

EVALUASI PERANCANGAN PLTS *OFF GRID* PADA PINTU
AIR IRIGASI *PAMUKKULU'* KABUPATEN TAKALAR



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

AZIZUL MUHAIMIN M J SADEK (44222205)

MUHAMMAD FARHAN KONDA (44222209)

PROGRAM STUDI D-IV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

MAKASSAR

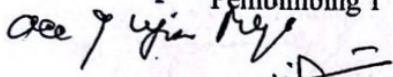
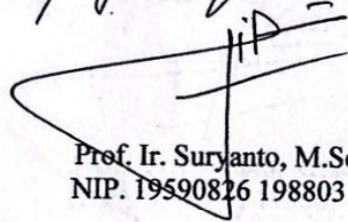
2023

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Skripsi dengan judul “Evaluasi Perancangan Plts *Off Grid* Pada Pintu Air Irigasi *Pamukkulu’* Kabupaten Takalar” oleh Azizul Muhaimin M J Sadek dengan NIM 44222205 dan Muhammad Farhan Konda NIM 44222209 dinyatakan layak untuk diujikan.


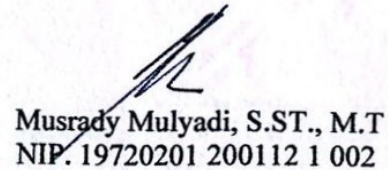
Makassar, 08 September 2023

Pembimbing 1

Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph. D
NIP. 19590826 198803 1 003

Pembimbing 2

Musrady Mulyadi, S.ST., M.T
NIP. 19720201 200112 1 002

Mengetahui
Koordinator Program Studi




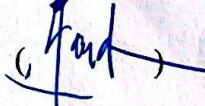
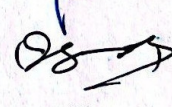
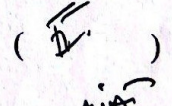
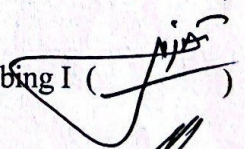
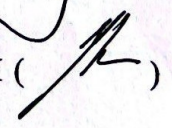
Ir. Chandra Buana, M.T
NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Kamis tanggal 14 September 2023, tim penguji ujian sidang Skripsi telah menerima hasil ujian sidang Skripsi oleh mahasiswa Azizul Muhaimin M J Sadek dengan NIM 44222205 dan Muhammad Farhan Konda dengan NIM 44222209 dengan judul "Evaluasi Perancangan Plts *Off Grid* Pada Pintu Air Irigasi *Pamukkulu'* Kabupaten Takalar".

Makassar, 14 September 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Laporan Tugas Akhir :

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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Azizul Muhaimin M J Sadek

NIM : 44222205

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Skripsi ini yang berjudul “Evaluasi Perancangan *Plts Off Grid* Pada Pintu Air Irigasi *Pamukkulu*’ Kabupaten Takalar” 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 disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka Skripsi ini.

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

Makassar, 08 September 2023



Azizul Muhaimin M J Sadek

44222205

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Farhan Konda

NIM : 44222209

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Skripsi ini yang berjudul “Evaluasi Perancangan *Plts Off Grid* Pada Pintu Air Irigasi *Pamukkulu* Kabupaten Takalar” 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, 08 September 2023



Muhammad Farhan Konda

44222209

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya serta hidayahnyalah, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, karena tidak ada sesuatu yang tidak mungkin tanpa bantuan dan campur tangan-Nya Tuhan Yang Maha Esa.

Skripsi dengan judul **“Evaluasi Perancangan PLTS Off Grid Pada Pintu Air Irigasi Pamukkulu’ Kabupaten Takalar”** ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Diploma Empat (D4) Teknik Pembangkit Energi Spesialis Energi Terbarukan Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini penulis menyadari telah banyak menerima bantuan dan dorongan dari berbagai pihak baik material maupun spiritual. Dengan selesainya penulisan skripsi ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada mereka yang terlibat baik secara langsung maupun yang tidak langsung, terutama kepada:

1. Orang tua kami tercinta, juga kepada saudara-saudari, serta rekan-rekan kami yang telah memberikan banyak bantuan berupa dorongan moral, bantuan materi, serta tak henti-hentinya memberikan doa yang tulus kepada kami dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung pandang.
3. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir. Chandra Bhuana, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ir. Chandra Bhuana, M.T. selaku wali kelas.
6. Bapak Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph. D. selaku *Coach* pertama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.

7. Bapak Musrady Mulyadi, S.ST., M.T. selaku *Coach* kedua yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi Spesialis Energi Terbarukan yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama melaksanakan perkuliahan, dan telah membantu dalam menyediakan fasilitas dan sarana dalam mengerjakan skripsi.
9. Seluruh rekan-rekan mahasiswa RPL Energi Terbarukan angkatan 2022 yang telah banyak memberikan motivasi, bantuan serta doanya, selama berada di Politeknik Negeri ujung pandang.
10. Buat semua pihak yang tidak sempat kami sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam menyelesaikan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna, untuk itu saran dan kritik yang membangun diharapkan untuk memperbaiki tugas akhir ini. Akhirnya penulis berharap kiranya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan, khususnya bagi penulis sendiri dan perkembangan ilmu pengetahuan umumnya.

Makassar, 14 September 2023

Penulis,

RINGKASAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off grid* telah terpasang dan beroperasi pada salah satu jaringan irigasi *Pamukkulu'* Kabupaten Takalar tepatnya pada kode asset BP1 dengan kapasitas 5,92 kWp sejak tahun 2022. Sistem PLTS ini digunakan sebagai sumber energi listrik untuk menyuplai energi listrik pada motor/aktuator untuk menggerakkan pintu air dan menyuplai energi listrik untuk sistem kontrol otomatis pintu air. Namun, perlu adanya evaluasi terhadap sistem PLTS untuk mengetahui apakah sistem yang terpasang mampu mensuplai kebutuhan energi dan bekerja secara optimal. Tujuan penelitian ini adalah untuk memvalidasi rancangan sistem PLTS *off grid* yang mensuplai kebutuhan energi pada sistem pintu air irigasi, mengevaluasi sistem penyimpanan energi pada baterai, serta menghitung *capital cost* dan analisis ekonomi.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis deskriptif dengan perhitungan berdasarkan perhitungan numerik dan simulasi pada perangkat lunak PVSyst versi 7.3.1 untuk mendapatkan hasil perbandingan konfigurasi sistem yang optimal. Data diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung dan survey data history operasional sistem, spesifikasi komponen-komponen diperoleh dari dokumen PLTS dan wawancara kepada petugas pengelola.

Hasil evaluasi perancangan PLTS *off grid* *Pamukkulu'* Kabupaten Takalar diperoleh bahwa sistem PLTS ini terjadi kehilangan energi tidak terpakai (*unused energy*) sebesar 7.008 kWh/tahun berdasarkan perhitungan numerik, Sedangkan hasil simulasi PVSyst 7.3.1 terjadi kehilangan energi tidak terpakai sebesar 3249 kWh/tahun disebabkan oleh jumlah kapasitas panel PV yang berlebih. Penyimpanan energi pada baterai mampu memenuhi kebutuhan energi pada beban dimana total kapasitas energi baterai sebesar 15.360 Wh. Biaya investasi awal yang digunakan sebesar Rp 382.000.000.

Kata Kunci : Evaluasi PLTS, *Pamukkulu'*, PVSysyt, *Capital Cost*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR SIMBOL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terkait.....	5
2.2 Energi Matahari	7
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	8
2.3.1 PLTS Off grid	9
2.4 Deskripsi PLTS Off Grid Pamukkulu Kabupaten Takalar	9
2.4.1 Panel PV	10
2.4.2 Inverter.....	10
2.4.3 Baterai	10

2.4.4 Spesifikasi Pintu Air di Lokasi	11
2.5 Aktuator	12
2.6 Sistem Irigasi	14
2.6.1 Jaringan Irigasi Primer dan Jaringan Irigasi Sekunder	14
2.6.2 Penilaian Kinerja Irigasi	14
2.6.3 Kode Aset	15
2.6.4 Indeks Kinerja Sistem Irigasi.....	15
2.6.5 Kinerja Operasi dan Pemeliharaan (OP) Sistem Irigasi.....	16
2.7 GP3A (Gabungan Petani Pemakai air).....	17
2.8 Evaluasi Sistem Eksisting	18
2.9 Analisis Perhitungan Numerik.....	19
2.9.1 Menentukan Jam Matahari Ekuivalen (Equivalent Sun Hours, ESH)..	19
2.9.5 Rasio Performansi (Performance Ratio).....	20
2.10 PVsyst 7.3.1	21
2.11 Menghitung Capital Cost dan Analisis Ekonomi.....	23
2.11.1 Biaya Investasi PLTS.....	23
2.11.2 Biaya Siklus Hidup (Life Cycle Cost)	23
2.11.3 Faktor Diskonto	24
2.11.4 Biaya Energi (<i>Cost of Energy</i>).....	25
2.11.5 Faktor Pemulihan Modal (<i>Capital Recovery Factor</i>).....	25
2.12 Teknik Analisis Kelayakan Investasi.....	26
2.12.1 Net Present Value (NPV).....	26
2.12.2 Profitability Index (PI).....	26
2.12.3 Discounted Payback Period (DPP)	27
2.12.4 Internal Rate Return (IRR)	27
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Waktu Dan Lokasi Penelitian	29
3.2 Prosedur Penelitian	30

3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	30
3.4 Alat yang Dibutuhkan Dalam Evaluasi.....	31
3.5 Metode Analisis Data.....	31
3.6 Langkah Evaluasi Sistem <i>Eksisting</i>	32
3.7 Teknik Mencapai Tujuan Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Data Beban Dan Data Operasi PLTS <i>Off Grid Pamukkulu'</i>	34
4.1.1 Data Beban PLTS <i>Off Grid Pamukkulu'</i>	34
4.1.2 Data Operasi PLTS <i>Off Grid Pamukkulu'</i>	35
4.1.3 Data Output Inverter ke Beban	36
4.1.4 Data Output Panel PV ke Inverter Pada Cuaca Cerah.....	42
4.1.5 Data Output Panel PV ke Inverter Pada Cuaca Berawan dan Hujan..	43
4.1.6 Data Energi Harian yang Dihasilkan Panel PV	44
4.1.7 Data Baterai	45
4.2 Single Line Diagram dan Skema Diagram PLTS Off Grid Pamukkulu...	47
4.3 Data Komponen PLTS Off Grid <i>Pamukkulu'</i>	50
4.3.1. Panel Surya	51
4.3.2. Inverter.....	52
4.3.3. Baterai.....	53
4.3.4 Kabel PLTS <i>Pamukkulu'</i>	54
4.3.5 Sistem Proteksi Pembumian dan Penangkal Petir	54
4.3.6. Box Panel Motor Operation Valve (MOV)	56
4.3.7 Box Panel Remote Terminal Unit (RTU).....	57
4.3.8 Langkah Pengoperasian Panel RTU/SCADA.....	58
4.4 Data Peletakan, Instalasi, dan Keamanan Lokasi	61
4.4.1 Panel Surya	61
4.4.2 Baterai.....	65
4.4.3 Power House	68

4.5 Analisis Perhitungan Numerik	69
4.5.1 Daya Yang Dibangkitkan.....	69
4.5.2 Produksi Energi Listrik Tahunan.....	69
4.5.3 Menghitung Rasio Performansi (<i>performance Ratio</i>)	70
4.6 Simulasi PLTS Off Grid Pamukkulu menggunakan PVSyst 7.3.1.....	72
4.6.1 Parameter Simulasi Sistem PLTS Eksisting	72
4.6.2 Hasil Produksi Energi pada Sistem Eksisting.....	73
4.6.3 Produksi Energi Listrik.....	73
4.6.4 <i>Performance Ratio</i> Sistem Eksisting	75
4.6.5 Rugi-Rugi Sistem PLTS (<i>Losses</i>) pada Sistem <i>Eksisting</i>	76
4.7 Menghitung Capital Cost dan Analisis Ekonomi.....	77
4.7.1 Menghitung Biaya Investasi PLTS	77
4.7.2 Menghitung Biaya Pemeliharaan dan Operasional.....	79
4.7.3 Menghitung Biaya Siklus Hidup	80
4.7.4 Menghitung Biaya Energi PLTS.....	81
4.8 Analisis Kelayakan Investasi PLTS.....	82
4.8.1 <i>Net Present Value</i> (NPV).....	85
4.8.2 <i>Profitability Index</i> (PI).....	85
4.8.3 <i>Discounted Payback Period</i> (DPP).....	86
4.8.4 <i>Internal Rate Return</i> (IRR)	87
4.9 Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik dan Hasil Simulasi PVSyst ..	92
4.10 Hasil Simulasi PVSyst untuk Sistem PLTS yang Direkomendasikan...92	
4.10.1 Kemiringan Panel PV pada Sistem yang Direkomendasikan.....	93
4.10.2 Parameter Simulasi Sistem PLTS yang Direkomendasikan	94
4.10.3 Hasil Produksi Energi pada Sistem yang Direkomendasikan.....	95
4.10.4 Produksi Energi Listrik.....	95
4.10.5 <i>Performance Ratio</i> Sistem yang Direkomendasikan	96

4.10.6 Rugi-Rugi Sistem PLTS (<i>Losses</i>) pada Sistem yang Direkomendasikan	98
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	100
5.1 Kesimpulan	100
5.2 Saran	101
DAFTAR PUSTAKA	102



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Aktuator MOV dan Pintu Air Irigasi	12
Gambar 2. 2 Pintu Air Irigasi Pamukkulu' dan stir kemudi	12
Gambar 2. 3 Komponen Aktuator MIA	13
Gambar 2. 4 Skema Irigasi Pamukkulu'	15
Gambar 2. 5 Tampilan Awal Software PVsyst 7.3.1	21
Gambar 2. 6 Tampilan Awal PLTS Stand Alone.....	22
Gambar 3. 1 Peta Lokasi	29
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 4. 1 Grafik Data Output Inverter Saat Pengoperasian Minimum.....	38
Gambar 4. 2 Grafik Data Output Inverter Saat Pengoperasian Maksimum.....	41
Gambar 4. 3 Data Input PV Saat Cuaca Cerah	42
Gambar 4. 4 Data Input PV Saat Cuaca Berawan dan Hujan	43
Gambar 4. 5 Data Energi Harian PV Array Selama 7 Hari	44
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Evaluasi Baterai.....	45
Gambar 4. 7 Single Line Diagram PLTS Off Grid Pamukkulu'.....	47
Gambar 4. 8 Skema Diagram Sistem PLTS Off Grid Pamukkulu.....	49
Gambar 4. 9 Gambar Kabel NYAF PLTS Eksisting	54
Gambar 4. 10 Grounding System (Pembumian) pada PLTS Eksisting	55
Gambar 4. 11 Penangkal Petir Sistem Eksisting.....	55
Gambar 4. 12 Kabinet Baterai Pada Panel Box MOV	56
Gambar 4. 13 Electrical Panel Box MOV.....	57

Gambar 4. 14 Daftar Komponen Panel SCADA	57
Gambar 4. 15 Menu Utama HMI.....	59
Gambar 4. 16 Halaman Aktuator	59
Gambar 4. 17 Halaman Water Level.....	60
Gambar 4. 18 Halaman Alarm	61
Gambar 4. 19 Rangkaian PV Array PLTS Off Grid Pamukkulu'	61
Gambar 4. 20 Sudut Kemiringan (<i>Tilt Angle</i>) PV	63
Gambar 4. 21 Simulasi PVsyst terhadap Sudut Kemiringan dan Sudut Azimuth Sistem Eksisting	64
Gambar 4. 22 Mounting System PV Array PLTS Off Grid Pamukkulu	65
Gambar 4. 23 Rangkaian Baterai Sistem PLTS Untuk Panel MOV.....	65
Gambar 4. 24 Gambar Isometri PLTS Off Grid Pamukkulu BP 1	68
Gambar 4. 25 Parameter Simulasi PLTS eksisting	72
Gambar 4. 26 Grafik Produksi Energi Listrik.....	74
Gambar 4. 27 Grafik Performance Ratio	75
Gambar 4. 28 Loss Diagram Sistem PLTS Eksisting	76
Gambar 4. 29 Simulasi Kemiringan Panel PV PLTS	93
Gambar 4. 30 Parameter Simulasi PLTS yang Direkomendasikan.	94
Gambar 4. 31 Grafik Produksi Energi Listrik.....	96
Gambar 4. 32 Grafik Performance Ratio	97
Gambar 4. 33 Loss Diagram Sistem PLTS yang Direkomendasikan	98

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Indeks Kinerja Sistem Irigasi	15
Tabel 2. 2 Daftar Data Evaluasi Sistem Eksisting	18
Tabel 4. 1 Data beban PLTS untuk panel MOV	34
Tabel 4. 2 Data beban PLTS sistem kontrol panel RTU.....	35
Tabel 4. 3 Data Output Inverter Saat Pengoperasian Minimum (Cuaca Cerah)36	
Tabel 4. 4 Data Output Inverter Saat Pengoperasian Maksimum (Cuaca Mendung dan Hujan).....	39
Tabel 4. 5 Spesifikasi Panel Surya Monocrystalline 370 WP.....	51
Tabel 4. 6 Spesifikasi Panel Surya Monocrystalline 450 WP.....	51
Tabel 4. 7 Spesifikasi Inverter Hybrid 5 kW	52
Tabel 4. 8 Spesifikasi Baterai Lithium-Ion	53
Tabel 4. 9 Spesifikasi Baterai ICAL-VRLA	54
Tabel 4. 10 Tabel Data Komponen Panel RTU/SCADA.....	58
Tabel 4. 11 Hasil Produksi Energi pada Sistem Eksisting	73
Tabel 4. 12 Biaya Investasi PLTS Off Grid Pamukkulu.....	77
Tabel 4. 13 Biaya Pergantian Komponen Selama Umur Proyek	80
Tabel 4. 14 Perhitungan NCF, DF,PVNCF, dengan $i = 8\%$	83
Tabel 4. 15 Perhitungan DF dan NCFr dengan $i = 8\%$	87
Tabel 4. 16 Perhitungan DF dan NCFt dengan $I = 10\%$	89
Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan NPV, IRR, dan Payback Period	91

Tabel 4. 18 Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik dan Hasil Simulasi
PVSyst.....92

Tabel 4. 19 Hasil Produksi Energi pada Sistem Rekomendasi 95



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Panel PV 370 WP untuk panel box MOV	105
Lampiran 2. Panel PV 450 WP untuk Panel Box RTU/SCADA	106
Lampiran 3. Inverter 5 kW untuk Panel Box MOV.....	107
Lampiran 4. Baterai Lithium untuk Panel Box MOV	
Lampiran 5. Baterai VRLA untuk Panel Box RTU/SCADA.....	108
Lampiran 6. Tabel Operasi Panel PV pada Cuaca Cerah Selama 10 Jam	111
Lampiran 7. Tabel Operasi Panel PV pada Cuaca Mendung dan Hujan Selama 10 Jam	111
Lampiran 8 Tabel Level Baterai.....	112
Lampiran 9 Skema PLTS dari Manual Book Inverter <i>Hybrid ICA Solar</i>	113
Lampiran 10 Informasi Tingkat Baterai dan Persentase Beban.....	113
Lampiran 11 Jaringan Irigasi dan Sistem PLTS Pamukkulu'	114
Lampiran 12 Dokumentasi Lapangan 1	115
Lampiran 13 Dokumentasi Lapangan 2	115
Lampiran 14 Dokumentasi Lapangan 3	116
Lampiran 15 Dokumentasi Lapangan 4	116

DAFTAR SIMBOL

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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman serba modern ini, kita sering menjumpai berbagai peralatan atau alat bantu yang telah didesain dari sistem manual menjadi sistem otomatis maupun semi-otomatis untuk mempermudah pekerjaan manusia. Hal yang paling mendasar pada sistem persawahan yaitu pada sistem irigasi atau pengairan yang andal. Sistem irigasi merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan peningkatan produksi pada sistem pertanian maupun budidaya tanaman. Sistem irigasi yang baik dapat meningkatkan probabilitas keberhasilan dari suatu sistem pertanian dalam meningkatkan kualitas dan produktifitas (Muhaimin, dkk, 2021).

Saat ini sistem irigasi persawahan untuk membuka dan menutup pintu air, umumnya masih dengan cara manual yakni menggunakan tenaga manusia. Pengembangan dari pintu air otomatis ini yaitu untuk menutupi kekurangan dari cara manual yang sangat tergantung pada sistem penjadwalan manual oleh penjaga pintu. Faktor kelalaian atau *human error* sering terjadi sehingga sistem pembukaan pintu air tidak sesuai dengan kebutuhan saat dibutuhkan sehingga air tidak terkontrol, meluber dan tidak mengalir ke sistem persawahan secara akurat. Hal ini dapat menyebabkan kerugian pada masyarakat tani khususnya pada hasil dari pertanian dikarenakan air dapat mengalami kekurangan maupun kelebihan yang berakibat air meluap dikarenakan sistem penutupan pintu yang terlambat (Apriyanto Heki, 2015).

Merujuk pada permasalahan tersebut di atas, maka muncul inovasi dari Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Direktorat Jenderal Sumber Daya Air untuk membuat pintu air berbasis otomatis yang menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi listrik untuk mensuplai kebutuhan listrik motor yang menggerakkan pintu air irigasi demi kemudahan dalam mengelola air irigasi secara optimal pada lokasi tersebut.

Lokasi evaluasi perancangan PLTS untuk pintu air irigasi tersebut berada di letak koordinat $5^{\circ} 26'45.7''S$ $119^{\circ}29'20''E$ pada jaringan irigasi *Pamukkulu'* kabupaten Takalar yang berjarak sekitar 46 kilometer dari kota Makassar atau dapat ditempuh dalam 2 jam perjalanan dengan menggunakan kendaraan bermotor, tepatnya berjarak sekitar 6 kilometer dari ibukota kabupaten Takalar. Demi mendukung kesepakatan transisi energi seluruh dunia yang didukung oleh *World Bank* sehingga diusulkan untuk memanfaatkan sumber energi matahari yakni PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) yang berada di jaringan irigasi primer dan irigasi sekunder *Pamukkulu'* kabupaten Takalar. Sistem otomatis ini akan menjamin sistem pengelolaan air untuk wilayah pertanian pada lokasi tersebut sehingga lebih tepat dan efisien, serta dapat meminimalisir intervensi dari pihak yang tidak berwenang atau tidak berkepentingan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi energi listrik PLTS adalah iradiasi matahari, suhu modul surya, *shading*, tingkat kebersihan modul surya dan sudut kemiringan serta orientasi pemasangan modul surya. Pertama, energi yang dihasilkan modul surya menurun seiring menurunnya iradiasi matahari. Kedua, energi yang dihasilkan menurun seiring dengan meningkatnya suhu tergantung dari besarnya koefisien suhu pada modul surya. Penurunan produksi energi akibat pengaruh dari kenaikan suhu adalah sekitar 0,4% setiap peningkatan $1^{\circ}C$. Ketiga, ketika benda-benda disekeliling PLTS yang menghalangi penyinaran matahari ke modul surya sehingga mengurangi nilai iradiasi matahari yang ditangkap oleh modul surya. Keempat, kotoran yang menempel pada modul surya juga dapat mengurangi iradiasi matahari yang diterima oleh modul surya. Kelima, sudut kemiringan dari panel surya berpengaruh dalam penyerapan sinar matahari (Misbahudin, 2021).

