Bagian Umum Kantor Bupati Sidenreng Rappang

Berdasarkan data biaya tagihan listrik yang dibayar oleh pemerintah Kabupaten Sidenreng Rappang di Kantor Bupati perbulannya cukup besar, maka dari itu dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai energi alternatif dan suplai tambahan, diharapkan dapat mengurangi biaya pemakaian listrik dari PLN perharinya.

4.2 Profil Beban Energi Listrik

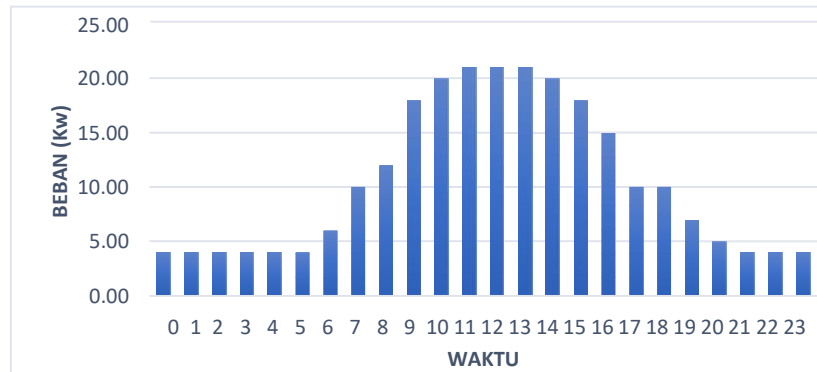
Beban harian pada Kantor Bupati Sidenreng Rappang adalah beban konsumsi kebutuhan energi listrik khusus penerangan yang terdiri dari beban Lampu, Komputer, CCTV, Kulkas, Printer, TV. Penggunaan beban energi dalam penelitian ini didasarkan pada estimasi kebutuhan energi penerangan selama 24 jam, dengan tujuan agar pemakaian beban penerangan di kantor bupati dapat terpenuhi sepanjang hari. Estimasi pemakaian beban penerangan di Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Estimasi Kebutuhan Daya Listrik Penerangan Selama 24 jam.

Bangunan	Nama Peralatan	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Waktu Pemakaian (h)	Konsumsi Energi Listrik (Wh)
Gedung 1	Lampu LED	78	24	1.872	12	22.464
	Komputer	32	50	1.600	8	12.800
	CCTV	10	12	120	24	2.880
	Kulkas	2	250	500	24	12.000
	Printer	12	30	360	2	720
	TV	6	75	450	5	2.250
Gedung 2	Lampu LED	84	30	2.520	24	60.480
	Komputer	4	50	200	8	1.600
	CCTV	10	12	120	24	2.880
	Kulkas	3	250	750	24	18.000
	Printer	5	30	150	2	300
	TV	3	75	225	5	1.125
Gedung 3	Lampu LED	78	24	1.872	12	22.464
	Komputer	32	50	1.600	8	12.800
	CCTV	10	12	120	24	2.880
	Kulkas	2	250	500	24	12.000
	Printer	12	30	360	2	720
	TV	4	75	300	5	1.500
Terminal Listrik				3.000	10	30.000
Total				13.619		219.863

Tabel 4.2 menunjukkan pemakaian energi listrik khusus penerangan yang sesuai kebutuhan dan jenis peralatan yang digunakan dalam satuan Watt Energi, dengan total pemakaian perharinya sebesar 219,863 kWh, selama satu bulan sebesar 6.816 kWh dan total pemakaian dalam setahun mencapai 81.789 kWh.

Pada profil beban harian khusus penerangan didefinisikan untuk menggambarkan pola konsumsi energi listrik setiap jamnya dalam satu hari dan dapat mempermudah dalam perencanaan sistem PLTS yang dapat dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar 4.2 berikut.

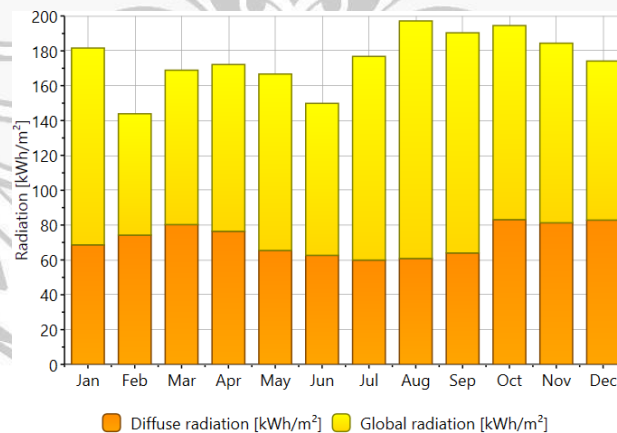


Gambar 4.2 Grafik Profil Beban Listrik Kantor Bupati Sidenreng Rappang

4.3 Data Iklim

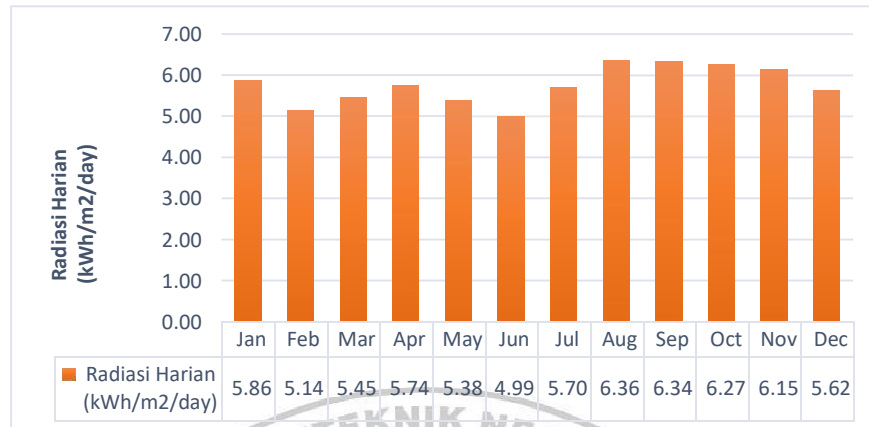
4.3.1 Data Intensitas Radiasi Matahari

Data penelitian intensitas radiasi matahari diperoleh dari sumber data Meteorologi 8.1 dengan memilih koordinat objek penelitian di Kantor Bupati Sidenreng Rappang. Rata-rata radiasi matahari yang diperoleh per bulannya dalam setahun dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4.3 Data Intensitas Radiasi Matahari Perbulannya

Pada Gambar 4.3 menunjukkan data total radiasi matahari di Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang tertinggi dalam sebulannya itu ada pada bulan Agustus dengan nilai 208 kWh/m² dan untuk total radiasi terendah ada pada bulan Februari 142 kWh/m².

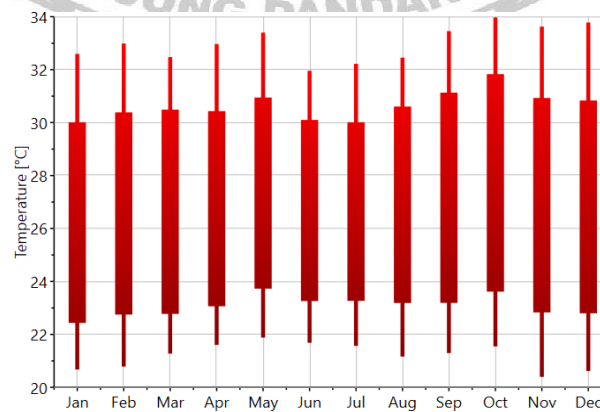


Gambar 4.4 Data Intensitas Radiasi Matahari Perharinya

Pada Gambar 4.4 menunjukkan radiasi matahari di Kantor Bupati Sidenreng Rappang yang beragam sekitar antara 4 sampai 6 kWh/m²/day. Untuk radiasi matahari tertinggi terdapat pada bulan Agustus yaitu sebesar 6,36 kWh/m²/day dan untuk radiasi terendah pada bulan Juni yaitu sebesar 4,99 kWh/m²/day. Dimana diperoleh rata-rata radiasi matahari yang ada pada Kantor Bupati Sidenreng Rappang yaitu sebesar 5,8 kWh/m²/day.

4.3.2 Data Temperatur

Data penelitian suhu diperoleh dari sumber data Meteorologi 8.1 dengan memilih koordinat objek penelitian di Kantor Bupati Sidenreng Rappang. Adapun nilai rata-rata temperatur yang diperoleh perbulannya dalam setahun dapat dilihat pada gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4.5 Data Temperatur

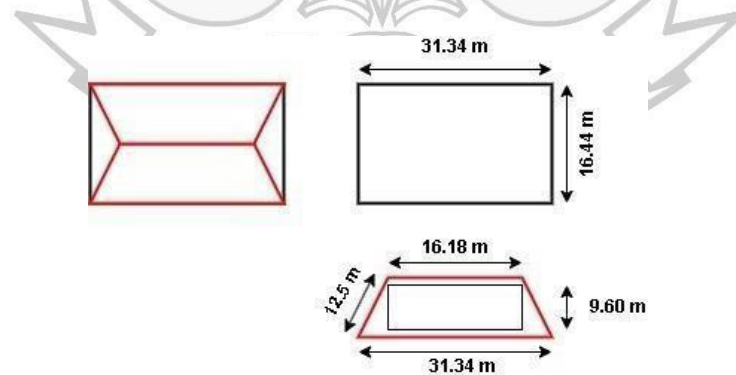
Pada Gambar 4.5 menunjukkan temperatur di Kantor Bupati Sidenreng Rappang tertinggi pada siang hari dapat mencapai 34°C pada bulan Oktober dan untuk temperatur terendah sebesar $31,9^{\circ}\text{C}$ pada bulan Juni. Sehingga untuk rata-rata temperaturnya didapatkan nilai $30,3^{\circ}\text{C}$.

4.4 Menentukan Lokasi Daerah Perencanaan PLTS Hybrid

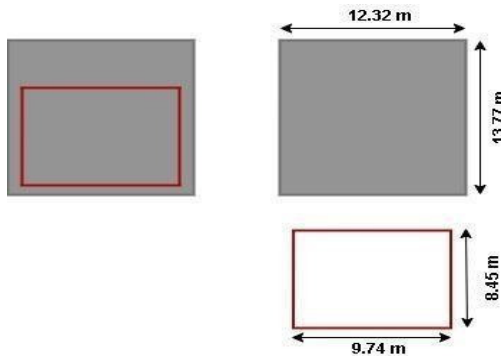
Berdasarkan observasi yang peneliti lakukan, lokasi perencanaan PLTS Hbyrid ini memanfaatkan lahan atap atau *rooftop* pada Gedung Kantor Bupati yang berada di kompleks Pemerintahan Kabupaten Sidenreng Rappang (Sidrap). Kantor Bupati memiliki letak yang menghadap ke arah Utara memiliki 3 gedung yang terhubung (gesung timur, tengah, barat) dan tiap gedung memiliki 3 lantai serta total 18 ruangan dengan jumlah total pekerja sebanyak 230 orang (100 PNS dan 130 Tenaga Kontrak). Kantor Bupati memiliki luas bangunan sebesar 1422 m^2 dengan luas tanah 2990 m^2 .

Letak gedung kantor berada ditengah dari kompleks perkantoran yang memiliki kondisi lingkungan tidak berdebu karena intensitas kendaraan yang tidak terlalu ramai, serta tidak ada bangunan atau tumbuhan disekitar gedung kantor yang dapat menyebabkan bayangan (*shading*).

Adapun gambar lahan atap dan rooftop dari Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang yang tersedia, sebagai berikut.



Gambar 4.6 Ukuran Atap Gedung



Gambar 4.7 Ukuran Rooftop

Bentuk atap kantor Bupati Sidenreng Rappang memiliki bentuk miring dengan ujung lancip dibagian gedung utama dan sedikit miring di gedung kiri dan kanan serta memiliki sedikit bagian rooftop. Atap tersusun dari genteng keramik yang terbuat dari tanah liat dan memiliki rangka atap dari balok kayu. Luas atap gedung kantor bupati yang dapat dimanfaatkan sekitar 155 m^2 untuk atap pada bangunan gedung kanan dan gedung kiri. Sementara untuk luas rooftop gedung tengah yang dapat dimanfaatkan agar terhindar dari *shading* yaitu sekitar 79 m^2 .

4.5 Perhitungan Kapasitas Komponen PLTS

4.5.1 Menghitung Luas *Array* Panel Surya

Berdasarkan data beban harian khusus penerangan di Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang didapatkan sebesar $219,863 \text{ kWh}$, sehingga kapasitas yang akan dibangkitkan sebesar:

$$\begin{aligned}
 E_L &= 100\% \times \text{Total konsumsi energi} \\
 &= 100\% \times 219,863 \\
 &= 219,863 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Panel surya dapat bekerja optimal pada suhu standarnya yaitu sebesar 25°C . Berdasarkan data dari Meteonom 8.1 (2016-2021) pada wilayah Watang Pulu Kabupaten Sidenreng Rappang, suhu rata-rata paling besar sekitar 34°C , sehingga:

$$\begin{aligned}
 \text{Kenaikan temperatur} &= \text{Suhu rata-rata tertinggi} - \text{Suhu standar} \\
 &= 30,3^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} \\
 &= 5,3^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

Dengan adanya kenaikan temperatur sebesar $5,3^{\circ}\text{C}$ dari suhu standar panel ^{surya}, akan terjadi pengurangan daya yang dihasilkan oleh panel surya, untuk jenis panel surya yang digunakan pada perencanaan ini setiap kenaikan suhu 1°C (dari 25°C) mengalami penurunan daya sebesar $0,35\%$. Sehingga daya yang dapat dibangkitkan panel surya dengan mempertimbangkan faktor temperatur adalah dengan menggunakan beberapa persamaan berikut (Hajir, 2021):

$$\begin{aligned}
 P_{\text{saat } \Delta t} &= \eta P_{\text{max}} \times P_{\text{mpp}} \times \Delta t \\
 &= 0,35\% \times 550\text{W} \times 5,3^{\circ}\text{C} \\
 &= 10,2 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Dengan mengetahui Δt , maka dapat diketahui keluaran maksimal ketika menggunakan panel surya dengan kapasitas 550 Wp .

$$\begin{aligned}
 P_{\text{max } t'} &= P_{\text{max}} - P_{\text{saat } \Delta t} \\
 &= 550 \text{ W} - 10,2 \text{ W} \\
 &= 539,8 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung faktor koreksi temperatur dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{KT}} &= \frac{P_{\text{max } t'}}{P_{\text{max}}} \\
 &= \frac{539,8}{550} = 0,98
 \end{aligned}$$

Luas array dalam perencanaan panel surya di atap gedung kantor bupati dipengaruhi oleh beberapa faktor dari efisiensi panel (η_{PV}) sebesar $21,5\%$, efisiensi inverter + Baterai, sehingga (η_{out}) sebesar $97,4\%$, nilai Insolasi Matahari sebesar $5,8 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ yang didapatkan dari *data source* *Meteonom 8.1 (2016-2021)*. Sehingga dapat disubstitusi kedalam Persamaan (2.1) berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{PV area} &= \frac{EL}{G_{av} \times \eta_{PV} \times FKT \times \eta_{out}} \\
 &= \frac{219,863 \text{ kWh/hari}}{5,8 \frac{\text{kWh}}{\text{hari}} / \text{m}^2 \times 0,215 \times 0,98 \times 0,974} \\
 &= 184 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan, diperoleh PV area sebesar 184 m². Berdasarkan hasil observasi lapangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa luas atap Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang lebih besar dari ukuran tersebut. Oleh karena itu, secara teknis penerapan panel surya pada gedung kantor tersebut layak dilakukan.

4.5.2 Menghitung Daya Keluaran dan Jumlah Panel Surya

Dengan mengetahui luas atau area *array* dan efisiensi panel, maka dapat diketahui daya maksimal yang dapat dibangkitkan panel surya dengan nilai *Peak Sun Insulation* (PSI) di Indonesia sebesar 1000 W/m². Sehingga dapat menggunakan Persamaan (2.2):

$$\begin{aligned}
 P_{\text{wattpeak}} &= \text{Luas Array} \times \text{PSI} \times \eta_{PV} \\
 &= 184 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2 \times 0,215 \\
 &= 39.560 \text{ Wp atau } 39,560 \text{ kWp}
 \end{aligned}$$

Panel surya yang digunakan dalam perencanaan PLTS *Hybrid* ini berkapasitas 550 Wp, sehingga berdasarkan kapasitas panel tersebut maka untuk mengetahui jumlah panel yang akan digunakan dapat menggunakan Persamaan (2.3):

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah panel} &= \frac{P_{\text{wattpeak}}}{P_{\text{max}}} \\
 &= \frac{39560}{550} \\
 &= 71,92 = 72 \text{ buah panel surya}
 \end{aligned}$$

4.5.3 Penyusunan *Array* Panel Surya

Dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga surya, penting untuk merancang susunan *array* modul panel surya dengan mempertimbangkan tegangan kerja yang diinginkan serta batasan luas atap pada Gedung

Kantor Bupati Sidrap. *Array* pada PLTS merupakan susunan atau kumpulan dari beberapa panel surya yang terhubung secara seri atau paralel.

Penyusunan *array* pada PLTS dapat meningkatkan tegangan dan daya total yang dihasilkan sehingga memungkinkan penggunaan kabel dengan ukuran yang lebih kecil serta beban listrik dapat didistribusikan secara seimbang di seluruh *array*. Berikut adalah susunan seri dan paralel modul surya dalam setiap *array* yang akan mendapatkan tegangan, arus dan daya.



Gambar 4.8 Array Panel Surya

Berdasarkan perencanaan penyusunan *array* PLTS pada Gedung Kantor Bupati terdapat total 72 unit PV, memiliki 4 *array* (kelompok) yang masing masing *array* memiliki 18 buah panel surya dengan 6 disusun secara seri dan 3 disusun paralel. Pada spesifikasi panel surya terdapat nilai V_{mp} dan I_{mp} yang nantinya akan menghasilkan V_{mpp} , I_{mpp} dan P_{mpp} pada setiap *array* dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} V_{mpp} &= V_{mp} \times \text{Jumlah Seri} \\ &= 41,95 \text{ V} \times 6 \\ &= 251,7 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{mpp} &= I_{mp} \times \text{Jumlah Paralel} \\ &= 13,12 \text{ A} \times 3 \\ &= 39,36 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{mpp} &= V_{mpp} \times I_{mpp} \\
 &= 251,7 \text{ V} \times 39,36 \text{ A} \\
 &= 9.907 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *array* yang terpasang pada Gedung Kantor Bupati Sidrap, terdapat 4 *array* dengan masing-masing *array* memiliki V_{mpp} sebesar 251,7 Volt dan I_{mpp} sebesar 39,36 Ampere, sehingga daya setiap *array* sebesar 9.907 Watt. Daya total PLTS yang akan dibangkitkan adalah $9.907 \text{ Watt} \times 4 \text{ array} = 39.628 \text{ Watt}$ atau 39,628 kWp.

4.5.4 Menghitung Kapasitas Baterai

Penggunaan baterai pada sistem PLTS ini sangat terbatas karena modul panel surya akan mendapatkan cadangan suplai energi selain dari baterai yaitu dari jaringan PLN ketika tidak menghasilkan energi. Namun, penggunaan baterai menjadi sangat signifikan yaitu saat energi yang dihasilkan panel surya lebih rendah dari kebutuhan beban pada waktu itu sehingga baterai yang akan mensuplai beban. Penggunaan baterai juga sangat penting pada saat pemadaman pasokan listrik dari PLN serta untuk menyimpan kelebihan energi yang dihasilkan oleh panel surya.

Pada perencanaan PLTS ini menggunakan baterai dengan jenis *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA). Dalam tahapan perencanaan jumlah hari otonomi yaitu 1 hari, tegangan sistem sebesar 48 volt dan untuk menjaga usia pakai baterai maka DoD ditetapkan sebesar 80%. Energi yang akan dibangkitkan pada malam hari dengan rata-rata pengeluaran sebesar 53.000 Wh. Adapun persamaan untuk menghitung kapasitas baterai yang diperlukan dengan menggunakan Persamaan (2.6):

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{EL \times N}{V_s \times \text{DoD} \times \eta} \\
 &= \frac{53000 \times 1}{48 \times 0,8 \times 0,95} \\
 &= 1452,85 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

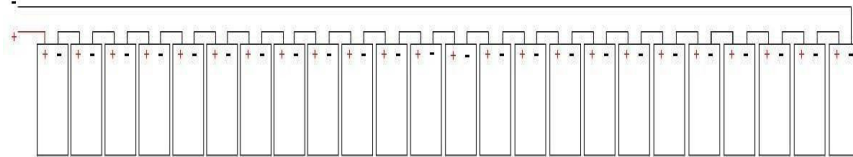
Penggunaan baterai menggunakan baterai jenis VRLA dengan tegangan 2 volt dengan kapasitas sebesar 1500 Ah. Dapat diketahui banyaknya baterai yang disusun seri maupun paralel untuk mendapatkan tegangan sistem sebesar 48 volt dan kapasitas 1452,85 Ah dengan menggunakan Persamaan (2.7) dan (2.8):

$$\begin{aligned} \text{Baterai seri} &= \frac{\text{Tegangan kerja Sistem (Vdc)}}{\text{Tegangan kerja unit baterai (Vdc)}} \\ &= \frac{48 \text{ V}}{2 \text{ V}} \\ &= 24 \text{ buah seri} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Baterai paralel} &= \frac{\text{Kapasitas yang dibutuhkan}}{\text{Kapasitas baterai}} \\ &= \frac{1452,85 \text{ Ah}}{1500 \text{ Ah}} \\ &= 0,968 \text{ atau } 1 \text{ buah paralel} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Baterai} &= \text{Baterai seri} \times \text{Baterai paralel} \\ &= 24 \times 1 = 24 \text{ buah baterai} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan baterai yang dibutuhkan dalam perencanaan PLTS *Hybrid* pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang sebanyak 24 buah baterai yang disusun 24 seri dan 1 paralel sehingga dapat menghasilkan tegangan sistem 48 volt dan kapasitas sebesar 1500 Ah. Adapun susunan dari rangkaian baterai bank dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Susuan Baterai

4.5.5 Kapasitas *Solar Charger Controller*

Setelah mengetahui daya dan tegangan setiap *array*, langkah selanjutnya adalah menentukan kapasitas *Solar Charger Controller* (SCC) dengan menggunakan *safety factor* sebesar 1,25 sesuai dengan

yang telah ditetapkan. Berikut adalah Persamaan (2.5) yang digunakan untuk menghitung kapasitas SCC:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas SCC} &= \frac{P_{mpp} \times \text{safety factor}}{V_{mpp}} \\ &= \frac{9.907 \text{ W} \times 1,25}{251,7 \text{ V}} \\ &= 49,2 \text{ A atau } 50 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

4.5.6 Kapasitas Inverter

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

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Inverter} &= P_{mpp} \times \text{Safety factor} \\ &= 9.907 \text{ W} \times 1,25 \\ &= 12.384 \text{ Watt} \end{aligned}$$

4.5.7 Energi Yang Dihasilkan PLTS

Hasil keluaran maksimum dari panel surya dapat ditentukan berdasarkan rating kapasitas panel surya yang terpasang. Pada PLTS hybrid yang direncanakan di Gedung Kantor Bupati Sidrap, energi input dari panel surya yang terpasang dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.9) berikut:

$$\begin{aligned} P_i &= N_{\text{panel}} \times P_{\text{max}} \\ &= 72 \times 539,8 \text{ Watt} \\ &= 38.865,6 \text{ Watt atau } 38,865 \text{ kW} \end{aligned}$$

Energi yang dihsilkan oleh panel surya sangat dipengaruhi oleh tingkat insolasi matahari yang ada serta lama penyinaran efektif matahari. Setiap harinya, rata-rata tingkat GHI di wilayah Kantor Bupati Sidrap sebesar 5,8 kWh/m² dan untuk rata-rata durasi penyinaran efektif matahari di wilayah Sulawesi Selatan berkisar 5-6 jam per hari tergantung faktor cuaca dan musim. Dengan demikian, energi yang

dihasilkan oleh PLTS selama satu hari dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.10):

$$\begin{aligned} E_{\text{out}} &= P_i \times \text{durasi penyinaran efektif matahari} \\ &= 38,865 \text{ kW} \times 5 \text{ jam} \\ &= 194,3 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan energi yang dihasilkan selama satu hari dengan menggunakan perhitungan, selanjutnya dapat dihitung energi yang dihasilkan selama satu tahun dengan menggunakan Persamaan (2.11) berikut:

$$\begin{aligned} E_{\text{out tahunan}} &= E_{\text{out}} \times \text{jumlah hari selama satu tahun} \\ &= 194,3 \text{ kWh} \times 365 \text{ hari} \\ &= 70.919,5 \text{ kWh} \end{aligned}$$

4.6 Menentukan Komponen

Kemudian dilakukan pemilihan komponen utama pada penelitian ini, yaitu panel surya, inverter, SCC, dan baterai untuk desain sistem PLTS Hybrid yang akan dirancang. Pemilihan komponen yang akan dipilih disesuaikan dengan profil beban energi listrik. Dalam menentukan komponen tersebut juga akan memasukkan harga yang sesuai dengan harga komponen aslinya. Berikut ini merupakan komponen utama sistem PLTH yang akan dirancang:

4.6.1 Panel Surya

Modul surya yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jenis modul surya *Monocrystalline*. Karena jenis modul surya ini memiliki jenis efisiensi yang baik dibandingkan dengan modul surya lain. Penelitian ini menggunakan panel surya LONGI Solar. Adapun Spesifikasi panel surya dapat dilihat pada Tabel 4.3.