Berdasarkan survey lapangan yang telah dilakukan, sistem PLTS off grid pada pintu air irigasi Pamukkulu telah terpasang (*Eksisting*) dan beroperasi. Namun, perlu adanya evaluasi terhadap sistem PLTS untuk mengetahui apakah sistem yang terpasang mampu mensuplai kebutuhan energi dan bekerja secara optimal dengan melakukan perhitungan numerik dan simulasi menggunakan software PVsyst 7.3.1 sehingga penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi sistem

PLTS *off grid* yang mensuplai kebutuhan energi pada sistem pintu air irigasi, mengevaluasi sistem penyimpanan energi pada baterai, dan menghitung capital cost dan analisis ekonomi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas adalah :

1. Bagaimana kinerja sistem PLTS *off grid* pada pintu air irigasi *Pamukkulu'* Kabupaten Takalar?
2. Bagaimana kemampuan sistem penyimpanan energi pada baterai?
3. Berapa capital cost dan analisis ekonomi PLTS *off grid* pada pintu air irigasi *Pamukkulu'* Kabupaten Takalar?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan validasi desain sistem PLTS *Off grid* yang mensuplai kebutuhan energi pada sistem penggerak pintu air irigasi
2. Melakukan evaluasi sistem penyimpanan energi pada baterai yang mensuplai kebutuhan energi pada sistem pintu air irigasi
3. Menghitung capital cost dan nilai ekonomi.

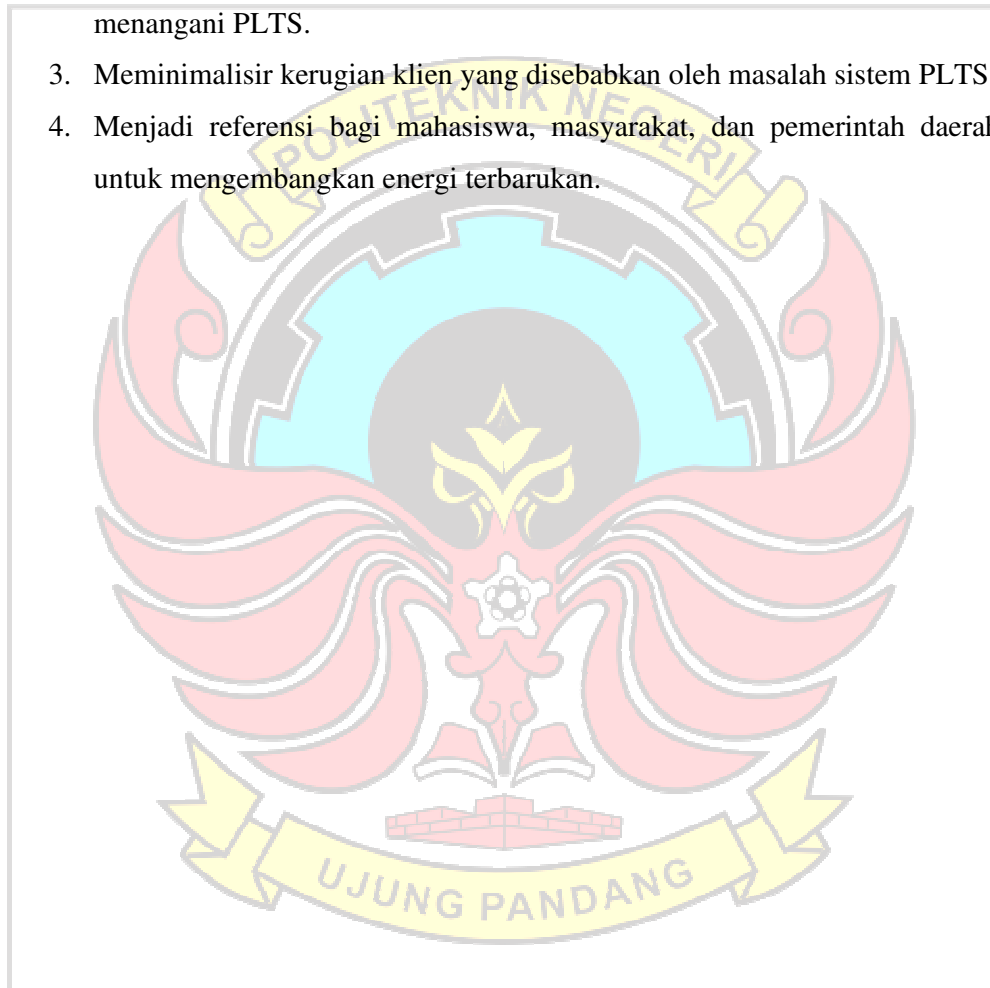
1.4 Batasan Masalah

1. Desain sistem PLTS yang divalidasi dan dievaluasi hanya pada salah satu dari 12 bangunan pintu air *Pamukkulu'* tepatnya kode aset BP 1 yang terdiri dari jaringan irigasi primer yang berjumlah 2 pintu air dan jaringan irigasi sekunder berjumlah 2 pintu air.
2. Debit air dan kebutuhan air tidak dibahas secara detail.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membantu pengembangan PLTS dalam mengatasi perubahan iklim yang terjadi di Indonesia menuju nol emisi (*Net Zero Emission*) dengan memanfaatkan potensi energi matahari di *Pamukkulu'* Kabupaten Takalar.
2. Menambah pengalaman dan pengetahuan dalam mengidentifikasi dan menangani PLTS.
3. Meminimalisir kerugian klien yang disebabkan oleh masalah sistem PLTS.
4. Menjadi referensi bagi mahasiswa, masyarakat, dan pemerintah daerah untuk mengembangkan energi terbarukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian Skripsi ini akan dilakukan literature review, yaitu pencarian referensi yang esensial terhadap penelitian yang telah dilakukan sebelumnya melalui jurnal terkait. Berikut beberapa kajian terkait yang peneliti lakukan sebagai referensi:

Yakobus Kariongan, dkk (2022) dengan penelitian yang berjudul “Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat 20 KWP di Kampung Ampas Distrik Waris Kabupaten Keerom” menyatakan bahwa Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui cara pengujian daya dan produksi energi rata-rata harian pada PLTS, rata-rata energi listrik yang di hasilkan PLTS dan total konsumsi energi terpusat, potensi energi listrik yang optimum, hasil akhir/finald yield (Yf), performance ratio (PR) melalui simulasi software Homer. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa hasilkan di PV selama 1 hari sebesar 18,4 kWh total penggunaan energi listrik sebesar 16 kWh.Total energi listrik yang di hasilkan sistem PLTS selama 1 tahun 29.229,2 kWh/tahun total konsumsi energi selama 1 tahun sebesar 7291,51 kWh, energi ideal sebesar 35843 kWh/tahun dengan performance ratio (PR) pada sistem PLTS ini sebesar 81%.

Misbahudin (2021), dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid Menggunakan Software Pvsyst 7.2.0 Pada Stasiun Pengisian Sepeda Listrik Teknik Elektro Universitas Brawijaya” menyatakan bahwa penelitian ini bertujuan menghasilkan analisis energi yang dapat dihasilkan pada perencanaan PLTS off grid menggunakan simulasi software PVsyst dan perhitungan matematis. Sistem PLTS ini terdiri dari 1 unit modul surya merk GCL-P6/60-275 dengan daya nominal 275 Wp, 1 unit SCC merk PWM SC2430B dan battery bank dengan tegangan nominal 22,2 V kapasitas sebesar 11 Ah. Enegi yang dapat dihasilkan sistem PLTS off grid pada SPSL dalam satu tahun berdasarkan perhitungan matematis sebesar 374,497 kWh/tahun dan berdasarkan

hasil simulasi menggunakan software PVsyst 7.2.0 energi yang dapat dihasilkan sebesar 391,25 kWh/tahun. Pada hasil pengujian sistem PLTS off grid dapat menghasilkan daya puncak sebesar 184 W pada jam 12.00. Sementara pada hasil simulasi dengan modul surya yang sama, menghasilkan daya puncak sebesar 211 W pada jam 12.00. Sehingga selisih daya puncak antara pengujian dengan simulasi pada jam 12.00 sebesar 27 W.

Agus Budi Nurcahyono, dkk (2018) dengan penelitian yang berjudul “Evaluasi Dan Perencanaan Kembali Plts Tipe Rooftop Untuk Backup Catu Daya Listrik Pada Observatorium Geomaagnetik Lombok (OGL)” menyatakan bahwa Observatorium Geomagnetik Lombok (OGL) sering mengalami pemadaman listrik bergilir sehingga untuk pengambilan data logger magnet bumi menjadi terhambat. Sehingga diperlukan suatu backup sistem catu daya listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik OGL ketika terjadi pemadaman listrik. Metodologi yang digunakan pada penelitian ini meliputi evaluasi sistem catu daya listrik PLTS yang sudah terpasang dan melakukan perencanaan kembali PLTS tipe rooftop untuk memenuhi kebutuhan energi listrik ketika terjadi pemadaman listrik dalam jangka waktu yang cukup lama. Hasil evaluasi yang telah dilakukan diperoleh bahwa PLTS yang sudah terpasang hanya mampu menyuplai energi listrik maksimal selama 6,9 jam. Dengan hasil evaluasi ini maka dilakukan perencanaan kembali untuk memenuhi kebutuhan energi listrik OGL ketika terjadi pemadaman listrik. Hasil perencanaan PLTS rooftop yang telah dilakukan diperoleh kebutuhan komponen PLTS rooftop yaitu panel surya sebanyak 36 buah berkapasitas 200 Wp, baterai 40 buah berkapasitas 12 V 100 Ah, Solar Charge controller MPPT berkapasitas 60 A, Inverter 3,5 kVA, dan kualitas kayu dengan kode mutu E-22 berdimensi 150 mm x 80 mm untuk menopang panel surya serta beberapa komponen proteksi.

Vember Restu Kossi (2018), dengan penelitian yang berjudul “Perencanaan PLTS Terpusat (Off-Grid) Di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah” menyatakan bahwa PLTS Siding memiliki kapasitas setara 40 kWp dengan jumlah pelanggan yang tersambung sebanyak 52 pelanggan dan total beban sebesar 31.700 VA. Untuk mengetahui tingkat daya-guna PLTS Terpusat (Off-Grid) Siding ditinjau dari kapasitas sistem PLTS dalam melayani kebutuhan tenaga listrik bagi

masyarakat Desa Siding, perlu melakukan studi dan meneliti tentang unjuk kerja dari PLTS Terpusat Siding dengan mengevaluasi daya yang dibangkitkan PLTS Siding, menghitung kapasitas komponen PLTS yang terpasang, serta analisis kelayakan investasi PLTS Siding dengan metode : Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), dan Payback Periode. Berdasarkan hasil evaluasi kapasitas komponen-komponen PLTS Siding masih layak digunakan untuk pelayanan beban.

Perhitungan biaya investasi awal untuk PLTS Siding sebesar Rp. 2.662.800.000,00, diperoleh biaya energi (cost of energy) PLTS Siding sebesar Rp. 4.600,00/kWh. Hasil analisis kelayakan investasi menunjukkan bahwa investasi PLTS Siding sebagai sumber tenaga listrik di Kecamatan Siding termasuk layak untuk dilaksanakan. Dengan memaksimalkan pemanfaatan PLTS Terpusat Siding melalui penambahan beban sehingga terjadi penambahan pemakaian energi harian sebesar 226,24 kWh/hari, akan menurunkan biaya energi PLTS Siding sebesar Rp. 4.600/kWh menjadi 3.500/kWh.

2.2 Energi Matahari

Energi ialah suatu kebutuhan esensial bagi manusia untuk kelangsungan hidup, mengalami peningkatan tingkat konsumsi global sebesar 70% antara tahun 2000 dan 2030. Sumber energi fosil menyumbang sekitar 87,7% dari total kebutuhan energi dunia. Cadangan energi fosil diperkirakan hanya mencukupi selama 40 tahun untuk minyak, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara. Keadaan ini menghadirkan tantangan karena sumber energi yang terbatas harus memenuhi kebutuhan energi dunia yang terus meningkat (dengan kenaikan konsumsi energi mencapai 4,3% pada tahun 2004).

Berdasarkan data penyinaran matahari yang dikumpulkan dari 18 lokasi di Indonesia, penyinaran matahari di Indonesia terbagi menjadi Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m² /hari dengan perubahan bulanan sekitar 10% dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m² /hari dengan perubahan bulanan sekitar 9% sehingga diperoleh rata-rata intensitas radiasi matahari di Indonesia sekitar 4,8 kWh/m² /hari dengan variasi bulanan sekitar 9% (Ruskardi, 2015).

Ada banyak hal yang baik untuk dipertimbangkan ketika memilih energi surya sebagai alternatif, antara lain:

- 1) Energi matahari tidak menimbulkan polusi dan baik untuk lingkungan.
- 2) Menggunakan sumber energi surya terbilang mudah karena menggunakan sumber energi ini tidak memerlukan proses yang lama seperti sumber lainnya.
- 3) Untuk daerah yang kondisi lokalnya kurang mendukung dan memiliki potensi energi matahari yang cukup, seperti di pedesaan, pegunungan atau daerah terpencil yang tidak terjangkau listrik PLN, kemungkinan akan dipertimbangkan Kembali.

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi matahari. PLTS merupakan teknologi yang ramah lingkungan dan memanfaatkan energi terbarukan dari matahari dan lebih diminati karena dapat digunakan untuk keperluan apa saja dan di mana saja seperti bangunan besar, pabrik, perumahan, daerah terpencil dan lainnya. Selain persediaannya tanpa batas, tenaga surya nyaris tanpa dampak buruk terhadap lingkungan dibandingkan bahan bakar lainnya. Indonesia sendiri selain dikarenakan faktor-faktor yang disebutkan diatas, masih ada lagi faktor lain yang menyebabkan PLTS diminati di Indonesia. Seperti diketahui bersama bahwasanya Indonesia merupakan negara kepulauan yang luas dan perkembangan tiap daerah serta sumber daya alam yang tidak merata, sehingga PLTS merupakan salah satu alternatif yang diminati. Adanya faktor-faktor di atas mengakibatkan terciptanya daerah-daerah yang belum terlistriki dan sukar dijangkau untuk dialiri sumber listrik oleh PLN, sehingga rasio elektrifikasi di Indonesia masih relatif rendah. Upaya untuk meningkatkan rasio elektrifikasi sudah dilakukan dengan banyaknya dibangun pembangkit-pembangkit baru, namun ternyata hal tersebut belum cukup dikarenakan luasnya wilayah Indonesia dan adanya daerah-daerah yang tidak mempunyai sumber daya alam serta sukar dijangkau.

PLTS menjadi salah satu solusi yang tepat untuk mensuplai listrik di daerah-daerah yang tidak mempunyai sumber daya alam dan sukar untuk dijangkau. Hal ini dikarenakan bahan baku dari PLTS adalah matahari dan Indonesia merupakan daerah tropis serta kelebihan lainnya adalah bahwa PLTS dapat mandiri (langsung pakai), dapat masuk ke grid (PLN) dan juga dapat berkolaborasi dengan pembangkit lainnya. Dengan dibangunnya pembangkit-pembangkit PLTS ini maka rasio elektrifitasnya akan meningkat semakin baik.

2.3.1 PLTS Off grid

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (Off-Grid) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu-satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau photovoltaic untuk dapat menghasilkan energi listrik sistem PLTS Off- Grid sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan listrik dari PLN seperti daerah pedesaan.

2.4 Deskripsi PLTS Off Grid Pamukkulu Kabupaten Takalar

Sistem PLTS off grid Pamukkulu dirancang khusus untuk sistem pengoperasian pintu air jaringan irigasi Pamukkulu dengan memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi listrik untuk pengoperasian motor/actuator yang menggerakkan pintu air. Energi matahari dikonversi oleh panel surya menjadi sumber energi listrik DC. Jika sumber energi listrik DC akan digunakan langsung ke beban maka akan diubah menjadi sumber listrik AC melalui inverter hybrid DC/AC. Jika sumber energi tidak mencukupi untuk mensuplai energi listrik untuk kebutuhan beban, maka akan disuplai dari sistem baterai. Sistem PLTS *Off Grid* pada pintu air irigasi Pamukkulu terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut.

2.4.1 Panel PV

Panel PV adalah alat terdiri dari sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pada sistem PLTS off grid Pamukkulu panel surya yang digunakan terbagi 2 yaitu panel surya 370 WP dan panel surya 450 WP. Penggunaan 16 buah modul surya 370 WP dikhususkan untuk mensuplai panel Motor Operation Valve (MOV) yang menggerakkan aktuator pintu air irigasi. Sedangkan 1 buah modul surya 450 WP dikhususkan untuk mensuplai sistem kontrol otomatis pintu air irigasi pada panel RTU/SCADA.

2.4.2 Inverter

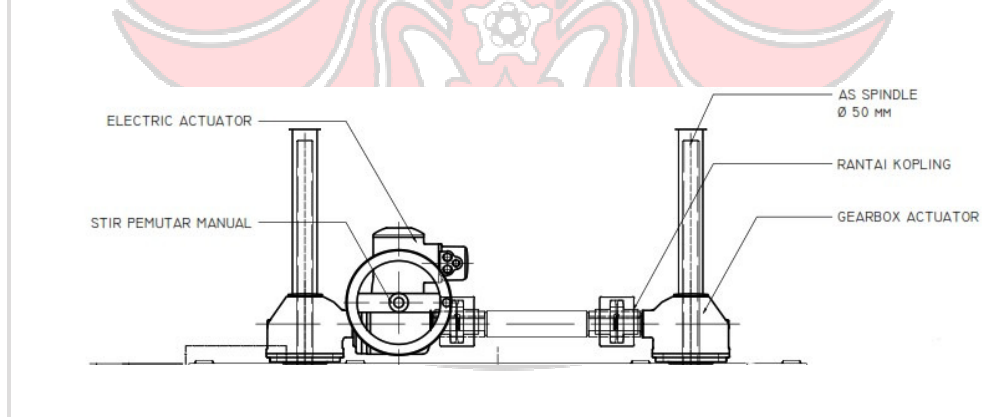
Inverter yang digunakan pada sistem PLTS off grid Pamukkulu eksisting adalah Inverter Hybrid 5kW. Penggunaan inverter Hybrid untuk mengubah arus DC dari panel surya menjadi arus AC. Seperti sistem On-grid namun dapat menggunakan baterai untuk menyimpan energi listrik yang berfungsi sebagai cadangan listrik saat pemadaman.

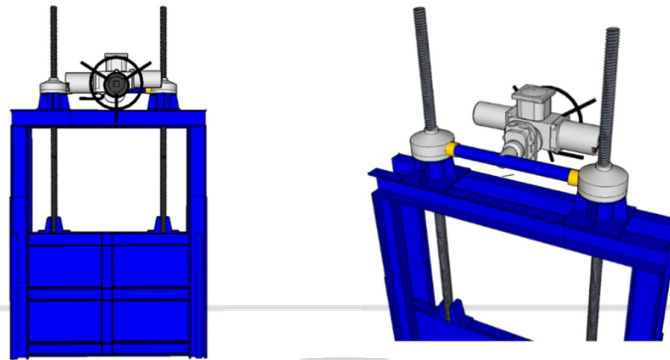
2.4.3 Baterai

Baterai merupakan salah satu cara penyimpanan daya yang paling umum digunakan. Baterai menjadi komponen penting yang mempengaruhi sistem PLTS secara keseluruhan. Perawatan baterai, masa pakai, daya dan efisiensi merupakan parameter baterai yang mempengaruhi kinerja PLTS tersebut. Susunan baterai baterai bank yang digunakan pada sistem eksisting PLTS off grid Pamukkulu' terbagi menjadi 2 baterai yaitu baterai Lithium-ion yang digunakan sebagai penyimpanan energi pada panel MOV sebanyak 6 unit, sedangkan baterai Lead Acid digunakan sebagai penyimpanan energi pada panel RTU/SCADA sebanyak 2 unit.

2.4.4 Spesifikasi Pintu Air di Lokasi

Spesifikasi Pintu yang akan digerakkan oleh motor penggerak memiliki dimensi 140 cm x 105 cm dengan ketebalan plat yakni 8 mm. Mekanisme mekanik dari pintu air irigasi ini adalah daun pintu digerakkan dengan menggunakan stir kemudi melalui batang drat yang tegak lurus. Sedangkan mekanisme elektrik dan otomatis dari pintu air irigasi tersebut yakni informasi ketinggian air yang berasal dari sensor ultrasonic diteruskan kemudian diproses oleh PLC yang selanjutnya informasi disampaikan dalam display HMI (Human Machine Interface) dan pusat kontrol yang terletak di bendung Pamukkulu' melalui program SIPASI (Sistem Pengelolaan Irigasi) sehingga perintah pembukaan pintu air irigasi maupun penutupan pintu air irigasi dapat disampaikan melalui display HMI maupun dari pusat kontrol. Mekanisme pembukaan pintu air otomatis adalah motor AC (aktuator) meneruskan daya melalui coupling sehingga menggerakkan roda gigi dalam gearbox yang terhubung drat stang pintu air serta terhubung sebuah poros untuk meneruskan daya menuju gearbox dan drat stang pintu air di sebelahnya, sehingga kedua drat stang pintu air terangkat secara bersamaan. Untuk lebih jelasnya, dapat di lihat pada gambar 2.1. Gambar Aktuator dan pintu air.





Gambar 2. 1 Aktuator MOV dan Pintu Air Irigasi

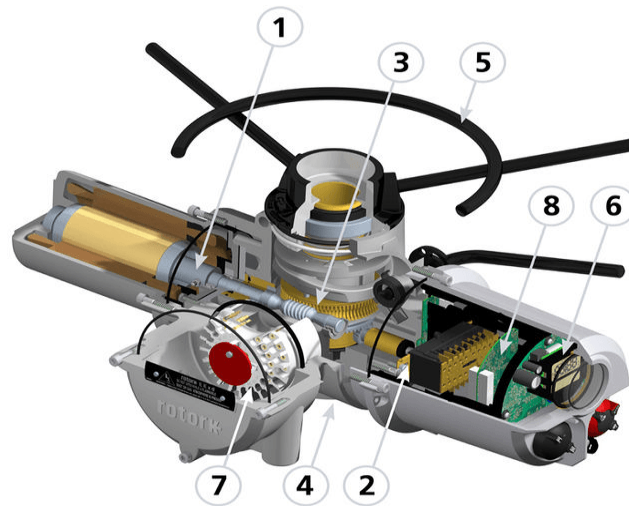
Sebagai langkah antisipasi jika sistem otomatis tidak berfungsi dapat menggunakan cara manual dengan menggunakan stir kemudi atau tuas yang telah disediakan pada pintu air irigasi tersebut. Dapat dilihat pada Gambar 2.2. Pintu Air Irigasi *Pamukkulu'* dan stir kemudi.



Gambar 2. 2 Pintu Air Irigasi Pamukkulu' dan stir kemudi

2.5 Aktuator

Aktuator berfungsi mengatur aliran energi kepada system yang dikontrol. Alat ini disebut sebagai elemen pengontrol akhir (*final control element*). Yang termasuk actuator misalnya motor listrik, pompa, pneumatik, silinder hidraulik. Elemen keluaran ini harus mempunyai kemampuan untuk menggerakkan beban ke suatu nilai yang diinginkan. Dapat kita amati gambar aktuator di bawah ini :



Gambar 2. 3 Komponen Aktuator MIA

Keterangan :

1) Motor AC atau DC

Motor AC atau DC secara khusus dirancang untuk otomatisasi katup. Motor ini memiliki torsi yang lebih tinggi daripada motor konvensional. Dalam perancangannya motor ini dirancang untuk digunakan dalam kondisi lingkungan yang ekstrim.

2) Sensor Limit dan Torsi

Sensor limit berfungsi untuk mengidentifikasi ketika mencapai posisi akhir dan perpindahan torsi yang ada di katup.

3) Gear

Gear ini biasa digunakan pada aktuator listrik. Ini digunakan untuk mengurangi kecepatan output tinggi dari motor listrik.

4) Flange

Flange digunakan untuk menghubungkan aktuator dengan kuat ke pasangan di sisi katup. Semakin tinggi torsi yang akan ditransmisikan, semakin besar flensa yang dibutuhkan. Jenis penggerak keluaran yang digunakan untuk mengirimkan torsi atau daya dorong dari aktuator ke poros katup.

5) Setir untuk Pengoperasian Secara Manual

Aktuator elektrik memiliki tuas/setir untuk pengoperasian secara manual jika terjadi kendala pada suplai daya.

6) Display Pengontrol Aktuator

Sinyal aktuator dan perintah operasi pada DCS diproses dalam kontrol aktuator. Aktuator listrik termasuk *switchgear* yang diperlukan untuk mengendalikan motor listrik. *switchgears* adalah kontrol yang menghidupkan atau mematikan motor listrik tergantung pada sinyal atau perintah.

7) Penghubung Kelistrikan

Kabel suplai dapat dirancang sebagai terminal bung atau konektor plug/socket yang disegel secara terpisah. Kabel suplai digunakan untuk mentransmisikan perintah ke aktuator dan mengirimkan sinyal umpan balik pada aktuator.

8) Fieldbus Connection

Teknologi fieldbus digunakan untuk transmisi data dalam aplikasi otomatisasi proses. kabel data fieldbus terhubung melalui koneksi khusus.

2.6 Sistem Irigasi

2.6.1 Jaringan Irigasi Primer dan Jaringan Irigasi Sekunder

Jaringan irigasi primer adalah bagian dari jaringan irigasi yang terdiri dari bangunan utama, saluran induk/primer, saluran pembuangan, bangunan bagi, bangunan bagi sadap, bangunan sadap, dan pelengkapanya. Sedangkan Jaringan irigasi sekunder adalah saluran drainase yang menerima air dari saluran primer dan menyalurkannya ke saluran tersier.

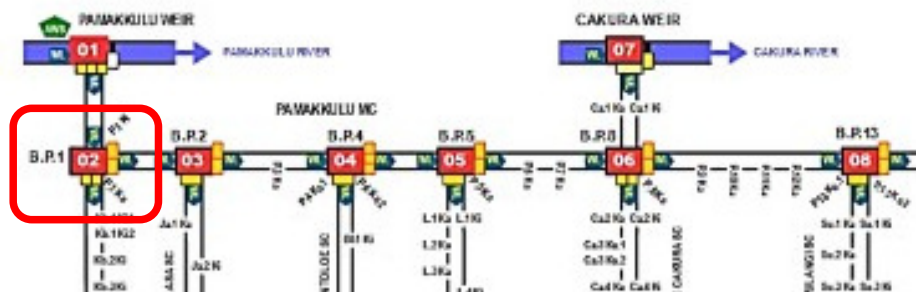
2.6.2 Penilaian Kinerja Irigasi

Kinerja jaringan irigasi adalah fungsi dari sejumlah variabel teknis, fisik, sosial dan ekonomi. Satu variabel indikator tidak dapat digunakan untuk mengukur semua aspek kinerja ataupun tindakan yang diperlukan untuk meningkatkan

kinerja. Indikator kinerja diperhitungkan berdasarkan aspek organisasi P3A, infrastruktur jaringan dengan sub indikator saluran pembawa, bangunan bagi/sadap dan jalan usaha tani, dan pengaturan air dengan sub indikator pendistribusian air, pengawasan penggunaan air dan pemeliharaan jaringan (Majuar, 2013).

2.6.3 Kode Aset

Penggolongan kodefikasi BMN (Barang Milik Negara) bertujuan untuk memberikan keseragaman penatausahaan BMN (Peraturan Menteri Keuangan, 2010). Berdasarkan survey lapangan, lokasi penelitian diberi kode aset “BP 1” oleh pihak Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan-Jeneberang sebagaimana jaringan irigasi lainnya di Pamukkulu’. Dapat kita lihat pada skema irigasi di bawah ini.



Gambar 2. 4 Skema Irigasi Pamukkulu'

2.6.4 Indeks Kinerja Sistem Irigasi

Adapun indeks kinerja sistem irigasi dapat dilihat pada tabel 2.3 indeks kinerja sistem irigasi berikut :

Tabel 2. 1 Indeks Kinerja Sistem Irigasi

No	Indeks	Yang ada (%)	Maks (%)	Min (%)	Optimum (%)	Ket
1	Prasarana fisik	20	25	15	20	
2	Produktivitas tanaman	10	15	10	12,5	
3	Kondisi Op	15	20	10	15	
4	Petugas OP/Org/SDM	15	15	7,5	10	

5	Dokumentasi	5	5	2,5	5	
6	P3A	10	20	10	15	
	Jumlah	75	100	55	7,5	

(Sumber : Direktorat Jendral Sumber Daya Air, 2017.)

2.6.5 Kinerja Operasi dan Pemeliharaan (OP) Sistem Irigasi

Operasi jaringan irigasi (pasal 1 PP 20 tahun 2006) adalah upaya pengaturan air irigasi dan pembuangannya, termasuk kegiatan membuka, menutup pintu bangunan irigasi, menyusun rencana tata tanam, menyusun sistem golongan, menyusun rencana pembagian air, melaksanakan kalibrasi pintu/bangunan, mengumpulkan data, memantau dan mengevaluasi. Sedangkan pemeliharaan jaringan irigasi adalah upaya menjaga dan mengamankan jaringan irigasi agar selalu dapat berfungsi dengan baik guna memperlancar pelaksanaan operasi dan mempertahankan kelestariannya (Gaffar, 2018). Operasi jaringan irigasi bertujuan untuk memenuhi permintaan air irigasi dengan kriteria tepat jumlah, waktu dan durasi (Chintia, 2022).

2.6.6 Standar Operasional Prosedur (SOP) Operasional Pintu Aliran

Standar Operasional Prosedur (SOP) berdasarkan kriteria teknis sebagai berikut:

- a) Melakukan pengecekan kondisi pintu-pintu air beserta bangunannya, secara visual, dilakukan secara rutin setiap hari, agar pintu air dan kelengkapannya dapat selalu siap dioperasikan dengan baik, serta dapat diketahui apabila terdapat permasalahan berkaitan dengan kelancaran pengoperasian pintu.
- b) Mengoperasikan pintu-pintu air untuk kegiatan penyediaan air atau suplesi sesuai dengan kebutuhan air serta ketetapan alokasi air yang telah disepakati.
- c) Mengoperasikan pintu air yang berfungsi sebagai pengendali banjir dengan mengikuti manual pengoperasian pintu dan peralatan yang ada, serta disesuaikan dengan eskalasi kondisi muka air di sungai.

- d) Melakukan uji operasi secara rutin paling sedikit 1 (satu) kali dalam 1 (satu) minggu untuk memastikan kesiapan operasi pintu air dan prasarana seperti perlengkapan dan peralatan pendukung operasi (misalnya: motor/aktuator dan komponen penggerak pintu).
- e) Melakukan uji coba (“running test”) buka-tutup pintu paling tidak 2 (dua) kali dalam satu tahun, untuk menjamin agar pintu dapat berfungsi baik dan dapat segera dioperasikan ketika diperlukan. Khususnya bagi pintu-pintu air yang tidak dioperasikan secara rutin.
- f) Menginformasikan kondisi pintu-pintu air beserta bangunannya kepada instansi terkait untuk tindakan penanganan lebih lanjut yang diperlukan.
- g) Melakukan penutupan dan pembukaan pintu air harus sesuai dengan kebutuhan serta dicatat dalam format laporan.
- h) Melakukan atas kerja sama dengan instansi terkait jika dimungkinkan, untuk mengoperasikan pintu-pintu air dan bangunannya.
- i) Melaporkan dalam format laporan sesuai manual masing-masing bangunan untuk kegiatan-kegiatan operasional pintu air pengendali dan prasarana pelengkapannya.
- j) Melakukan pengujian keakuratan tinggi bukaan air pada pintu dengan besarnya debit yang dikeluarkan, dilakukan paling sedikit 1 (satu) kali dalam 1 (satu) tahun.

2.7 GP3A (Gabungan Petani Pemakai air)

GP3A bertujuan mendayagunakan potensi air irigasi yang tersedia di dalam petak tersier atau daerah irigasi pedesaan sesuai kesepakatan anggota untuk kesejahteraan masyarakat. Batas wilayah GP3A adalah petak tersier, daerah irigasi pompa, dan daerah irigasi pedesaan. GP3A dibentuk dari, oleh, dan untuk petani pemakai air secara demokratis, yang pengurus dan anggotanya terdiri dari unsur petani pemakai air (Gaffar, 2018). Perkumpulan Petani Pemakai Air (P3A) adalah istilah umum untuk kelembagaan pengelola irigasi termasuk irigasi pompa atau reklamasi rawa yang menjadi wadah petani pemakai air dalam suatu daerah

pelayanan irigasi termasuk irigasi pompa atau reklamasi rawa yang dibentuk secara demokratis (Direktorat 23 Pengelolaan Air Irigasi, 2014).

2.8 Evaluasi Sistem Eksisting

Pengertian evaluasi secara etimologi yaitu berasal dari bahasa Inggris disebut *Evaluation*, akar kata dari *value* yang berarti nilai. Secara terminologi, evaluasi adalah suatu proses identifikasi untuk mendapatkan nilai atau ukuran dari sebuah bidang dan untuk diambil sebuah kesimpulan apakah program atau kegiatan yang dilakukan telah mencapai tujuan.

Dalam melakukan evaluasi sistem PLTS Off-Grid dengan Baterai, kondisi beban, pertumbuhan beban, dan peralatan-peralatan yang terpasang pada sistem eksisting perlu dianalisis karena hal-hal ini berkaitan dengan kemampuan sistem PLTS terhadap kebutuhan beban. Data yang diperlukan dapat dilihat pada Tabel 2.2. Daftar Data Evaluasi Sistem Eksisting berikut.

Tabel 2. 2 Daftar Data Evaluasi Sistem Eksisting

No.	Data	Keterangan
1	Data Beban & Data Operasi PLTS	Data beban selama 24 jam, Data pengamatan langsung berupa data operasi daya output inverter, input dan output PV, dan data baterai.
2	<i>Single Line</i> Diagram dan Skema Diagram PLTS	Sistem kerja PLTS
3	Data Komponen Pembangkit	Spesifikasi, <i>datasheet</i> , dan manual
4	Data Peletakan dan Instalasi PLTS	Data layout, instalasi, dan pengaman PLTS

2.9 Analisis Perhitungan Numerik

Analisis Numerik adalah teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara matematik (algoritma) dengan cara operasi hitungan. Adapun perhitungan numerik yang digunakan pada evaluasi PLTS off grid Pamukkulu Kabupaten Takalar sebagai berikut.

2.9.1 Menentukan Jam Matahari Ekuivalen (Equivalent Sun Hours, ESH)

Dalam menentukan jam matahari ekuivalen pada suatu tempat ditentukan berdasarkan peta insolasi matahari dunia yang dikeluarkan solarex. Berdasarkan peta insolasi matahari dunia, diperoleh ESH untuk wilayah Sulawesi sebesar 4,5 (Solarex, 1996).

2.9.2 Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai dipengaruhi oleh pemakaian energi listrik (El), %DOD, sebesar 80%, dan tegangan sistem pada baterai (Vs) itu sendiri. Parameter lain yang mempengaruhi adalah penentuan *autonomy days*. Perhitungan kapasitas baterai dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1) berikut.

$$AH = \frac{Et}{Vs} \quad (2-1)$$

Keterangan:

Et = Pemakaian energi listrik (Wh)

Vs = Tegangan sistem (V)

Dengan besarnya *deep of discharge* (DOD) pada baterai 80% maka kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah:

$$\text{Kebutuhan AH} = \frac{AH \times AD}{\%DOD} \quad (2-2)$$

Keterangan:

AH = Kapasitas Baterai (*Ampere Hour*)

%DOD = Presentase nilai DOD maksimum yang digunakan

AD = *Autonomy Days*

2.9.3 Daya Yang Dibangkitkan

Untuk memperoleh besarnya daya yang dibangkitkan suatu pembangkit. Persamaan untuk mencari daya maksimum yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan (2-3) sebagai berikut (Hajir, 2021):

$$P \text{ Wattpeak} = \text{Luas Array} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{PV}} \quad (2-3)$$

dimana:

$P \text{ Wattpeak}$ = Daya yang akan dibangkitkan PLTS (W)

Luas Array = Luas permukaan panel surya (m²)

PSI = Peak solar insolation (1000 W/ m²)

η_{PV} = Efisiensi panel surya (%)

2.9.4 Produksi Energi Listrik Tahunan

Sedangkan untuk kWh produksi tahunan yang tersedia pada sistem PLTS diperhitungkan dengan persamaan (2-4) sebagai berikut:

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

Untuk mengetahui energi listrik tahunan yang digunakan pada sistem PLTS off grid Pamukkulu diperhitungkan dengan persamaan (2-5) sebagai berikut:

$$A_{\text{kwh}} = \text{Produksi Energi Harian (Wh)} \times 365 \quad (2-5)$$

2.9.5 Rasio Performansi (Performance Ratio)

Kelayakan PLTS ditentukan berdasarkan rasio performansi didefinisikan sebagai rasio dari jumlah energi yang dihasilkan oleh PLTS dengan memperhitungkan rugi-rugi sistem dibandingkan dengan jumlah energi yang dihasilkan PLTS tanpa adanya rugi-rugi sistem. Sederhananya rasio performansi adalah ukuran suatu kualitas sistem dilihat dari energi tahunan yang dihasilkan. Apabila sistem tersebut nilai rasio performansinya berkisar 70-90%, maka sistem

tersebut dapat dikatakan layak (Misbahudin, 2021). Untuk menghitung rasio performansi terdapat pada persamaan (2.6) (Misbahudin, 2021).

$$PR = E_{\text{Sistem}}/E_{\text{ideal}} \quad (2-6)$$

Keterangan :

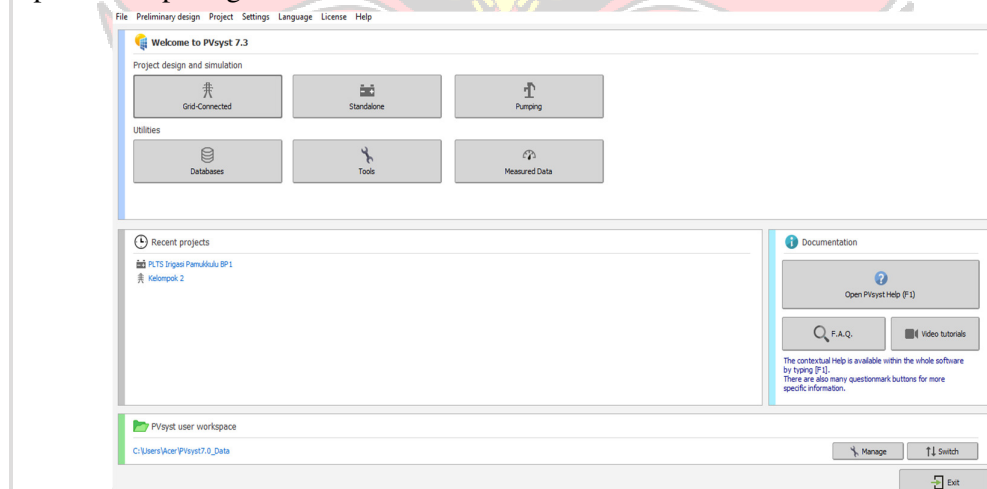
PR = *Performance ratio*

E_{ideal} = Energi yang dihasilkan (Wh/tahun)

E_{sistem} = Energi yang dihasilkan (Wh/tahun).

2.10 PVsyst 7.3.1

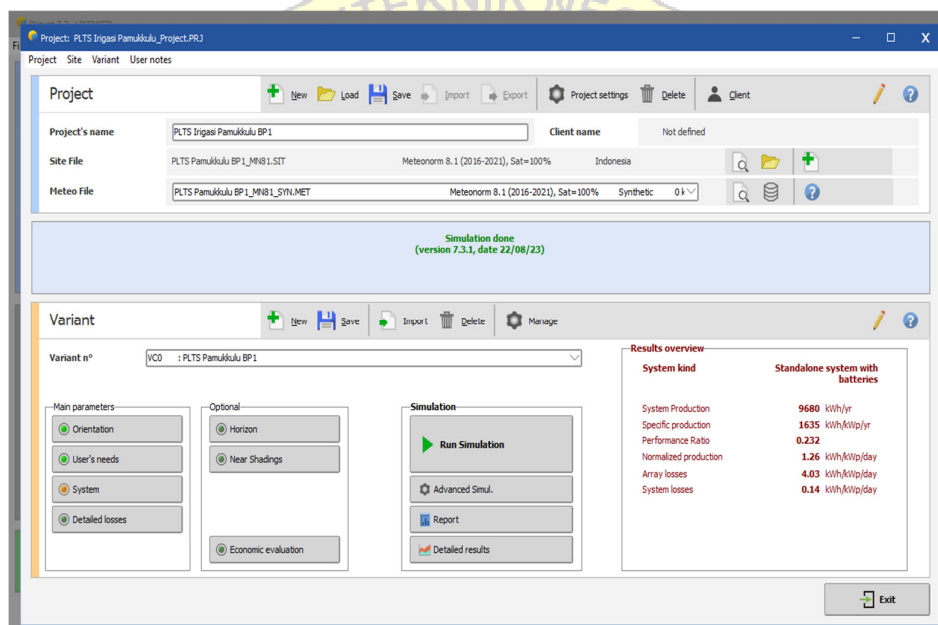
PVSyst merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (sizing), dan analisis data dari perencanaan sistem PLTS. PVSyst dikembangkan oleh Universitas Genewa, yang terbagi ke dalam sistem terinter-koneksi jaringan (grid-connected), sistem berdiri sendiri (stand alone) dan sistem pompa (pumping). Tampilan awal dari software PVsyst 7.3.1 dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Tampilan Awal Software PVsyst 7.3.1

(Sumber : PVsyst 7.3.1)

PVsyst juga dilengkapi database dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen PLTS. Beberapa contoh sumber data meteorologi yang dapat digunakan pada PVSyst yaitu bersumber dari Meteonorm 8.1 (2016-2021), NASA-SSE, PVGIS TMY. Fitur desain proyek pada software PVsyst digunakan untuk menganalisis potensi produksi energi dan unjuk kerja sistem PLTS. Pada fitur ini, simulasi akan dijalankan dengan cara membuat desain sistem PLTS sesuai dengan yang ingin direncanakan. Tampilan awal PLTS *Stand Alone* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Tampilan Awal PLTS Stand Alone

(Sumber : PVsyst 7.3.1)

Pada tampilan proyek (Gambar 2.6), terdapat main parameters (*orientation, system, detailed lossess, self-consumption dan storage*) yang dapat diatur.

- 1) *Orientation* digunakan untuk mengatur posisi azimuth dan tilt (kemiringan) dari panel surya yang akan dirancang.
- 2) *System* digunakan untuk memilih komponen-komponen yang akan digunakan pada perencanaan seperti model, spesifikasi dan jumlah

komponen serta memasukkan besar daya yang akan dibangkitkan.

- 3) *Self-consumption* digunakan untuk mengatur beban (jumlah, daya dan waktu pengoperasian) yang akan disuplai.
- 4) *Storage* untuk memilih komponen penyimpanan energi (baterai) seperti model, spesifikasi dan jumlah yang akan digunakan pada perencanaan.

2.11 Menghitung Capital Cost dan Analisis Ekonomi

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

2.11.1 Biaya Investasi PLTS

Biaya investasi awal PLTS Off Grid Pada Pintu Air Pamukkulu Kabupaten Takalar mencakup biaya-biaya seperti : biaya umum, biaya pekerjaan mekanikal dan elektrikal. Biaya-biaya tersebut merupakan nilai kontrak untuk pembangunan PLTS Off Grid Pada Pintu Air Pamukkulu Kabupaten Takalar.

2.11.2 Biaya Siklus Hidup (Life Cycle Cost)

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

$$LCC = C + MPW + RPW$$

(2-7)

Keterangan :

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

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

MPW = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun atau selama umur proyek.

RPW = Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian yang harus dikeluarkan selama umur proyek. Contohnya adalah biaya untuk penggantian baterai.

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

$$M = 1\% \times \text{Total Biaya Investasi} \quad (2-8)$$

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

$$M_{PW} = M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2-9)$$

Keterangan :

MPW = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek.

M = Biaya pemeliharaan dan operasional

I =Tingkat diskonto.

n = Umur proyek.

2.11.3 Faktor Diskonto

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

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (2-10)$$

Keterangan :

DF = Faktor diskonto.

i = Tingkat diskonto.

n = Periode dalam tahun (umur investasi).

2.11.4 Biaya Energi (*Cost of Energy*)

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

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

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

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \quad (2-11)$$

Keterangan :

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

CRF = Faktor pemulihan modal.

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

2.11.5 Faktor Pemulihan Modal (*Capital Recovery Factor*)

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

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

Keterangan :

CRF = Faktor pemulihan modal.

i = Tingkat diskonto.

n = Periode dalam tahun (umur investasi).

2.12 Teknik Analisis Kelayakan Investasi

Menurut Suhendar (2022), ada tiga teknik analisis untuk menentukan kelayakan investasi PLTS sebagai berikut:

2.12.1 Net Present Value (NPV)

Net Present Value menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilai sekarang atas dasar faktor diskonto (*discount factor*). Teknik ini menghitung selisih antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang ditanamkan. Untuk menghitung *Net Present Value* dipergunakan persamaan sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - C \quad (2-13)$$

Keterangan :

C = Biaya Investasi awal proyek

i = Tingkat diskonto

NCF_t = Alur kas bersih setiap tahunnya.

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

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

2.12.2 Profitability Index (PI)

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

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t (1+i)^{-n}}{C} \quad (2-14)$$

Keterangan :

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

C = Investasi awal (*Initial Investment*).

i = Tingkat diskonto.

n = Periode dalam tahun (umur investasi).