Gambar 4.10 Panel Surya LONGI-Mono 550 Wp

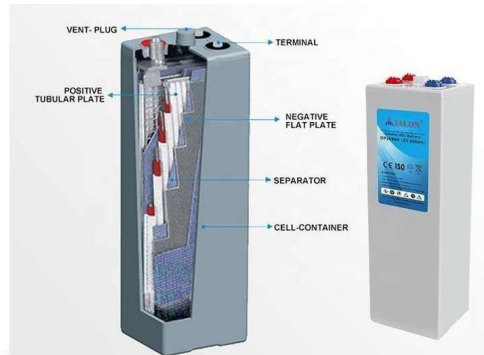
Tabel 4.3 Spesifikasi Panel LONGI-Mono 550 Wp

Jenis	Keterangan	
Module Type	LR5-J2HPH-550M	
	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	550Wp	410,7Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41,95V	39,06V
Maximum Power Current (Imp)	13,12A	10,52A
Open-Circuit Voltage (Voc)	49,80V	46,69V
Short-Circuit Current (Isc)	13,96A	11,31A
Module Efficiency STC (%)	21.5%	
Operating Temperature (°C)	-40 °C -+85 °C	
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)	
Maximum Series fuse rating	25A	
Power Tolerance	0-+5W%	
Temperature Coefficient of Pmax	-0.350%/°C	
Temperature Coefficient of Voc	-0.270%/°C	
Temperature Coefficient of Isc	-0.048%/°C	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2 °C	
Lifetime	25 Years	

4.6.2 Baterai

Baterai yang digunakan dalam desain sistem PLTS *Hybrid* ini adalah merek CS Power. Jenis baterai ini diakui sebagai baterai yang dapat diandalkan dan berkualitas dalam skala yang besar. Baterai ini dirancang dengan gel teknologi. Masa hidup baterai CS Power ini hingga 20-25 tahun dan sesuai standart international seperti IEC60896-21/22.

Adapun spesifikasi baterai yang digunakan pada perencanaan ini dapat dilihat pada Tabel 4.14.



Gambar 4.11 Baterai 2V 12 OpzV1500

Tabel 4.4 Spesifikasi Baterai 2V 12 OpzV1500

Jenis	Keterangan
Merek dan Model	Tubular Gel Battery / 12 OpzV1500
Nominal Voltage	2V
Capacity	1500 Ah@ 10hr to 1.80V/Cell
Dimension	Length 275 ± 3 mm (10.8 Inches) Width 210 ± 3 mm (8.27 Inches) Height 796 ± 3 mm (31.3 Inches) Height (With Terminal) 831 ± 3 mm
Approx Weight	115.0 Kg (254 lbs)
Container Material	ABS
Rated Capacity	1500Ah/150A (10hr, 1.80V, 20°C/68°F)
Max. Discharge Current	12000A (5s)
Internal Resistance	Approx 0.3 mΩ
Operating Temp. Range	Discharge : -20~55°C (-4~131°F) Charge : 0~40°C (32~104°F) Storage : -20~50°C (-4~122°F)
Cycle Use	Initial Charging Current less than 300A Voltage 2.40V~2.50V at 20°C(68°F) Temp. Coefficient -5mV/°C.
Standby Use	No limiton Initial Charging Current Voltage 2.25V~2.30V at 20°C(68°F) Temp. Coefficient -3mV/°C.
Self Discharge	<2% pre month @ 20°C(68°F).
Design Floating Life @ 25°C	25 Years

4.6.3 Inverter

Inverter yang digunakan dalam desain penelitian sistem PLTS *Hybrid* ini adalah Inverter Deye SUN-12K-SG04LP3-EU. Dimana keunggulan dari inverter ini memiliki 2 MPPT yang setiap MPPT *Tracker* dapat menangani hingga tiga *string* dan inverter ini dapat dihubungkan ke sistem pemantau dan kontrol melalui aplikasi atau perangkat lainnya yang telah tersedia. Dalam operasionalnya, inverter ini memiliki perlindungan terhadap lonjakan tegangan, arus pendek, temperatur dan dilengkapi sistem pendingin.



Gambar 4.12 Inverter Deye SUN-12K-SG04LP3-EU

Tabel 4.5 Spesifikasi Inverter Deye SUN-12K-SG04LP3-EU

Jenis	Keterangan
Model	SUN-12K-SG04LP3_EU
Battery Input Data	
Battery Type	Lead-acid or Li_Ion
Battery Voltage Range (V)	40~60V
Max. Charging Current (A)	240A
Max. Discharging Current (A)	240A
Charging Curve	3 Stages / Equalization
External Temperature Sensor	Yes
Charging Strategy for Li-Ion Battery	Self-adaption to BMS
PV String Input Data	
Max. DC Input Power (W)	15600W
Rated PV Input Voltage (V)	550V (160V~800V)

MPPT Range (V)	200V-650V
Start-up Voltage (V)	160V
PV Input Current (A)	26+13
No. of MPPT Trackers	2
No. of Strings Per MPPT Tracker	2+1
AC Output Data	
Rated AC Output and UPS Power (W)	12000W
Max. AC Output Power (W)	132000W
Peak Power (Off grid)	2 times of rated power , 10 s
AC Output Rated Current (A)	18.2/17.4A
Max. AC Current (A)	27A/27.3/26/1A
Max. Countinous AC Passthrough (A)	45A
Output Frequency and Voltage	50/60 Hz;3L/N/PE,220/380,230/400Vac
Grid Type	Three Phase
DC injection current (A)	THD<3% (Linear load<1.5%)
Power Factor	0.8 leading to 0.8 langging
Effeciency	
Max.Effeciency	97.60%
Euro Effeciency	97.00%
MPPT Effeciency	99.90%
General Data	
Operating Temperature Range	-40~60°C, >45°C Derating
Cooling	Smart Cooling
Protection Degree	IP65
Warranty	5 Years (10 Years Optional)

4.6.4 Pengkabelan

Pemilihan pengkabelan pada perencanaan PLTS sangat penting untuk menjamin kelancaran dan keandalan sistem PLTS. Dengan menggunakan kabel yang tepat akan memastikan transmisi listrik dari panel surya hingga ke beban berjalan dengan efisien tanpa terjadi kerugian energi yang signifikan. Adapun jenis dan ukuran kabel yang digunakan pada perencanaan ini menggunakan kalkulator kabel online untuk memudahkan, yang dapat dijabarkan di bawah ini:

1. Panel surya terhubung ke inverter

Pada pengkabelan ini, digunakan standar New Zealand Conditions dengan tegangan panel surya sebesar 251,7 V dan arus 39,36 A. Penurunan tegangan dipilih sebesar 3% untuk memenuhi batas yang diizinkan oleh spesifikasi peralatan. Kabel jenis PVC V-65 Standart 75° dipilih untuk instalasi dengan panjang sekitar 40 m yang terpapar langsung panas matahari, dengan sistem proteksi MCB. Dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut.

Gambar 4.13 Inputan Kabel Panel Surya Terhubung ke Inverter

Load	Current rating	Voltage drop	Active Earth Size	Current Rating	Vol. Drop	MCB Rating	Earth Fault Rating
Load current: 39 A	Rated current: 43 A Table 4, col. 12	Voltage drop: 0.3%, 1.2 V	1	2.5	9	5.6	40
Cable	Operating temp.: 68°C Max. operating temp.: 75°C	Voltage at load: 334.4 V Max. distance: 87 m for 3%	1.5	2.5	11	3.8	40
Live cable: 16 mm ²	Impedance -live and neutral Resistance per cable 75°C, Table 37, col 4: 1.47 Ω/km Impedance per cable: 1.47 Ω/km	Impedance -earth Resistance per cable 75°C, Table 37, col 4: 4.01 Ω/km Impedance per cable: 4.01 Ω/km	2.5	2.5	15	2.3	40
Neutral cable: 16 mm ²			4	2.5	19	1.4	40
Earth cable: 6 mm ²	Cable fault rating Live and neutral: 3.2x10 ⁶ A ² s Earth: 4.4x10 ⁵ A ² s	Show calculation steps	6	2.5	24	0.9	40
Live conductor: Copper Flexible			10	4	33	0.5	40
Neutral conductor: Copper Flexible	Protection -MCB MCB rating: 40 A Magnetic trip current: 300 A		16	6	43	0.3	40
Earth conductor: Copper Flexible			25	6	56	0.2	40
			35	10	67	0.2	40

Gambar 4.14 Hasil Kalkulasi Kabel PV Terhubung ke Inverter

Berdasarkan Gambar 4.14 disarankan menggunakan kabel single core jenis NYAF dengan ukuran 1×16 mm² dan MCB berkapasitas 40A dalam sistem ini.

2. Baterai terhubung ke inverter

Pada pengkabelan ini, digunakan standar New Zealand Conditions dengan tegangan sistem baterai sebesar 48 V dan arus *charging discharging* yang maksimal dilewatkan inverter sebesar 240 A. Penurunan tegangan dipilih sebesar 3% untuk memenuhi batas yang diizinkan oleh spesifikasi peralatan. Kabel jenis PVC V-65 Standart 75° dipilih untuk instalasi dengan panjang sekitar 5 m yang menyentuh permukaan. Dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15 Inputan Kabel Baterai ke Inverter

Load	Current rating	Voltage drop	Active Size	Earth Size	Current Rating	Volt Drop %
Load current: 240 A	Rated current: 262 A Table 4, col 8	Voltage drop: 1.2%, 0.6 V	1	2.5	15	129
	Operating temp.: 68°C	Voltage at load: 47.4 V	1.5	2.5	18	82.5
	Max. operating temp.: 75°C	Max. distance: 13 m for 3%	2.5	2.5	26	45.1
Cable			4	2.5	35	28.1
Live cable: 95 mm ²			6	2.5	46	18.8
Neutral cable: 95 mm ²			10	4	62	11.2
Earth cable: 25 mm ²			16	6	82	7
Live conductor: Copper	Impedance -live and neutral	Impedance -earth	25	6	111	4.4
Neutral conductor: Copper	Resistance per cable: 0.236 Ω/km 75°C, Table 34, col 4	Resistance per cable: 0.884 Ω/km 75°C, Table 34, col 4	35	10	136	3.2
Earth conductor: Copper	Impedance per cable: 0.236 Ω/km	Impedance per cable: 0.884 Ω/km	50	16	166	2.4
			70	25	210	1.6
			95	25	262	1.2
			120	35	304	0.9
			150	50	351	0.7

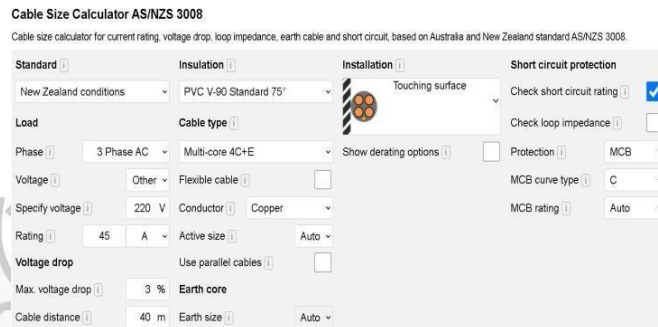
Gambar 4.16 Hasil Kalkulasi Kabel Baterai Terhubung ke Inverter

Berdasarkan Gambar 4.16, disarankan menggunakan kabel single core dengan jenis NYAF dengan ukuran 1×95 mm².

3. Grid terhubung ke inverter

Pada pengkabelan ini, digunakan standar New Zealand Conditions dengan tegangan sebesar PLN 220 V dan arus 45 A yang

dapat inverter salurkan dari beban eksternal (*grid*). Penurunan tegangan dipilih sebesar 3% untuk memenuhi batas yang diizinkan oleh spesifikasi peralatan. Kabel jenis PVC V-65 Standart 75° dipilih untuk instalasi dengan panjang sekitar 40 m yang menyentuh permukaan, dengan sistem proteksi MCB. Dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut.



Gambar 4.17 Inputan Kabel Grid Terhubung ke Inverter

Load	Current rating	Voltage drop	Active Size	Earth Size	Current Rating	Volt. Drop	MCB Rating	Earth Fault Rating	
Load current	45 A	Rated current: 78 A Table 13, col. 5	1	14	36.6	60	✓	✓	
Cable	Operating temp. 45°C Max. operating temp. 75°C	Voltage drop: 1.8%, 3.9 V Voltage at load: 218.1 V Max. distance: 67 m for 3%	1.5	1.5	17	23.4	60	✓	
Phase 1 core	16 mm ²	Impedance -live and neutral	2.5	2.5	25	12.8	60	✓	
Phase 2 core	16 mm ²	Resistance per core 45°C, Table 35, col 2: 1.26 Ω/km	4	2.5	33	8	50	✓	
Phase 3 core	16 mm ²	Reactance per core Table 30, col 5: 0.0861 Ω/km	6	2.5	42	5.3	60	✓	
Neutral core	16 mm ²	Impedance per core: 1.2629 Ω/km	10	4	58	3	60	✓	
Earth core	6 mm ²	Impedance -earth	16	6	78	1.8	60	✓	
Conductors	Copper	Resistance per core 45°C, Table 35, col 2: 3.38 Ω/km	25	6	104	1.1	60	✓	
Protection -MCB	MCB rating: 50 A Magnetic trip current: 375 A	Reactance per core Table 30, col 5: 0.0967 Ω/km	35	10	128	0.8	60	✓	
Cable fault rating	Live and neutral: 3.2x10 ⁶ A ² s Earth: 4.4x10 ⁶ A ² s	Impedance per core: 3.3814 Ω/km						Show more Show fault rating values	

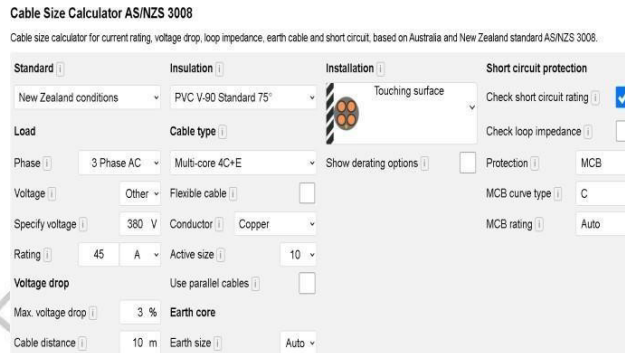
Gambar 4.18 Hasil Kalkulasi Kabel *Grid* Terhubung ke Inverter

Berdasarkan Gambar 4.18, disarankan menggunakan kabel multi core dengan jenis NYYHY dengan ukuran 4×16 mm² dan MCB berkapasitas 50A dalam sistem ini.

4. Inverter terhubung ke panel distribusi dan ke beban

Pada pengkabelan ini, digunakan standar New Zealand Conditions dengan tegangan sebesar 380 V untuk sistem 3 *phase* dan arus 45 A yang dapat inverter salurkan dari beban eksternal (*grid*). Penurunan tegangan dipilih sebesar 3% untuk memenuhi batas yang

diizinkan oleh spesifikasi peralatan. Kabel jenis PVC V-65 Standart 75° dipilih untuk instalasi dengan panjang sekitar 10 m yang menyentuh permukaan, dengan sistem proteksi MCB. Dapat dilihat pada Gambar 4.19 berikut.



Gambar 4.19 Inputan Kabel Inverter Terhubung ke Panel Distribusi

Load	Current rating	Voltage drop	Active Size	Earth Size	Current Rating	Max. Drop	MCB Rating	Earth Fault Rating
Load current: 45 A	Rated current: 58 A Table 13, col. 5	Voltage drop: 0.4%, 1.7 V Voltage at load: 378.4 V Max. distance: 89 m for 3%	1	14	5.3	50	✓	✓
Cable	Operating temp.: 57°C Max. operating temp.: 75°C		1.5	15	17	3.4	50	✓
Phase 1 core: 10 mm ²	Impedance -live and neutral		2.5	25	25	1.9	50	✓
Phase 2 core: 10 mm ²	Resistance per core: 2.12 Ω/km Table 35, col. 3	Impedance -earth	4	25	33	1.2	50	✓
Phase 3 core: 10 mm ²	Reactance per core: 0.0906 Ω/km Table 36, col. 9	Resistance per core: 5.33 Ω/km Table 35, col. 3	6	25	42	0.8	50	✓
Neutral core: 10 mm ²	Impedance per core: 2.1219 Ω/km	Reactance per core: 0.102 Ω/km Table 36, col. 9	10	4	68	0.4	50	✓
Earth core: 4 mm ²		Impedance per core: 5.331 Ω/km	16	6	78	0.3	50	✓
Conductors: Copper			25	6	104	0.2	50	✓
Protection -MCB	Cable fault rating		Show calculation steps					
MCB rating: 50 A Magnetic trip current: 375 A	Live and neutral: 1.2x10 ⁶ A ² s Earth: 2.0x10 ⁶ A ² s							

Gambar 4.20 Hasil Kalkulasi Kabel Inverter Terhubung ke Panel Distribusi

Berdasarkan Gambar 4.20, disarankan menggunakan kabel multi core jenis NYHY dengan ukuran 4x10 mm², tetapi pada perencanaan ini digunakan kabel ukuran 4x16 mm² dan MCB berkapasitas 50A dalam sistem ini.

5. Instalasi Untuk Perangkat ATS

Pada pengkabelan ini, digunakan standar New Zealand Conditions dengan tegangan sebesar 380 V untuk sistem 3 phase dan arus 63 A sesuai arus makasimal perangkat ATS. Penurunan tegangan dipilih sebesar 3% untuk memenuhi batas yang diizinkan

oleh spesifikasi peralatan. Kabel jenis PVC V-65 Standart 75° dipilih untuk instalasi dengan panjang sekitar 5 m yang menyentuh permukaan, dengan sistem proteksi MCB. Dapat dilihat pada Gambar 4.21 berikut.

Cable Size Calculator AS/NZS 3008
 Cable size calculator for current rating, voltage drop, loop impedance, earth cable and short circuit, based on Australia and New Zealand standard AS/NZS 3008.

Standard: New Zealand conditions | Insulation: PVC V-90 Standard 75° | Installation: Touching surface | Short circuit protection: Check short circuit rating | Check loop impedance | Protection: MCB | MCB curve type: C | MCB rating: Auto

Load: Phase: 3 Phase AC | Cable type: Multi-core 4C+E | Voltage: 380 V | Specify voltage: 380 V | Rating: 63 A | Active size: Auto

Voltage drop: Max. voltage drop: 3% | Cable distance: 5 m | Earth core: Earth size: Auto

Gambar 4.21 Inputan Kabel Instalasi Perangkat ATS

Load	Current rating	Voltage drop	Active Earth Current Loop Impedance																																								
Load current: 63 A	Rated current: 78 A Operating temp: 59°C Max. operating temp: 75°C	Voltage drop: 0.2%, 0.7 V Voltage at load: 379.3 V Max. distance: 78 m for 3%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>mm²</th> <th>A</th> <th>%</th> <th>Active Earth Current Loop Impedance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>14</td><td>3.7</td><td>63</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>17</td><td>2.4</td><td>63</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>25</td><td>1.3</td><td>63</td></tr> <tr><td>4</td><td>33</td><td>0.8</td><td>63</td></tr> <tr><td>6</td><td>42</td><td>0.5</td><td>63</td></tr> <tr><td>10</td><td>58</td><td>0.3</td><td>63</td></tr> <tr><td>16</td><td>78</td><td>0.2</td><td>63</td></tr> <tr><td>25</td><td>104</td><td>0.1</td><td>63</td></tr> <tr><td>35</td><td>128</td><td>0.1</td><td>63</td></tr> </tbody> </table>	mm ²	A	%	Active Earth Current Loop Impedance	1	14	3.7	63	1.5	17	2.4	63	2.5	25	1.3	63	4	33	0.8	63	6	42	0.5	63	10	58	0.3	63	16	78	0.2	63	25	104	0.1	63	35	128	0.1	63
mm ²	A	%	Active Earth Current Loop Impedance																																								
1	14	3.7	63																																								
1.5	17	2.4	63																																								
2.5	25	1.3	63																																								
4	33	0.8	63																																								
6	42	0.5	63																																								
10	58	0.3	63																																								
16	78	0.2	63																																								
25	104	0.1	63																																								
35	128	0.1	63																																								
Cable: Phase 1 core: 16 mm ² Phase 2 core: 16 mm ² Phase 3 core: 16 mm ² Neutral core: 16 mm ² Earth core: 6 mm ² Conductors: Copper	Impedance -live and neutral: Resistance per core: 1.33 Ω/km Reactance per core: 0.0861 Ω/km Impedance per core: 1.3328 Ω/km	Impedance -earth: Resistance per core: 3.56 Ω/km Reactance per core: 0.0967 Ω/km Impedance per core: 3.5613 Ω/km	Protection -MCB: MCB rating: 63 A Magnetic trip current: 473 A																																								
Cable fault rating: Live and neutral: 3.2x10 ⁶ A ² s Earth: 4.4x10 ⁶ A ² s		Show calculation steps																																									

Gambar 4.22 Hasil Kalkulasi Kabel Instalasi Perangkat ATS

Berdasarkan Gambar 4.22, disarankan menggunakan kabel multi core jenis NYHY dengan ukuran 4x16 mm² dan MCB berkapasitas 63A dalam sistem ini.

6. Grounding

Dalam sistem grounding penangkal petir, digunakan kabel grounding NYA dengan ukuran 1x50 mm² karena sesuai dengan karakteristik dan spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan. Kabel ini memiliki luas penghantar yang cukup besar untuk menahan arus petir besar maupun korsleting dan akan mengalirkannya ke tanah

dengan aman. Selain itu, konstruksi kabel yang kokoh dan lapisan pelindung yang tebal melindungi kabel dari kerusakan fisik atau keausan. Kabel grounding ini juga telah memenuhi standar kualitas dan keamanan yang ditetapkan oleh pihak berwenang, sehingga dapat diandalkan untuk memenuhi instalasi listrik.

4.7 Spesifikasi Komponen Pendukung

Dalam penelitian ini memerlukan beberapa komponen pendukung yang akan menunjang proses perencanaan. Komponen pendukung ini mencakup beberapa kategori seperti sistem proteksi DC dan AC, pengkabelan, Box panel dan lain-lain. Rincian dari komponen-komponennya dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Spesifikasi Komponen Pendukung

No.	Nama Komponen	Spesifikasi
1	Beton	
2	Panel Box	Bahan Plat MS Cat Powder Coating RAL 7032 Kunci HUBBEN Camlock 40 x 50 x 18 cm
3	Panel Box	Bahan Plat MS Cat Powder Coating RAL 7032 Kunci HUBBEN Camlock 20 x 17 x 12 cm
4	Rel AL6005-T5	Bahan Aluminium Sertifikasi: AS/NZS 1170&ISO901&TUV
5	NT Fuse 40A	Merk ENESTO Rating Voltage: 500V Rating Frekuensi : 50Hz Material Luar: Keramik
6	MCB DC	Merk dan Moedel: Chint NXB-63 1P Jumlah Kutub: 2 kutub Rated Voltage: 250-500 VDC Rated Current: 40A Breaking Capacity: 6kA C Curve (Electro Magnetic 5In-10 In)

		SNI Standard 04-6507.1-2022, IEC/EN 60898
7	MCB AC	Merk: Chint Model : NXB-63 3P Rated Voltage: 220 VAC Rated Current: 32A, 50A dan 63A Breaking Capacity: 6kA Mechanical Lifetime: 20.000 kali Electrical Lifetime: 10.000 kali Standar SNI 04-6507.1-2002, IEC/EN 60898-1
8	Arester DC SPD	Kode: DC Surge CBY1-PV40 Tegangan: 1000VDC Imax: 40KA Standard: GB 18802.1-2011 Suhu Kerja: -5 sampao 40 derajat Perlindungan: IP20
9	Automatic Transfer Switch	Merk: CAFF Type: Spring Rated Voltage: 3 Phase 380 VAC Rated Current: 63A Kutub: 4P Transfer Time: 10 ms Source A (Main) = PLN (Grid) Source B (Secondary) = Genset
10	End Clamp	Bahan: Almunium AL6005-T6 Rang PV: 30mm – 40 mm
11	Mid Clamp	Bahan: Almunium AL6005-T6 Range PV: 30mm – 40mm
12	Tile Roof Hook	Bahan: Almunium Tinggi: 17 cm
13	Konektor MC4 Cabang 2 in 1	Temperatur Range: -40 sampai 90 dejat Rated Current: 30 A Rated Voltage: DC 1000V Waterproof degree: IP67 Insertion force: Less than 50N Withdrawal force: 50N
14	Busbar	Bahan: Tembaga Plat Tembaga Jumlah Pin: 5 Pin Grounding Tebal 3mm

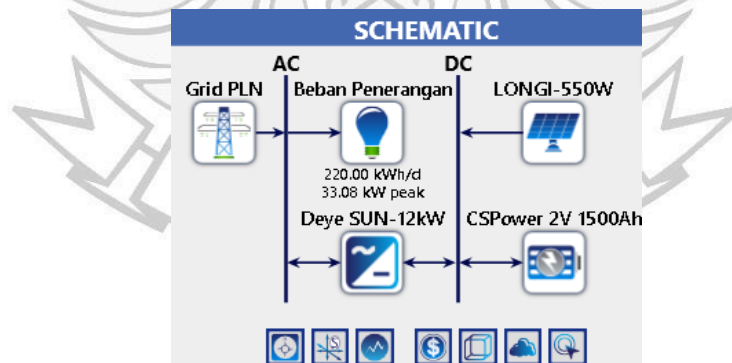
15	Din Rail	Merk: Taxnele Dimensi: 18*81*66mm Rentan Tegangan: AC80-500V Rentan Arus: 1-100A Frekuensi: 0-99Hz Protektion Degree: IP20
16	Kabel Duck	Bahan: PVC Ukuran lubang: 25x25 mm
17	Grounding Rod	Panjang 1.5 m Bahan: Plat Tembaga murni (100%) Full Tembaga Diameter: 19mm
18	Lampu Pilot	Merek: Cikahi Diameter: 12mm Voltage: 12V, 24V, 110V, 220V
19	Klip Kabel 10mm	Merk: Bright-G Ukuran: 10mm Bahan: Plastik keras dan tebal Paku Beton 100%
20	Klem Kuku Macan	Cengkraman kuat Merk: Powetec Wire Rope Clip Bahan: Baja Galvanis Ukuran: 3, 5, 6, 8, 10, 12-13, 16, 18-20, 22, 25-26, 30-32, dan 36-38mm
21	Grounding Bar	Material: Tembaga dan isolator 8 screw: panjang 18 cm (tanpa isolator), panjang total 21cm, Lebar 1.5cm, tebal 2mm 5 screw: panjang 13cm, lebar 1.5cm, tebal 2mm
22	Kabel NYAF	Conductor Material: Copper Conductor Type: Stranded Insulation Material: PVC Rate Voltage: 300, 500, 750V Size: 1-1400mm ²
23	Kabel NYHY	Conductor Type: Stranded/Soild Insulation Material: PVC/PE Rate Voltage: 5-720V Operating Temperature: -40 – 75 derajat

24	Kabel NYA	Merk: Dynamic/Saka Ukuran Core: 1.1 sqmm Bahan: Aluminium lapis tembaga Insulation Material: PVC
----	-----------	---

4.8 Simulasi Software HOMER Pro

4.8.1 Desain Sistem Hybrid Dengan Software HOMER Pro

Desain sistem simulasi dalam software HOMER Pro ini dilakukan dengan menggabungkan beberapa komponen utama yaitu, panel surya, inverter, baterai dan jaringan PLN (*grid*). Tujuan utama dilakukannya desain sistem ini tak lain untuk membantu dalam menemukan sebuah sistem yang mampu mengoptimalkan penggunaan energi dan meminimalkan ketergantungan pada penggunaan sumber daya energi fosil. Sehingga, dengan menggunakan software HOMER Pro ini memungkinkan peneliti untuk memodelkan, mengoptimalkan, dan memantau sistem dengan memperhitungkan beberapa faktor-faktor yaitu, penggunaan energi, kapasitas penyimpanan baterai, dan karakteristik sumber daya yang tersedia. Adapun desain PLTS sistem hybrid ini dapat dilihat pada gambar 4.23 di bawah ini.