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

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

2.12.3 Discounted Payback Period (DPP)

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

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

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

2.12.4 Internal Rate Return (IRR)

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

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

$$IRR = ir + \left(\frac{NPVr}{NPVr - NPVt} \right) (it - ir) \quad (2-15)$$

Keterangan :

IRR = Internal Rate of Return (%)

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

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

it = Suku bunga tinggi (%)

ir = Suku bunga rendah (%)

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

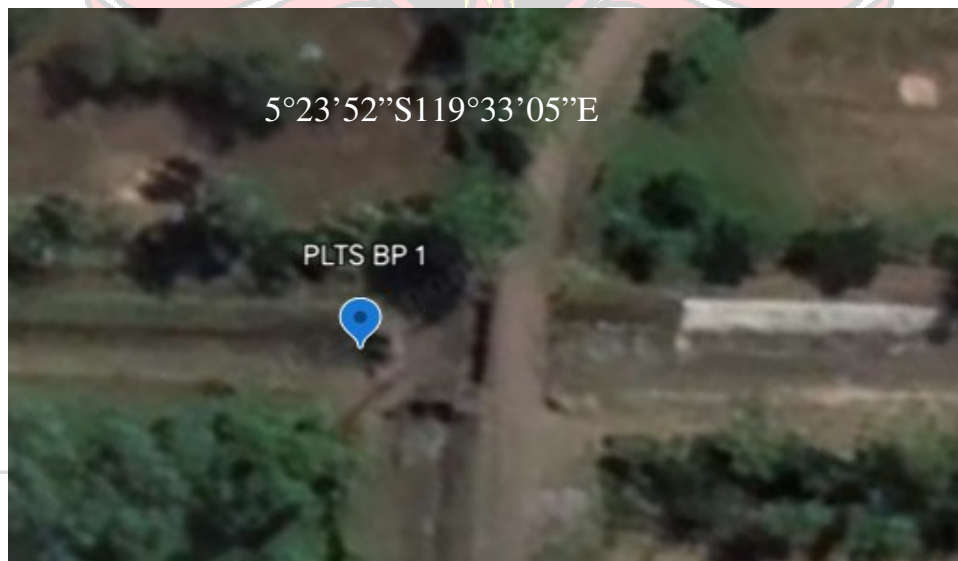
- a) Jika tingkat IRR lebih tinggi dari tingkat suku bunga, maka proyek akan diterima.
- b) Jika tingkat IRR lebih rendah dari tingkat suku bunga, maka proyek akan ditolak

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Lokasi Penelitian

Adapun waktu dan lokasi pengerjaan penelitian yang berjudul “Evaluasi Perancangan PLTS *Off grid* Pada Pintu Air Irigasi *Pamukkulu*’ Kabupaten Takalar” yang dimulai pada bulan Maret hingga bulan Juli 2023. Lokasi penelitian berada di letak koordinat $5^{\circ}23'52''\text{S}$ $119^{\circ}33'05''\text{E}$ pada jaringan irigasi *Pamukkulu*’ kabupaten Takalar yang berjarak sekitar 46 kilometer dari kota Makassar atau dapat ditempuh dalam 2 jam perjalanan dengan menggunakan kendaraan bermotor, tepatnya berjarak sekitar 6 kilometer dari ibukota kabupaten Takalar. Sistem PLTS *off grid* yang divalidasi dan dievaluasi bertempat pada salah satu dari 12 bangunan pintu air pada jaringan irigasi *Pamukkulu*’ Kabupaten Takalar yang terdiri dari jaringan irigasi primer yang berjumlah 2 pintu air dan jaringan irigasi sekunder berjumlah 2 pintu air. Adapun peta lokasi dapat di lihat pada gambar berikut :



Gambar 3. 1 Peta Lokasi
(Sumber: Google Earth)

3.2 Prosedur Penelitian

Berikut jenis penugasan serta pendekatan yang dilakukan agar mencapai tujuan penelitian sebagai berikut :

- 1) Survey dan penelitian langsung di lokasi klien
- 2) Pengumpulan data dilakukan dengan observasi, wawancara, dan identifikasi sistem
- 3) Melakukan validasi pada sistem PLTS dan evaluasi penyimpanan energi baterai pada pintu air irigasi *Pamukkulu'*
- 4) Analisis numerik.
- 5) Mengevaluasi menggunakan *software* PVSyst.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

- 1) Studi Pustaka (*Library Research*)

Studi pustaka yaitu teknik pengumpulan informasi dengan cara membaca beberapa literatur/buku – buku/ jurnal/ sumber online yang terkait dengan evaluasi perancangan PLTS *off grid*.

- 2) Wawancara (*Interview*)

Wawancara yaitu pengumpulan data dan informasi dengan cara penulis bertanya langsung bertatap muka dengan narasumber (teknisi) dengan pihak yang terkait.

- 3) Pengamatan (*Observasi*)

Pengamatan yaitu penulis melakukan pengamatan secara langsung terhadap sistem PLTS *off grid* pada pintu air *Pamukkulu'* Kabupaten Takalar.

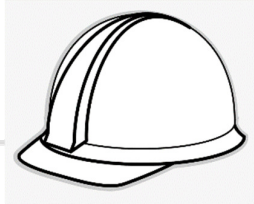
- 4) Pengukuran pada Sistem yang Telah Terpasang

Melakukan pengukuran pada sistem PLTS, dimulai dari pengukuran pada panel surya (PV), inverter, hingga baterai yang telah terpasang dengan aman.

3.4 Alat yang Dibutuhkan Dalam Evaluasi

1. Helm Safety

3. Sepatu Safety



2. Sarung Tangan Insulator

4. Tang Ampere Meter



5. Multimeter



3.5 Metode Analisis Data

Dalam evaluasi ini, teknik analisis data yang digunakan yaitu metode analisis deskriptif dengan perhitungan berdasarkan teori dan simulasi pada perangkat lunak PVSyst versi 7.3.0. Penelitian ini mencakup dua tahap utama, yaitu studi beban listrik pada pintu air irigasi untuk membandingkan kapasitas dan spesifikasi komponen yang digunakan, dan dengan sistem PLTS *off grid*

pada perangkat lunak PVSyst versi 7.3.0 untuk mendapatkan perbandingan konfigurasi sistem yang optimal.

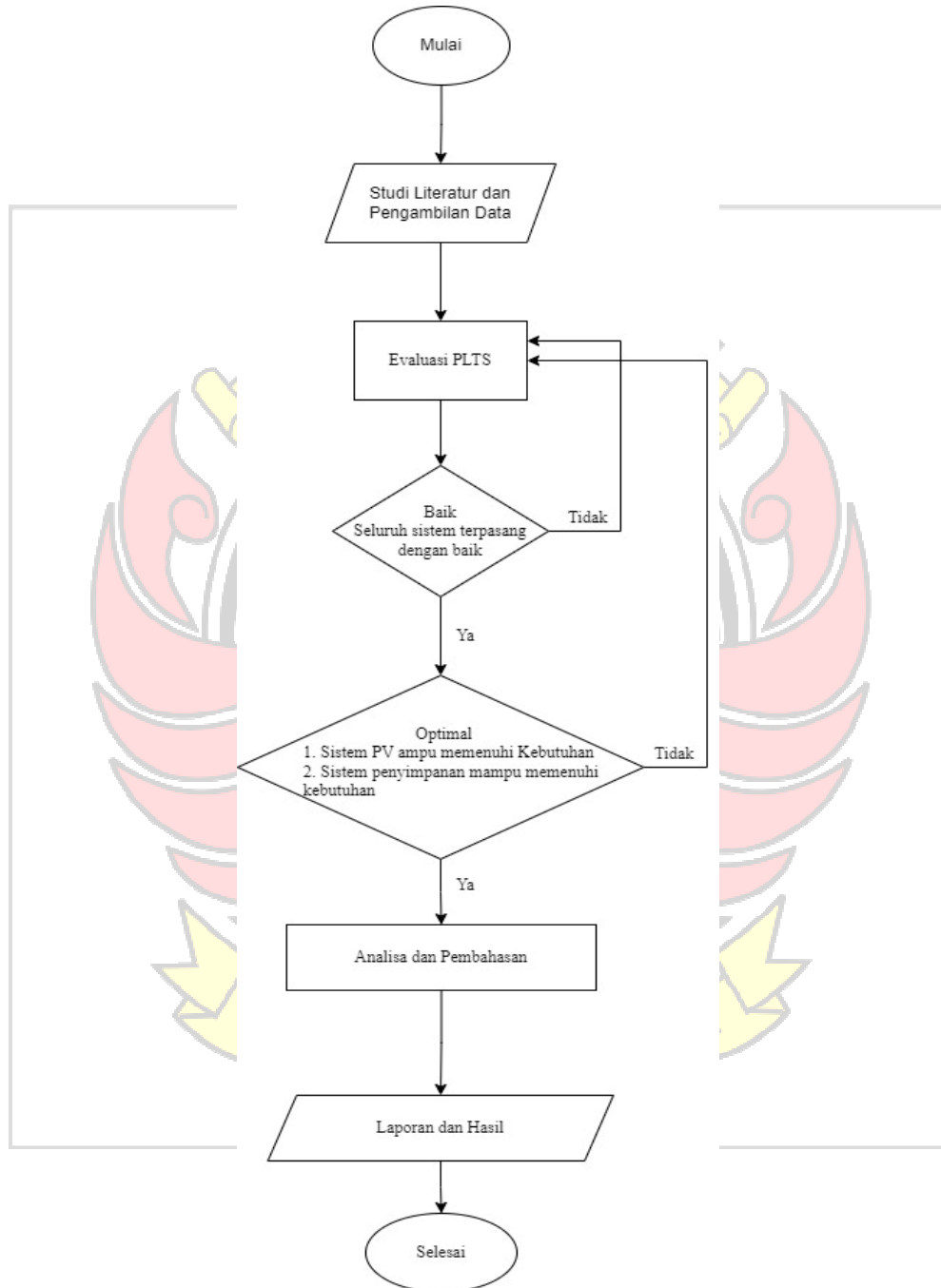
3.6 Langkah Evaluasi Sistem *Eksisting*

Berdasarkan IEC 62446 Ed.1.0 (2009-05) terdapat 3 tahapan pengujian/evaluasi PLTS demi menjaga keselamatan petugas pemeriksaan, yaitu:

- 1) Pemeriksaan Dokumen :
 - a) Memeriksa diagram pengkabelan dan spesifikasi setiap komponen pada sistem yang terpasang
 - b) Memberikan rekomendasi perbaikan jika diperlukan
 - c) Melakukan dokumentasi melalui foto ataupun catatan.
- 2) Pemeriksaan Visual
 - a) Mengimplementasikan budaya K3 di lokasi inspeksi
 - b) Mengamati string pada PV dan komponen lainnya
 - c) Memeriksa proteksi tegangan berlebih dan pembumian
 - d) Memeriksa informasi rancangan mekanik berupa penyangga dan lain-lain.
 - e) Wawancara dengan operator PLTS
- 3) Pengujian (Dilakukan Setelah Inspeksi Sistem Yang Telah Terpasang dan Dinyatakan Aman)
 - a) Pengukuran tegangan, arus, dan daya input-output pada panel surya (*Photovoltaic*) menggunakan alat ukur tang ampere meter/*clamp meter*
 - b) Pengukuran tegangan, arus, dan daya input-output inverter menggunakan alat ukur multimeter dan tang ampere meter/*clamp meter*
 - c) Pengukuran tegangan, arus, dan daya input-output baterai menggunakan alat ukur multimeter dan tang ampere meter/*clamp meter*.
 - d) Menganalisa *performance ratio* (PR) / kinerja PLTS.

3.7 Teknik Mencapai Tujuan Penelitian

Berikut flowchart penelitian yang dilakukan, sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Beban Dan Data Operasi PLTS *Off Grid Pamukkulu'*

4.1.1 Data Beban PLTS *Off Grid Pamukkulu'*

Analisa beban bertujuan untuk menghitung kebutuhan daya atau penggunaan energi listrik yang akan dilayani oleh sistem PLTS. Berdasarkan hasil evaluasi, sistem PLTS saat ini dibebani oleh beban listrik utama untuk pengoperasian motor listrik/aktuator pada panel Motor operation Valve (MOV). Sedangkan untuk beban sistem PLTS pada panel Remote Terminal Unit (RTU)/SCADA melayani beban seperti PLC, Router, dan Sensor air. Sistem PLTS pada panel RTU/SCADA adalah sistem kontrol untuk motor penggerak/aktuator. Dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data beban PLTS untuk panel MOV

Komponen	Jumlah (Unit)	Waktu (Jam/Hari)	Daya (kW)	Total Energi Listrik (kWh)
Motor Penggerak / Aktuator	4	1	1,5	6
Lampu	2	12	0,02	0,48
Fan/Kipas	2	24	0,02	0,96
Jumlah			6,08	7,44

Pada Tabel 4.1, data beban yang didapat berdasarkan data aktual pada sistem PLTS *eksisting* berdasarkan daya komponen sesuai spesifikasi pada peralatan, jumlah komponen, dan waktu penggunaan perhari. Total daya beban dan energi listrik pada sistem PLTS untuk panel MOV adalah daya beban 6,08 kW dan total energi listrik harian yang disuplai sebesar 7,44 kWh.

Tabel 4. 2 Data beban PLTS sistem kontrol panel RTU

Komponen	Jumlah (Unit)	Waktu (Jam/Hari)	Daya (W)	Total Energi Listrik (kWh)
Display HMI 7” Color Siemens	1	24	10	0,24
Router GSM	1	24	10	0,24
PLC	1	24	12	0,28
Sensor Air	2	24	18	0,86
Jumlah			50 W	1,62 kWh

Pada Tabel 4.2, data beban yang didapat berdasarkan data aktual pada sistem PLTS *eksisting* berdasarkan daya komponen sesuai spesifikasi pada peralatan, jumlah komponen, dan waktu penggunaan perhari. Total daya beban dan energi listrik pada sistem PLTS untuk panel RTU/SCADA adalah daya beban 100 W dan total energi listrik harian yang disuplai sebesar 2,88 kWh.

4.1.2 Data Operasi PLTS *Off Grid Pamukkulu'*

Pola operasi PLTS *off grid Pamukkulu'* pada pintu air irigasi berdasarkan hasil pengamatan, pengambilan data lapangan, dan wawancara terhadap operator. Pengoperasian pintu air tergantung pada permintaan petani setempat atau berdasarkan kebutuhan air sehingga pengoperasian pintu air tidak konstan atau tidak menentu, sehingga pada hasil evaluasi ini menggunakan data pengoperasian minimum dan data pengoperasian maksimum.

Standar Operasional Prosedur (SOP) pengaturan pintu air menurut hasil survey lapangan dan wawancara terhadap operator pintu air Bendung Pamukkulu sesuai dengan pedoman SOP yang ada yaitu :

- a) Pengecekan kondisi pintu-pintu air beserta bangunannya, dilakukan ketika cuaca sedang hujan saja. Karena seiring dengan keadaan hujan, maka volume air meningkat dan penjaga pintu mengecek pintu air bersamaan dengan mengamati volume air.

- b) Berdasarkan informasi yang diperoleh, pintu air yang dibuka pada kondisi volume air meningkat hanya 2 pintu saja sesuai dengan kecepatan aliran yang masuk ke pintu air. Jika aliran air yang masuk ke pintu memiliki waktu yang lama untuk mengalirkan air, maka ditambah 1 pintu lagi.
- c) Pengoperasian pintu air berdasarkan permintaan dan kebutuhan air serta saat cuaca ekstrim/hujan. Dimana data pengoperasian maksimum sebanyak 5 kali pengoperasian pintu air dan data pengoperasian minimum sebanyak 2 kali pengoperasian pintu air. Setiap pengoperasian buka-tutup pintu air membutuhkan waktu 11 menit untuk pembukaan-penutupan penuh 100%.
- d) Instansi yang mengelola pintu air jaringan irigasi Pamukkulu Kabupaten Takalar adalah Dinas Sumber Daya Air, Cipta Karya dan Tata Ruang Provinsi Sulawesi Selatan.

Data pengoperasian pintu air didapat berdasarkan data output inverter dan pengukuran. Berikut Tabel 4.3 Data Output Inverter Saat Pengoperasian Minimum dan Tabel 4.4 Data Output Inverter Saat Pengoperasian Maksimum.

4.1.3 Data Output Inverter ke Beban

Tabel 4. 3 Data Output Inverter Saat Pengoperasian Minimum (Cuaca Cerah)

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Keterangan
7:00	220	0.2	44	<i>Fan/Kipas Inverter Beroperasi</i>
8:00	220	0.2	44	
9:00	220	3.8	836	1 Pintu Air Beroperasi
10:00	220	0.2	44	<i>Fan/Kipas Inverter Beroperasi</i>
11:00	220	0.2	44	
12:00	220	0.2	44	
13:00	220	0.2	44	
14:00	220	0.2	44	
15:00	220	0.2	44	

16:00	220	0.3	44	
17:00	220	3.8	836	1 Pintu Air Beroperasi
18:00	220	0.4	88	
19:00	220	0.4	88	
20:00	220	0.4	88	
21:00	220	0.4	88	
22:00	220	0.4	88	
23:00	220	0.4	88	
0:00	220	0.4	88	Lampu dan <i>Fan</i> /Kipas Inverter
1:00	220	0.4	88	
2:00	220	0.4	88	
3:00	220	0.4	88	
4:00	220	0.4	88	
5:00	220	0.4	88	
6:00	220	0.4	88	
Rata-rata			3212	

Berdasarkan data output inverter pada Tabel 4.3, daya beban didapatkan dari hasil pengamatan pada tampilan informasi LCD Inverter dan pengukuran langsung dengan Multimeter dan Tang ampere menggunakan rumus perhitungan daya listrik berikut :

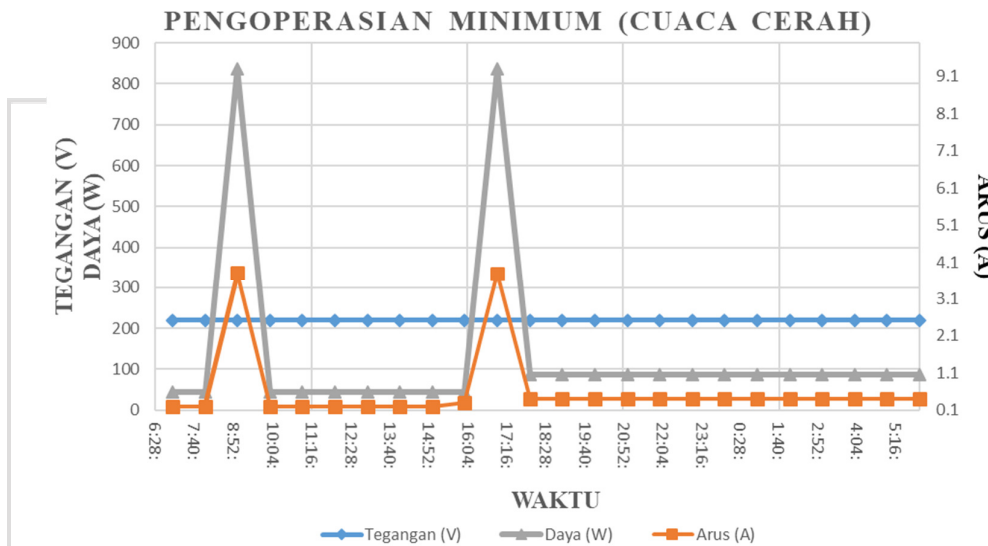
$$P = V \times I$$

$$P = 220 \times 0,2 = 44 \text{ W}$$

$$P = 220 \times 0,4 = 88$$

$$P = 220 \times 3,8 = 836 \text{ W}$$

Pada hasil pengamatan tampilan informasi inverter, pengukuran langsung, dan rumus perhitungan daya. Bahwa hasil daya yang didapatkan sama sehingga energi listrik yang digunakan perhari adalah sebesar 3212 Wh untuk data pengoperasian minimum. Berikut gambar grafik pengoperasian minimum.



Gambar 4. 1 Grafik Data Output Inverter Saat Pengoperasian Minimum

Data minimum disaat kondisi cuaca cerah dengan penggunaan beban selama 24 jam, dengan rincian beban sebagai berikut :

1. Pembebanan 2 buah kipas/*fan* dengan total daya 40 Watt untuk Pendingin panel MOV selama 24 jam.
2. Pembebanan aktuator pintu air terjadi pada pukul 09.00 dan pukul 17.00 yakni pengoperasian 2 pintu air. Untuk pengoperasian pembukaan/penutupan pintu air 100% (50 cm) memerlukan durasi waktu masing-masing 11 menit.
3. Pembebanan di malam hari pada pukul 18.00-06.00 memiliki daya konstan atau tetap yang dibebani adalah kipas/*fan* dan lampu selama 12 jam dengan total daya 80 Watt.
4. Adapun tegangan output inverter adalah tetap 220 V, sedangkan arus sebelum pembebanan adalah konstan di angka 0,2 A dan mengalami

peningkatan saat pembebanan aktuator pintu air irigasi dengan angka 3,8 A.
Setelah pembebanan, arus kembali konstan 0,2 A.

Tabel 4. 4 Data Output Inverter Saat Pengoperasian Maksimum (Cuaca Mendung dan Hujan)

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Keterangan
7	220	0,2	44	<i>Fan/Kipas Inverter Beroperasi</i>
8	220	4	880	1 Pintu Air Beroperasi
9	220	0,2	44	<i>Fan/Kipas Inverter Beroperasi</i>
10	220	0,2	44	
11	220	0,2	44	
12	220	0,2	44	
13	220	0,2	44	
14	220	0,2	44	
15	220	0,2	44	
16	220	4.3	946	1 Pintu Air Beroperasi
17	220	0.4	44	<i>Fan/Kipas Inverter Beroperasi</i>
18	220	0.4	88	Lampu dan <i>Fan/Kipas Inverter</i>
19	220	0.4	88	
20	220	4.4	968	Lampu dan 1 Pintu Air Beroperasi
21	220	8.4	1848	Lampu dan 2 Pintu Air Beroperasi
22	220	0.4	88	Lampu dan <i>Fan/Kipas Inverter Beroperasi</i>
23	220	0.4	88	
0	220	0.4	88	
1	220	0.4	88	

2	220	0.4	88
3	220	0.4	88
4	220	0.4	88
5	220	0.4	88
6	220	0.4	88
Rata-rata			6006

Berdasarkan data output inverter pada Tabel 4.4, daya beban didapatkan dari hasil pengamatan pada tampilan informasi LCD Inverter dan pengukuran langsung dengan Multimeter dan Tang ampere menggunakan rumus perhitungan daya listrik berikut :

$$P = V \times I$$

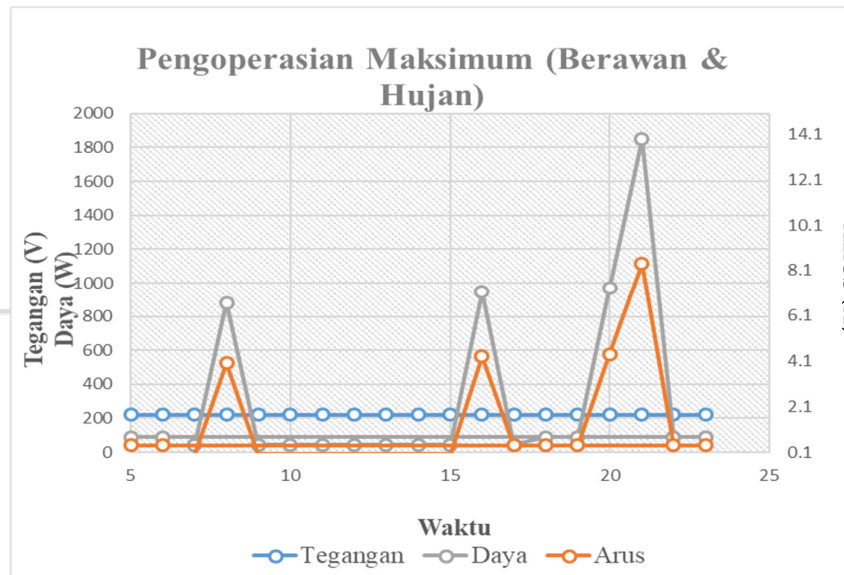
$$P = 220 \times 0,2 = 44$$

$$P = 220 \times 0,4 = 88$$

$$P = 220 \times 4,3 = 946 \text{ W}$$

$$P = 220 \times 8,4 = 1848 \text{ W}$$

Pada hasil pengamatan tampilan informasi inverter, pengukuran langsung, dan rumus perhitungan daya. Bahwa hasil daya yang didapatkan sama sehingga energi listrik yang digunakan perhari adalah sebesar 6006 Wh untuk data pengoperasian maksimum. Adapun data output inverter saat pengoperasian maksimum terjadi pada saat kondisi hujan atau air meluap sehingga pembukaan pintu air dioperasikan sebanyak 5 kali. Berikut gambar grafik pengoperasian maksimum.