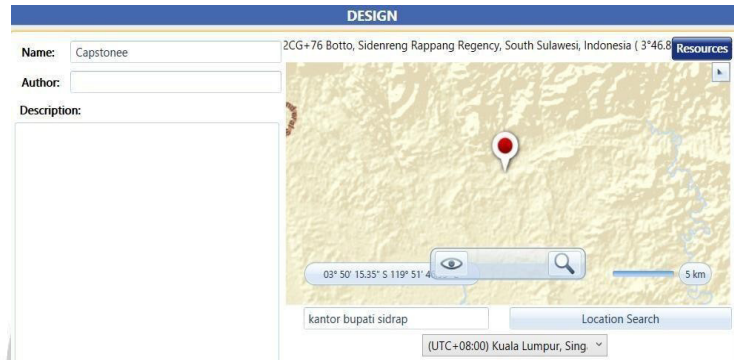


Gambar 4.23 Desain Pembangkit Hybrid Pada Software HOMER Pro

4.8.2 Memasukkan Kordinat Lokasi

Memasukkan kordinat lokasi merupakan tahap awal yang dilakukan pada simulasi ini dengan memasukkan titik kordinat lokasi penelitian pada software HOMER Pro agar mendapatkan data potensi

energi. Adapun letak geografis dan iklim pada penelitian ini berada pada titik latitude -3.9332 dan titik longitude 119.7693 di Kantor Bupati Sidenreng Rappang. Tampilan penentuan titik kordinat pada lokasi penelitian dalam simulasi software HOMER Pro dapat dilihat pada Gambar 4.24 di bawah ini.



Gambar 4.24 Lokasi Penelitian Pada Software HOMER Pro

4.8.3 Memasukkan Data Radiasi Matahari

Pada tahap kedua ini, dilakukan penginputan data intensitas cahaya matahari. Yang dimana, data radiasi yang dimasukkan dalam penelitian ini dilakukan secara manual dengan data yang diperoleh bersumber dari Meteonom 8.1 yang dapat dilihat pada gambar 4.25 di bawah ini.



Gambar 4.25 Memasukkan Data Radiasi Matahari

4.8.4 Memasukkan Data Temperatur

Pada tahap ini, dilakukan penginputan data temperatur udara yang disebabkan oleh radiasi matahari. Yang dimana, data temperatur yang

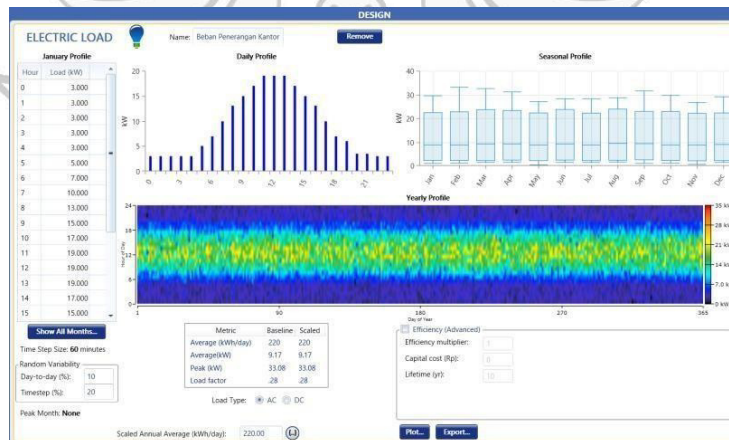
dimasukkan dalam penelitian ini dilakukan secara manual dengan data yang diperoleh bersumber dari Meteonom 8.1 yang dapat dilihat pada gambar 4.26 di bawah ini.



Gambar 4.26 Memasukkan Data Temperatur

4.8.5 Memasukkan Data Beban Pada Lokasi Penelitian

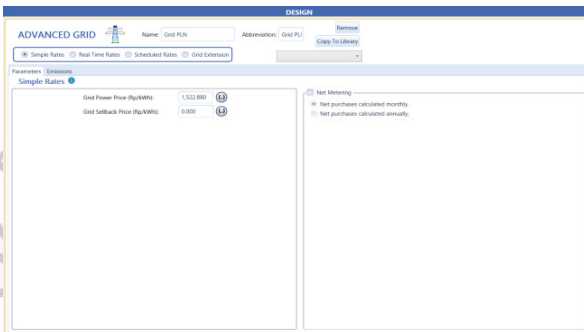
Pada tahap ini, dilakukan penginputan data beban, dimana software HOMER Pro memerlukan data beban energi listrik perjam dan harian. Data beban ini sebagai data masukan pada software HOMER Pro. Adapun data beban yang dimasukkan merupakan data berdasarkan Tabel 4.2 yang dapat dilihat tampilannya pada Gambar 4.27 berikut.



Gambar 4.27 Memasukkan Data Beban Lokasi Penelitian

4.8.6 Memasukkan Data Grid PLN

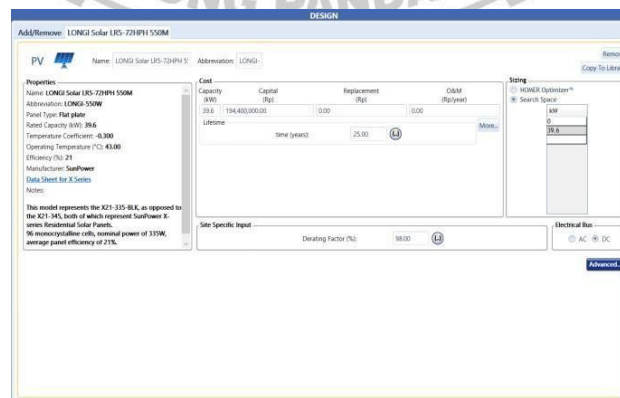
Dalam tahap ini, dilakukan penginputan data *grid*. Adapun *grid* yang digunakan adalah jaringan listrik dari PLN, dimana software HOMER Pro membutuhkan data *grid* dari PLN sebagai masukan yang berisi harga energi listrik per-kWhnya dan harga yang dimasukkan berdasarkan harga untuk pelanggan P-2 TM yang dapat dilihat pada Gambar 4.28 berikut.



Gambar 4.28 Memasukkan Data *Grid*

4.8.7 Memasukkan Data Panel Surya

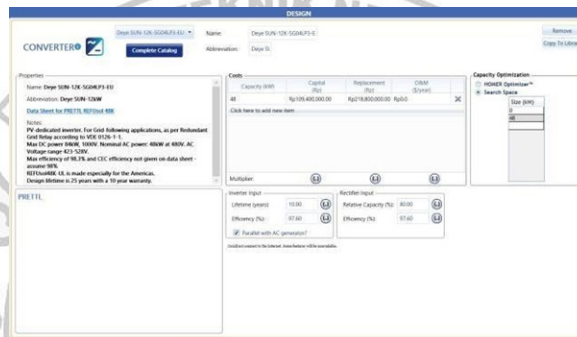
Pada tahap ini, dilakukan penginputan data panel surya, dimana software HOMER Pro memerlukan data panel surya sebagai masukan, adapun data yang dimasukkan adalah data spesifikasi dan harga panel surya yang digunakan berdasarkan apa yang tertera di *website marketplace* serta jumlah panel yang akan digunakan pada penelitian ini, sehingga didapatkan biaya investasi untuk panel surya sebesar Rp.205.000.000,00 yang dapat dilihat pada Gambar 4.29 di bawah ini.



Gambar 4.29 Memasukkan Data Panel Surya

4.8.8 Memasukkan Data Inverter

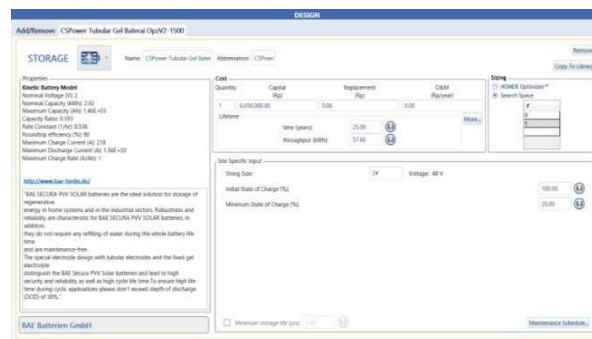
Dalam tahap ini, dilakukan penginputan data converter, dimana software HOMER Pro memerlukan data converter sebagai masukan. Adapun yang menjadi converter pada software ini merupakan inverter. Data yang dimasukkan adalah data spesifikasi dan harga inverter yang digunakan berdasarkan yang tertera di *website marketplace*, sehingga di dapatkan biaya investasi untuk inverter sebesar Rp.109.400.000,00 yang dapat dilihat pada Gambar 4.30 di bawah ini.



Gambar 4.30 Memasukkan Data Inverter

4.8.9 Memasukkan Data Baterai

Pada tahap ini, dilakukan penginputan data baterai, dimana software HOMER Pro memerlukan data baterai sebagai masukan. Adapun yang data yang dimasukkan adalah data spesifikasi dan harga baterai yang digunakan berdasarkan apa yang tertera di *website marketplace* serta jumlah yang digunakan, sehingga didapatkan biaya inverstasi untuk baterai sebesar Rp.159.600.000,00 yang dapat dilihat pada Gambar 4.31.

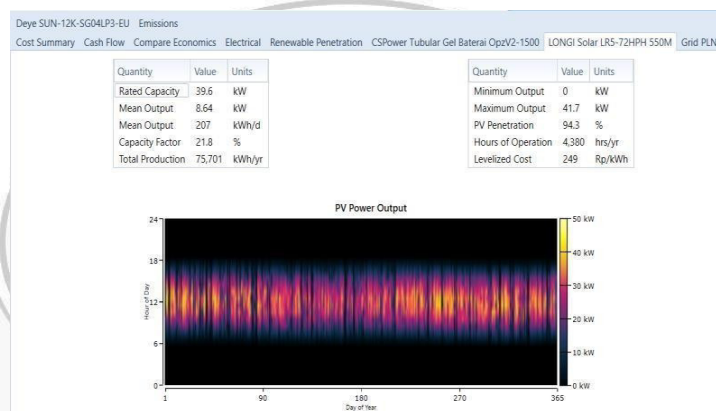


Gambar 4.31 Memasukkan Data Baterai

4.9 Analisis Teknis Simulasi Software HOMER Pro

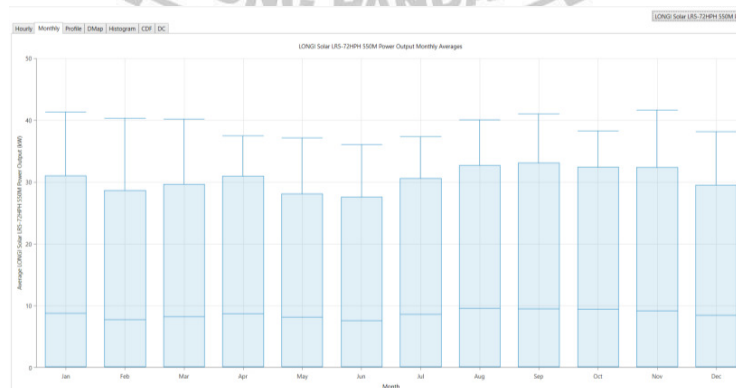
4.9.1 Energi Yang Diproduksi PLTS

PLTS merupakan sumber utama energi yang digunakan pada perancangan ini, Panel surya memproduksi energi di lokasi penelitian sebesar 75.701 kWh/tahunnya dengan kapasitas yang terpasang adalah 39,6 kW serta Mean Output (Energi yang dihasilkan perharinya) sebesar 207 kWh yang dapat dilihat pada Gambar 4.32 di bawah ini.



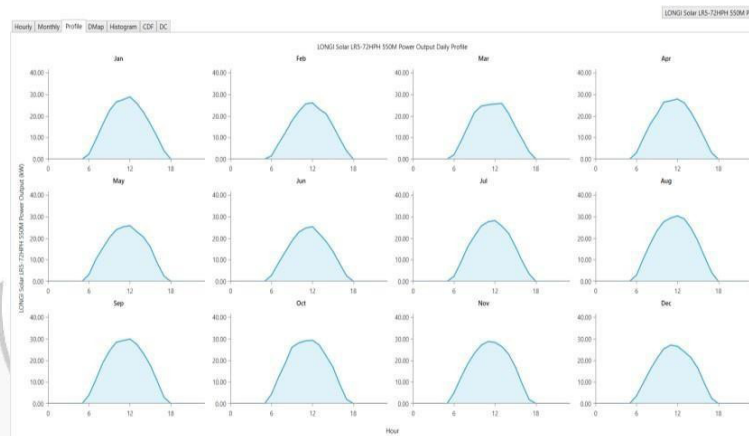
Gambar 4.32 Hasil Simulasi Produksi Energi PLTS

Pada Gambar 4.33 dapat dilihat daya listrik yang dihasilkan PLTS perbulannya, dimana rata-rata daya listrik yang dihasilkan PLTS terendah ada pada bulan Juni sebesar 27,62 kW perharinya sedangkan untuk rata-rata daya listrik yang dihasilkan PLTS tertinggi ada pada bulan September sebesar 33,08 kW. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.33 di bawah ini.



Gambar 4.33 Grafik Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya

Pada Gambar 4.34 dapat dilihat rata-rata daya listrik yang dihasilkan PLTS per-jamnya di setiap bulan, dimana rata-rata panel surya beroperasi mulai pada jam 06.00 sampai dengan 18.00 sehingga pada waktu tersebut beban disuplai oleh energi matahari sedangkan diluar range waktu tersebut beban disuplai oleh energi yang disimpan di baterai. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.34 di bawah ini.



Gambar 4.34 Grafik Energi Yang Disuplai Oleh Panel Surya

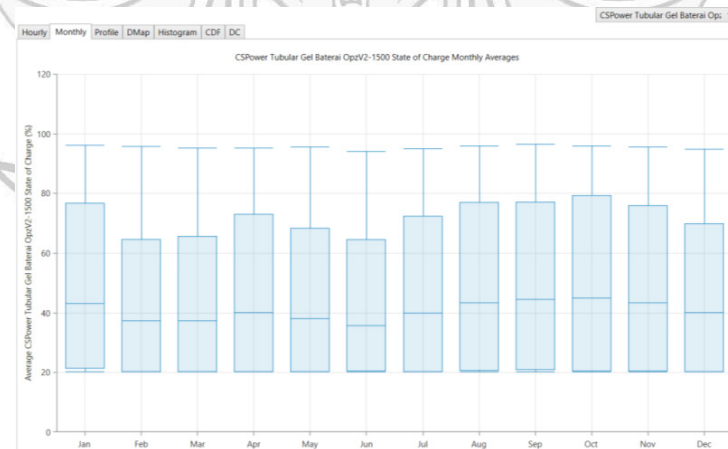
4.9.2 Energi Listrik Yang Disimpan Baterai

Pada sistem ini terdapat komponen baterai untuk menyimpan energi agar dapat menyuplai beban pada saat panel surya tidak dapat lagi memproduksi energi dikarenakan tidak adanya lagi matahari. Dimana pada sistem yang telah dirancang baterai dapat menyimpan energi sebesar 75,8 kWh sedangkan yang digunakan hanya sebesar 60,7 kWh, karena batas kapasitas pengosongan baterai atau DOD sebesar 80%. Pada sistem yang telah dirancang, energi yang tersimpan pada baterai sebesar 15.023 kWh/tahun dan energi keluaran sebesar 13.578 kWh/tahun dengan *losses* sebesar 1.505 kWh/tahun. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.35.



Gambar 4.35 Hasil Penyimpanan Energi Pada Baterai

Pada Gambar 4.36 dapat dijelaskan bahwa *State of Charge* (SOC) atau persentase pengisian baterai, dimana persentase pengisian baterai pada bulan Oktober tertinggi dengan rata-rata SOC terendah pada baterai sebesar 20,17% dan tertinggi mencapai 79,40%. Sedangkan yang terendah pada bulan Februari dengan rata-rata SOC terendah sebesar 20% dan tertinggi mencapai 64,47%. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.36 di bawah ini.



Gambar 4.36 Grafik State of Charge Pada Baterai

4.9.3 Total Energi Yang Dihasilkan

Adapun total energi yang dihasilkan pada sistem ini dapat dilihat pada Gambar 4.37.



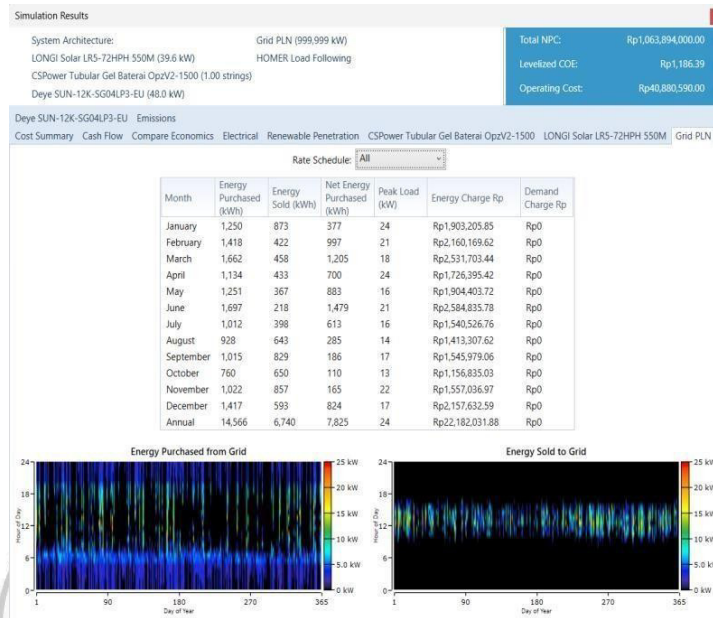
Gambar 4.37 Data Produksi Energi Listrik Dari Sistem PLTS

Pada Gambar 4.37 di atas dapat dilihat bahwa produksi energi listrik dari sistem PLTS yang dirancang sebesar 75.701 kWh/tahun atau 83,9% dari produksi listrik tahunan, sedangkan untuk *grid* (PLN) sebesar 14.566 kWh/tahun atau 16,1% dari produksi listrik tahunan. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa energi yang dibangkitkan oleh PLTS lebih tinggi dibandingkan *grid*.

Dari perbandingan total energi yang dibangkitkan oleh sistem PLTS dengan energi PLN yang digunakan tersebut dapat disimpulkan bahwa perancangan ini layak, karena pada perancangan ini memang bertujuan untuk menjadikan energi terbarukan sebagai sumber energi utama pada Kantor Bupati Sidenreng Rappang khusus untuk panel penerangan dan *grid* hanya sebagai alternatif untuk memenuhi suplai beban listrik ketika PLTS yang dirancang tidak dapat beroperasi secara maksimal.

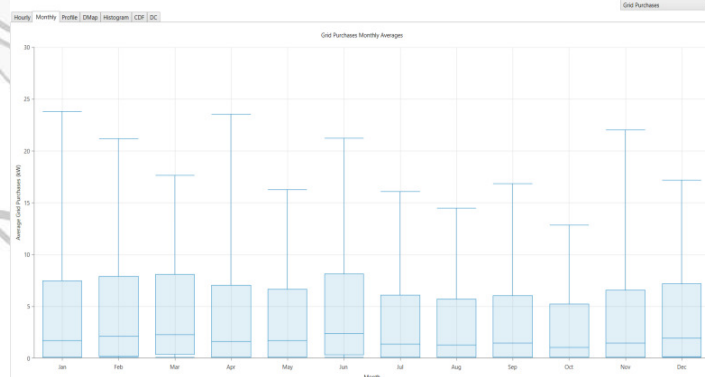
4.9.4 Grid Purchase

Grid Purchase adalah pembelian energi listrik yang berasal dari sumber *grid* PLN sebagai sumber energi tambahan. Adapun *Grid Purchase* dapat dilihat pada Gambar 4.38 di bawah ini.



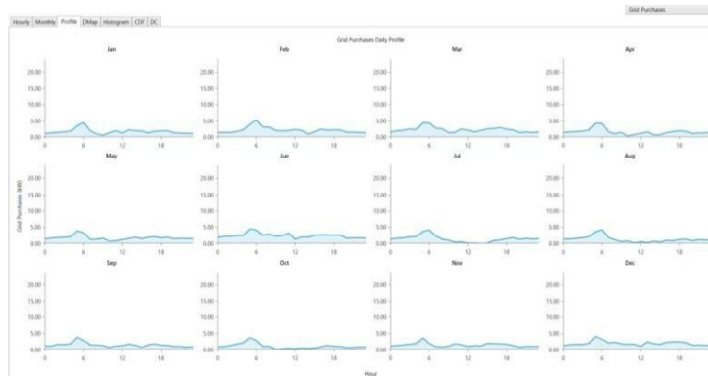
Gambar 4.38 Grid Purchase

Pada Gambar 4.38 di atas diperoleh energi total yang disuplai dari *grid* pertahunnya itu sebesar 14,566 kWh/tahunnya, yang dimana untuk penggunaan energi terbesar dari *grid* pada bulan Juni sebesar 1.697.



Gambar 4.39 Grafik Grid Purchase Perbulannya

Pada Gambar 4.39 dapat dilihat bahwa energi yang diambil dari *Grid* yang terbesar ada pada bulan Juni dengan *Grid Purchase* terendah sebesar 0,25 kWh dan tertinggi sebesar 8,12 kWh, sedangkan untuk yang terendah ada pada bulan Oktober dengan *Grid Purchase* terendah sebesar 0 kWh dan tertinggi sebesar 5,21 kWh.

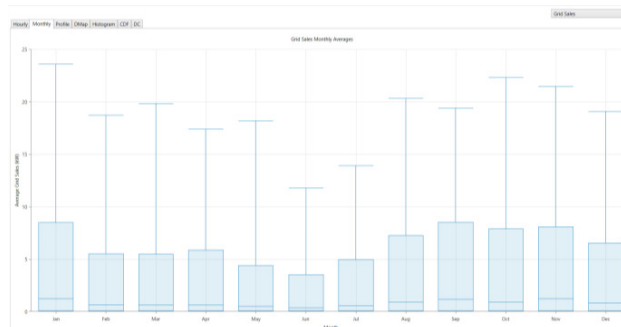


Gambar 4.40 Grafik *Grid Purchase* Perjamnya Setiap Bulan

Pada Gambar 4.40 dapat dilihat rata-rata *Grid Purchase* perjamnya di setiap bulannya, dimana rata-rata *Grid Purchase* tertinggi pada jam 06.00 sampai dengan 10.00 karena pada waktu tersebut matahari belum berada posisi optimal sehingga PLTS belum dapat bekerja secara optimal, sedangkan untuk terendah pada jam 11.00 sampai dengan 14.00 karena matahari sudah berada di posisi optimal dan PLTS dapat bekerja secara optimal untuk menyuplai energi ke beban.

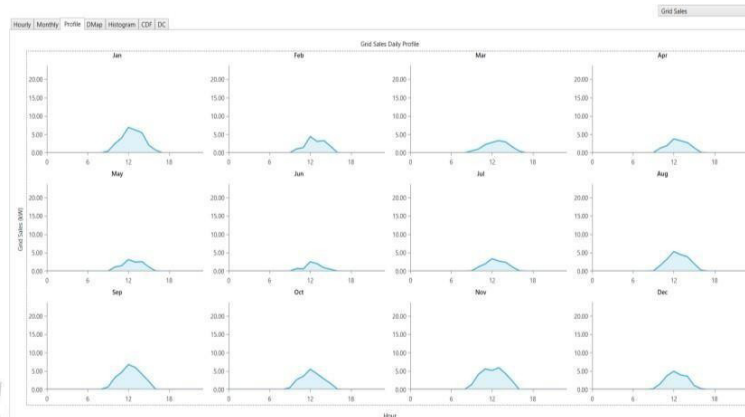
4.9.5 *Grid Sales*

Grid Sales adalah kelebihan energi yang diproduksi oleh PLTS dan tidak dapat lagi dialihkan ke baterai untuk disimpan, energi ini sebenarnya dapat di-*export* ke PLN, akan tetapi dengan kebijakan terbaru, PLN tidak lagi ingin membeli energi berlebihan yang diproduksi oleh suatu sistem, sehingga energi ini terbuang dan hal ini juga dapat disebut dengan *Excess Electricity*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.41 di bawah ini.



Gambar 4.41 Grafik *Grid Sales* Perbulannya

Pada Gambar 4.41 dapat dilihat *Grid Sales* perbulannya, dimana rata-rata *Grid Sales* terendah ada pada bulan Juni sebesar 0 sampai 3,51 kW perharinya sedangkan untuk rata-rata daya listrik yang dihasilkan PLTS tertinggi ada pada bulan September sebesar 8,49 kW perharinya.



Gambar 4.42 Grafik *Grid Sales* Perjamnya Setiap bulan

Pada Gambar 4.42 dapat dilihat rata-rata *Grid Sales* perjamnya di setiap bulan, dimana rata-rata *Grid Sales* tertinggi pada jam 11.00 sampai dengan 17.00 karena matahari sudah berada di posisi *optimal* dan PLTS dapat bekerja secara optimal untuk menyuplai energi ke beban bahkan dapat memproduksi energi yang lebih besar daripada yang dibutuhkan beban dan baterai sudah terisi penuh.

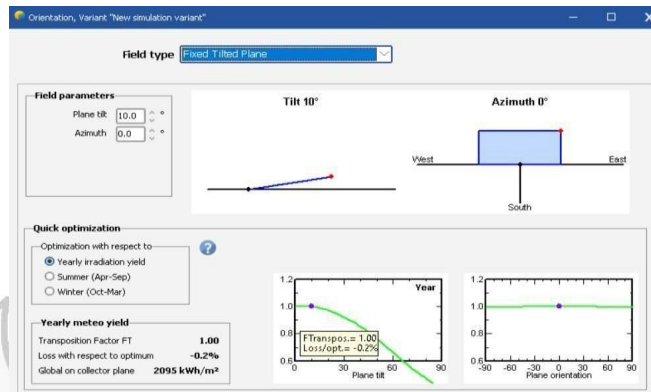
4.10 Simulasi Software PVsyst

Untuk mendesain simulasi sistem PLTS hybrid dalam software PVsyst ini dilakukan dengan memilih *project design Grid-Connected* dengan melibatkan penggunaan baterai sebagai penyimpanan dan terhubung ke *grid* untuk meminimalkan ketergantungan pada *grid*. Pada sistem ini digunakan beberapa komponen utama yaitu, panel surya, inverter, baterai dan jaringan PLN (*grid*). Adapun beberapa parameter utama yang ada pada PVsyst untuk membuat sistem PLTS adalah sebagai berikut.

4.10.1 Orientation

Berdasarkan kondisi di lokasi penelitian, perencanaan PLTS menggunakan tipe penyangga tetap (*fixed tilted plane*) yang artinya

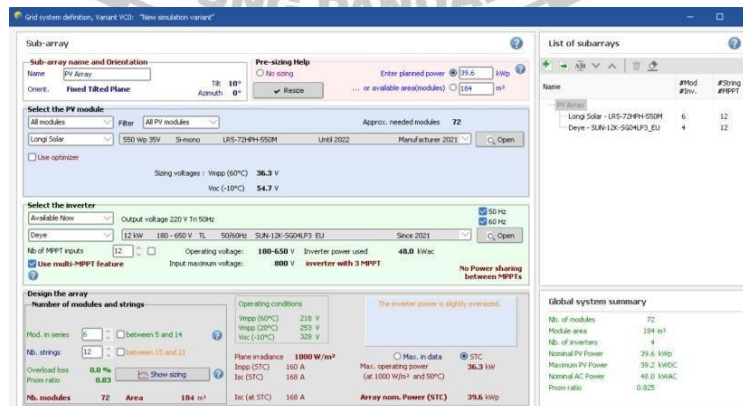
panel surya dipasang secara tetap dan tidak bergerak atau mengikuti matahari. Pemasangan panel surya diarahkan ke arah utara, karena lokasi terletak di bawah garis katulistiwa dengan azimuth 0° dengan kemiringan panel surya 10° .



Gambar 4.43 Orientasi Panel Surya

4.10.2 Pemilihan Komponen PV dan Inverter Pada Sistem

Komponen utama yang akan ditentukan pada simulasi PVsyst merupakan PV modul dan inverter, sedangkan untuk komponen SCC tidak diperlukan karena fungsi SCC sudah tergabung pada komponen inverter. Pada simulasi PVsyst terdapat banyak data base pilihan PV modul dan inverter, oleh karena itu pada perencanaan ini pemilihan komponen didasari pada ketersediaan yang ada dipasaran dan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, serta komponen tersebut mampu menghasilkan kinerja yang berkesesuaian dengan komponen lainnya.

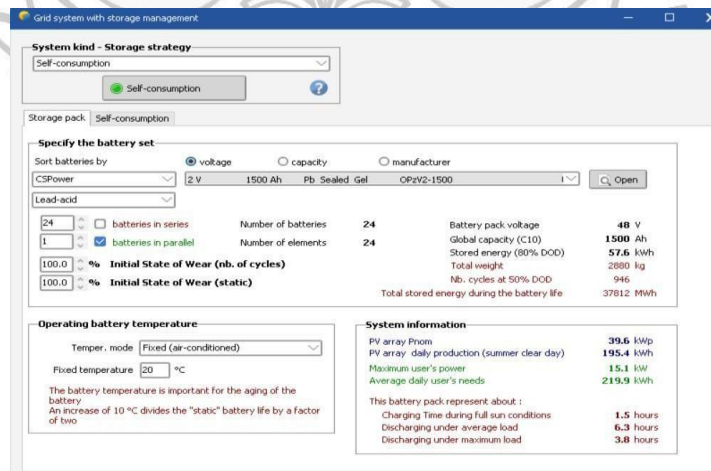


Gambar 4.44 Pemilihan Komponen Sistem PLTS Pada PVsyst

Pada Gambar 4.44 dapat dilihat bahwa komponen yang dipilih disesuaikan dengan spesifikasi komponen yang diinginkan dan digunakan pada perencanaan ini dengan menggunakan PV monocrystalline berkapasitas 550 Wp dan inverter hybrid berkapasitas 12 kW. Pada pemeliharaan inverter terdapat nontifikasi peringatan “*The Inverter Power is slightly oversize*” yang artinya daya inverter kebesaran, tetapi digunakan dengan memilih kapasitas tersebut didasari dari hasil perhitungan dengan menambahkan kapasitas yang lebih besar dari total daya untuk faktor pengaman agar meminimalkan risiko kerusakan atau kegagalan pada inverter.

4.10.3 Pemilihan Baterai Penyimpanan

Pada tahap ini, dilakukan pemilihan baterai sebagai penyimpanan pada sistem PLTS. Pada software PVsyst memiliki beberapa data base pilihan baterai, dalam perencanaan ini digunakan baterai VRLA atau *Lead-acid* berkapasitas 1500 Ah dengan tegangan 2 Volt dengan jumlah baterai sebanyak 24 yang disusun secara seri. Pemilihan baterai tersebut didasari dari spesifikasi yang diinginkan dalam perencanaan dan ketersediaan komponen dipasaran, yang nantinya akan disesuaikan dengan pilihan yang tersedia pada data base komponen baterai pada PVsyst.



Gambar 4.45 Pemilihan Baterai Penyimpanan Pada PVsyst

4.10.4 Hasil Simulasi Software PVsyst

Berdasarkan hasil simulasi pada software PVsyst 7.3 untuk perancangan PLTS sistem *Hybrid* pada Atap Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang dapat dilihat pada Gambar 4.46 berikut.

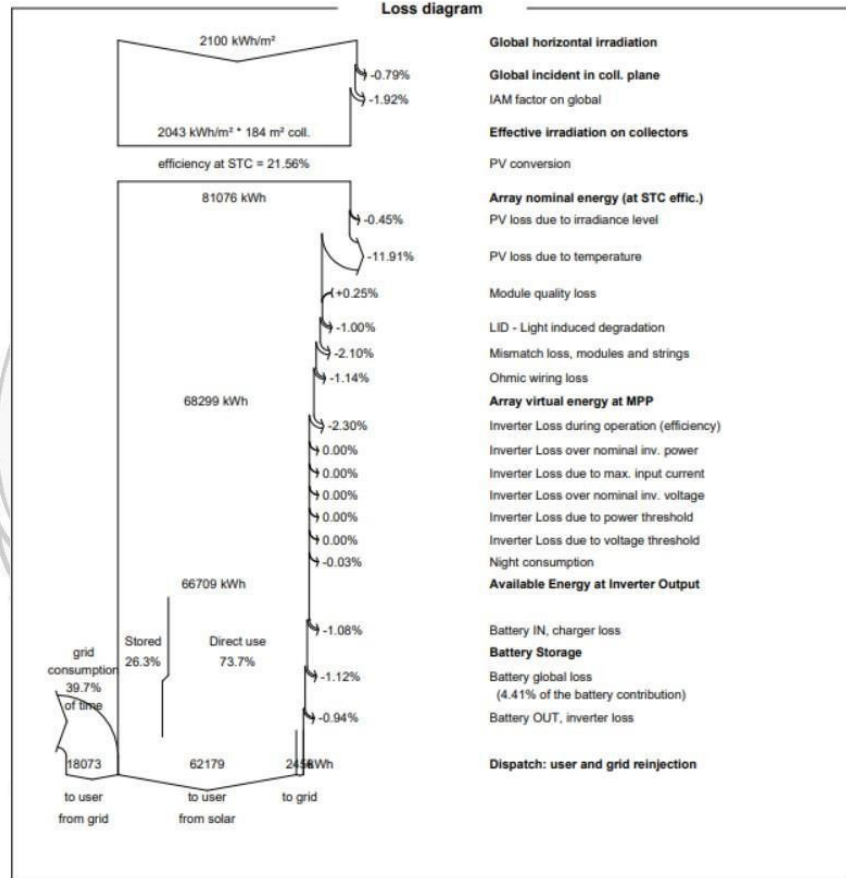
Main results										
System Production										
Produced Energy	64634 kWh/year				Specific production	1632 kWh/kWp/year				
Used Energy	80251 kWh/year				Performance Ratio PR	78.34 %				
					Solar Fraction SF	77.48 %				
Battery aging (State of Wear)										
Cycles SOW	56.2 %									
Static SOW	93.3 %									
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	182.0	69.00	32.50	194.3	191.3	6363	6816	5733	306.0	1083
February	144.0	74.00	33.00	148.5	145.9	4898	6156	4550	86.7	1606
March	169.0	80.00	32.50	168.5	165.4	5529	6816	5033	197.1	1783
April	172.0	76.00	33.00	165.5	162.1	5426	6596	4990	144.9	1606
May	167.0	65.00	33.50	155.6	151.9	5106	6816	4789	46.8	2027
June	150.0	63.00	32.90	137.6	134.0	4560	6596	4328	0.0	2268
July	177.0	60.00	32.20	162.5	158.6	5386	6816	5101	0.0	1715
August	197.0	61.00	32.50	186.3	182.6	6125	6816	5662	104.8	1153
September	190.0	64.00	33.50	187.1	183.8	6105	6596	5414	375.3	1182
October	194.0	83.00	34.00	198.5	195.2	6455	6816	5683	424.5	1133
November	184.0	81.00	33.60	193.6	190.4	6286	6596	5422	522.6	1174
December	174.0	83.00	33.79	185.4	182.3	6059	6816	5473	247.1	1343
Year	2100.0	859.00	33.08	2083.4	2043.4	68299	80251	62178	2455.8	18073
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				E_Grid	Energy injected into grid				
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings				EFrGrid	Energy from the grid				

Gambar 4.46 Potensi Energi Listrik PLTS *Hybrid* Pada PVsyst

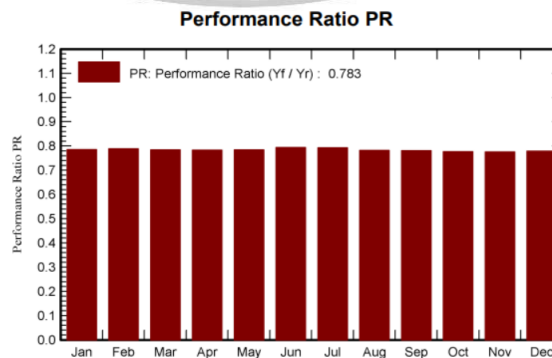
Berdasarkan Gambar 4.46 total produksi energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS yang dirancang sebesar 64.634 kWh/tahun, akan tetapi terdapat kelebihan energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS ketika produksi energi diwaktu tertentu lebih besar dibanding kebutuhan beban dan penyimpanan energi baterai sudah penuh sehingga terdapat energi yang terbuang (E_Grid) sebesar 2.456 kWh/tahun.

Energi yang digunakan dari PLTS sebesar 62.178 kWh/tahun atau sekitar 77,48% kontribusi dalam penyediaan energi ke beban. Sedangkan untuk energi listrik yang diambil dari *grid* (PLN) sebesar 18.073 kWh/tahun atau sekitar 22,52% kontribusi energi yang

disuplai ke beban listrik, dengan total konsumsi energi 80.251 kWh/tahun. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa energi yang dibangkitkan oleh PLTS lebih tinggi dibandingkan *grid*. Adapun diagram kerugian energi dari sistem PLTS *Hybrid* berdasarkan software PVsyst sebagai berikut.



Gambar 4.47 Loss Diagram PLTS *Hybrid* Pada Software PVsyst



Gambar 4.48 Grafik Rasio Kinerja PLTS *Hybrid* Kantor Bupati Sidrap

Berdasarkan Gambar 4.48, dapat dilihat Performance Ratio atau rasio kinerja dari sistem PLTS *Hybrid* pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang cukup baik adalah sebesar 0,783 atau 78,3%.

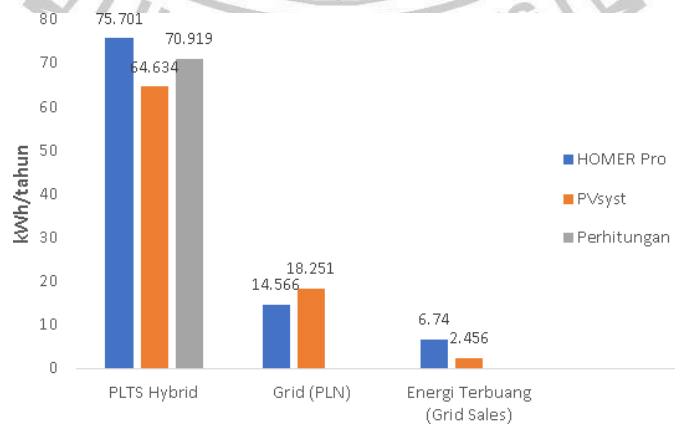
4.11

Perbandingan Hasil Simulasi Software HOMER Pro dan PVsyst

Berdasarkan hasil perencanaan yang telah dilakukan dengan menggunakan software HOMER Pro 3.14.2 dan PVsyst 7.3, didapatkan perbandingan hasil simulasi untuk sistem PLTS *Hybrid* dari kedua perangkat lunak tersebut.

Tabel 4.7 Perbandingan Perancangan HOMER Pro dan PVsyst

Variabel Perbandingan	HOMER Pro	PVsyst
Project Lifetime (year)	25	25
Solar Panel (unit)	72	72
System Power (kWp)	39,6	39,6
Inverter (unit)	4	4
Battery (unit)	24	24
Load Energy Used (kWh/year)	80.300	80.251
Produced Energy PLTS (kWh/year)	75.701	64.634
Energy from Grid (kWh/year)	14.566	18.073
Grid Sales/Energi terbuang (kWh/year)	6.740	2.456
Energy Stored in Battery (kWh/year)	15.023	16.898

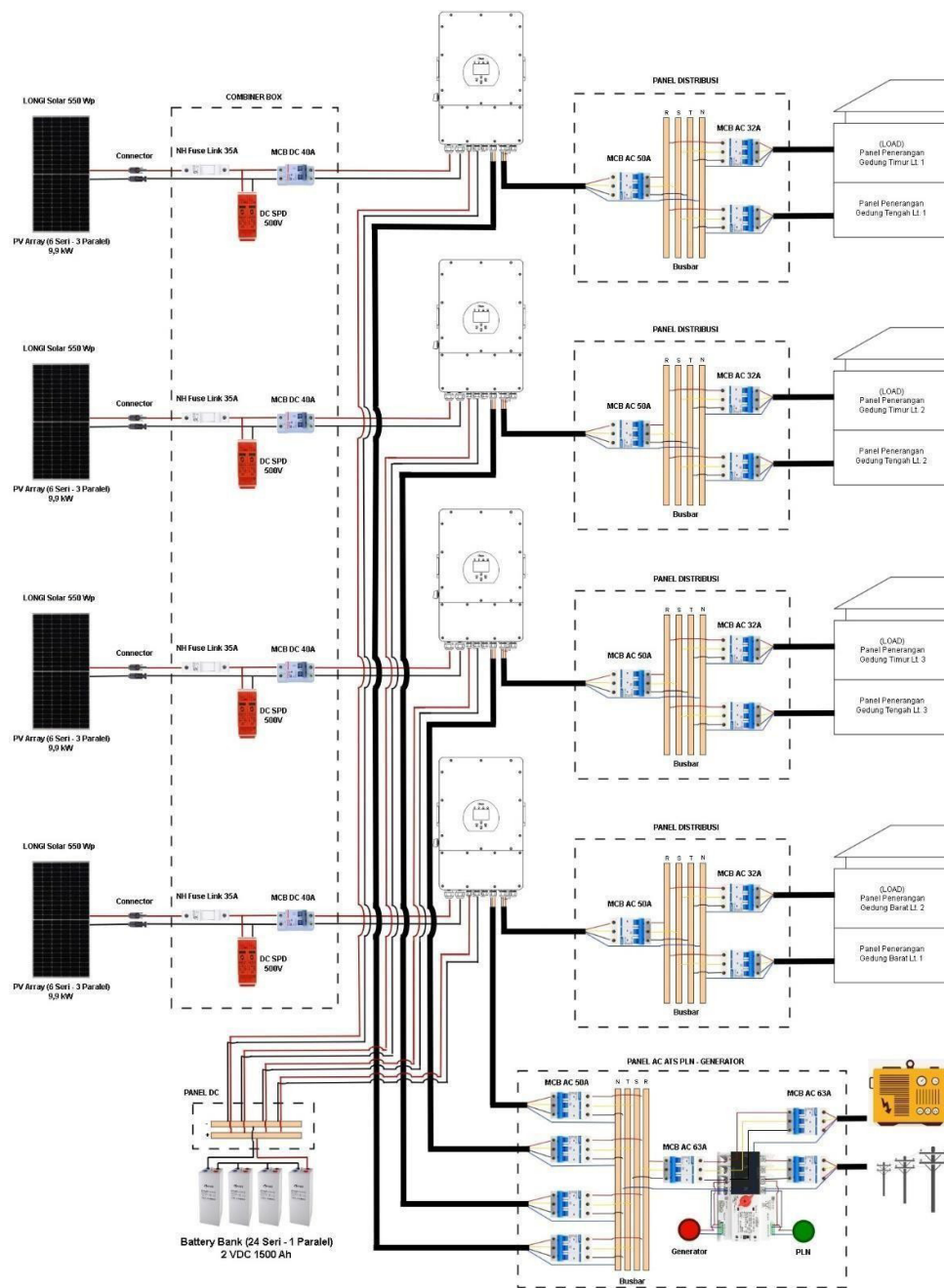


Gambar 4.49 Diagram Perbandingan Software HOMER Pro, PVsyst dan Perhitungan

Berdasarkan perbandingan dari kedua software tersebut, didapatkan bahwa untuk produksi energi dari sistem PLTS *Hybrid* pertahunnya itu lebih besar software HOMER Pro dibandingkan PVsyst, sehingga untuk energi yang terbuang untuk software PVsyst lebih kecil akan tetapi pada software PVsyst menggunakan energi dari *grid* (PLN) lebih besar. Terjadi perbedaan pada hasil simulasi dikarenakan ada beberapa faktor seperti model matematis yang berbeda untuk mensimulasikan kinerja sistem, perbedaan asumsi dan metode perhitungan serta perbedaan dalam toleransi kesalahan (*losses*).

4.12 Desain Sistem PLTS Hybrid

Pada sistem PLTS *Hybrid* ini, terdapat 4 buah array panel surya yang masing-masing terdiri dari 6 seri dan 3 paralel. Setiap array panel surya memiliki kapasitas 9,9 kWp dan setiap array terhubung dengan inverter berkapasitas 12 kW. Pada sistem ini memiliki penyimpanan energi berupa baterai 2 Volt 1500 Ah yang disusun seri sebanyak 24 unit agar membentuk tegangan sistem 48 Volt. Selain itu *Grid* dan Generator terhubung pada perangkat ATS untuk mendukung perpindahan sumber cadangan utama dan tambahan. Adapun wiring diagram dari sistem PLTS *Hybrid* ini dapat dilihat pada Gambar 4.50.



Gambar 4.50 Wiring Diagram Sistem PLTS Hybrid

Pada perencanaan PLTS ini digunakan sistem *Hybrid*, yang merupakan kombinasi dari sistem on grid dan off grid untuk memadukan keunggulan dan menutupi kekurangan dari masing-masing sistem pembangkit. Inverter akan

bekerja secara paralel dengan PLTS dan PLN yang energinya akan disalurkan bersama untuk mensuplai beban. Berdasarkan Gambar 4.50 dapat dilihat pada inverter terdapat 3 inputan (masukan) energi yaitu dari panel surya sebagai penghasil energi utama, baterai berperan sebagai penyimpanan kelebihan energi yang dihasilkan panel surya, dan *grid-tie* berperan sebagai *backup* energi ketika panel surya tidak menghasilkan daya yang cukup untuk mensuplai beban. Serta Generator (genset) sebagai pilihan terakhir cadangan suplai energi yang terhubung dengan jaringan PLN pada perangkat ATS.

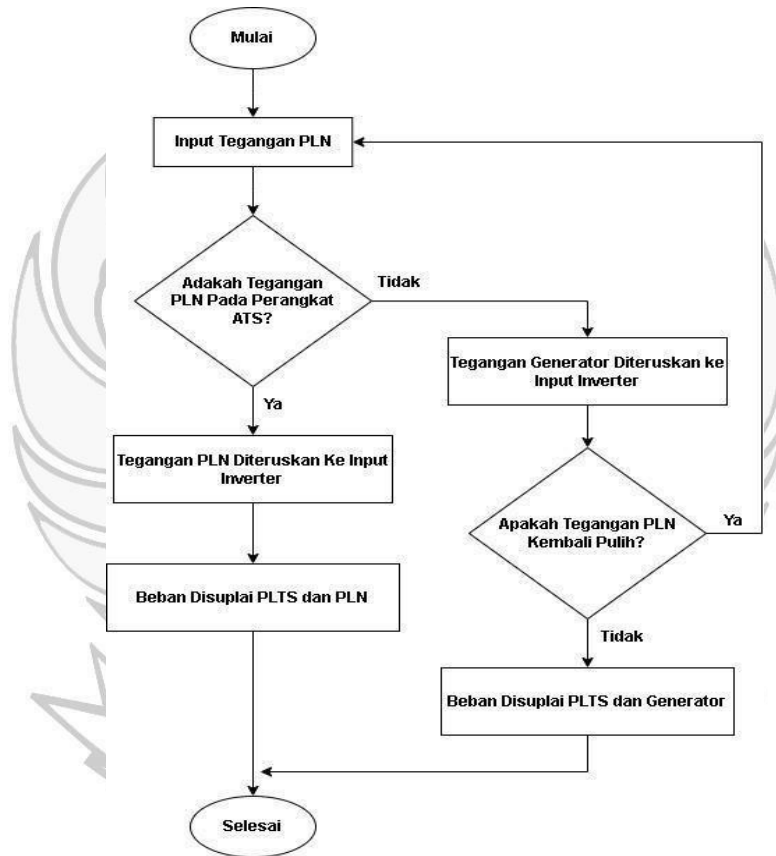
Ketiga sumber tersebut terhubung pada 1 inverter yang sama sehingga nantinya akan saling membantu untuk memenuhi kebutuhan beban listrik. Sebelum menuju ke beban listrik output inverter akan disalurkan ke panel distribusi yang mencakup sistem pengaman dan busbar. Setiap inverter akan mensuplai 2 lantai pada gedung kantor untuk beban penerangan yang terbagi melalui busbar dalam panel distribusi dan disalurkan ke SDP disetiap lantainya. Pada sistem ini, beban penerangan menggunakan sistem 3 *phase* untuk mengatasi kebutuhan daya yang lebih tinggi dan untuk mendistribusikan atau menyalurkan daya yang besar dengan efisien.