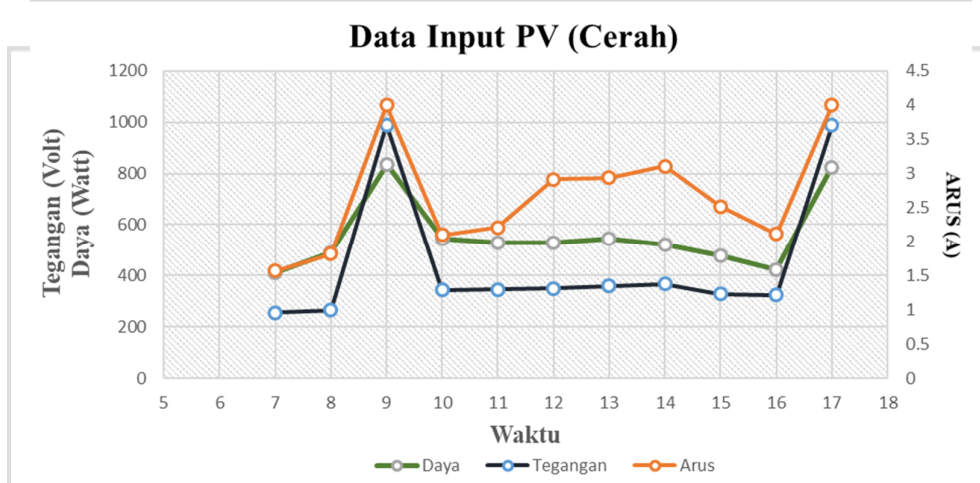
Gambar 4. 2 Grafik Data Output Inverter Saat Pengoperasian Maksimum

Data di saat kondisi berawan dan mendung dengan penggunaan beban maksimum selama 24 jam, dengan rincian beban sebagai berikut :

1. Pembebanan kipas/*fan* untuk panel MOV selama 24 jam dan di malam hari terjadi penambahan beban oleh lampu 2 buah sehingga total daya sebesar 80 Watt.
2. Pembebanan aktuator pintu air terjadi pada pukul 08.00, 16.00, 20.00, dan 21.00. Pada pukul 21.00 pengoperasian 2 pintu air secara bersamaan dengan total daya 1848 W.
3. Tegangan output inverter adalah tetap 220 V, sedangkan arus sebelum pembebanan adalah konstan di angka 0,2 A dan mengalami peningkatan saat pembebanan aktuator pintu air irigasi dengan angka 8,4 A. Setelah pembebanan, arus kembali konstan di angka 0,2 A.

4.1.4 Data Output Panel PV ke Inverter Pada Cuaca Cerah

Data output PV (panel surya) ke Inverter berdasarkan hasil pengamatan dan pengambilan data lapangan pada saat kondisi cuaca cerah dengan data pengoperasian minimum sebanyak 2 kali pengoperasian pintu air. Gambar 4.3 Data Input PV Saat Cuaca Cerah sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Data Input PV Saat Cuaca Cerah

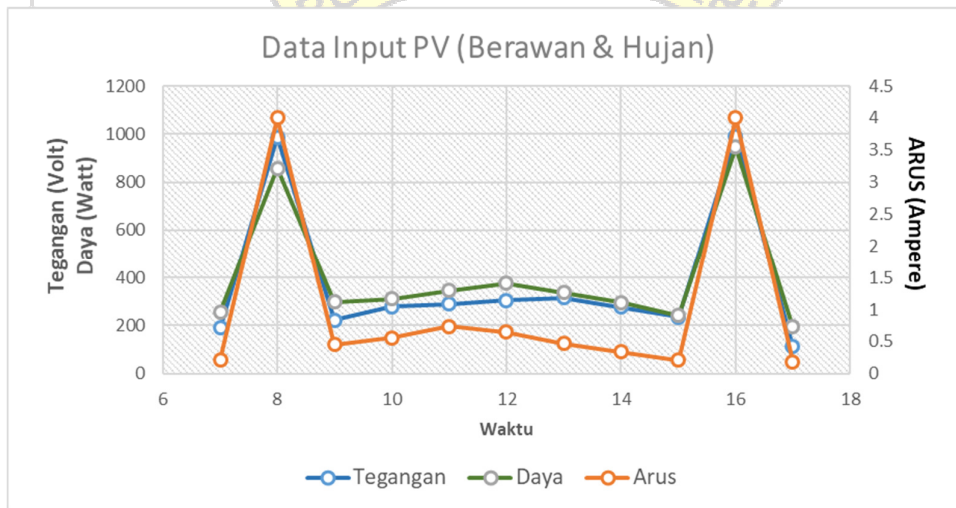
Berdasarkan Grafik di atas, Data input PV di saat kondisi cuaca cerah dengan penggunaan beban minimum durasi waktu pengukuran selama 10 jam yang dimulai pukul 07.00 hingga pukul 17.00 WITA, dengan rincian beban sebagai berikut.

1. Besar daya input panel PV pada pukul 07.00 adalah 412 watt dan pada pukul 08.00 489 watt.
2. Daya input PV saat pembebanan aktuator pintu air pada pukul 09.00 dengan daya 837 Watt dengan arus 4 Ampere dan tegangan 990 Volt.
3. Pengoperasian aktuator pintu air selanjutnya pada pukul 17.00 dengan daya input 823 watt, arus 4 ampere, dan tegangan 989 volt.
4. Berdasarkan skema operasi pada display inverter (lihat pada lampiran 8) yang terpasang, pada siang hari suplai energi berasal dari baterai dan PV secara kontinu sehingga tegangan, arus, dan daya mengalami peningkatan drastis saat pembebanan aktuator pintu air.

5. Produksi energi panel PV berdasarkan data pengamatan selama 10 jam adalah 5.537 Wh.

4.1.5 Data Output Panel PV ke Inverter Pada Cuaca Berawan dan Hujan

Adapun untuk data input PV saat cuaca mendung dan hujan dengan data pengoperasian pintu air sebanyak 2 kali berdasarkan pengambilan data lapangan. Gambar 4.4 Data Input PV Saat Cuaca Berawan dan Hujan sebagai berikut.



Gambar 4. 4 Data Input PV Saat Cuaca Berawan dan Hujan

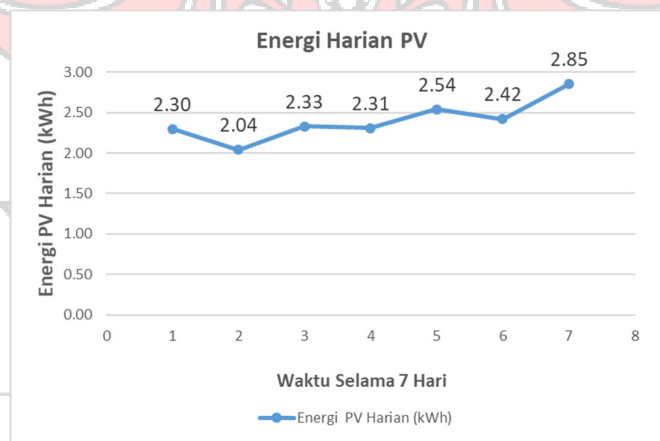
Data input PV di saat kondisi cuaca berawan dan hujan dengan pengoperasian pintu air sebanyak 2 kali pada siang hari, durasi pengukuran selama 10 jam yang dimulai pukul 07.00 hingga pukul 17.00 WITA, dengan rincian beban sebagai berikut :

1. Pada pukul 07.00 daya input PV menunjukkan 256 Watt dan mengalami lonjakan menjadi 857 watt saat aktuator penggerak pintu air beroperasi selama 11 menit karena panel PV dan baterai memasok daya ke beban secara bersamaan (lihat pada lampiran 8), kemudian pada jam berikutnya hingga pukul 15.69 daya input PV sekitar 298 watt hingga 376 watt.

2. Daya input PV saat pembebanan aktuator pintu air terjadi pada pukul 16.00 hingga 16.11 yakni pembukaan 1 pintu air hingga terbuka 100% (50cm) pada saluran irigasi primer dengan daya 945 watt.
3. Selanjutnya pada jam berikutnya hingga tidak terjadi pembebanan aktuator motor sehingga besar daya input 194 watt.
4. Produksi energi panel PV berdasarkan data pengamatan selama 10 jam adalah 4.055 Wh.

4.1.6 Data Energi Harian yang Dihasilkan Panel PV

Berdasarkan hasil evaluasi panel surya pada sistem PLTS *off grid Pamukkulu'* data yang didapatkan berdasarkan pengambilan data operasional pada PLTS tampilan informasi LCD inverter yang menunjukkan produksi energi harian dari PV/panel surya. Pengambilan data selama 7 hari menunjukkan bahwa pada hari pertama energi yang dihasilkan PV adalah 2,30 kWh, di hari ke-2 yaitu 2,04 kWh, kemudian pada hari ke-3 2,33 kWh, selanjutnya hari ke-4 2,31 kWh, hari ke-5 2,54 kWh, hari ke-6 pada angka 2,42, dan yang terakhir pada hari ke-7 menghasilkan energi 2,85 kWh. Gambar 4.5 Data Energi Harian PV Array sebagai berikut.

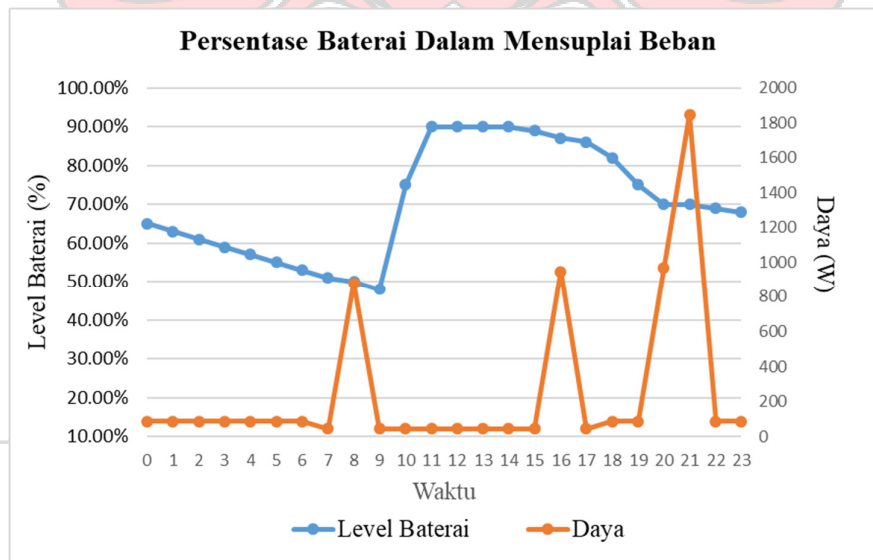


Gambar 4. 5 Data Energi Harian PV Array Selama 7 Hari

4.1.7 Data Baterai

Baterai yang digunakan pada sistem PLTS *off grid Pamukkulu'* mengalami proses siklus mengisi (*Charging*) dan mengosongkan (*Discharging*), tergantung pada ada atau tidaknya sinar matahari. Selama ada sinar matahari, panel surya akan menghasilkan energi listrik. Apabila energi listrik yang dihasilkan tersebut melebihi kebutuhan bebannya, maka energi listrik tersebut akan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Sebaliknya selama matahari tidak ada, permintaan energi listrik akan disuplai oleh baterai. Proses pengisian dan pengosongan ini disebut satu siklus baterai.

Berdasarkan dari data diatas, dapat diketahui bahwa Baterai yang digunakan pada sistem *eksisting PLTS Pamukkulu'* BP 1 adalah baterai Lithium-Ion 25,6 V. 100 AH sebanyak 6 buah baterai yang dihubungkan 3 paralel dan 2 seri sehingga menghasilkan tegangan sistem 52 V dan kapasitas baterai 300 Ah digunakan sebagai penyimpanan energi pada baterai (*backup*) untuk panel MOV yang menyuplai beban utama pada motor listrik/aktuator untuk menggerakkan pintu air. Gambar 4.6 Grafik Hasil Evaluasi Baterai sebagai berikut.



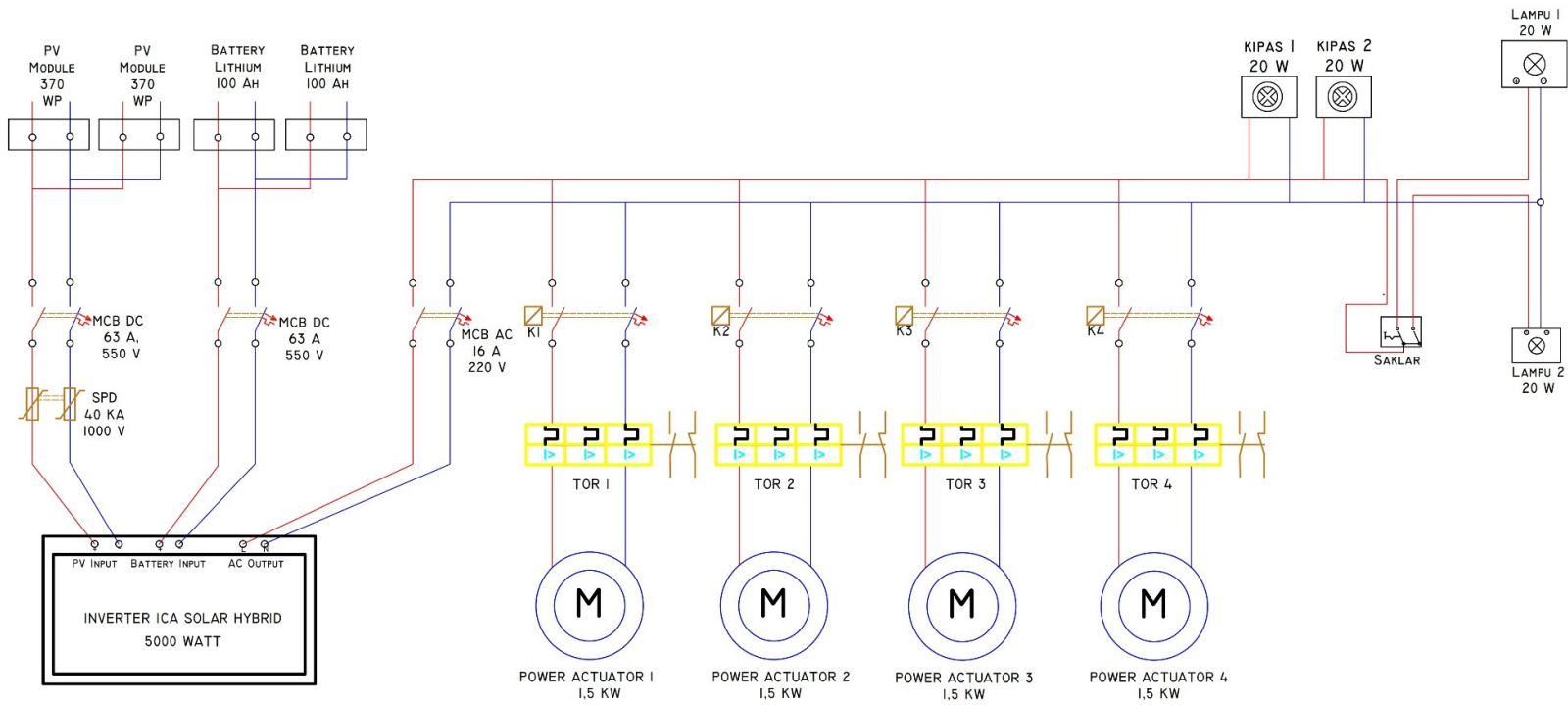
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Evaluasi Baterai

Berdasarkan pada gambar 4.6 pada pengujian baterai penurunan level baterai mengikuti besar suplai energi ke beban, semakin besar energi yang disuplai baterai maka semakin besar pula penyusutan level baterai yang disebut proses *discharging*. Energi yang disuplai oleh baterai berfluktuatif sesuai kebutuhan beban saat dioperasikan. Selama 5 kali pengoperasian aktuator, level terendah baterai berada pada angka 48% sehingga energi yang masih tersimpan pada baterai sebesar 48% jika dikonversi menjadi energi sebesar 7.372 Wh yang sudah termasuk DOD 80% (*Depth of Discharge*). Dengan demikian baterai mampu memenuhi seluruh kebutuhan beban aktuator dan beban pendukung lainnya bahkan terdapat cukup energi yang tersimpan.



4.2 Single Line Diagram dan Skema Diagram PLTS Off Grid Pamukkulu'

Langkah pertama yang harus dilakukan dalam melakukan evaluasi sistem PLTS *off grid Pamukkulu'* adalah pengamatan single line diagram. Dapat dilihat pada gambar single line diagram PLTS *off grid* sebagai berikut:

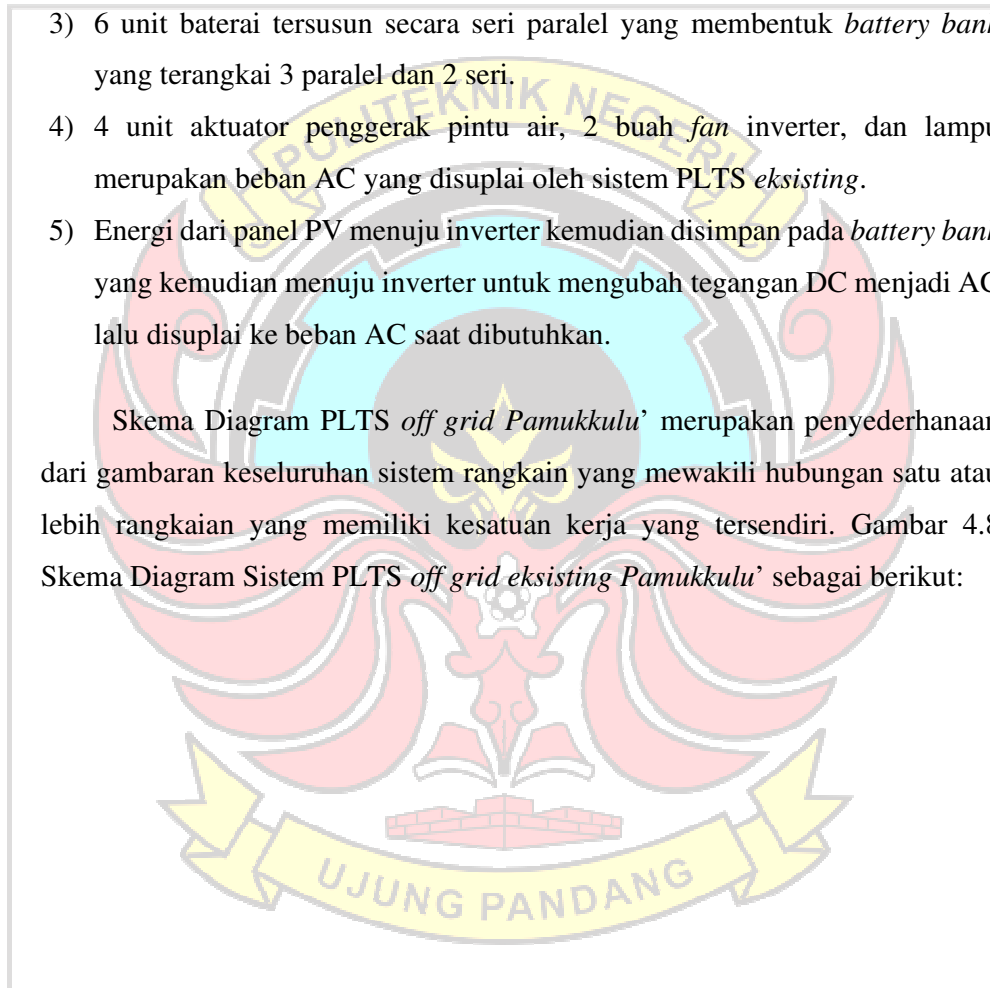


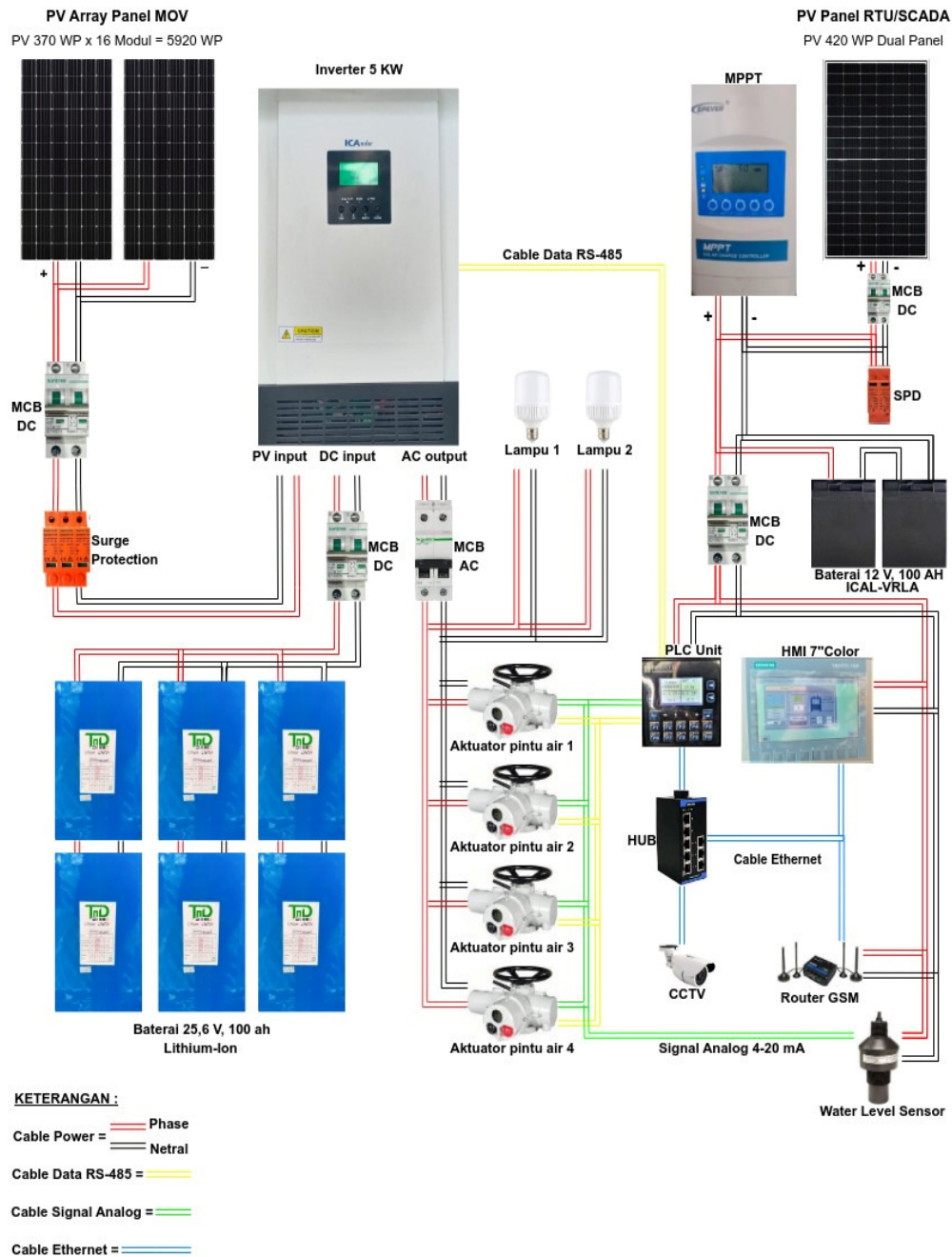
Gambar 4. 7 Single Line Diagram PLTS Off Grid Pamukkulu'

pintu air irigasi *Pamukkulu'* yang terdiri dari :

- 1) 16 panel PV kapasitas 370 WP tersusun secara seri paralel yang membentuk solar array yang terbagi menjadi 2 string. Pada kedua string berjumlah 14 panel PV tersusun secara seri dengan 2 panel PV tersusun secara paralel.
- 2) 1 unit inverter kapasitas 5 kW yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC yang berasal dari panel PV menjadi tegangan AC.
- 3) 6 unit baterai tersusun secara seri paralel yang membentuk *battery bank* yang terangkai 3 paralel dan 2 seri.
- 4) 4 unit aktuator penggerak pintu air, 2 buah *fan* inverter, dan lampu merupakan beban AC yang disuplai oleh sistem PLTS *eksisting*.
- 5) Energi dari panel PV menuju inverter kemudian disimpan pada *battery bank* yang kemudian menuju inverter untuk mengubah tegangan DC menjadi AC lalu disuplai ke beban AC saat dibutuhkan.