4.13 Perencanaan Sistem *Automatic Transfer Switch*

4.13.1 Diagram Alur Sistem ATS

Dalam penggunaan sistem *Automatic Transfer Switch*, tujuan utamanya adalah untuk memastikan pemindahan dua sumber energi (sumber utama dan sumber cadangan) secara otomatis dan responsif. Hal ini memastikan kontinuitas pasokan energi listrik ke beban sehingga memperoleh sumber energi yang andal dengan biaya yang lebih ekonomis, yang sering disebut sebagai solusi *hybrid*. Dengan menggunakan perangkat ATS membantu mencegah terjadinya gangguan dan kerugian akibat kehilangan daya, terutama dalam situasi kritis atau di lokasi memerlukan pasokan listrik yang stabil dan tidak terputus.

Pada perencanaan sitem *Automatic Transfer Switch* ini menggunakan perangkat ATS pabrikan (*built-in*) yang dimana semua komponen dan fitur yang diperlukan untuk operasi ATS telah terpasang dan teruji dalam satu paket atau perangkat yang siap digunakan. Untuk mempermudah penjelasan mengenai prinsip kerja sistem ATS pada perencanaan PLTS ini, maka akan ditampilkan dalam bentuk diagram alur seperti ditunjukkan pada Gambar 4.51.



Gambar 4.51 Diagram Alur Sistem *Automatic Transfer Switch*

Dalam diagram alur ATS di atas, dapat dijelaskan bahwa:

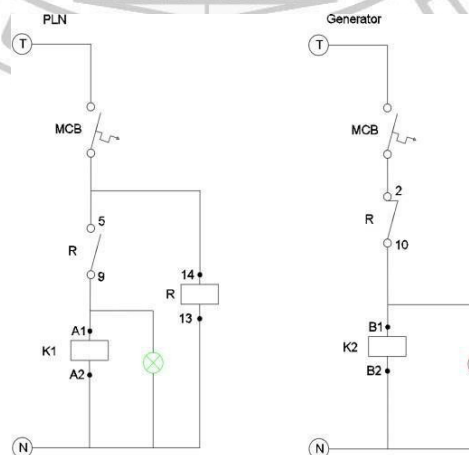
- Perangkat ATS akan terus memantau tegangan dari sumber cadangan utama yaitu PLN dan sumber cadangan tambahan yaitu Generator. Jika tegangan terdeteksi pada PLN, maka tegangan tersebut akan dialirkan ke inverter dan akan menjadi sumber energi cadangan apabila energi dari panel surya tidak mencukupi untuk

mensuplai beban serta suplai energi dari baterai sudah mencapai batas level *dept of discharge* (DOD) baterai diatur pada tingkat 80%.

- Apabila tidak ada tegangan atau terjadi pemadaman listrik pada PLN, maka secara otomatis perangkat ATS beralih ke generator dan tegangan dari generator dialirkan ke inverter untuk menjadi sumber cadangan yang akan mendukung PLTS sebagai penyedia energi ke beban.
- Selama penggunaan sumber cadangan tambahan yaitu generator, ATS akan terus memantau tegangan dari sumber cadangan PLN. Begitu tegangan PLN sudah pulih atau kembali normal, maka secara otomatis perangkat ATS akan beralih kembali ke sumber cadangan PLN. Perlu diketahui bahwa walaupun Generator dalam posisi *standby* atau padam tetapi pada perannya sebagai cadangan tambahan, maka perangkat ATS akan memprioritaskan PLN sebagai cadangan utama pendukung penyediaan energi ke beban.

4.13.2 Rangkaian Kontrol ATS

Rangkaian kontrol ATS ini bekerja berdasarkan kombinasi saklar-saklar otomatis, termasuk Relay dan sistem magnetik yang sudah tersedia pada perangkat ATS pabrikan yang akan digunakan. Secara lebih jelas dapat digambarkan di bawah ini.

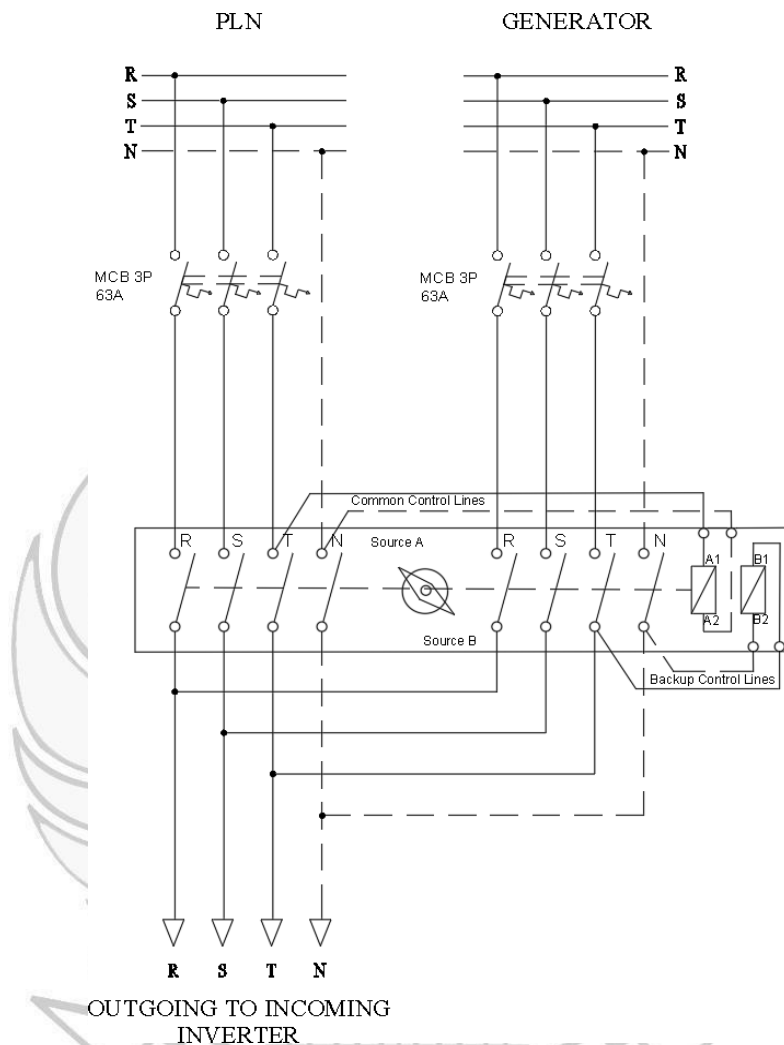


Gambar 4.52 Rangkaian Kontrol Sumber Cadangan Pada ATS

Dari rangkaian kontrol pada perangkat ATS di atas dapat dijelaskan bahwa:

- Ketika MCB PLN dinyalakan (tuas dalam kondisi ON) maka tegangan listrik akan dialirkan ke *coil* (pin 14) Relay My4 (R) pada perangkat ATS, sehingga pin 5 dan 9 dari R yang tadinya NO (*Normally Open*) menjadi terhubung dan tertutup yang akan mengalirkan tegangan listrik ke *coil* pin A1 pada K1.
- Kemudian jika *coil* A1 sudah dialiri tegangan maka lampu indikator PLN akan menyala, sehingga pada pin 2 dan 10 R akan memutus *coil* NC (*Normally Close*) dari sumber generator sehingga tidak akan ada tegangan listrik yang mengalir ke K2.
- Pada saat tegangan PLN tiba-tiba hilang (pemadaman listrik) dan tuas MCB generator dalam kondisi on, maka pada pin 2 dan 10 R yang tadinya terputus menjadi NO kembali (tersambung). Sehingga akan mengaktifkan *coil* B1 pada K2 dan indikator generator akan menyala.
- Apabila sewaktu-waktu tegangan PLN terdeteksi (kembali normal), maka sumber PLN yang akan menjadi cadangan energi untuk membantu pemenuhan energi yang dibutuhkan pada beban, serta pin 2 dan 10 (NC) pada R akan memutus aliran dari generator.

4.13.3 Rangkaian Daya ATS



Gambar 4.53 Rangkaian Daya Pada ATS

Berdasarkan gambar rangkaian daya di atas, dapat dijelaskan bahwa:

- Perangkat ATS dipasang diantara suplai daya PLN dengan suplai daya generator yang terintegrasi menuju ke input inverter yang sama.
- Ketika *coil* A1 dialiri tegangan listrik akan menimbulkan medan magnet yang akan menarik pin NO pada tiap-tiap fasa (pin R, S, T) pada sisi source A yang akan berubah menjadi terhubung,

sehingga akan mengalirkan tegangan ke inverter dengan peran sebagai sumber cadangan yang akan membantu penyediaan energi ketika sumber PLTS tidak mencukupi kebutuhan beban.

- Selama tegangan PLN masih terdeteksi pada perangkat ATS, pada source B disetiap pin fasa tetap dalam posisi NO (terputus), sehingga sumber dari generator tidak akan terhubung pada input inverter.
- Sedangkan ketika *coil* A1 tidak dialiri tegangan maka akan mengaktifkan *coil* B1 yang akan menarik pin NO dengan prinsip magnetik disetiap fasa pada sisi source B yang akan berubah menjadi terhubung dan akan mengalirkan ke input inverter, begitupun seterusnya.

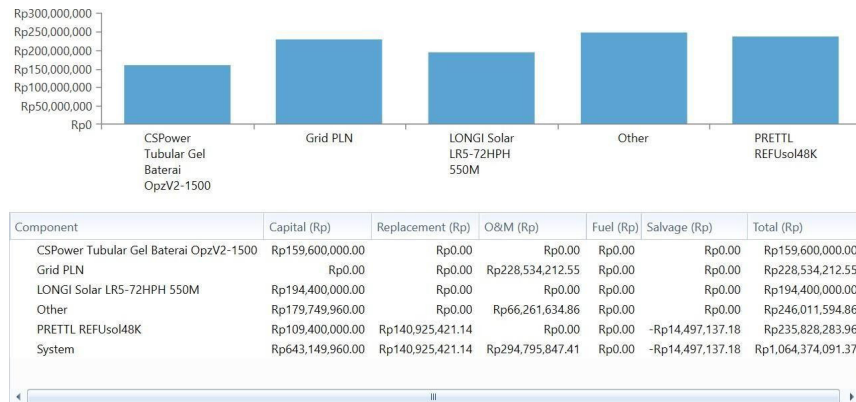
Sistem ATS bekerja secara otomatis dan terintegrasi untuk mencegah terjadinya gangguan atau *flicker* saat sistem otomatis beroperasi. *Flicker* mengacu pada fluktuasi tegangan yang berulang atau tidak stabil dalam pasokan daya listrik yang dapat menyebabkan gangguan atau kerusakan pada peralatan elektronik yang sensitif.

Dengan menggunakan perangkat ATS, perpindahan antara sumber daya PLN dan sumber daya dari generator dapat dilakukan secara otomatis dan responsif dengan memiliki kecepatan pengalihan kurang dari satu detik. Waktu pengalihan yang lebih cepat dapat mengurangi fluktuasi dan ketidakstabilan dalam pasokan daya, sehingga dapat meminimalisir kemungkinan terjadinya *flicker*.

4.14 Analisis Ekonomi

4.14.1 Capital Cost

Pada simulasi yang telah dilakukan, dapat dilihat rincian biaya yang harus dikeluarkan dalam perancangan sistem PLTS *Hybrid* yang didesain pada simulasi software HOMER Pro. Adapun rincian biaya tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.54 berikut.



Gambar 4.54 Tampilan *Cost Summary*

Dapat dilihat pada Gambar 4.54 diatas bahwa total biaya investasi awal yang dikeluarkan sebesar Rp. 643.149.960 Dari tota biaya tersebut, dapat dijelaskan pembagian dari biaya investasi awal yang digunakan adalah untuk biaya pembelian panel surya sebesar 30%, untuk pembelian baterai sebesar 25%, untuk inverter 17%, untuk *Grid* PLN 0%, dan untuk biaya lainnya yang meliputi jasa instalasi, dan lain-lain sebesar 28%. Adapun rincian dari biaya investasi awal untuk pembelian komponen utama, sistem proteksi DC, sistem produksi sistem AC dan beberapa komponen tambahan lainnya dalam perancangan PLTS *Hybrid* ini dapat dilihat pada Tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.8 Total Biaya Investasi

No	Komponen	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Subtotal Harga
A. Komponen Utama					
1	Panel Surya LONGI-Mono Solar 470 Wp	72	Unit	Rp 2.700.000,00	Rp 194.400.000,00
2	Inverter Sunon IV 8 kW	4	Unit	Rp 27.350.000,00	Rp 109.400.000,00
3	ATS	1	Unit	Rp 415.000,00	Rp 415.000,00
4	Baterai CsPower 2V 1500 Ah	24	Unit	Rp 6.650.000,00	Rp 159.600.000,00
Total Harga A					Rp 463.815.000,00
B. Perangkat Proteksi Sisi DC					
1	Panel Box 20 × 17× 12 cm	1	Pcs	Rp 90.000,00	Rp 90.000,00
2	NT Fuse 35A	4	Pcs	Rp 25.000,00	Rp 100.000,00
3	MCB DC 40A	4	Pcs	Rp 56.000,00	Rp 224.000,00
4	Arester DC SPD	4	Pcs	Rp 145.000,00	Rp 580.000,00
Total Harga B					Rp 994.000,00

C. Perangkat Proteksi AC						
1	Panel Box 20 x 17 x 12cm	4	Pcs	Rp	90.000,00	Rp 360.000,00
2	Panel Box 40 x 50 x 18 cm	2	Pcs	Rp	203.000,00	Rp 406.000,00
3	MCB AC 50A	8	Pcs	Rp	95.000,00	Rp 760.000,00
	MCB AC 32A	8	Pcs	Rp	85.000,00	Rp 680.000,00
4	MCB AC 63A	3	Pcs	Rp	95.000,00	Rp 285.000,00
5	Arester AC SPD	4	Pcs	Rp	222.740,00	Rp 890.960,00
Total Harga C						Rp 3.381.960,00
D. Pengkabelan						
1	Kabel NYAF 1x16 mm	4	Roll	Rp	1.700.000	Rp 6.800.000,00
2	Kabel NYAF 1x95 mm	10	Meter	Rp	170.000	Rp 1.700.000,00
3	Kabel NYHY 3x16 mm	100	Meter	Rp	120.000	Rp 12.000.000,00
Total Harga D						Rp 20.500.000,00
E. Komponen Lainnya						
1	Beton	6	Pcs	Rp	150.000,00	Rp 900.000,00
2	Rel AL6005-T5	125	Meter	Rp	225.000,00	Rp 28.125.000,00
3	End Clamp	36	Unit	Rp	15.000,00	Rp 540.000,00
4	Mid Clamp	126	Unit	Rp	15.000,00	Rp 1.890.000,00
5	Tile Roof Hook	36	Pcs	Rp	85.000,00	Rp 3.060.000,00
6	Busbar Tembaga	22	Batang	Rp	50.000,00	Rp 1.100.000,00
7	Din Rail	4	Batang	Rp	17.000,00	Rp 68.000,00
8	Grounding Rod 1,5 m	2	Batang	Rp	55.000,00	Rp 110.000,00
9	Kabel Duck	15	Meter	Rp	8.000,00	Rp 120.000,00
10	Lampu Pilot	2	Pcs	Rp	25.000,00	Rp 50.000,00
11	Klem Kuku Macan	2	Pcs	Rp	22.000,00	Rp 44.000,00
12	Konektor MC4 Cabang 2 in 1	12	Pcs	Rp	40.000,00	Rp 480.000,00
13	Grounding Bar Tembaga	2	Batang	Rp	36.000,00	Rp 72.000,00
14	Jasa Instalasi	39,6	kWp	Rp	3.000.000,00	Rp 118.800.000,00
Total Harga E						Rp 154.459.000,00
Investasi Awal						Rp 643.149.960,00
Biaya Investasi (Rp/kW)						Rp. 2.925.230,53

4.14.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Perhitungan total biaya adalah total yang dikeluarkan selama masa pengoperasian dan pemeliharaan sistem PLTS *Hybrid* tiap tahunnya. Total biaya yang dikeluarkan meliputi biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS *Hybrid*, baik untuk pembelian *Grid* PLN yang digunakan sebagai pembangkit maupun biaya penggantian

inverter yang kemudian nantinya ditambahkan.

Adapun perhitungan biaya operasi dan pemeliharaan dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut:

- Biaya operasional PLTS dapat dihitung sesuai dengan umur dari komponen yang digunakan dengan menggunakan perhitungan berikut:

Note = 2 kali pergantian inverter

Harga Inverter = Rp. 109.400.000 (Rp. 27.300.000 x 4)

Biaya Operasional = 2 x Rp 109.400.000

= Rp. 218.800.000

- Biaya Pembelian Grid PLN dapat dihitung berdasarkan harga jual dari *Grid* PLN per-tahunnya, dimana biaya pembelian dari *Grid* PLN per-tahunnya sebesar Rp. 1.552,88/kWh dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

Jumlah pembelian Grid PLN = 14.566 kWh/tahun

Harga Per KWh = Rp. 1.552,88

Biaya Pembelian = 14.566 x Rp. 1.552,88

= Rp. 22.619.250

- Biaya pemeliharaan system PLTS Hybrid per-tahun dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

Investasi Awal = Rp. 643.149.960

Biaya Pemeliharaan = 2% x Investasi Awal

= 2% x Rp. 643.149.960

= Rp. 12.862.999

Sehingga, total keseluruhan dari biaya Operasional dan Maintenance PLTS *Hybrid* dalam setahun adalah sebesar Rp.35.482.250 biaya tersebut belum termasuk biaya operational PLTS yang merupakan biaya untuk pergantian komponen, yaitu sebesar Rp. 218.800.000. Dan untuk biaya yang tak terduga diperoleh dari nilai 2% dikalikan dengan biaya investasi awal yang memiliki hasil sebesar

Rp. 12.862.999/tahun, dimana umur proyek yaitu sebesar 25 tahun. Sehingga hasil dari nilai 12.862.999/tahun yang dikalikan dengan umur proyek selama 25 tahun sebesar Rp. 321.574.975 yang didalamnya termasuk biaya tak terduga selama masa proyek.

4.14.3 Nilai Sisa (*Salvage*)

Pada perencanaan sistem PLTS *Hybrid* ini, komponen yang memiliki nilai sisa adalah inverter. Dimana, inverter ini sendiri memiliki masa pakai selama 10 tahun dan waktu proyek sendiri selama 25 tahun. Oleh karena itu, untuk memperoleh nilai sisa dari komponen terlebih dahulu perlu dilakukan perhitungan dari durasi biaya pergantian yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 R_{rep} &= R_{comp} \times INT \left[\frac{R_{proj}}{R_{comp}} \right] \\
 &= 10 \times INT \left[\frac{25}{10} \right] \\
 &= 10 \times 2 \\
 &= 20 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Kemudian, setelah memperoleh durasi dari biaya pergantian, selanjutnya kita dapat melakukan perhitungan dalam menentukan sisa umur komponen pada akhir masa proyek yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 R_{rem} &= R_{comp} - (R_{proj} - R_{rep}) \\
 &= 10 - (25 - 20) \\
 &= 5 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Kemudian, setelah memperoleh durasi biaya pergantian, sisa umur dari komponen, dan harga pergantian sebesar Rp.109.400.000. Selanjutnya, kita dapat menentukan biaya sisa dari komponen inverter dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
S &= C_{rep} \left[\frac{R_{prem}}{R_{comp}} \right] \\
&= \text{Rp. } 109.400.000 \left[\frac{5 \text{ tahun}}{10} \right] \\
&= \text{Rp. } 109.400.000 \times 0.5 \\
&= \text{Rp. } 54.700.000
\end{aligned}$$

Dari perhitungan nilai sisa diatas, dapat diperoleh nilai sisa dari komponen sebesar Rp. 54.700.000.

4.14.4 Net Present Cost

Pada perencanaan ini biaya terbesar yang dikeluarkan adalah biaya investasi awal dari sistem PLTS *Hybrid* sebesar Rp. 643.149.960, biaya Operasional dan Maintenance sebesar Rp. 887.056.232, dimana biaya tersebut merupakan kalkulasi biaya sebesar Rp.35.482.250 yang dikalikan dengan umur proyek selama 25 tahun, biaya pergantian komponen sebesar Rp. 218.800.000 dan adanya nilai *salvage* sebesar Rp. 54.700.000.

Untuk mengetahui nilai NPC dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{NPC} = \text{Capital Cost} + \text{Replacemet Cost} + \text{O\&M Cost} - \text{Salvages}$$

$$\text{NPC} = \text{Rp. } 643.149.960 + \text{Rp. } 218.800.000 + \text{Rp. } 887.056.232 -$$

$$\text{Rp. } 54.700.000$$

$$\text{NPC} = \text{Rp. } 1.694.306.192/\text{tahun}$$

Berdasarkan hasil simulasi pada software HOMER Pro diperoleh nilai NPC sebesar Rp. 1.064.374.091. Sedangkan, hasil perhitungan yang dilakukan secara teoritis diperoleh nilai NPC sebesar Rp. 1.694.306.192. Adapun selisih dari keduanya adalah sebesar Rp.630.411.918. Perbedaan hasil perhitungan dan simulasi tersebut dikarenakan pada software HOMER Pro sendiri menggunakan model matematis dan berbagai asumsi untuk menghitung nilai NPC. Sehingga, perbedaan dalam model matematis atau asumsi yang digunakan dapat menyebabkan perbedaan dalam

hasilnya. Selain itu, simulasi yang dijalankan pada aplikasi HOMER Pro menghasilkan data yang berusah untuk mencerminkan kondisi dan variabilitas dunia nyata, sedangkan perhitungan yang dilakukan secara teoritis cenderung lebih idealis dan didasarkan pada asumsi yang lebih sederhana.

4.14.5 Life Cyle Cost

Perencanaan PLTS *Hybrid* ini dapat berjalan selama 25 tahun, berdasarkan masa pakai dari panel surya yang digunakan. Adapun, suku bunga yang digunakan dalam perencanaan ini adalah 8,43%, sehingga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Diketahui,

Biaya Operasional & Maintenance (A) = Rp.35.482.250

n = 25 tahun

$$MPW = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

$$MPW = \text{Rp. } 35.482.250 \left[\frac{(1 + 0,0843)^{25} - 1}{0,0843(1 + 0,0843)^{25}} \right]$$

$$MPW = \text{Rp. } 35.482.250 \times 10,28$$

$$MPW = \text{Rp. } 364.757.522$$

Sehingga, biaya tetap dari pemeliharaan selama masa pakai 25 tahun, dapat ditentukan nilai LCC sebagai berikut:

$$\begin{aligned} LCC &= C_t + MPW \\ &= (\text{Rp. } 643.149.960 + \text{Rp. } 218.800.000) + \text{Rp. } 364.757.522 \\ &= \text{Rp. } 1.226.707.482 \end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas, maka dipeoleh nilai LCC pada PLTS *Hybrid* adalah sebesar Rp. 1.226.707.482.

4.14.6 Cost of Energy

Sebelum melakukan perhitungan *Cost of Energy* (COE), terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai

Capital Recovery Factor (CRF). CRF digunakan untuk mengkonversi semua arus kas dari biaya siklus hidup menjadi serangkaian biaya tahunan yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

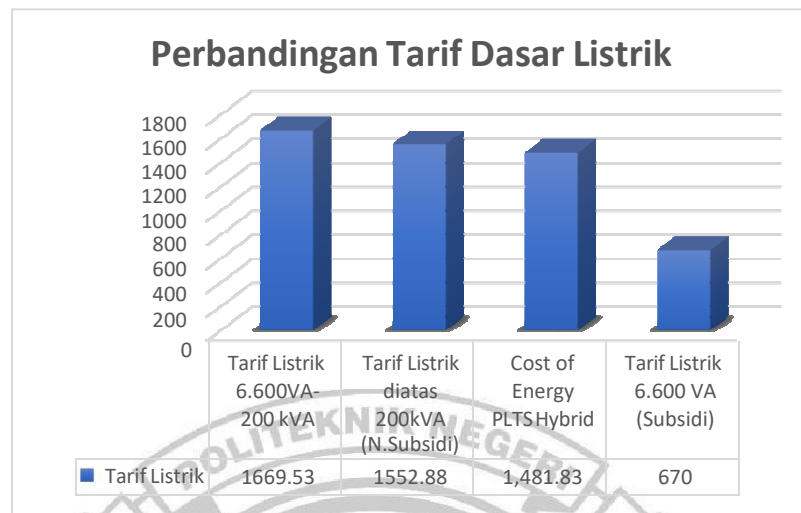
$$\begin{aligned} \text{CRF} &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\ &= \frac{0.0843(1+0.0843)^{25}}{(1+0.0843)^{25} - 1} \\ &= \frac{0.638}{6.564} \\ &= 0.097 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai LCC, CRF dan jumlah energi yang dihasilkan per-tahunnya diperoleh sebesar 80.300kWh/tahun, yang memungkinkan untuk melakukan perhitungan dalam menentukan nilai COE, yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{COE} &= \frac{\text{LCC} \times \text{CRF}}{\text{A KWH}} \\ &= \frac{\text{Rp. } 1.226.707.482 \times 0.097}{80.300} \\ &= \text{Rp. } 1.481,83/\text{kWh} \end{aligned}$$

Nilai COE yang diperoleh antara simulasi pada software HOMER Pro diperoleh sebesar Rp. 1.186,93/kWh dan hasil perhitungan nilai COE secara teoritis diperoleh sebesar Rp. 1.481,83/kWh, sehingga dapat dilihat selisih antar keduanya adalah sebesar Rp. 294,90/kWh.

Tarif dasar dari penjualan listrik oleh PT.PLN dengan daya 6.600VA-200 kVA adalah sebesar Rp. 1.669,53, daya diatas 200kVA (non subsidi) sebesar 1.552,88, daya 6.600 VA (Subsidi) sebesar Rp.670, dan tarif listrik dari sistem PLTS *Hybrid* dalam perencanaan ini sebesar Rp. 1.481,83/kWh, sehingga dapat dilihat perbandingan antara biaya produksi PLTS *Hybrid* dengan harga tarif dasar listrik oleh PT.PLN dapat dilihat pada Gambar 4.55 berikut.



Gambar 4.55 Perbandingan Tarif Dasar Listrik

Dari hasil perbandingan pada Gambar 4.55 diatas, dapat disimpulkan bahwa, biaya produksi energi yang diperoleh sistem PLTS *Hybrid* pada kantor Bupati Sidenreng Rappang memiliki nilai yang lebih rendah dari tarif dasar yang ditetapkan oleh PT.PLN dengan daya 6.600VA-200kVA dengan tarif dasar Rp. 1.669,53/kWh dan daya diatas 200kVA dengan tarif dasar sebesar Rp. 1.552,88/kWh, jika dibandingkan dengan hasil biaya produksi yang diperoleh dari sistem PLTS *Hybrid* yaitu sebesar Rp.1.481,83/kWh. Sehingga dari segi ekonomi, dapat disimpulkan bahwa pada lokasi ini layak untuk dilakukan perancangan.

4.15 Analisis Kelayakan

4.15.1 Payback Periode

Sebelum menentukan nilai *Pay Back Periode* (PBP), terlebih dahulu dilakukan perhitungan jumlah pendapatan bersih tahunan dari sistem perancangan yang dilakukan. Besarnya pendapatan bersih tahunan diperoleh dengan mengalikan kuantitas listrik yang dihasilkan dengan harga jual energi terbarukan. Harga jual listrik terbarukan ini sesuai dengan hasil perhitungan secara teoritis sebesar Rp. 1.401,38/kWh. Kemudian menghitung pengeluaran per-tahun

dengan mengkalkulasikan keseluruhan biaya *operational* dan *maintanance* dari sistem PLTS *Hybrid*. Kemudian pendapatan bersih diperoleh dengan mengurangi pendapatan dari biaya, seperti yang ditunjukkan pada perhitungan berikut:

- Arus Kas Masuk = Total Konsumsi Energi × Harga Jual Listrik
 = Rp. 80.300 /kWh × Rp. 1.401,96/kWh
 = Rp. 112.577.392/tahun

- Arus Kas Keluar (O&M) = *Maintenance* PLTS *Hybrid*
 = Rp. 12.862.999
- Arus Kas Keluar PLN = Pembelian *Grid* PLN
 = Rp. 22.619.250
- Arus Kas Keluar Total = Arus Kas Keluar (O&M) + Arus Kas Keluar *Grid* PLN
 = Rp. 12.862.999 + Rp. 22.619.250
 = Rp. 35.482.250

- Pendapatan Bersih = Alur Kas Masuk – Alur Kas Keluar
 = Rp. 112.577.392 – Rp. 29.050.750
 = Rp. 83.526.642/tahun

Setelah mengetahui laba bersih yang diperoleh per tahun, Selanjutnya melakukan perhitungan nilai PBP untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk melunasi biaya konstruksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Payback Period} &= \frac{\text{Modal Investasi Awal}}{\text{Pendapatan}} \\
 &= \frac{\text{Rp.643.149.960}}{\text{Rp.83.526.642}} \\
 &= 7 \text{ Tahun } 7 \text{ Bulan}
 \end{aligned}$$

4.15.2 Net Present Value

Perhitungan *Net Present Value* (NPV) membutuhkan jumlah biaya investasi, arus kas masuk dan keluar, dan faktor diskonto.

Parameter yang diperlukan untuk mendapatkan nilai NPV ditunjukkan pada Tabel 4.9 sebagai berikut.

Tabel 4.9 Parameter Memperoleh *Net Present Value*

No.	Indikator	Nilai
1	Arus Kas Masuk	Rp. 112.577.392
2	Arus Kas Keluar	Rp. 29.050.750
3	Arus Kas Bersih	Rp. 83.526.642
4	Biaya Investasi	Rp. 643.149.960
5	Suku Bunga	8.43%

Kemudian, untuk memperoleh nilai dari pendapatan bersih total (NCFt) perlu terlebih dahulu dilakukan penentuan nilai dari DF yang dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan seperti berikut

$$\begin{aligned}
 DF &= \frac{1}{(1+i)^t} \\
 &= \frac{1}{(1+0.0843)^1} \\
 &= 0.992
 \end{aligned}$$

Tabel 4.10 Nilai *Net Present Value*

NET PRESENT VALUE				
TAHUN	BIAYA INVESTASI	ARUS KAS BERSIH	DF	PVNCf
0	Rp 643.149.960,00		1	Rp 643.149.960
1		Rp 83.526.642,00	0,922	Rp 77.032.779
2		Rp 83.526.642,00	0,851	Rp 71.043.787
3		Rp 83.526.642,00	0,784	Rp 65.520.416
4		Rp 83.526.642,00	0,723	Rp 60.426.465
5		Rp 83.526.642,00	0,667	Rp 55.728.549
6		Rp 83.526.642,00	0,615	Rp 51.395.876
7		Rp 83.526.642,00	0,567	Rp 47.400.052
8		Rp 83.526.642,00	0,523	Rp 43.714.887
9		Rp 83.526.642,00	0,483	Rp 40.316.229
10		Rp 83.526.642,00	0,445	Rp 37.181.803
11		Rp 83.526.642,00	0,411	Rp 34.291.066
12		Rp 83.526.642,00	0,379	Rp 31.625.072
13		Rp 83.526.642,00	0,349	Rp 29.166.349
14		Rp 83.526.642,00	0,322	Rp 26.898.782

15		Rp 83.526.642,00	0,297	Rp 24.807.509
16		Rp 83.526.642,00	0,274	Rp 22.878.824
17		Rp 83.526.642,00	0,253	Rp 21.100.087
18		Rp 83.526.642,00	0,233	Rp 19.459.639
19		Rp 83.526.642,00	0,215	Rp 17.946.730
20		Rp 83.526.642,00	0,198	Rp 16.551.443
21		Rp 83.526.642,00	0,183	Rp 15.264.634
22		Rp 83.526.642,00	0,169	Rp 14.077.870
23		Rp 83.526.642,00	0,155	Rp 12.983.372
24		Rp 83.526.642,00	0,143	Rp 11.973.966
25		Rp 83.526.642,00	0,132	Rp 11.043.038
TOTAL				Rp 859.829.226
DISKONTO ANNUITIES				10,294

Tabel 4.10 menunjukkan total nilai sekarang arus kas bersih hasil perkalian arus kas bersih dengan faktor diskon adalah Rp.859.829.226, jika investasi awal Rp. 643.149.960, maka NPV dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 NPV &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF}{(1+i)^t} - IA \\
 &= Rp.859.829.226 - Rp. 643.149.960 \\
 &= Rp. 216.679.266
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, diketahui nilai NPV yang diperoleh dari umur proyek selama 25 tahun adalah sebesar Rp. 216.679.266 dimana, nilainya positif dan membuktikan bahwa perencanaan PLTS *Hybrid* ini adalah investasi yang layak dan memiliki tingkat diskonto sebesar 10,294%. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa perencanaan PLTS *Hybrid* dapat dikatakan layak.

4.15.3 Internal Rate of Return

Dalam menentukan nilai IRR pada saat NPV = 0 dapat digunakan metode interpolasi antara suku bunga yang menghasilkan NPV positif dan suku bunga yang menghasilkan NPV negatif. Dimana, suku bunga rendah yang digunakan adalah 7% dan suku bunga tinggi yang digunakan adalah 13%.

Sehingga, untuk memperoleh nilai dari NCF_t dari tingkat suku bunga rendah perlu terlebih dahulu melakukan penentuan nilai dari DF dengan menggunakan persamaan seperti yang ditunjukkan berikut:

$$DF = \frac{1}{(1+i)^t} = \frac{1}{(1+0.07)^1} = 0.935$$

Tabel 4.11 Tingkat Suku Bunga Rendah 7%

NET PRESENT VALUE				
TAHUN	BIAYA INVESTASI	ARUS KAS BERSIH	FAKTOR DISKONTO	NILAI SEKARANG
0	Rp 643.149.960,00		1	Rp 643.149.960
1		Rp 83.526.642,00	0,935	Rp 78.062.282
2		Rp 83.526.642,00	0,873	Rp 72.955.404
3		Rp 83.526.642,00	0,816	Rp 68.182.621
4		Rp 83.526.642,00	0,763	Rp 63.722.075
5		Rp 83.526.642,00	0,713	Rp 59.553.341
6		Rp 83.526.642,00	0,666	Rp 55.657.328
7		Rp 83.526.642,00	0,623	Rp 52.016.195
8		Rp 83.526.642,00	0,582	Rp 48.613.266
9		Rp 83.526.642,00	0,544	Rp 45.432.959
10		Rp 83.526.642,00	0,508	Rp 42.460.709
11		Rp 83.526.642,00	0,475	Rp 39.682.906
12		Rp 83.526.642,00	0,444	Rp 37.086.828
13		Rp 83.526.642,00	0,415	Rp 34.660.587
14		Rp 83.526.642,00	0,388	Rp 32.393.072
15		Rp 83.526.642,00	0,362	Rp 30.273.899
16		Rp 83.526.642,00	0,339	Rp 28.293.363
17		Rp 83.526.642,00	0,317	Rp 26.442.396
18		Rp 83.526.642,00	0,296	Rp 24.712.519
19		Rp 83.526.642,00	0,277	Rp 23.095.813
20		Rp 83.526.642,00	0,258	Rp 21.584.872
21		Rp 83.526.642,00	0,242	Rp 20.172.777
22		Rp 83.526.642,00	0,226	Rp 18.853.063
23		Rp 83.526.642,00	0,211	Rp 17.619.685
24		Rp 83.526.642,00	0,197	Rp 16.466.995
25		Rp 83.526.642,00	0,184	Rp 15.389.715
TOTAL				Rp 973.384.670
DISKONTO ANNUITIES				11,654

Tabel 4.11 menunjukkan bahwa total nilai sekarang dari arus kas bersih hasil perkalian arus kas bersih dengan DF adalah Rp.973.384.670 jika investasi awal Rp. 643.149.960 maka, NPVr dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} NPV_r &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF}{(1+i)^t} - IA \\ &= \text{Rp.}973.384.670 - \text{Rp.} 643.149.960 \\ &= \text{Rp.} 330.234.710 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui nilai NPVr yang telah diperoleh dari umur proyek selama 25 tahun adalah sebesar Rp. 330.234.710 dimana hasil nilainya positif dengan DF sebesar 11,654%.

Kemudian untuk memperoleh nilai dari NCFt dari tingkat suku bunga tinggi perlu terlebih dahulu menentukan nilai dari DF dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} DF &= \frac{1}{(1+i)^t} \\ &= \frac{1}{(1+0,13)^1} \\ &= 0,885 \end{aligned}$$

Tabel 4.12 Tingkat Suku Bunga Tinggi 13%

NET PRESENT VALUE				
TAHUN	BIAYA INVESTASI	ARUS KAS BERSIH	FAKTOR DISKONTO	NILAI SEKARANG
0	Rp 643.149.960,00		1	Rp 643.149.960
1		Rp 83.526.642,00	0,885	Rp 73.917.382
2		Rp 83.526.642,00	0,783	Rp 65.413.613
3		Rp 83.526.642,00	0,693	Rp 57.888.153
4		Rp 83.526.642,00	0,613	Rp 51.228.454
5		Rp 83.526.642,00	0,543	Rp 45.334.915
6		Rp 83.526.642,00	0,480	Rp 40.119.394
7		Rp 83.526.642,00	0,425	Rp 35.503.888
8		Rp 83.526.642,00	0,376	Rp 31.419.370
9		Rp 83.526.642,00	0,333	Rp 27.804.752
10		Rp 83.526.642,00	0,295	Rp 24.605.975

11		Rp 83.526.642,00	0,261	Rp 21.775.200
12		Rp 83.526.642,00	0,231	Rp 19.270.088
13		Rp 83.526.642,00	0,204	Rp 17.053.175
14		Rp 83.526.642,00	0,181	Rp 15.091.306
15		Rp 83.526.642,00	0,160	Rp 13.355.138
16		Rp 83.526.642,00	0,141	Rp 11.818.706
17		Rp 83.526.642,00	0,125	Rp 10.459.032
18		Rp 83.526.642,00	0,111	Rp 9.255.780
19		Rp 83.526.642,00	0,098	Rp 8.190.956
20		Rp 83.526.642,00	0,087	Rp 7.248.634
21		Rp 83.526.642,00	0,077	Rp 6.414.720
22		Rp 83.526.642,00	0,068	Rp 5.676.743
23		Rp 83.526.642,00	0,060	Rp 5.023.667
24		Rp 83.526.642,00	0,053	Rp 4.445.723
25		Rp 83.526.642,00	0,047	Rp 3.934.268
TOTAL				Rp 612.249.031
DISKONTO ANNUITIES				7,330

Tabel 4.12 menunjukkan bahwa total nilai sekarang arus kas bersih hasil perkalian arus kas bersih dengan DF adalah Rp.612.249.031 jika investasi awal Rp.643.149.960 maka NPVt dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 NPV_t &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF}{(1+i)^t} - IA \\
 &= Rp.612.249.031 - Rp.643.149.960 \\
 &= Rp. -30.900.929
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui nilai NPVt yang diperoleh dari umur proyek selama 25 tahun adalah sebesar Rp. -30.900.929 dimana hasil nilainya negatif dengan DF sebesar 7.330%.

Dari kedua tabel di atas diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.13 di bawah ini yang kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

Tabel 4.13 Rangkuman Data-Data NPVr dan NPVt

IRR		
ir =	Bunga Rendah	7,00%
it =	Bunga Tinggi	13,00%
NPVr	NPV bunga rendah	Rp 330.234.710
NPVt	NPV bunga tinggi	-Rp 30.900.929
DFr	Annuitia	11,654
DFt	Annuitia	7,330
Arus Kas	per bulan	Rp 83.526.642,00
IRR		12,487%

$$\begin{aligned}
 \text{IRR} &= \text{ir} \frac{\text{NPVr}}{\text{NPVt} - \text{NPVr}} (\text{it} - \text{ir}) \\
 &= 7\% + \left(\frac{\text{Rp } 330.234.710}{\text{Rp } 330.234.710 - (-\text{Rp } 30.900.929)} \right) (13\% - 7\%) \\
 &= 12.487 \%
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh nilai IRR 12.487 %, lebih tinggi dari suku bunga deposito 8,43%, sehingga perencanaan PLTS *Hybrid* dianggap layak di Kantor Bupati Kabupaten Sidenreng Rappang.

4.15.4 Profitability Index

Dengan total *present value* arus kas bersih sebesar Rp.859.829.226 dan biaya investasi awal sebesar Rp. 643.149.960, maka nilai PI dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{PI} &= \frac{\sum_{t=1}^n \text{NCF}_t(1+i)^{-t}}{\text{IA}} \\
 &= \frac{\text{Rp.859.829.226}}{\text{Rp.643.149.960}} \\
 &= 1,33
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan PI yang memiliki nilai 1,33 > 1 menunjukkan bahwa investasi PLTS *Hybrid* di Kantor Bupati Kabupaten Sidenreng Rappang yang akan direncanakan layak dilakukan.

4.16 Manajemen Risiko

Dari Hasil penelitian ditemukan bahwa dalam perencanaan PLTS *Hybrid* terdapat beberapa risiko yang perlu diperhatikan dan memerlukan strategi atau solusi mitigasi yang sesuai. Pada Tabel 4.14 menunjukkan manajemen risiko yang terkait dengan perencanaan PLTS *Hybrid*, seperti yang terlihat berikut ini:

Tabel 4.14 Manajemen Risiko

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

8	Perubahan Kebijakan Regulasi	Rendah	Dampak Finansial	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Memantau perubahan kebijakan regulasi yang berpotensi terjadi. ➤ Diversifikasi sumber pendapatan untuk mengurangi risiko.
---	------------------------------	--------	------------------	--

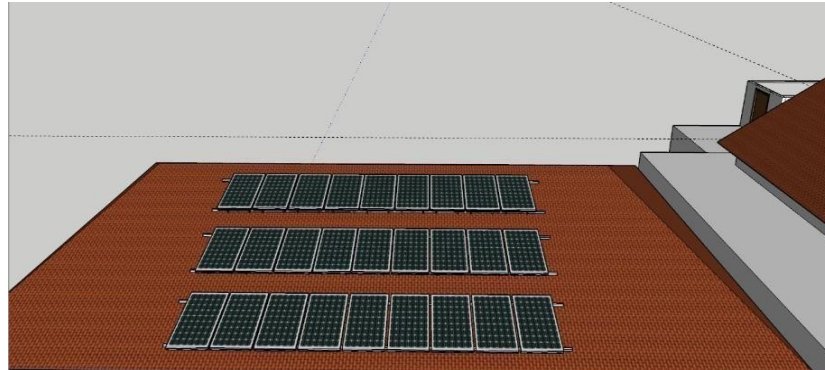
Manajemen risiko merupakan bagian integral dari pengambilan keputusan yang cerdas dan efektif dalam lingkungan yang penuh ketidakpastian. Dengan mengelola risiko dengan baik sehingga dapat mengurangi dampak negatif risiko seperti kegagalan sistem, meningkatkan keandalan operasional dan meningkatkan peluang untuk mencapai tujuan yang diinginkan.

4.17 Desain Layout 3D

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



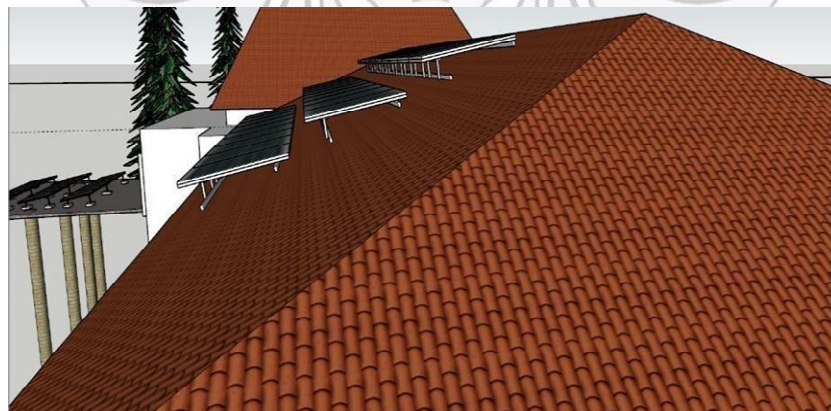
Gambar 4.56 Desain Layout PLTS Hybrid Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang



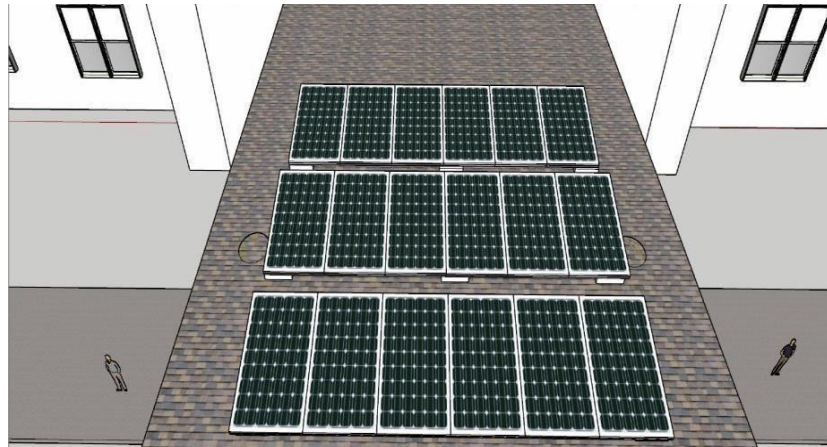
Gambar 4.57 Desain Layout PLTS Sisi Atap Kanan



Gambar 4.58 Desain Layout PLTS Sisi Atap Kiri



Gambar 4.59 Desain Layout PLTS Atap Tampak Samping

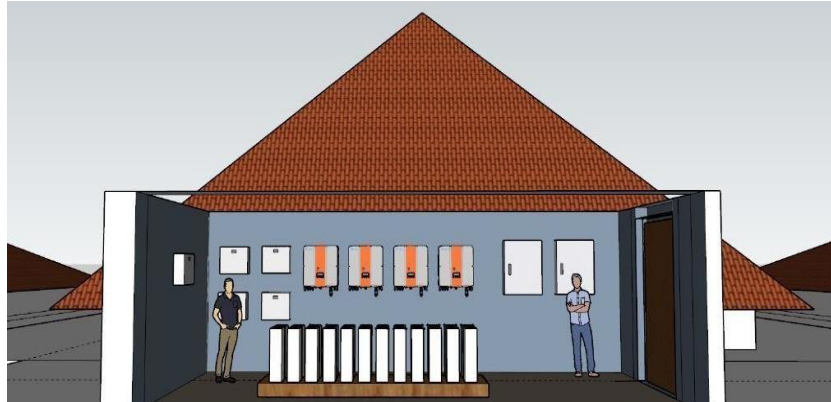


Gambar 4.60 Desain Layout PLTS Sisi Rooftop Tampak Atas

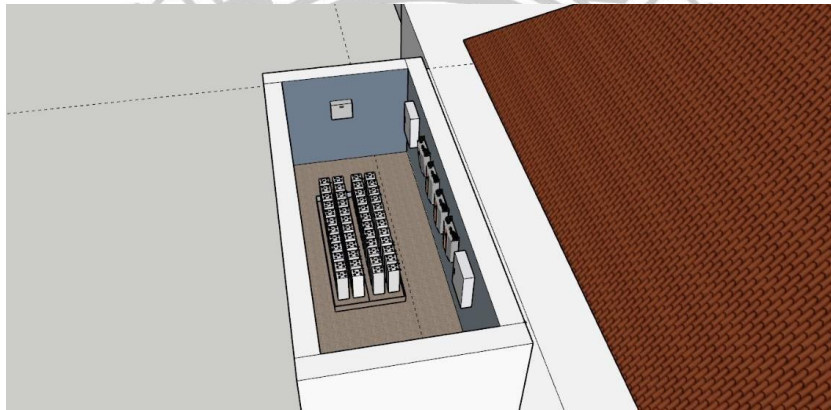


Gambar 4.61 Desain Layout PLTS Sisi Rooftop Tampak Samping

Pada sistem PLTS *Hybrid* ini, pemasangan panel surya direncanakan dipasang dibagian atap dan rooftop dengan menghadap ke arah utara dengan sudut kemiringan 10° agar dapat meningkatkan kinerja dan produksi energi dari panel surya. Untuk menunjang sudut kemiringan panel surya sesuai yang diinginkan, maka perlu menggunakan bantuan panel penyangga (*PV Mounting*) untuk meletakkan panel surya secara aman dengan mempertimbangkan arah matahari dan sudut kemiringan.



Gambar 4.62 Desain Layout Tampak Depan Ruang Sistem Kelistrikan



Gambar 4.63 Desain Layout Tampak Atas Ruang Sistem Kelistrikan.

Gambar di atas menampilkan layout akhir dari perencanaan penempatan komponen-komponen PLTS, yang dimana terdapat total 72 unit panel surya yang dilengkapi dengan penyangga panel, dan terdapat 4 unit inverter, 24 unit baterai, 7 unit panel box yang tersimpan dalam satu ruangan pembangkit atau ruangan sistem kelistrikan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian untuk perencanaan PLTS *Hybrid* pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang, dapat diambil beberapa kesimpulan diantara lain sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan PLTS *Hybrid* ini, daya maksimal yang dapat dibangkitkan sebesar 39,560 kWp dengan total 4 PV array yang masing-masing array terdiri dari 18 panel surya 550wp (seri 6 – paralel 3) dengan daya yang dihasilkan tiap array sebesar 9,9 kWp. Untuk inverter yang digunakan adalah inverter hybrid sebanyak 4 unit dengan masing-masing berkapasitas 12 kW dan arus maksimum charging dan discharging sebesar 240 A. Untuk penggunaan baterai sebagai penyimpanan energi digunakan baterai jenis VRLA dengan tegangan 2 volt berkapasitas 1500 Ah sebanyak 24 unit yang dirangkai dalam 24 seri dan 1 paralel agar mendapatkan tegangan sistem 48 volt.
2. Dari hasil simulasi pada software HOMER Pro, potensi energi listrik yang dihasilkan PLTS sebesar 75.701 kWh/tahun dan energi yang digunakan pada jaringan PLN sebesar 14.516 kWh/tahun dengan persentase kontribusi energi untuk PLTS hingga 83,9 % dan PLN 16,1 %. Dengan perolehan total produksi energi PLTS *Hybrid* dengan PLN sebesar 90.267 kWh/tahun, dan untuk Grid sales sebesar 6.740 kWh/tahun dalam artian energi ini merupakan energi yang terbuang dikarenakan kelebihan energi dari panel surya sudah tidak dapat disalurkan ke jaringan listrik PLN.
3. Dari hasil simulasi pada software PVSyst, potensi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS sebesar 62.178 kWh/tahun dan energi yang digunakan pada jaringan PLN sebesar 18.073 kWh/tahun dengan persentase kontribusi energi untuk PLTS hingga 77,48% dan PLN 22,52%. dengan kontribusi energi untuk PLTS Hybrid dengan PLN sebesar 80.251

kWh/tahun dan untuk Grid sales sebesar 2.456 kWh/tahun yang merupakan energi yang terbuang karena kelebihan energi dari panel surya sudah tidak dapat disalurkan ke jaringan PLN.