Skema Diagram PLTS *off grid Pamukkulu'* merupakan penyederhanaan dari gambaran keseluruhan sistem rangkaian yang mewakili hubungan satu atau lebih rangkaian yang memiliki kesatuan kerja yang tersendiri. Gambar 4.8 Skema Diagram Sistem PLTS *off grid eksisting Pamukkulu'* sebagai berikut:





Gambar 4. 8 Skema Diagram Sistem PLTS Off Grid Pamukkulu

Pada sistem PLTS off grid Pamukkulu BP1 ini menggunakan 16 buah panel surya 370WP dengan total kapasitas 5920 WP yang terhubung dengan inverter kapasitas 5 kW, sistem PLTS ini menggunakan 6 buah baterai lithium-ion yang

dihubungkan 3 paralel dan 2 seri sehingga menghasilkan tegangan sistem 52 V, kapasitas baterai 300 Ah, dan kapasitas energi baterai 15.360 Wh sebagai penyimpanan energi yang dihasilkan. Dimana sistem PLTS ini dikhususkan untuk pengoperasian motor/actuator pada panel MOV untuk menggerakkan pintu air. Sedangkan untuk sistem kontrol pada panel RTU/SCADA terdiri dari 1 buah panel surya kapasitas 450WP yang terhubung ke *Solar Charge Controller* (SCC) dan 2 buah baterai *Lead Acid* type ICAL-VRLA 12V 100Ah yang dihubungkan secara seri sehingga menghasilkan tegangan sistem 24 VDC untuk menyuplai kebutuhan tegangan pada panel RTU/SCADA yang memerlukan sistem tegangan 24 VDC.

Pada sistem PLTS eksisting ini terdapat sistem proteksi berupa MCB DC yang merupakan pembatas atau proteksi masukan power panel PV, MCB AC, dan surge protection untuk mengamankan arus kejutan yang ditimbulkan power panel PV saat terjadi perubahan intensitas matahari.

Adapun mekanisme elektrik dan otomatis dari pintu air irigasi tersebut yakni informasi ketinggian air yang berasal dari sensor ultrasonic diteruskan kemudian diproses oleh PLC yang selanjutnya informasi disampaikan dalam display HMI (*Human Machine Interface*) dan pusat kontrol yang terletak di bendung *Pamukkulu'* melalui program SIPASI (Sistem Pengelolaan Irigasi) sehingga perintah pembukaan pintu air irigasi maupun penutupan pintu air irigasi dapat disampaikan melalui display HMI maupun dari pusat control secara otomatis.

4.3 Data Komponen PLTS *Off Grid Pamukkulu'*

Sistem *eksisting* Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pintu Air *Pamukkulu'* Kabupaten Takalar tepatnya jaringan irigasi BP 1, terbagi atas 2 sistem PLTS yang terdiri dari 16 buah modul surya 370 WP dikhususkan untuk mensuplai panel MOV yang menggerakkan aktuator pintu air irigasi sedangkan 1 buah modul surya 450 WP dikhususkan untuk mensuplai sistem kontrol dan otomatis pintu air irigasi pada panel RTU/SCADA. Secara keseluruhan, komponen yang digunakan sesuai dengan Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 02/M-IND/PER/1/2014 tentang Pedoman Peningkatan Penggunaan Produk Dalam Negeri

Dalam Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah. Berikut data setiap komponen PLTS pintu air irigasi *Pamukkulu'* BP 1 Takalar.

4.3.1. Panel Surya

Untuk jumlah panel surya yang sudah terpasang pada sistem PLTS *off grid Pamukkulu'* terbagi 2 yaitu sistem PLTS untuk panel MOV dan sistem PLTS panel RTU. Jumlah panel surya yang digunakan pada sistem PLTS untuk panel MOV adalah 16 buah panel surya Monocrystalline 370WP, sedangkan untuk sistem PLTS pada panel RTU panel surya yang digunakan adalah Monocrystalline 450 WP berjumlah 1 buah panel surya. Spesifikasi Panel surya dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4. 5 Spesifikasi Panel Surya Monocrystalline 370 WP

Jenis Sel Surya	Monocrystalline
Merk	ICA370-75M
Sudut kemiringan	6°
Daya	370 WP
Vmp	39.20 VDC
Imp	9.44 A
Voc	48.20 VDC
Isc	9.86 A
Fuse rating	15 A
Dimensi panel surya	1954 x 990 x40
Efisiensi	19.17%
Tegangan sistem max	1000 V

Tabel 4. 6 Spesifikasi Panel Surya Monocrystalline 450 WP

Jenis Sel Surya	Monocrystalline
Merk	ICA370-75M
Sudut kemiringan	6°
Daya	450 WP
Vmp	39.20 VDC
Imp	9.44 A
Voc	48.20 VDC
Isc	9.86 A

Fuse rating	15 A
Dimensi panel surya	1954 x 990 x40
Efisiensi	19.17%
Tegangan sistem max	1000 V

4.3.2. Inverter

Inverter yang digunakan pada PLTS *off grid* pintu air irigasi *Pamukkulu'* Kabupaten Takalar adalah Bidirectional Inverter yang dapat mengubah daya AC menjadi daya DC untuk disimpan di baterai. Misalnya ketika listrik padam, inverter mengubah daya DC yang tersimpan di baterai menjadi daya AC untuk menyuplai pada beban yang membutuhkan daya AC. Keuntungan utama menggunakan bidirectional inverter adalah fleksibilitas penggunaannya. Inverter secara otomatis mendeteksi ketersediaan pasokan AC dan mengubah mode operasi dari inverter ke pengisi daya dan mengisi baterai jika kosong.

Inverter yang digunakan pada sistem eksisting adalah Inverter Hybrid 5kW. Penggunaan inverter Hybrid untuk mengubah arus DC dari panel surya menjadi arus AC. Seperti sistem On-grid namun dapat menggunakan baterai untuk menyimpan listrik yang berfungsi sebagai cadangan listrik saat pemadaman. Spesifikasi inverter dapat dilihat pada Tabel 4.8 sebagai berikut :

Tabel 4. 7 Spesifikasi Inverter Hybrid 5 kW

Tipe	ICA Solar SNV-GH5041
Daya masukan maksimal	5000 W
Daya Keluaran	5000 W
VDC MPP	360-450 V
IDC maksimal	23 A
VAC nominal	240 V
IAC nominal	21.7 A
PAC nominal	5000 W
Efisiensi maksimum	95%

Untuk evaluasi inverter, dimana dari data sebelumnya diperoleh 6.080 Watt, sehingga untuk memilih inverter berdasarkan daya yang didapatkan cukup menggunakan output inverter 6 kW atau 7 kW dengan nominal tegangan input 360-450 V.

4.3.3. Baterai

Baterai yang digunakan pada sistem eksisting PLTS Pamukkulu terbagi menjadi 2 baterai yaitu *Lithium-Ion* dan *Lead Acid*. Yang dimana baterai Lithium-Ion 25,6 V. 100 AH sebanyak 6 buah baterai digunakan sebagai penyimpanan energi dari panel MOV untuk menyuplai beban utama pada motor listrik/actuator untuk menggerakkan pintu air. Baterai Lithium-ion adalah jenis baterai sekunder (rechargeable battery) yang dapat diisi ulang dan merupakan baterai yang ramah lingkungan dan paling aman, tegangan nominal sel LFP adalah 3,2V (asam timbal : 2V/sel) oleh karena itu baterai LFP 25,6V terdiri dari 8 sel yang dihubungkan secara seri. Adapun untuk baterai *Lead Acid* menggunakan type ICAL-VRLA 12V 100AH sebanyak 2 buah baterai dihubungkan secara seri digunakan sebagai penyimpanan energi dari panel SCADA untuk menyuplai beban DC untuk sistem kontrol. Baterai ICAL-VRLA merupakan baterai VRLA gel yang menggunakan asam timbal (lead acid) sebagai bahan kimianya. Berikut spesifikasi baterai Lithium-ion dan ICAL-VRLA dapat dilihat pada Tabel 4.5 Spesifikasi Baterai Lithium-Ion.

Tabel 4. 8 Spesifikasi Baterai Lithium-Ion

Tipe	TnD Lithium-Iron Phospate Battery TF-8s-2p
Efisiensi Maksimal	95%
VDC Nominal	25,6 Volt
Tegangan Baterai Saat Kosong	20 Volt
Kapasitas	100 Ah

Tabel 4. 9 Spesifikasi Baterai ICAL-VRLA

Tipe	ICAL-VRLA
Efisiensi Maksimal	95%
VDC Nominal	12 Volt
Tegangan Baterai Saat Kosong	Volt
Kapasitas	100 Ah

4.3.4 Kabel PLTS *Pamukkulu'*

Untuk sistem PLTS ground-mounted, kabel yang dipilih untuk PV adalah kabel NYAF dengan kemampuan menghantar 450/750 V, sedangkan untuk kabel inverter menggunakan jenis NYAF dengan kemampuan menghantar 450/750 V dan direkomendasikan untuk menggunakan jenis kabel instalasi bawah tanah. Berikut gambar 4.9:



Gambar 4. 9 Gambar Kabel NYAF PLTS Eksisting

4.3.5 Sistem Proteksi Pembumian dan Penangkal Petir

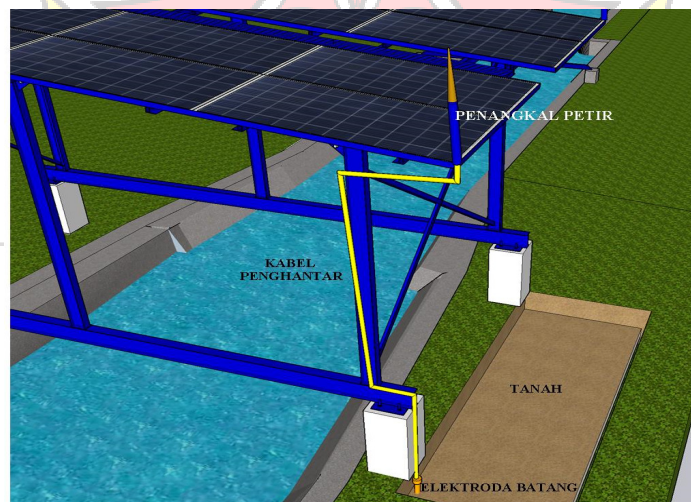
Perlengkapan listrik, termasuk konduktor harus dilengkapi dengan proteksi mekanis terhadap stres elektromekanis arus gangguan jika perlu untuk mencegah cedera atau kerusakan pada manusia, ternak, dan harta benda dengan catatan perhatian khusus sebaiknya diberikan pada arus konduktor PE dan konduktor pembumian (Hutajulu, Jisman. (2011). *Penjelasan PUIL (Persyaratan Umum*

Instalasi Listrik). Sistem *grounding* (pembumian) PLTS dapat diamati pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 10 *Grounding System* (Pembumian) pada PLTS Eksisting

Grounding sistem menyalurkan arus listrik berlebih ke bumi, sehingga melindungi peralatan elektronik dari kerusakan akibat arus listrik yang berlebih. Seperti pada gambar 4.9, kabel penghantar yang menghubungkan surge arester dalam panel box MOV dengan elektroda batang yang ditanam di bawah tanah sedalam ± 50 cm.



Gambar 4. 11 Penangkal Petir Sistem Eksisting

Manusia dan ternak harus diproteksi dari cedera dan harta benda harus diproteksi dari kerusakan akibat adanya voltase lebih sedemikian seperti yang berasal dari peristiwa atmosfer atau dari penyakelaran (Hutajulu, Jisman. (2011). *Penjelasan PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik)*. Gambar 4.11 terdapat kabel penghantar yang menghubungkan penangkal petir dan elektroda batang menuju ke tanah untuk menyalurkan arus dari sambaran petir. Penangkal Petir dibutuhkan untuk mengamankan sistem PLTS keseluruhan agar bila terjadi gangguan petir di kawasan PLTS langsung disalurkan ke tanah (tidak mengarah ke peralatan PLTS) sehingga tidak merusak peralatan sistem PLTS.

4.3.6. Box Panel Motor Operation Valve (MOV)

Panel MOV adalah box panel untuk komponen sistem PLTS *off grid Pamukkulu'* BP1 untuk pengoperasian motor/actuator yang menggerakkan pintu air irigasi. Dimana untuk penyimpanan baterai menggunakan box baterai ukuran 80 x 40 x 25 cm untuk menampung dan melindungi semua komponen baterai yang berada di dalamnya. Dapat kita lihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 12 Kabinet Baterai Pada Panel Box MOV

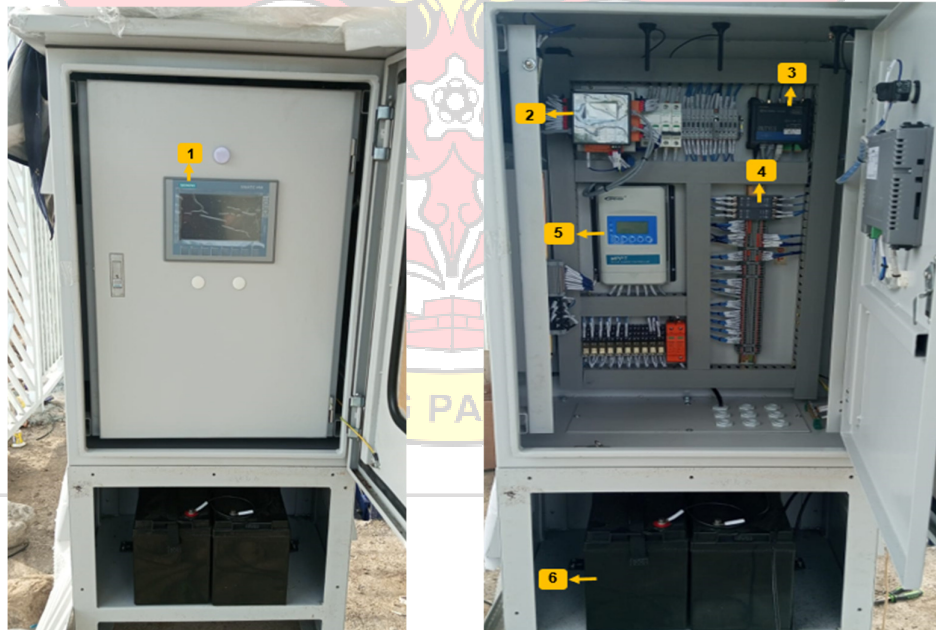
Electrical Panel Box PLTS irigasi *Pamukkulu'* BP1 menggunakan box panel inverter 80 x 80 x 25cm. Box panel berfungsi sebagai penghubung rangkaian listrik dengan menghubungkan suplay tenaga listrik dari panel utama sampai ke beban-beban baik instalasi penerangan maupun instalasi tenaga. Dimana didalam panel tersebut terdiri dari Inverter, MCB DC, MCB AC, Surge Protection DC, Kontaktor, dan terminal/busbar. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 13 Electrical Panel Box MOV

4.3.7 Box Panel Remote Terminal Unit (RTU)

Sistem SCADA (*Supervisory, Control, and Data Acquisition*) di Daerah Irigasi Pamukkulu' menggunakan PLC (*Programmable Logic Control*) dari Horner Automation dengan bantuan sumber daya dari solar panel sebesar 420 Wp dan HMI (*Human Machine Interface*) bertipe KTP 700-Basic dari Siemens. Berikut daftar komponen Panel SCADA:



Gambar 4. 14 Daftar Komponen Panel SCADA

Tabel 4. 10 Tabel Data Komponen Panel RTU/SCADA

No.	Item	Brand and Model
1	HMI 7 Inch Color	Siemens – KTP700 Basic
2	Gate and Data Controller	Horner – XLE Series
3	GPRS Router	Teltonika – RUT955
4	Sensor Tegangan Baterai dan Solar Panel	Huaebei – HDH21
5	Catu Daya Surya Untuk Controller Out 12VDC	RoyalPV – MPPT Xtra-N (item ini dilengkapi dengan baterai dan solar cell)
6	Baterai 100AH – 12VDC	ICAL - VRLA

4.3.8 Langkah Pengoperasian Panel RTU/SCADA

1) Pengaturan Awal

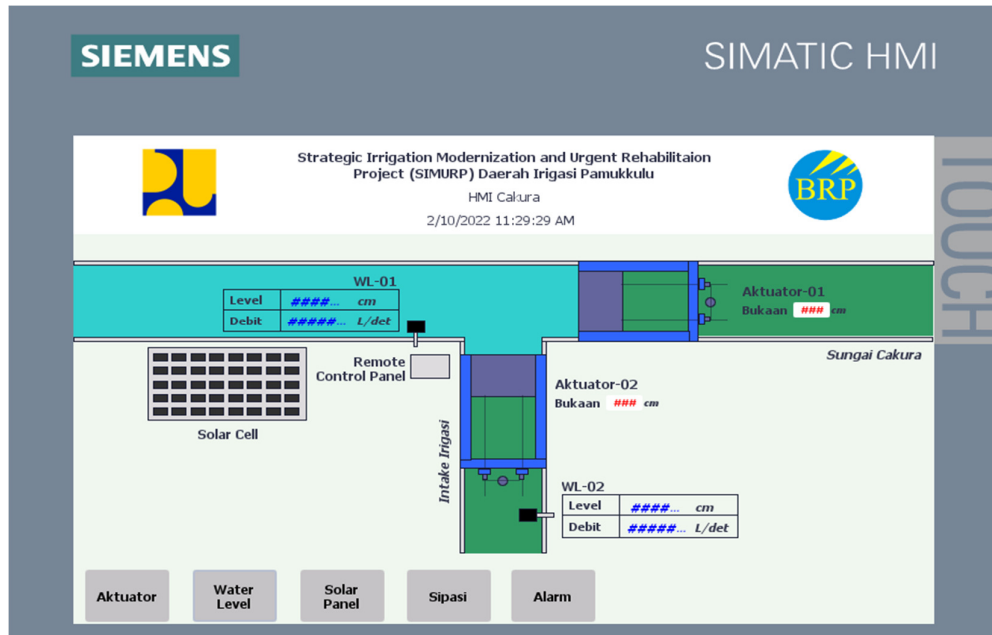
Langkah-langkah yang harus diperhatikan saat pertama kali mengoperasikan panel SCADA adalah sebagai berikut:

- a) Naikkan tuas MCB yang terdapat di sebelah Horner (2) dimulai dari urutan kiri ke kanan, lalu tunggu beberapa saat.
- b) Tekan tombol “Start” pada HMI (1) agar tampilan layar masuk ke menu utama.

2) Tampilan Layar

Setelah panel berada dalam kondisi aktif, HMI akan menampilkan halaman menu utama. Melalui menu utama, pengguna dapat menuju halaman pengaturan aktuator, *water level*, dan *solar panel*.

a) Menu Utama

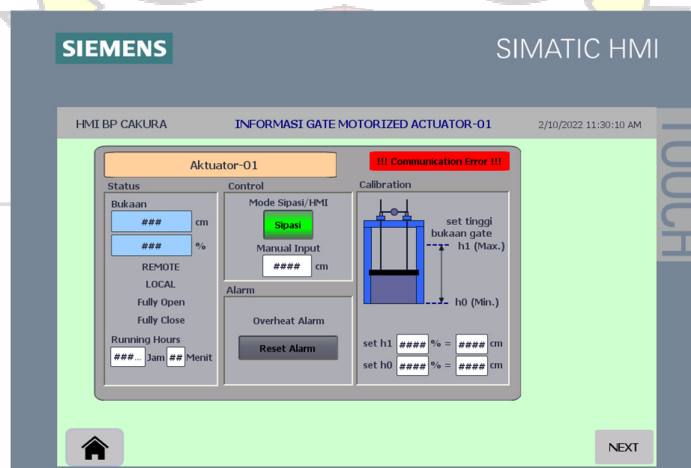


Gambar 4. 15 Menu Utama HMI

Tampilan awal HMI, di bagian bawah terdapat tombol untuk menuju beberapa layar informasi. Di tampilan awal ini juga terlihat informasi mengenai tinggi muka air dalam centimeter dan bukaan pintu dalam centimeter.

1) Halaman Aktuator

Di halaman aktuator, pengguna dapat melihat bukaan pintu dan persentase operasinya.

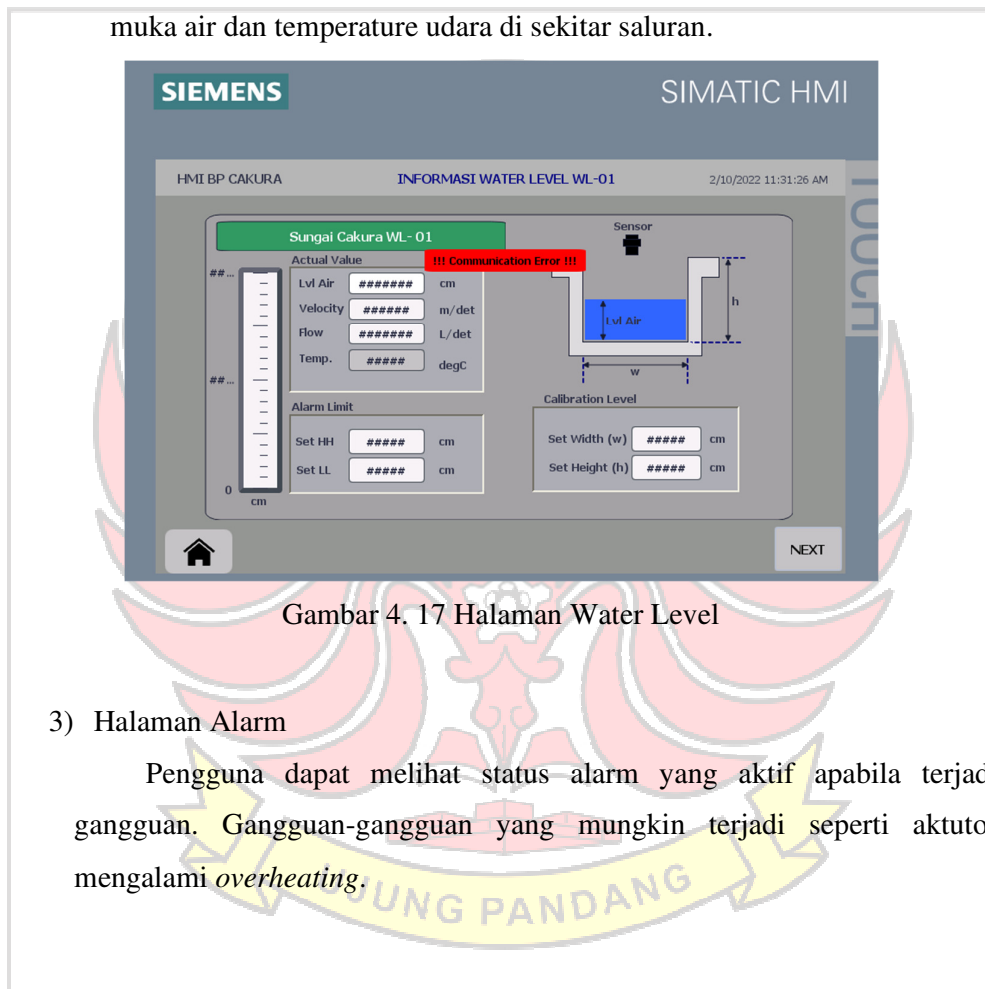


Gambar 4. 16 Halaman Aktuator

Pengguna juga dapat membuka pintu sesuai ketinggian yang diinginkan melalui tombol Manual Input. Akan tetapi, cara ini hanya dapat dilakukan apabila tombol Mode berada dalam posisi HMI.