4. Dari aspek ekonomi dengan menggunakan perhitungan, perkiraan total biaya investasi PLTS *Hybrid* sebesar Rp. 643.149.960 dengan rata-rata penghasilan bersih pertahun sebesar Rp. 83.526.642 dan total biaya perawatan PLTS dan pembelian listrik PLN pertahun sebesar Rp. 29.050.750. Untuk nilai COE sebesar Rp. 1.401,96 dengan tingkat suku bunga deposit sebesar 8,43% dan masa proyek selama 25 tahun.
5. Berdasarkan hasil analisis kelayakan, PBP akan kembali modal sekitar 7 tahun 7 bulan, dengan NPV positif sebesar Rp. 330.234.710, IRR sebesar 12,487% dan PI sebesar 1,33. Dengan keempat indikator analisis tersebut menunjukkan bahwa investasi PLTS *Hybrid* pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng rapping dapat dinyatakan layak untuk dilaksanakan.

5.2 Saran

Berdasarkan analisis dan pembahasan dari penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat diambil sebagai pertimbangan untuk mencapai hasil yang lebih optimal, antara lain sebagai berikut:

1. Apabila perencanaan PLTS ingin direalisasikan maka perlu dilakukan pengawasan dengan tenaga ahli energi terbarukan untuk mendapatkan perspektif dan saran yang tepat dalam merancang sistem yang lebih efisien dan andal.
2. Pertimbangkan penggunaan setiap komponen PLTS sesuai dengan kebutuhan untuk meminimalisir energi yang terbuang, karena telah diketahui bahwa kebijakan terbaru surplus energi PLTS sudah tidak bisa dialirkan atau diekspor ke jaringan listrik PLN.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat ditambahkan sistem IoT/PLC untuk sistem kontrol PLTS yang dapat dimonitoring secara real-time.
4. Perlu adanya kajian lebih lanjut mengenai aspek teknis dan ekonomis dengan menggunakan metode yang belum digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asrori, A., dkk. 2022. Kajian Kelayakan Solar Rooftop On-Grid untuk Kebutuhan Listrik Bengkel Mesin di Polinema. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(4), 830.
- Burhan, Ahmad Zakky. 2020. Rancang Bangun Panel ATS (*Automatic Transfer Switch*) Antara PLTS (OFF Grid) Dengan Jaringan PLN. Skripsi. Jakarta: Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN.
- Chandra, Yudi. 2016. Analisis Ekonomi Energi Perencanaan Pembangunan PLTS (Studi Kasus Gedung Kuliah Politeknik Negeri Ketapang): *Jurnal Elka*, Vol. 8, No. 1.
- Dayu, R. 2022. Pengembangan Multimedia Pembelajaran Google Earth Berbasis Virtual Reality. Mata Pelajaran SKI. Madrasah Tsanawiyah Negeri 1 Solok. Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE), 2021, *Siaran Pers – Indonesia Kaya Energi Surya, Pemanfaatan Listrik Tenaga Surya oleh Masyarakat Tidak Boleh Ditunda*, <https://ebtke.esdm.go.id/>, diakses 2 April 2023.
- Fachrezy, Muhammad Dendy. 2022. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Off-Grid di Desa Terpencil Kabupaten Indragiri Hulu. Pekanbaru: Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Fakhri Albeni, 2020. Perancangan Sistem Pembangkit Listrik *Hybrid* Tenaga Surya dan PLN. Skripsi. Sumatera Barat: Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah.
- Hajir, Noor. 2021. Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Dengan Sistem Hybrid Di PT Koloni Timur. Skripsi. Semarang: Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung.
- Hakim, Krisna. 2020. Desain dan analisis unjuk kerja pembangkit listrik tenaga surya 15 Kw dengan memaksimalkan final yield dan performance ratio pada perkantoran skala kecil-sedang. Skripsi. Surakarta: Prodi Teknik Elektro, Universitas Sebelas Maret.

- Hanif, M, dkk. 2012. Studying Power Output of PV Solar Panels at Different Temperatures and Tilt Angles. Pakistan.
- HarrynovDe. 2009. <http://sketchuptutor.blogspot.com/2009/11/getting-to-knowsketchup-free.html>., diakses 14 Juni 2023.
- Haryanto, Bobby. 2018. Optimasi Pembangkit Hybrid PLN-Solar Cell Pada Aplikasi Home Industry. Skripsi. Yogyakarta: Jurusan Teknik Tlektro, Universitas Islam Indonesia.
- Indonesian Clean Energy Development (ICED) dan United Stated Agency for International development (USAID), Juni 2020. Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia. <https://drive.esdm.go.id/>, diakses 25 Maret 2023.
- Mahesa, Aditya Gilang, dkk. 2021. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *Hybrid* Sebagai Sumber Alternatif. *Jurnal Jurusan Teknik Elektro*. Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Mubarok, H. dan Farid, M. 2019. Hybrid power plant system analysis in seruni beach, Bantaeng district, South Sulawesi. In *Journal of Physics: Conference Series* . Vol. 1413, No. 1, p. 012010. IOP Publishing.
- Navies, Alvin. 2021. Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Biomass-Biogas (Studi Kasus: PT. Perkebunan Nusantara V Sei Galuh). Skripsi. Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi. Pekanbaru: Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2021 *Tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Yang Terhubung Pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Umum*. <https://drive.esdm.go.id/>, diakses 2 April 2023.
- Reza, M. 2021. Studi Kelayakan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Di Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP) Moredemak Dengan Menggunakan Software Homer. Doctoral dissertation, Universitas Sultan Agung.

- Riskawati, R. 2022. Studi Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Hybrid Untuk Penerapan Daerah Terisolir (Studi Kasus: Pulau Barrang Lompo)= Hybrid Electric Power System Planning Study for Isolated Area Application (Case Study: Barrang Lompo Island). Makassar: Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin.
- Sampeallo Agusthinus S., dkk. 2018. Analisa Kinerja PLTS 25 KWP Di gedung Labolatorium Riset Terpadu Lahan Kering Kepulauan Undana Terhadap Variasi Beban. *Jurnal Media Elektro*, Vol. VII No. 1 ISSN: 2252-6692.
- Saputra, Indra. 2019. Inilah 8 Faktor yang Mempengaruhi Energi Output Modul/Panel Surya. <https://mynameis8.wordpress.com>, diakses pada 20 Januari 2023.
- Silaban, Irwan Octopianus, dkk. 2021. Perancangan PLTS Atap Pada Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara Dengan Arsitektur Rumah Adat Batak Toba. *Jurnal SPEKTRUM*, Vol. 8, No. 2, pp 270-180.
- Sugiyono, A. & Wijaya, P. T. 2020. Dampak Kebijakan Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan Listrik Terhadap Pengembangan Pembangkit Listrik Berbasis Energi Terbarukan. In *Prosiding Seminar Nasional Asosiasi Analis Kebijakan Indonesia*, Desember (pp. 9-19).
- Thanh Tung Nguyen, dkk. 2021. Study on Performance of Rooftop Solar Power Generation Combined with Battery Storage at Office Building in Northeast Region, Vietnam. Artikel.
- Wibowo, Revolta Elfridus Adi and Tumaliang, Hans and Rumbayan, Meita. 2022. Perencanaan Sistem Hybrid Pada Jaringan Kelistrikan Di Rumah Sakit Monompia Kotamobagu.
- Winardi, B., dkk. 2022. Design of Hybrid Solar Power Plant for household Electricity Loads 1300 VA. *International Journal of Basic and Applied Science*, 10(4), 117-125.



LAMPIRAN

Report Hasil Simulasi, Gambar Teknik & Skematik
Dokumentasi Kegiatan Pengambilan Data
Surat Izin Penelitian & Kartu Asistensi

**STUDI PERENCANAAN PLTS *HYBRID* DENGAN PENAMBAHAN
SISTEM *AUTOMATIC TRANSFER SWITCH* PADAGEDUNG KANTOR
BUPATI SIDENRENG RAPPANG**

TA. 2022/2023

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Perencanaan PLTS Hybrid Kantor Bupati Sidrap

Variant: New simulation variant

No 3D scene defined, no shadings

System power: 39.6 kWp

Kantor Bupati Sidrap - Indonesia



Project: Perencanaan PLTS Hybrid Kantor Bupati Sidrap

Variante: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:
09/06/23 13:53
with v7.3.1

Project summary

Geographical Site Kantor Bupati Sidrap Indonesia	Situation Latitude 0.00 °N Longitude 0.00 °E Altitude 0 m Time zone UTC	Project settings Albedo 0.20
Meteo data Kantor Bupati Sidrap Meteonorm 8 (Suhu Max) - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 10 / 0 °	Near Shadings No Shadings	User's needs Daily household consumers Constant over the year Average 220 kWh/Day
System information	Inverters	Battery pack
PV Array Nb. of modules 72 units Pnom total 39.6 kWp	Nb. of units 4 units Pnom total 48.0 kWac Pnom ratio 0.825	Storage strategy: Self-consumption Nb. of units 24 units Voltage 48 V Capacity 1500 Ah

Results summary

Produced Energy 64634 kWh/year	Specific production 1632 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 78.34 %
Used Energy 80251 kWh/year		Solar Fraction SF 77.48 %

Table of contents

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



PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:
09/06/23 13:53
with v7.3.1

General parameters

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Sheds configuration	Models used
Orientation		Transposition Perez
Fixed plane		Diffuse Perez, Meteonorm
Tilt/Azimuth	10 / 0 °	Circumsolar separate
Horizon	Near Shadings	User's needs
Free Horizon	No Shadings	Daily household consumers
		Constant over the year
		Average 220 kWh/Day
Storage		
Kind	Self-consumption	
Charging strategy	Discharging strategy	
When excess solar power is available	As soon as power is needed	

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Longi Solar	Manufacturer	Deye
Model	LR5-72HPH-550M	Model	SUN-12K-SG04LP3_EU
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	550 Wp	Unit Nom. Power	12.0 kWac
Number of PV modules	72 units	Number of inverters	12 * MPPT 33% 4 units
Nominal (STC)	39.6 kWp	Total power	48.0 kWac
Modules	12 Strings x 6 In series	Operating voltage	180-650 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	0.83
Pmpp	36.3 kWp	No Power sharing between MPPTs	
U mpp	226 V		
I mpp	160 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	40 kWp	Total power	48 kWac
Total	72 modules	Number of inverters	4 units
Module area	184 m ²	Pnom ratio	0.83
Cell area	171 m ²		
Battery Storage		Battery Pack Characteristics	
Battery		Voltage	48 V
Manufacturer	CSPower	Nominal Capacity	1500 Ah (C10)
Model	OPzV2-1500	Temperature	Fixed 20 °C
Battery pack			
Nb. of units	24 in series		
Discharging min. SOC	20.0 %		
Stored energy	57.6 kWh		
Battery input charger			
Model	Generic		
Max. charg. power	20.5 kWdc		
Max./Euro effic.	97.0/95.0 %		
Battery to Grid inverter			
Model	Generic		
Max. disch. power	16.5 kWac		
Max./Euro effic.	97.0/95.0 %		



Project: Perencanaan PLTS Hybrid Kantor Bupati Sidrap

Variante: New simulation variante

PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:
09/06/23 13:53
with v7.3.1

Array losses

Thermal Loss factor

Module temperature according to irradiance
Uc (const) 20.0 W/m²K
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses

Global array res. 23 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

LID - Light Induced Degradation

Loss Fraction 1.0 %

Module Quality Loss

Loss Fraction -0.3 %

Module mismatch losses

Loss Fraction 2.0 % at MPP

Strings Mismatch loss

Loss Fraction 0.1 %

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): User defined profile

0°	25°	45°	60°	65°	70°	75°	80°	90°
1.000	1.000	0.995	0.962	0.936	0.903	0.851	0.754	0.000



Project: Perencanaan PLTS Hybrid Kantor Bupati Sidrap

Variante: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:
09/06/23 13:53
with v7.3.1

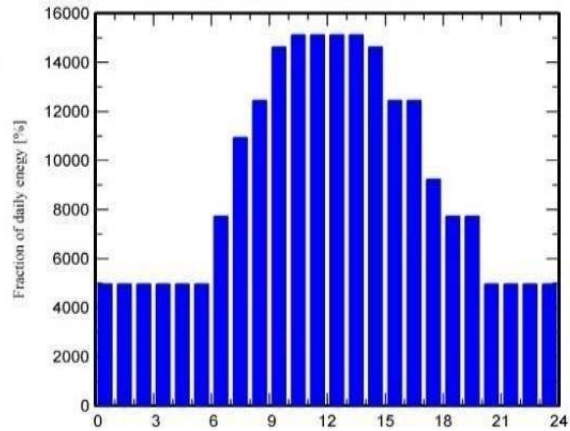
Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 220 kWh/day

Annual values

	Nb.	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lamps (LED)	230	24/lamp	19.0	104880
PC (Komputer)	68	50/app	8.0	27200
TV	13	75/app	5.0	4875
Fridge (Kulkas)	7		24	42000
CCTV & Printer	37	12 tot	24.0	10656
Other uses	1	3023 tot	10.0	30230
Stand-by consumers			24.0	24
Total daily energy				219865

Hourly distribution





Project: Perencanaan PLTS Hybrid Kantor Bupati Sidrap

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:
09/06/23 13:53
with v7.3.1

Main results

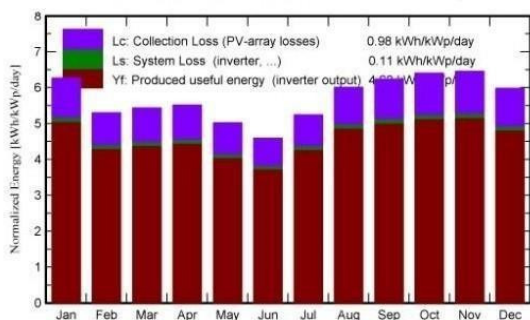
System Production

Produced Energy	64634 kWh/year	Specific production	1632 kWh/kWp/year
Used Energy	80251 kWh/year	Performance Ratio PR	78.34 %
		Solar Fraction SF	77.48 %

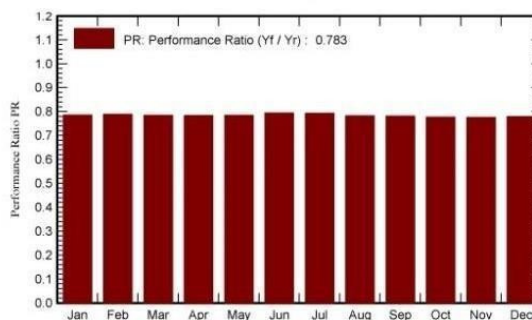
Battery aging (State of Wear)

Cycles SOW	56.2 %
Static SOW	93.3 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	182.0	69.00	32.50	194.3	191.3	6363	6816	5733	306.0	1083
February	144.0	74.00	33.00	148.5	145.9	4898	6156	4550	86.7	1606
March	169.0	80.00	32.50	168.5	165.4	5529	6816	5033	197.1	1783
April	172.0	76.00	33.00	165.5	162.1	5426	6596	4990	144.9	1606
May	167.0	65.00	33.50	155.6	151.9	5106	6816	4789	46.8	2027
June	150.0	63.00	32.90	137.6	134.0	4560	6596	4328	0.0	2268
July	177.0	60.00	32.20	162.5	158.6	5386	6816	5101	0.0	1715
August	197.0	61.00	32.50	186.3	182.6	6125	6816	5662	104.8	1153
September	190.0	64.00	33.50	187.1	183.8	6105	6596	5414	375.3	1182
October	194.0	83.00	34.00	198.5	195.2	6455	6816	5683	424.5	1133
November	184.0	81.00	33.60	193.6	190.4	6286	6596	5422	522.6	1174
December	174.0	83.00	33.79	185.4	182.3	6059	6816	5473	247.1	1343
Year	2100.0	859.00	33.08	2083.4	2043.4	68299	80251	62178	2455.8	18072

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	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid



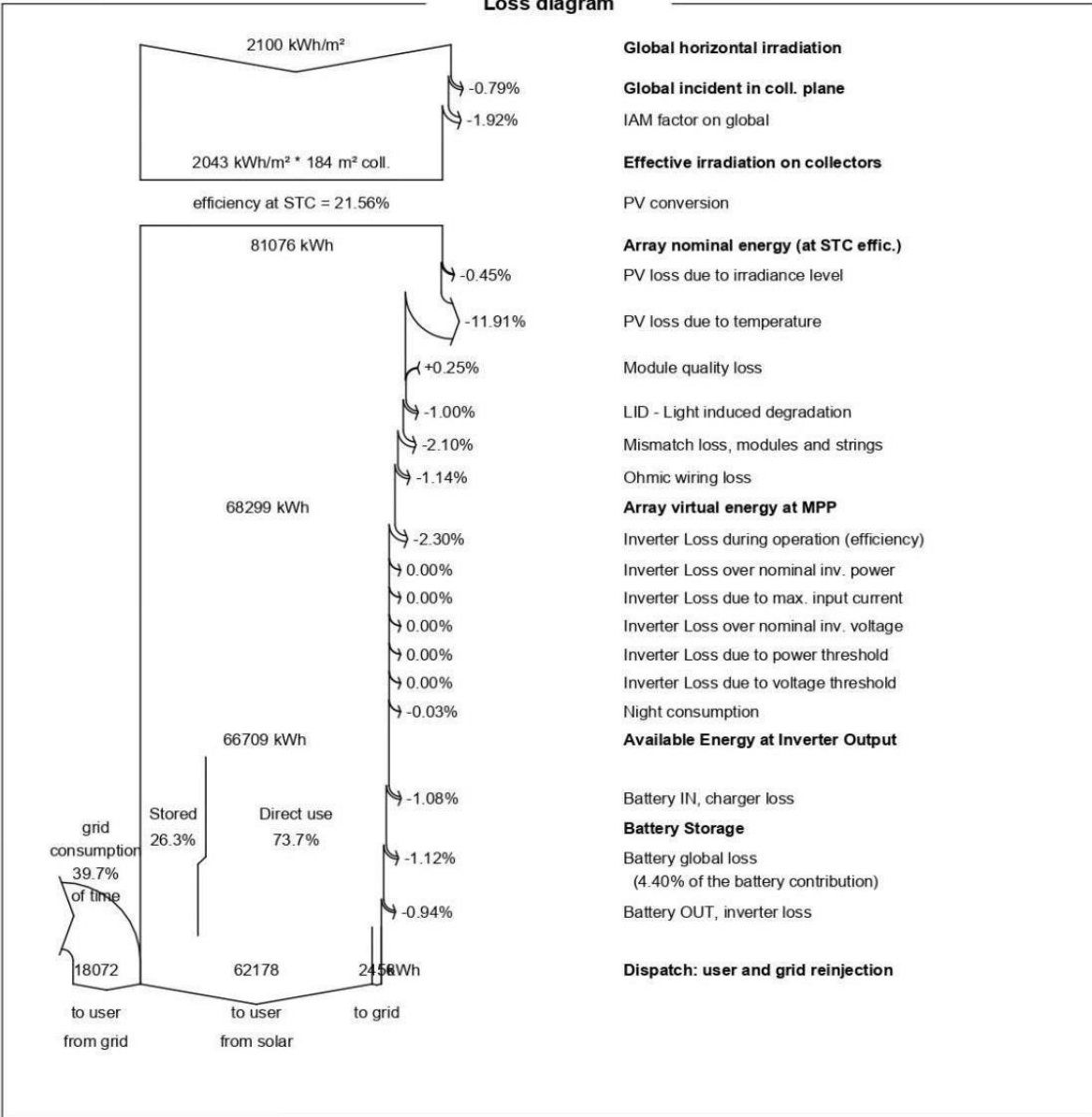
Project: Perencanaan PLTS Hybrid Kantor Bupati Sidrap

Variante: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:
09/06/23 13:53
with v7.3.1

Loss diagram



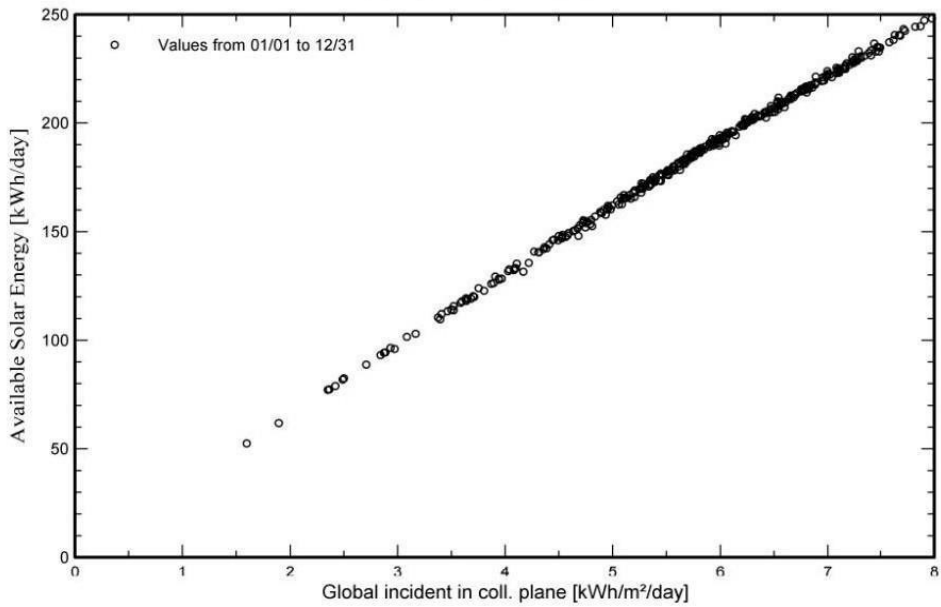


PVsyst V7.3.1

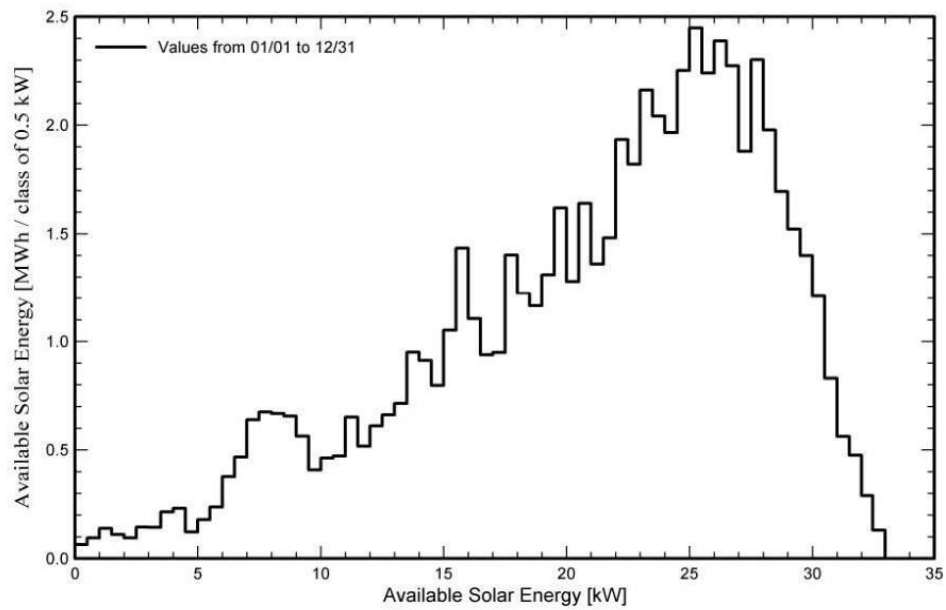
VC0, Simulation date:
09/06/23 13:53
with v7.3.1