2) Halaman Water Level

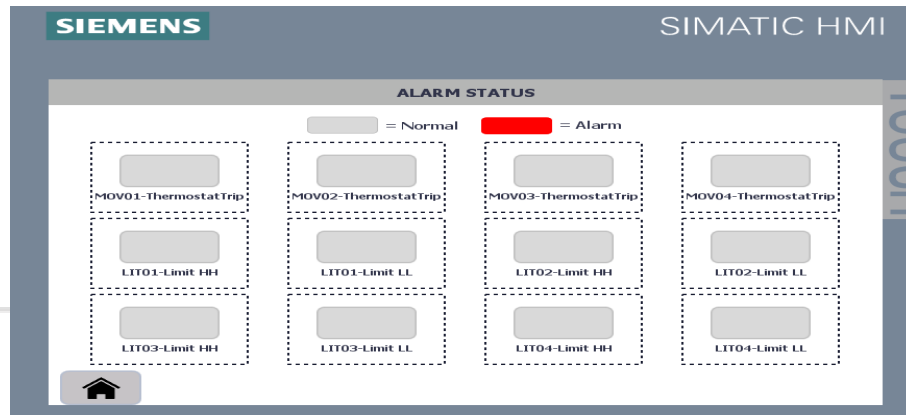
Di halaman Water Level ini, pengguna dapat melihat pembacaan tinggi muka air dan temperature udara di sekitar saluran.



Gambar 4. 17 Halaman Water Level

3) Halaman Alarm

Pengguna dapat melihat status alarm yang aktif apabila terjadi gangguan. Gangguan-gangguan yang mungkin terjadi seperti aktuator mengalami *overheating*.



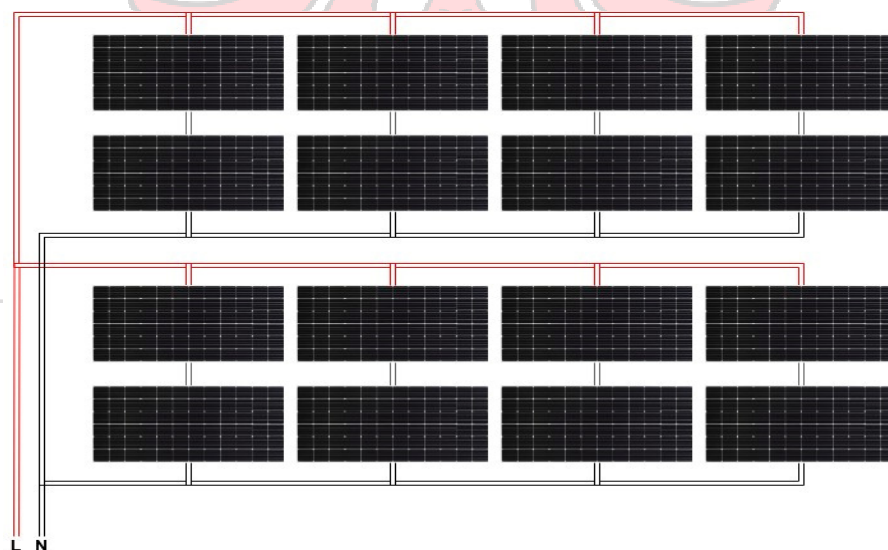
Gambar 4. 18 Halaman Alarm

4.4 Data Peletakan, Instalasi, dan Keamanan Lokasi

Data peletakan, instalasi, dan keamanan lokasi berdasarkan hasil evaluasi pada sistem PLTS *off grid Pamukkulu'* sebagai berikut:

4.4.1 Panel Surya

Pada sistem PLTS *off grid Pamukkulu'* menggunakan panel surya monocrySTALLINE kapasitas 370 WP sebanyak 16 unit panel surya. Instalasi rangkaian PV array PLTS *off grid Pamukkulu'* dapat dilihat pada Gambar 4.15 sebagai berikut.



Gambar 4. 19 Rangkaian PV Array PLTS *Off Grid Pamukkulu'*.

Berdasarkan Gambar 4.15 rangkaian PV array PLTS *off grid Pamukkulu'* terdapat 16 panel surya yang terangkai seri sebanyak 8 buah dan paralel sebanyak 2 buah. Setiap array menghasilkan V_{mpp} dan I_{mpp} yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{mpp \text{ array}} = V_{mp} \times \text{jumlah seri}$$

$$= 39.20 \text{ V} \times 8 \text{ panel}$$

$$= 313,6 \text{ V}$$

$$I_{mpp \text{ array}} = I_{mp} \times \text{Jumlah paralel}$$

$$= 9,44 \text{ A} \times 2 \text{ panel}$$

$$= 18,88 \text{ A}$$

$$P_{mpp \text{ array}} = V_{mpp} \times I_{mpp}$$

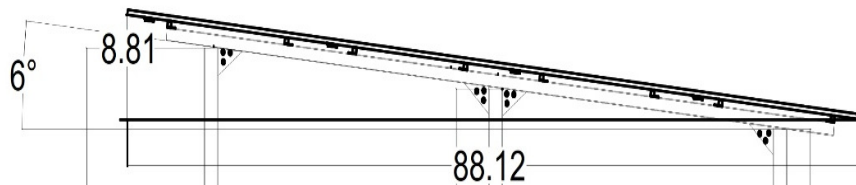
$$= 313,6 \times 18,88$$

$$= 5.920 \text{ WP}$$

Berdasarkan perhitungan PV array yang terpasang pada PLTS *off grid Pamukkulu'* sebanyak 16 panel surya, dimana setiap arraynya mempunyai V_{mpp} sebesar 313,6 V, dan I_{mpp} sebesar 18,88 A. Sehingga daya total yang akan dibangkitkan dari PV array sebesar 5.920 Watt Peak.

Kemampuan sistem tenaga surya fotovoltaik untuk menangkap sumber energi surya pada suatu lokasi dipengaruhi oleh interaksi antara posisi matahari (sebagai sumber energi) dan posisi modul (sebagai penerima energi). Idealnya, modul harus menghadap sejajar terhadap matahari, sehingga matahari dalam posisi tegak lurus terhadap permukaan modul, tetapi karena adanya perubahan posisi matahari setiap hari dan setiap tahun, dan juga variasi lokasi, maka perhatian harus difokuskan pada peletakan susunan modul surya. Dalam menentukan lokasi yang potensial, berikut merupakan upaya yang dapat dilakukan untuk mengoptimasi perolehan energi surya seperti sudut kemiringan (*Tilt Angle*) PV, sudut azimuth, dan area penempatan PV.

Sudut kemiringan (*Tilt Angle*) Pemasangan PV apabila kita melihat dari ufuk/horison ke arah matahari, maka sudut antara sisi horizontal dan ketinggian matahari disebut Sudut Ketinggian Matahari. Sudut ini menggambarkan ketika matahari naik dan turun dalam satu hari (dalam derajat). Dalam desain PLTS, dikenal sudut kemiringan, atau seringkali disebut sudut elevasi atau sudut inklinasi. Ini merupakan sudut susunan modul surya yang diukur dari sisi horizontal. Besar sudut kemiringan ini sama dengan 90° minus Sudut Ketinggian Matahari. Hal ini untuk menjaga orientasi tegak lurus permukaan panel ke arah matahari. Adapun sudut kemiringan PV pada sistem *eksisting* PLTS *Pamukkulu'* BP1 dapat dilihat pada Gambar 4.16 berikut:



Gambar 4. 20 Sudut Kemiringan (*Tilt Angle*) PV

Dengan menggunakan rumus trigonometri maka di peroleh sudut kemiringan PV sebagai berikut:

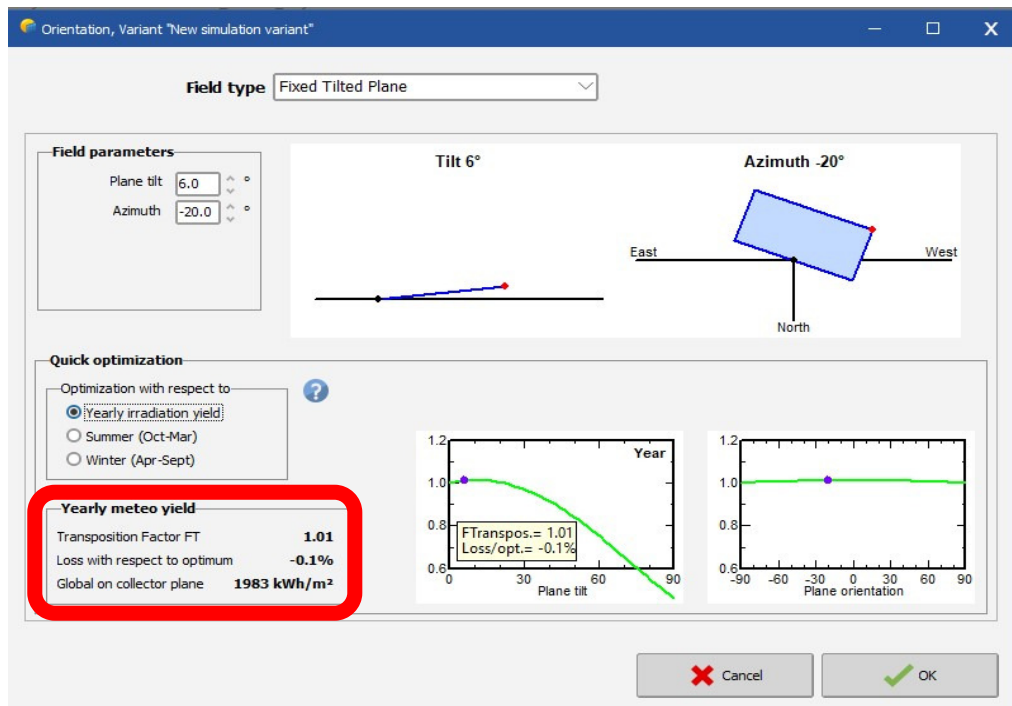
$$\tan \alpha = \frac{\text{Sisi Depan}}{\text{Sisi Samping}}$$

$$\tan \alpha = \frac{0,88}{8,8}$$

$$\alpha = 6^\circ$$

Sudut azimuth merupakan sudut arah modul surya terhadap arah utara atau arah selatan. Agar tidak terhalang bayangan, idealnya, apabila lokasi PLTS berada di Selatan garis khatulistiwa, maka modul surya diarahkan menghadap ke arah Utara (azimuth 0°). Sebaliknya, apabila lokasi PLTS terpusat berada di Utara garis khatulistiwa, maka modul surya menghadap ke arah Selatan, dengan kata lain, diarahkan pada azimuth 180° . Berdasarkan hasil data lapangan menggunakan

Kompas didapatkan bahwa sudut azimuth PLTS *Pamukkulu'* BP1 adalah 20° Utara. Sehingga hasil evaluasi terhadap sudut kemiringan (*Tilt Angle*) 6° dan sudut azimuth 20° Utara dapat dilihat pada hasil simulasi software PVsyst 7.3.1 sebagai berikut.



Gambar 4. 21 Simulasi PVsyst terhadap Sudut Kemiringan dan Sudut Azimuth Sistem Eksisting

Berdasarkan gambar 4.20 diatas, apabila sudut kemiringan dan sudut azimuth tidak terpenuhi atau tidak sesuai maka akan ada rugi-rugi inklinasi yang di alami. Pada hasil simulasi PVsyst didapatkan optimasi dengan hasil iradiasi tahunan bahwa kerugian (*Losses*) sebesar 0,1% dan energi global yang dihasilkan 1988 kWh/m2. Secara umum, standar aman untuk Indonesia yang dapat digunakan untuk sudut kemiringan adalah sebesar 6-11 derajat, sesuai dengan letak lintang khatulistiwa Indonesia (6° LU–11° LS).

Mounting System pada sistem PLTS *off grid Pamukkulu'* menggunakan *Pole Mounting* yang terpasang pada sistem irigasi Pamukkulu. *Pole-Mounting* adalah rangka untuk menampung modul PV yang dipasang pada suatu atau beberapa tiang.

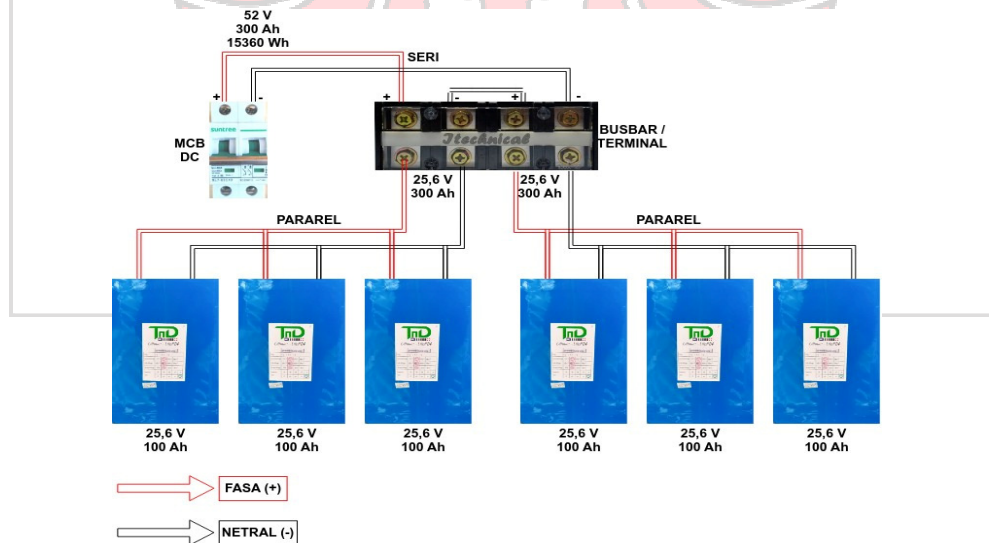
Kelebihan dari *pole-mounting* daripada *roof-mounting* atau *ground-mounting* adalah pada lebih sedikitnya ruang permukaan tanah yang dibutuhkan daripada *ground-mounting*. Tiang akan menempatkan panel surya beberapa meter di udara. Gambar 4.13 Mounting System PV Array PLTS *off grid Pamukkulu'* sebagai berikut.



Gambar 4. 22 Mounting System PV Array PLTS *Off Grid Pamukkulu'*

4.4.2 Baterai

Baterai yang digunakan sebagai penyimpanan energi untuk sistem PLTS panel MOV menggunakan baterai *lithium-ion* 25,6 V 100 AH sebanyak 6 buah. Instalasi rangkaian baterai dapat dilihat pada gambar 4.14 berikut.



Gambar 4. 23 Rangkaian Baterai Sistem PLTS Untuk Panel MOV

Berdasarkan Gambar 4.14 Rangkaian Baterai Sistem PLTS Untuk Panel MOV, terdapat 6 buah baterai yang terangkai 3 paralel dan 2 seri. Tegangan baterai, kapasitas baterai, dan kapasitas energi pada baterai dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Tegangan Baterai (V)} &= \text{Tegangan baterai (V)} \times \text{jumlah seri} \\ &= 25,6 \text{ V} \times 2 \text{ seri} \\ &= 51,2 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Baterai (Ah)} &= \text{Kapasitas baterai (Ah)} \times \text{Jumlah paralel} \\ &= 100 \text{ Ah} \times 3 \text{ paralel} \\ &= 300 \text{ Ah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Energi Baterai (Wh)} &= \text{V} \times \text{Ah} \\ &= 51,2 \times 300 \\ &= 15.360 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, baterai sebagai penyimpanan energi pada sistem PLTS *off grid Pamukkulu'* untuk pengoperasian motor/actuator pada panel MOV menghasilkan tegangan sistem 51,2 V, kapasitas baterai 300 Ah, dan kapasitas energi baterai sebesar 15.360 Wh.

Besarnya kapasitas baterai yang diperlukan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang diberikan, bahwa kapasitas baterai dipengaruhi oleh pemakaian energi listrik (EL), %DOD yaitu sebesar 80%, tegangan sistem pada baterai (V_s). Parameter lain yang mempengaruhi perhitungan kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah penentuan *Autonomy Days* yaitu keadaan baterai dapat menyuplai beban secara menyeluruh ketika tidak ada energi yang masuk dari panel surya. Penentuan *autonomy days* pada penelitian ini adalah sebesar 1 hari. *Autonomy days* (AD) ditentukan berdasarkan tingkat curah hujan di kawasan Pamukkulu Kabupaten Takalar bertujuan agar pada saat insolasi harian matahari berada pada nilai yang paling rendah, maka baterai akan tetap menjaga kestabilan daya yang dibangkitkan. Apabila nilai E_t , V_s , %DOD dan AD disubstitusikan pada persamaan yang diberikan maka akan diperoleh kapasitas total baterai yang dibutuhkan menggunakan persamaan (2-1) sebagai berikut:

$$AH = \frac{Et}{Vs}$$

$$\text{Kapasitas Baterai (AH)} = \frac{6.006}{25,6} = 234,6 \text{ AH}$$

Keterangan:

Et = Pemakaian energi listrik (Wh)

Vs = Tegangan sistem (V)

Dengan besarnya *deep of discharge* (DOD) pada baterai 80% maka kapasitas baterai yang dibutuhkan berdasarkan persamaan (2-2) adalah:

$$\text{Kebutuhan AH} = \frac{AH \times AD}{\%DOD}$$

$$\text{Kebutuhan AH} = \frac{234,6 \times 1}{0,8} = 293,2 \text{ AH}$$

Keterangan:

AH = Kapasitas Baterai (*Ampere Hour*)

%DOD = Presentase nilai DOD maksimum yang digunakan

AD = *Autonomy Days* (1 hari)

Berdasarkan perhitungan diatas, hasil evaluasi penyimpanan pada baterai PLTS *off grid Pamukkulu'* BP1 didapatkan hasil perhitungan kebutuhan sebesar 293,6 AH sedangkan sistem terpasang berkapasistas 300 AH terdiri dari 6 buah baterai yang dihubungkan 3 pararel dan 2 seri, sehingga dapat disimpulkan bahwa kebutuhan kapasitas baterai memenuhi atau sesuai dengan sistem *eksisting* pada PLTS *off grid Pamukkulu'* BP1.

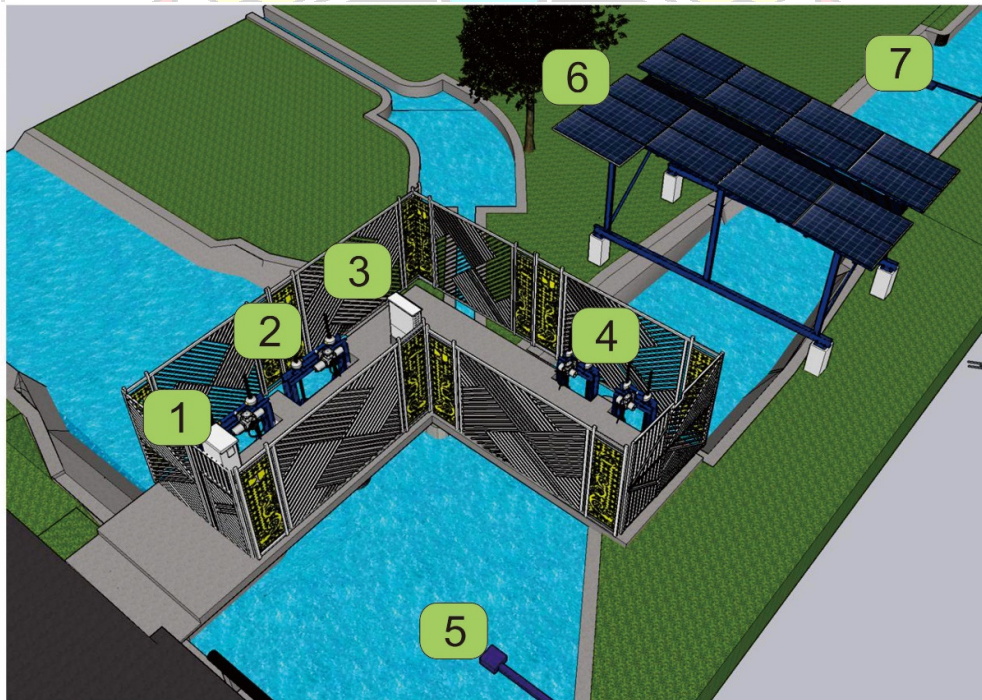
Adapun untuk mengetahui berapa lama baterai dapat menyuplai energi ke beban didapatkan kapasitas energi baterai sebesar 15.360 Wh dengan DOD 80% sehingga energi yang dapat digunakan sebesar 12.288 Wh. Berikut perhitungan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$t = \frac{12.288 \text{ Wh}}{6,080 \text{ W}} = 2,03 \text{ jam}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, bahwa baterai dapat menyuplai energi ke beban selama 2,03 jam.

4.4.3 Power House

Power house PLTS pintu air irigasi BP1 memiliki dimensi 8 x 1,7 meter, yang di dalamnya terdapat 2 panel box yakni box panel RTU/SCADA dan box panel MOV. Panel box RTU/SCADA terhubung dengan sensor air, CCTV, dan alat monitoring lainnya, sedangkan panel box MOV terhubung dengan 4 aktuator MOV, 2 buah lampu, dan 2 buah *fan*/kipas pendingin inverter. Berikut gambar 4.15 Layout PLTS *Off Grid Pamukkulu'* BP1:



Gambar 4. 24 Gambar Isometri PLTS *Off Grid Pamukkulu'* BP 1

Keterangan :

1) Panel Box RTU/SCADA

Menampung dan mendistribusikan listrik ke sistem kontrol jarak jauh pintu air dan debit air irigasi yang terdiri dari display HMI, router GSM, PLC, dan sensor air.

2) Pintu Air Otomatis Saluran Irigasi Primer

Merupakan saluran utama yang mengatur penggunaan air irigasi sesuai kebutuhan.

3) Panel Box MOV

Menampung dan mendistribusikan listrik ke aktuator penggerak pintu air irigasi, *fan*/kipas, dan lampu.

4) Pintu Air Otomatis Saluran Irigasi Sekunder

Saluran yang membawa air dari saluran primer ke saluran tersier.

5) Sensor Air Saluran Irigasi Primer

Mendeteksi ketinggian air pada saluran irigasi primer dengan output analog kemudian diolah menggunakan mikrokontroler.

6) Panel PV

Mengubah energi matahari menjadi energi listrik dan kemudian disuplai ke panel box untuk didistribusikan ke beban.

7) Sensor Air Saluran Irigasi Sekunder

Mendeteksi ketinggian air pada saluran irigasi sekunder dengan output analog kemudian diolah menggunakan mikrokontroler.

4.5 Analisis Perhitungan Numerik

4.5.1 Daya Yang Dibangkitkan

Daya yang dibangkitkan solar panel (Watt peak) diperoleh dari hasil perkalian PV Area, *peak solar insolation* (PSI) sebesar 1000 W/m², dan efisiensi solar panel 19% dengan menggunakan persamaan (2-3) berikut:

$$P_{wattpeak} = \text{Luas Array} \times \text{PSI} \times \eta_{PV}$$

$$P_{wattpeak} = 32 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2 \times 0,19$$

$$= 6,08 \text{ kWp}$$

4.5.2 Produksi Energi Listrik Tahunan

Untuk mendapatkan kWh produksi energi listrik tahunan yang tersedia pada sistem PLTS *off grid Pamukkulu'* diperhitungkan dengan persamaan (2-4) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A \text{ kWh} &= \text{Jumlah panel surya} \times \text{Kapasitas panel surya} \times \text{ESH} \times 365 \\
 &= 16 \times 370 \times 4,5 \times 365 \\
 &= 9723 \text{ kWh/Tahun}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, produksi energi tahunan yang tersedia untuk sistem PLTS *off grid Pamukkulu'* sebesar 9763 kWh/Tahun.