Predef. graphs

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution

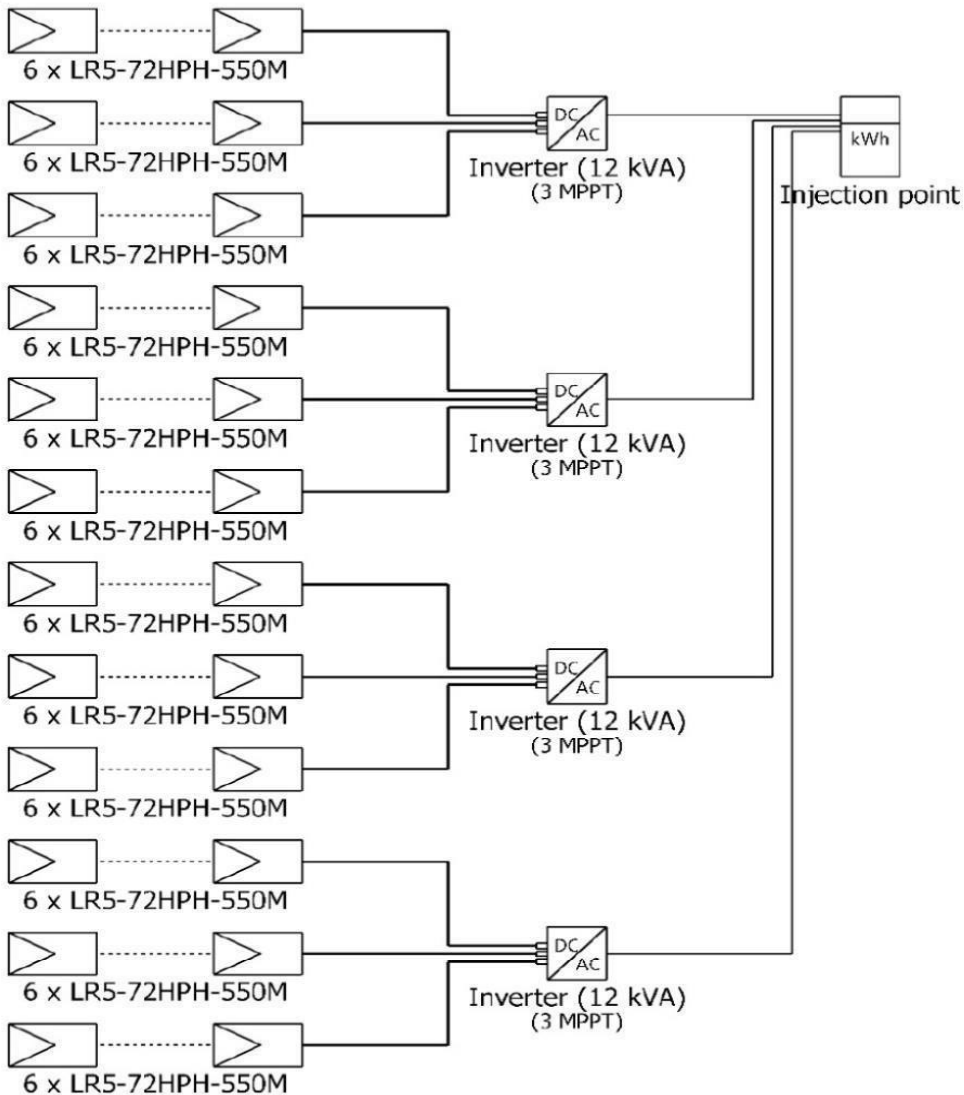




PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:
09/06/23 13:53
with v7.3.1

Single-line diagram

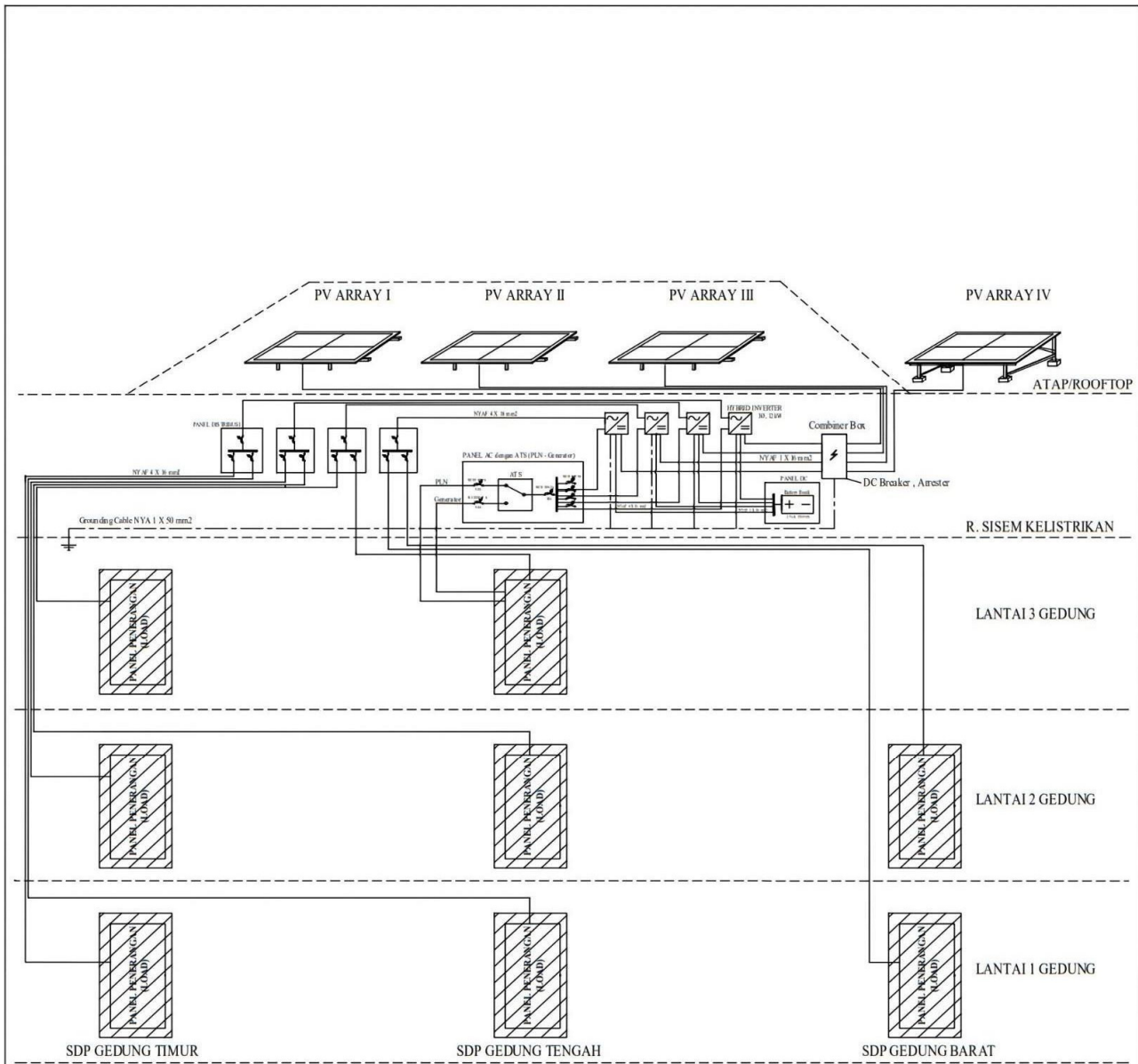



PV module	LR5-72HPH-550M
Inverter	SUN-12K-SG04LP3_EU
String	6 x LR5-72HPH-550M

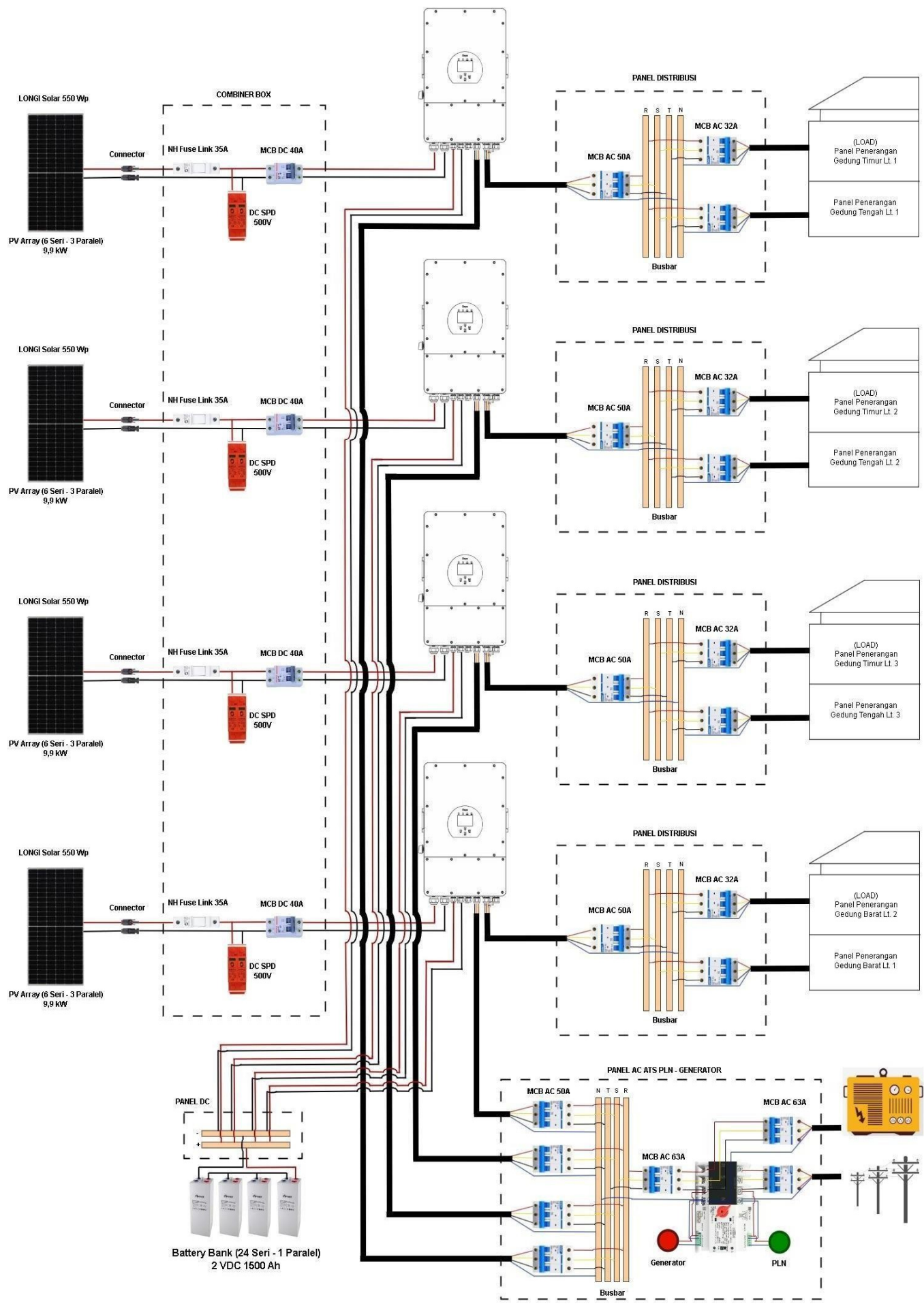
Perencanaan PLTS Hybrid Kantor
r Bupati Sidrap

VC0 : New simulation variant

09/06/23



	NAMA GAMBAR SKEMATIK DIAGRAM PERENCANAAN PLTS HYBRID GEDUNG KANTOR BUPATI SIDRAP	SKALA :	
	KAMPUS TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG	NOMOR : 01	JUMLAH : 01
		KELAS & PRODI 4A D4 RPL TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI	



LONGI Solar 550 Wp

COMBINER BOX

PANEL DISTRIBUSI

PV Array (6 Seri - 3 Paralel)
9,9 kW

Connector NH Fuse Link 35A MCB DC 40A DC SPD 500V

MCB AC 50A MCB AC 32A Busbar (R, S, T, N)

(LOAD) Panel Penerangan Gedung Timur Lt. 1
Panel Penerangan Gedung Tengah Lt. 1

LONGI Solar 550 Wp

PV Array (6 Seri - 3 Paralel)
9,9 kW

PANEL DISTRIBUSI

MCB AC 50A MCB AC 32A Busbar (R, S, T, N)

(LOAD) Panel Penerangan Gedung Timur Lt. 2
Panel Penerangan Gedung Tengah Lt. 2

LONGI Solar 550 Wp

PV Array (6 Seri - 3 Paralel)
9,9 kW

PANEL DISTRIBUSI

MCB AC 50A MCB AC 32A Busbar (R, S, T, N)

(LOAD) Panel Penerangan Gedung Timur Lt. 3
Panel Penerangan Gedung Tengah Lt. 3

LONGI Solar 550 Wp

PV Array (6 Seri - 3 Paralel)
9,9 kW

PANEL DISTRIBUSI

MCB AC 50A MCB AC 32A Busbar (R, S, T, N)

(LOAD) Panel Penerangan Gedung Barat Lt. 2
Panel Penerangan Gedung Barat Lt. 1

PANEL DC

Battery Bank (24 Seri - 1 Paralel)
2 VDC 1500 Ah

PANEL AC ATS PLN - GENERATOR

MCB AC 50A MCB AC 63A MCB AC 32A Busbar (N, T, S, R)

Generator PLN

Lampiran 2 Dokumentasi Kegiatan Pengambilan Data

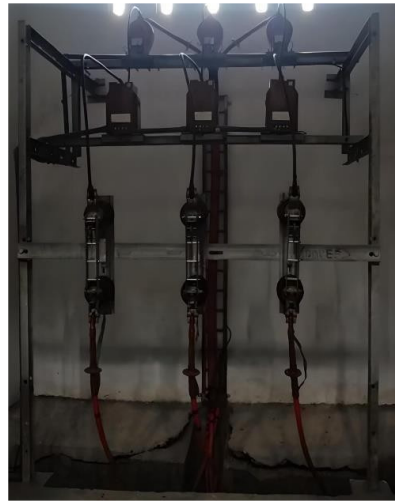
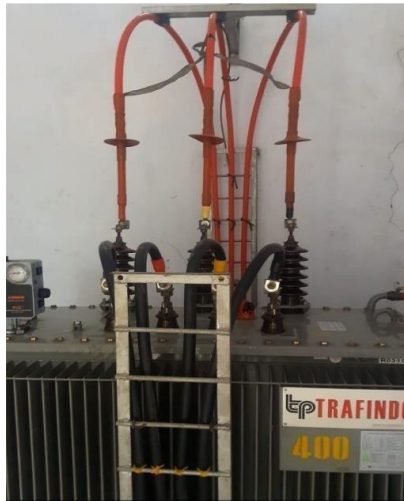
a. Kunjungan Atap Kantor Bupati Sidenreng Rappang



b. Wawancara Pihak Kantor Bupati Sidenreng Rappang



c. Kunjungan Ruangan Panel Induk dan Panel Distribusi Listrik



Lampiran 3 Surat Izin Penelitian & Kartu Asistensi

a. Surat Muh. Daffa Abbas



PEMERINTAH KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG
DINAS PENANAMAN MODAL DAN PELAYANAN TERPADU SATU PINTU
Jl. HARAPAN BARU KOMPLEKS SKPD BLOK A NO. 5 KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG
PROVINSI SULAWESI SELATAN
Telepon (0421) - 3590005 Email : pisp_sidrap@yahoo.co.id Kode Pos : 91611

IZIN PENELITIAN
Nomor : **94/IP/DPMTSP/2/2023**

DASAR

1. Peraturan Bupati Sidenreng Rappang No. 1 Tahun 2017 Tentang Pendelegasian Kewenangan di Bidang Perizinan Kepada Kepala Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Kabupaten Sidenreng Rappang
2. Surat Permohonan **MUH. DAFFA ABBAS** Tanggal **24-02-2023**
3. Berita Acara Telaah Administrasi / Telaah Lapangan dari Tim Teknis **POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG** Nomor **0721/PL10/TA.00.03/2023** Tanggal **20-02-2023**

M E N G I Z I N K A N

KEPADA

NAMA : **MUH. DAFFA ABBAS**

ALAMAT : **JL. TODDOPULI 15 KOMP. AGRIYA MARITZA BLOK C**

UNTUK : melaksanakan Penelitian dalam Kabupaten Sidenreng Rappang dengan keterangan sebagai berikut :

NAMA LEMBAGA / UNIVERSITAS : **POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG**

JUDUL PENELITIAN : **STUDI PERENCANAAN PLTS HYBRID DENGAN PENAMBAHAN SISTEM AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) PADA KANTOR BUPATI SIDRAP**

LOKASI PENELITIAN : **KANTOR BUPATI SIDENRENG RAPPANG**

JENIS PENELITIAN : **CAPSTONE PROJECT**

LAMA PENELITIAN : **07 Maret 2023 s.d 07 Juni 2023**

Izin Penelitian berlaku selama penelitian berlangsung

Dikeluarkan di : Pangkajene Sidenreng
Pada Tanggal : 24-02-2023



Biaya : Rp. 0,00

TERBUKTI :

1. KANTOR BUPATI SIDENRENG RAPPANG (TATA USAHA)
2. KETUA JURUSAN TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
3. PERTINGGAL

b. Surat Rizal Ashari



PEMERINTAH KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG
DINAS PENANAMAN MODAL DAN PELAYANAN TERPADU SATU PINTU
JL. HARAPAN BARU KOMPLEKS SKPD BLOK A NO. 5 KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG
PROVINSI SULAWESI SELATAN
Telepon (0421) - 3590005 Email : ptsp_sidrap@yahoo.co.id Kode Pos : 91611

IZIN PENELITIAN

Nomor : 93/IP/DPMTSP/2/2023

DASAR 1. Peraturan Bupati Sidenreng Rappang No. 1 Tahun 2017 Tentang Pendelegasian Kewenangan di Bidang Perizinan Kepada Kepala Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Kabupaten Sidenreng Rappang
2. Surat Permohonan **RIZAL ASHARI** Tanggal **24-02-2023**
3. Berita Acara Telaah Administrasi / Telaah Lapangan dari Tim Teknis **POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG** Nomor **0721/PL10/TA.00.03/2023** Tanggal **20-02-2023**

M E N G I Z I N K A N

KEPADA
NAMA : **RIZAL ASHARI**
ALAMAT : **JL. HOS COKROAMINOTO, KEL. MAJJELLING**
UNTUK : melaksanakan Penelitian dalam Kabupaten Sidenreng Rappang dengan keterangan sebagai berikut :
NAMA LEMBAGA / UNIVERSITAS : **POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG**
JUDUL PENELITIAN : **STUDI PERENCANAAN PLTS HYBRID DENGAN PENAMBAHAN SISTEM AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) PADA KANTOR BUPATI SIDRAP**

LOKASI PENELITIAN : **KANTOR BUPATI SIDENRENG RAPPANG**

JENIS PENELITIAN : **CAPSTONE PROJECT**
LAMA PENELITIAN : **07 Maret 2023 s.d 07 Juni 2023**

Izin Penelitian berlaku selama penelitian berlangsung
Dikeluarkan di : Pangkajene Sidenreng
Pada Tanggal : 24-02-2023



Biaya : Rp. 0,00

Tembusan :
1. KANTOR BUPATI SIDENRENG RAPPANG (TATA USAHA)
2. KETUA JURUSAN TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
3. PERTINGGAL

c. Surat Nita Sri Indah Sari



PEMERINTAH KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG
DINAS PENANAMAN MODAL DAN PELAYANAN TERPADU SATU PINTU
JL. HARAPAN BARU KOMPLEKS SKPD BLOK A NO. 5 KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG
PROVINSI SULAWESI SELATAN
Telepon (0421) - 3590005 Email : ptsp_sidrap@yahoo.co.id Kode Pos : 91611

IZIN PENELITIAN

Nomor : 92/IP/DPMTSP/2/2023

DASAR

1. Peraturan Bupati Sidenreng Rappang No. 1 Tahun 2017 Tentang Pendelegasian Kewenangan di Bidang Perizinan Kepada Kepala Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Kabupaten Sidenreng Rappang
2. Surat Permohonan **NITA SRI INDAH SARI** Tanggal **24-02-2023**
3. Berita Acara Telaah Administrasi / Telaah Lapangan dari Tim Teknis **POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG** Nomor **0721/PL10/TA.00.03/2023** Tanggal **20-02-2023**

M E N G I Z I N K A N

KEPADA

NAMA : **NITA SRI INDAH SARI**

ALAMAT : **JL. P. KEMERDEKAAN, KEC. BIRING KANAYA MAKASSAR**

UNTUK : melaksanakan Penelitian dalam Kabupaten Sidenreng Rappang dengan keterangan sebagai berikut :

NAMA LEMBAGA / UNIVERSITAS : **POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG**

JUDUL PENELITIAN : **STUDI PERENCANAAN PLTS HYBRID DENGAN PENAMBAHAN SISTEM AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) PADA KANTOR BUPATI SIDRAP**

LOKASI PENELITIAN : **KANTOR BUPATI SIDENRENG RAPPANG**

JENIS PENELITIAN : **CAPSTONE PROJECT**

LAMA PENELITIAN : **07 Maret 2023 s.d 07 Juni 2023**

Izin Penelitian berlaku selama penelitian berlangsung

Dikeluarkan di : Pangkajene Sidenreng
Pada Tanggal : 24-02-2023



Biaya : Rp. 0,00

Terbautan :

1. KANTOR BUPATI SIDENRENG RAPPANG (TATA USAHA)
2. KETUA JURUSAN TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
3. PERTINGGAL



Program Studi Pembangkit Energi Spesialis Energi Terbarukan
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang
Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90245
Telepon : (0411)-585365, 585367, 585368; Faksimili: (0411)-586043
Website : <http://www.poliupg.ac.id/>
E-mail : pnup@poliupg.ac.id



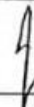




KARTU KONTROL BIMBINGAN CAPSTONE PROJECT

Studi Perencanaan PLTS *Hybrid* Dengan Penambahan Sistem *Automatic Transfer Switch* Pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang

Nama : Muh. Daffa Abbas / 44222220
Rizal Ashari / 44222221
Nita Sri Indah Sari / 44222222

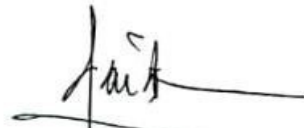
Jurusan/Prodi : Teknik Mesin / D4 Teknik Pembangkit Energi

No.	Hari/Tanggal	Uraian Bimbingan	Paraf Pembimbing
1	09/04/2023	Menentukan lokasi penelitian, tujuan penelitian dan penentuan judul penelitian	A
2	12/04/2023	Mengidentifikasi kebutuhan energi listrik harian di kantor Bupati Sidrap	A
3	18/04/2023	Melakukan pengumpulan data radiasi matahari dan temperatur secara sekuler dan data beberapa sumber	A
4	28/04/2023	Perhitungan teoritis untuk menentukan komponen utama PLTS	A
5	09/05/2023	Pemilihan komponen utama dan penulisan dalam perencanaan PLTS Hybrid	A
6	12/05/2023	Penginputan data yang diperoleh ke dalam simulasi pada software HOMER Pro	A
7	17/05/2023	Analisis ekonomi (biaya investasi, NPC dan COE)	A
8	25/05/2023	Analisis kelayakan (NPV, PI, IRR dan PBP)	A
9	30/05/2023	Perbandingan analisa ekonomi secara simulasi dan teoritis	A

10	07/06/2023	Perbandingan analisa kelayakan secara simulasi dan teoritis	
11	13/06/2023	Mendesain layout perencanaan PLTS Hybrid 3D menggunakan software SketchUp	
12	23/06/2023	Pemsesuaian desain layout 3D PLTS Hybrid	
13	27/06/2023	Identifikasi dan analisis manajemen risiko pada perencanaan PLTS Hybrid	
14	05/07/2023	Pembaikan dan kelesucian laporan skripsi sesuai standar penulisan	
15	29/07/2023	Pembuatan capstone report dan poster sesuai standar penulisan	
16	31/07/2023	<i>Ace Wijaya</i>	

Makassar, 31 Juli 2023

Pembimbing I



Ir. Chandra Buana, M.T.

NIP. 19650319 199103 1 003



Program Studi Pembangkit Energi Spesialis Energi Terbarukan
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang
Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90245
Telepon : (0411)-585365, 585367, 585368; Faksimili: (0411)-586043
Website : <http://www.poliupg.ac.id/>
E-mail : pnup@poliupg.ac.id

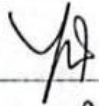






KARTU KONTROL BIMBINGAN CAPSTONE PROJECT

Studi Perencanaan PLTS *Hybrid* Dengan Penambahan Sistem *Automatic Transfer Switch* Pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang

Nama : Muh. Daffa Abbas / 44222220
Rizal Ashari / 44222221
Nita Sri Indah Sari / 44222222

Jurusan/Prodi : Teknik Mesin / D4 Teknik Pembangkit Energi

No.	Hari/Tanggal	Uraian Bimbingan	Paraf Pembimbing
1	03/04/2023	Mengidentifikasi lokasi penempatan berdasarkan lokasi strategis perencanaan	
2	11/04/2023	Tahapan-tahapan dalam mengolah data pada lokasi penelitian	
3	17/04/2023	Menganalisa data sekunder radiasi matahari dan temperatur pada lokasi	
4	27/04/2023	Merancang skematik dengan konfigurasi terbaik dalam perencanaan PLTS Hybrid	
5	03/05/2023	Tahap lanjutan menentukan konfigurasi AC coupling dalam perencanaan	
6	09/05/2023	Identifikasi komponen utama dan pendukung dalam perencanaan PLTS sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan	
7	15/05/2023	Pemadatan skematik yang diperoleh ke simulasi software HOMER Pro	
8	24/05/2023	Penyesuaian pemadatan agar memiliki konfigurasi terbaik	
9	29/05/2023	Analisis teknis (produksi energi, grid baterai, dan excess electricity)	

10	06/06/2023	Analisis kontribusi masing-masing pembangkit dalam memenuhi kebutuhan energi listrik	
11	15/06/2023	Sistem tenaga listrik 3 phase dan alat grid PLN di kantor Bupati Sidrap	
12	22/06/2023	Perencanaan sistem automatic transfer switch untuk sumber cadangan	
13	26/06/2023	Analisa fungsional ATS untuk PLTV - Generator	
14	05/07/2023	Asistensi laporan skripsi sesuai dengan standar penulisan	
15	20/07/2023	Perbaikan penulisan laporan skripsi dan asistensi simulasi software HOMER	
16	31/07/2023	ACC untuk ujian	

Makassar, 31 Juli 2023

Pembimbing II



Muh. Yusuf Yunus, S.ST.,M.T.

NIP. 19800820 200501 1 001