Pada hasil evaluasi ini didapatkan produksi energi harian data maksimum sebesar 6006 Wh dan data minimum sebesar 3212 Wh berdasarkan pengambilan data lapangan pada data output inverter, sedangkan produksi energi harian untuk perhitungan data actual sebesar 7,44 kWh. Sehingga untuk mengetahui energi listrik tahunan yang digunakan pada sistem PLTS *off grid Pamukkulu'* diperhitungkan dengan persamaan (2-5) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Akw} &= \text{Produksi Energi Harian (Wh)} \times 365 \\
 \text{Data Aktual (Akw)} &= 7440 \times 365 = 2.715 \text{ kWh/year} \\
 \text{Data Maksimum (AkWh)} &= 6006 \times 365 = 2.192 \text{ kWh/year} \\
 \text{Data Minimum (AkWh)} &= 3212 \times 365 = 1.172 \text{ kWh/year}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, bahwa energi yang digunakan sebesar 2715 kWh/Tahun dimana produksi energi yang tersedia sebesar 9723 kWh/Tahun, sehingga menghasilkan kehilangan energi tidak terpakai sebesar 7008 kWh/Tahun.

4.5.3 Menghitung Rasio Performansi (*performance Ratio*)

Kelayakan PLTS ditentukan berdasarkan rasio performansi didefinisikan sebagai rasio dari jumlah energi yang dihasilkan oleh PLTS dengan memperhitungkan rugi-rugi sistem dibandingkan dengan jumlah energi yang dihasilkan PLTS tanpa memperhitungkan rugi-rugi sistem. Sederhananya rasio performansi adalah ukuran suatu kualitas sistem dilihat dari energi tahunan yang dihasilkan. Apabila sistem tersebut nilai rasio performansinya berkisar 70-90%, maka sistem tersebut dapat dikatakan layak. (Sivertsen, Christer, & Søyland, 2014). Untuk menghitung performansi rasio menggunakan persamaan (2-6) berikut.

$$PR = \frac{E_{\text{Sistem}}}{E_{\text{Ideal}}}$$

Untuk menghitung energi yang dihasilkan PLTS tanpa memperhitungkan rugi-rugi sistem terdapat pada persamaan berikut:

$$\begin{aligned} E_{\text{Sistem}} &= 7440 \times 365 \\ &= 2715 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

Untuk menghitung energi yang dihasilkan PLTS dengan memperhitungkan rugi-rugi sistem selama satu tahun terdapat pada persamaan di bawah ini:

$$\begin{aligned} E_{\text{Ideal}} &= 16 \times 370 \times 4,5 \times 365 \\ &= 9723 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

Untuk menghitung performansi rasio menggunakan persamaan (2-6) berikut.

$$\begin{aligned} PR &= \frac{E_{\text{Sistem}}}{E_{\text{Ideal}}} \\ PR &= \frac{2715}{9723} \\ &= 0,27 \\ &= 27\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan persamaan (2-7) diatas, sistem PLTS off grid Pamukkulu bahwa nilai *performance ratio* didapatkan sebesar 27%, berada dibawah 70% sehingga dinyatakan tidak optimal.

4.6 Simulasi PLTS Off Grid Pamukkulu menggunakan PVSyst 7.3.1

Berdasarkan hasil simulasi perangkat Lunak PVSyst 7.3.1, terdapat beberapa data seperti tabel produksi energi listrik, grafik produksi energi listrik, grafik *performance ratio*, dan diagram *losses* (rugi-rugi). Terdapat beberapa poin dari hasil simulasi PVSyst 7.3.1 sebagai berikut:

4.6.1 Parameter Simulasi Sistem PLTS Eksisting

Parameter simulasi sistem *eksisting* PLTS *off grid* Pamukkulu' dapat dilihat pada Gambar 4.25 sebagai berikut.

General parameters			
Standalone system		Standalone system with batteries	
PV Field Orientation		Sheds configuration	Models used
Orientation		Nb. of sheds	2 units
Fixed plane		Single array	
Tilt/Azimuth	6 / -20 °	Sizes	
		Sheds spacing	5.00 m
		Collector width	2.01 m
		Ground Cov. Ratio (GCR)	40.2 %
		Top inactive band	0.02 m
		Bottom inactive band	0.02 m
		Shading limit angle	
		Limit profile angle	4.1 °
Horizon		Near Shadings	
Average Height	90.0 °	Linear shadings	
		User's needs	
		Daily household consumers	
		Constant over the year	
		Average	7.4 kWh/Day
PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Suntech	Manufacturer	LG Chem
Model	STP-370-S-72-Pfd+-Bifacial	Model	EM048290P5B1 290Ah
(Original PVSyst database)		Technology	Lithium-ion, NMC
Unit Nom. Power	370 Wp	Nb. of units	6 in parallel
Number of PV modules	16 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	5.92 kWp	Stored energy	13.9 kWh
Modules	2 Strings x 8 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	51 V
Pmpp	5.37 kWp	Nominal Capacity	300 Ah (C10)
U mpp	289 V	Temperature	Given monthly values
I mpp	19 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	SOC calculation
Manufacturer	Morningstar	Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Model	TriStar TS MPPT 60-600V-48V	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Technology	MPPT converter		
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.		
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.5 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	6 kWp		
Total	16 modules		
Module area	31.4 m ²		
Cell area	28.0 m ²		

Gambar 4. 25 Parameter Simulasi PLTS eksisting

Pada gambar 4.25 memperlihatkan parameter simulasi sistem PLTS off grid Pamukkulu, yaitu modul surya yang digunakan dengan daya nominal 370 Wp sebanyak 16 unit. Kapasitas masing-masing baterai sebesar 100 Ah, dengan konfigurasi 3 paralel, menghasilkan battery bank dengan kapasitas 300 Ah. Tegangan nominal masing-masing baterai sebesar 25,6 V. Dengan konfigurasi 2 seri, menghasilkan battery bank dengan tegangan nominal 51,2 V. Daya puncak yang dibangkitkan 5,92 kWp dan kebutuhan penggunaan energi harian sebesar 7,44 kWh/day.

4.6.2 Hasil Produksi Energi pada Sistem Eksisting

Pada tabel 4.11 di bawah ini menunjukkan adanya available solar energy (E_Avail) yaitu keseluruhan energi yang dapat dihasilkan dari sistem PLTS sebesar 6128,7 kWh/tahun. Unused energy (EUnused) adalah energi yang tidak dapat digunakan akibat baterai penuh sebesar 3249,3 kWh/tahun. Energy supplied to the user (E_User) adalah energi yang dapat disuplai ke beban sebesar 2715,6 kWh/tahun.

Tabel 4. 11 Hasil Produksi Energi pada Sistem Eksisting

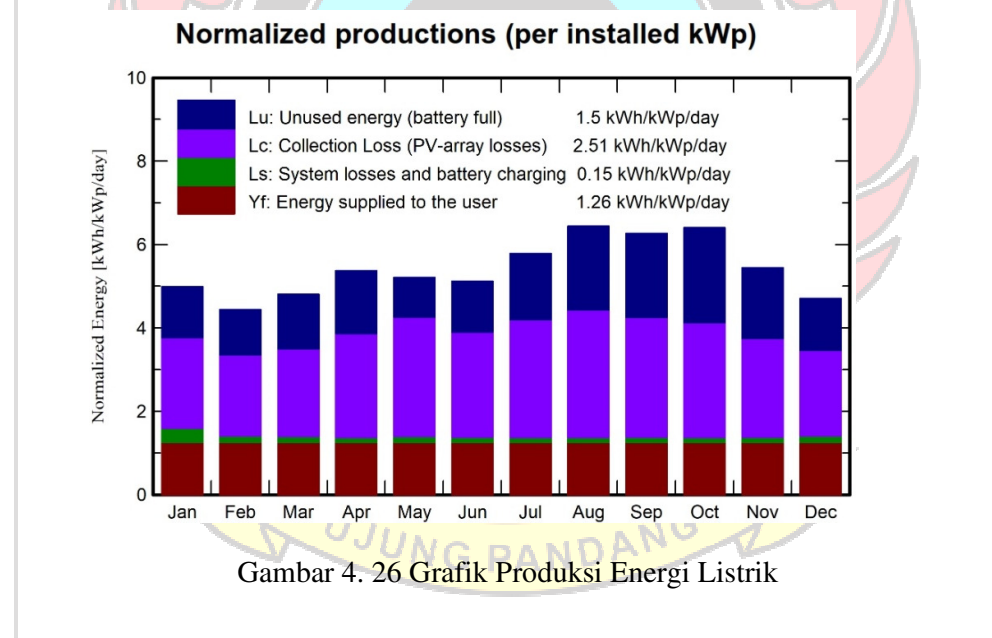
	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	159.4	129.1	496.5	221.1	0.000	230.6	230.6	1.000
February	125.8	103.4	396.4	177.7	0.000	208.3	208.3	1.000
March	148.7	124.5	479.6	237.6	0.000	230.6	230.6	1.000
April	157.4	128.8	498.6	267.3	0.000	223.2	223.2	1.000
May	155.3	108.2	417.2	172.7	0.000	230.6	230.6	1.000
June	146.7	115.1	449.1	214.9	0.000	223.2	223.2	1.000
July	171.0	135.9	531.7	289.7	0.000	230.6	230.6	1.000
August	193.1	156.3	609.9	368.0	0.000	230.6	230.6	1.000
September	185.7	152.9	590.7	357.1	0.000	223.2	223.2	1.000
October	200.1	170.2	658.6	417.4	0.000	230.6	230.6	1.000
November	167.6	137.4	533.3	300.0	0.000	223.2	223.2	1.000
December	150.9	121.4	467.1	225.8	0.000	230.6	230.6	1.000
Year	1961.7	1583.2	6128.7	3249.3	0.000	2715.6	2715.6	1.000

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		

4.6.3 Produksi Energi Listrik

Pada gambar 4.26 menunjukkan produksi energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS off grid dalam 1 tahun di setiap bulannya. Lu (*unused energy*) adalah nilai energi yang diproduksi pada PLTS dimana energi tersebut tidak dapat digunakan akibat baterai penuh sebesar 1,5 kWh/kWp/hari. Lc (*collection loss*) adalah rugi-rugi pada modul surya mencakup instalasi kabel, module quality dan mismatch, sebesar 2,51 kWh/kWp/hari. Lc didapatkan dari hasil perbandingan antara energi yang seharusnya dibangkitkan oleh modul surya tanpa adanya rugi-rugi (Yr) dengan energi yang diproduksi oleh modul surya dengan memperhitungkan rugi-rugi (Ya). Ls (*system losses*) adalah rugi-rugi sistem PLTS dan pengisian baterai sebesar 0,15 kWh/kWp/hari. Yf (*Energy supplied*) adalah energi yang dapat disuplai ke beban sebesar 1,26 kWh/kWp/hari.

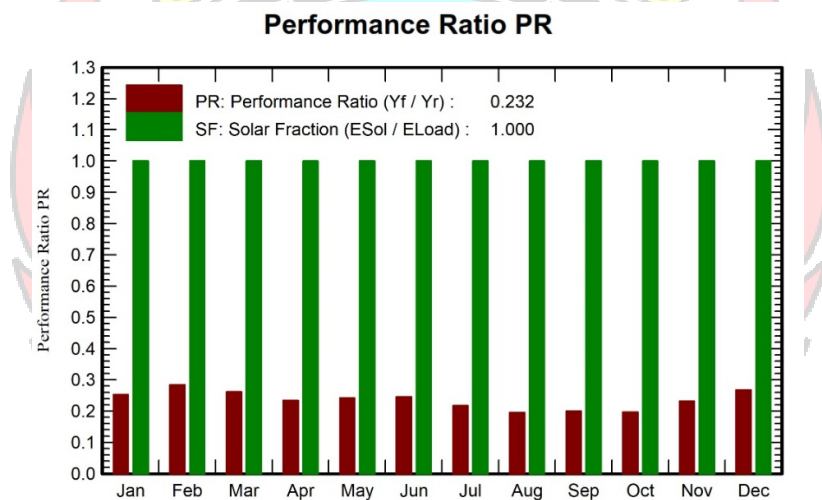


Gambar 4.26 menunjukkan jumlah energi tertinggi yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS ini terdapat pada bulan Agustus dan Oktober yang disebabkan oleh tingginya intensitas radiasi matahari pada bulan Agustus sebesar 6,23 kWh/m²/hari dan pada bulan Oktober sebesar 6,45 kWh/m²/hari sedangkan jumlah energi terendah yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS ini terdapat pada

bulan Februari yang disebabkan oleh rendahnya intensitas radiasi matahari pada bulan Februari sebesar $4,49 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$.

4.6.4 Performance Ratio Sistem Eksisting

Pada gambar 4.28 menunjukkan *performance ratio* (PR) sebesar 0,232 atau dengan persentasi sebesar 23%. PR adalah perbandingan antara energi yang disuplai ke beban (Yf) dengan energi yang seharusnya dibangkitkan oleh modul surya tanpa adanya rugi-rugi (Yr). Solar fraction (SF) sebesar 1000 atau dengan persentasi sebesar 100%. SF adalah perbandingan antara jumlah energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS dengan total energi yang dibutuhkan oleh beban.



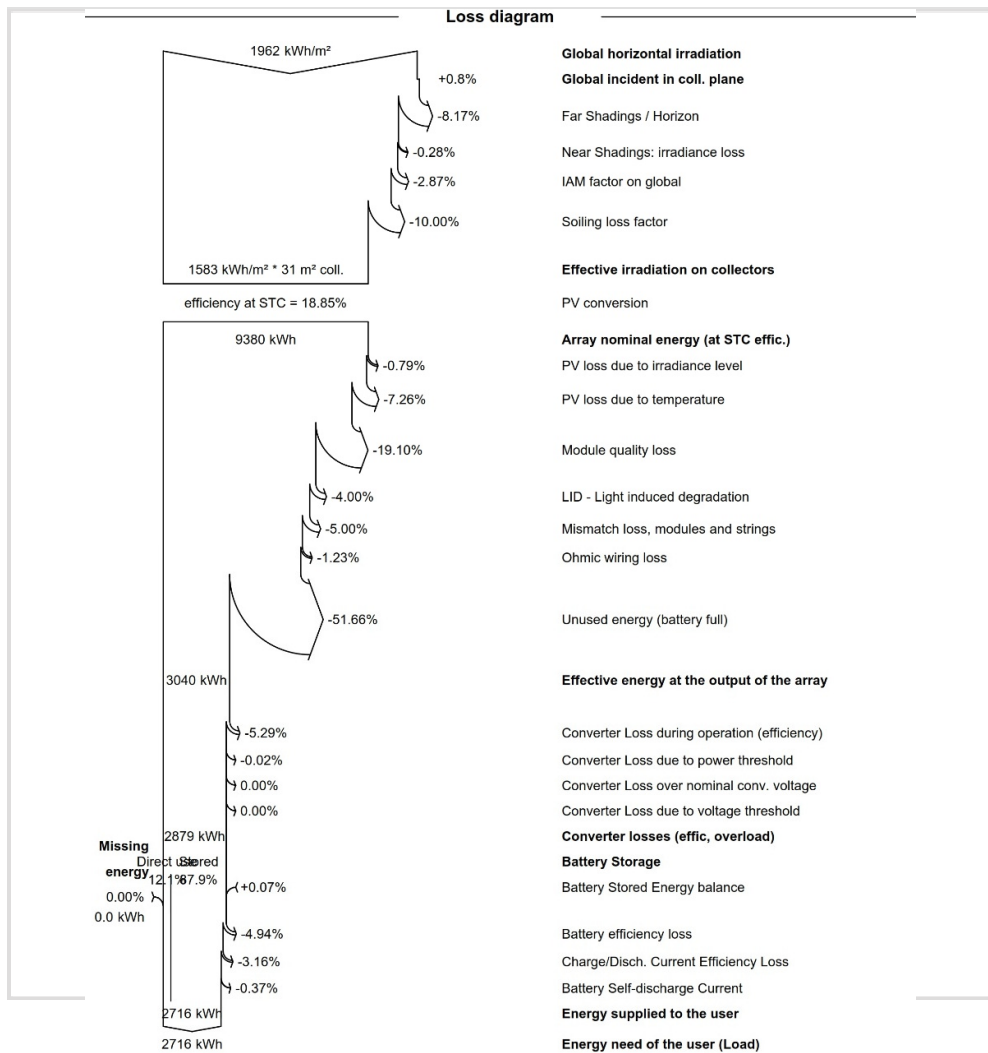
Gambar 4. 27 Grafik *Performance Ratio*

Gambar 4.27 menunjukkan performance ratio (PR) tertinggi terdapat pada bulan Februari dan Desember yang disebabkan oleh energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS dapat disuplai ke beban dan PR terendah terdapat pada bulan Agustus dan Oktober yang disebabkan oleh energi yang dihasilkan sistem PLTS tertinggi tetapi tidak dapat disuplai ke beban. Solar fraction (SF) tertinggi terdapat pada bulan Oktober yang disebabkan oleh tingginya intensitas radiasi matahari pada bulan Oktober $6,45 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dan SF terendah terdapat pada bulan Februari

yang disebabkan oleh rendahnya intensitas radiasi matahari pada bulan Februari sebesar 4,49 kWh/m²/hari.

4.6.5 Rugi-Rugi Sistem PLTS (Losses) pada Sistem *Eksisting*

Loss diagram dari sistem PLTS *eksisting* Pammukulu Kabupaten Takalar sebagai berikut.



Gambar 4. 28 *Loss Diagram* Sistem PLTS *Eksisting*

Energi yang dapat dikonversi oleh PV array 16 modul surya jenis ICA370-72M dengan daya nominal 370 Wp dan efisiensi 19,17% adalah sebesar 9380 kWh/tahun. Rugi-rugi modul surya yang dipengaruhi perbedaan tingkat intensitas radiasi matahari sebesar 0,79%, rugi-rugi modul surya yang dipengaruhi oleh suhu lingkungan sebesar 7,26%, rugi-rugi modul surya yang umumnya menyimpang dari spesifikasi sebesar 19,10%, rugi-rugi ketidakcocokan sebesar 51,66%, rugi-rugi instalasi kabel sebesar 1,23%, rugi-rugi akibat baterai penuh sebesar 48,7% dan rugi-rugi efisiensi baterai sebesar 10,14%.

Pada *loss diagram* terdapat *unused energy* sebesar 51,66% yang disebabkan oleh kapasitas battery bank yang tidak dapat menyimpan secara keseluruhan energi yang dihasilkan 16 unit modul surya selama 1 hari.

4.7 Menghitung Capital Cost dan Analisis Ekonomi

4.7.1 Menghitung Biaya Investasi PLTS

Biaya investasi awal untuk PLTS off grid pada pintu air irigasi Pamukkulu Kabupaten Takalar mencakup biaya-biaya seperti : biaya komponen PLTS, biaya pengiriman serta biaya instalasi PLTS. Biaya untuk komponen PLTS ini terdiri dari biaya untuk pembelian panel surya, inverter, baterai dan charge controller. Biaya investasi PLTS dapat dilihat pada Tabel 4.12 sebagai berikut.

Tabel 4. 12 Biaya Investasi PLTS Off Grid Pamukkulu

No.	Komponen	Jumlah		Harga Satuan	Total Harga
Komponen Utama					
1	Solar panel 370 WP MONO (tkdn 45%)	16	Unit	Rp 4,200,000	Rp 67,200,000
2	Integrated load controller/charger/inverter 5KW Hybrid	1	Unit	Rp 40,500,000	Rp 40,500,000
3	Back-up battery, 2500 watt lifepo4 25,6 V 100 AH	6	Unit	Rp 21,678,300	Rp 130,069,800

(Lanjutan pada halaman berikut)					
Jumlah					Rp 237,769,800
Komponen Pendukung					
4	Box baterai ukuran 80 x 40 x 25 cm	2	Unit	Rp 5,670,000	Rp 11,340,000
5	Box panel Inverter 80 x 80 x 25 cm	2	Unit	Rp 6,280,000	Rp 12,560,000
6	Flash Arrester c/w grounding cable	2	Titik	Rp 2,100,000	Rp 4,200,000
7	Instalasi dan kabel daya dari solar cell - panel inverter	1	Set	Rp 5,200,000	Rp 5,200,000
8	Instalasi, kabel power dan kontrol untuk tiap aktuator pintu	1	Set	Rp 8,200,000	Rp 8,200,000
9	Instalasi, kabel power Battery - Inverter	1	Set	Rp 4,750,000	Rp 4,750,000
10	MCB DC 2P 63A 550V Suntime	2	Unit	Rp 452,000	Rp 904,000
11	MCB AC/DC Schneider	3	Unit	Rp 262,000	Rp 786,000
12	PV SPD DC 3Pole 1000V	1	Unit	Rp 500,000	Rp 500,000
13	PV SPD DC 2Pole 500V	1	Unit	Rp 300,000	Rp 300,000
14	Solar Panel 450 WP MONO	1	Unit	Rp 3,950,000	Rp 3,950,000
15	SCC MPPT 40A EPEVER	1	Unit	Rp 1,891,000	Rp 1,891,000
16	Battery ICAL-VRLA 12V 100Ah	2	Unit	Rp 6,048,000	Rp 12,096,000
17	Penyangga Panel Surya	1	Unit	Rp 77,943,000	Rp 77,943,000

(Lanjutan pada Halaman Berikut)	
Jumlah	Rp 126,683,000
PLTS Sistem Kontroller	Rp 17,937,000
Biaya Investasi Awal PLTS	Rp 382,389,000

4.7.2 Menghitung Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal. Berdasarkan acuan tersebut maka pada penelitian ini, besar persentase untuk biaya pemeliharaan dan operasional per tahun PLTS yang mencakup biaya untuk pekerjaan pembersihan panel surya, biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan dan instalasi akan ditetapkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal. Penentuan persentase 1% didasarkan bahwa negara Indonesia hanya mengalami dua musim, yaitu musim penghujan dan musim kemarau sehingga biaya pembersihan dan pemeliharaan panel suryanya tidak sebesar pada negara yang mengalami empat musim dalam satu tahun. Selain itu penentuan persentase ini juga didasarkan pada tingkat upah tenaga kerja di Indonesia yang lebih murah dibandingkan dengan tingkat upah tenaga kerja di negara maju (Suhendar, 2022).

Berdasarkan Tabel 4.13 biaya investasi awal, maka besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan diimplementasikan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M &= 1\% \times \text{Total Biaya Investasi} \\
 &= 1\% \times 382,389,000 \\
 &= \text{Rp } 3,823,898
 \end{aligned}$$

4.7.3 Menghitung Biaya Siklus Hidup

Biaya siklus hidup (LCC) untuk PLTS yang terdapat pada PLTS pintu air irigasi *Pamukkulu'* ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal (C), biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional (M_{PW}) dan (R_{PW}) biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian selama umur proyek.

PLTS yang telah beroperasi ini, diperkirakan beroperasi selama 20 tahun. Penetapan umur proyek ini mengacu kepada life time PLTS yang berada pada perencanaan di software PVSyst.

Besarnya tingkat diskonto (i) yang dipergunakan untuk menghitung nilai sekarang pada perencanaan ini adalah sebesar 8%. Penentuan tingkat diskonto ini mengacu kepada tingkat suku bunga kredit bank bulan april tahun 2023. Adapun tabel tingkat suku bunga dapat dilihat pada Lampiran 10.

Besar nilai sekarang (*present value*) untuk biaya pemeliharaan dan operasional (MPW) PLTS selama umur proyek 20 tahun dengan tingkat diskonto 8%, dihitung dengan menggunakan persamaan (2-9) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_{PW} &= M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\ &= \text{Rp } 3,823,898 \left[\frac{(1+8\%)^{20} - 1}{8\%(1+8\%)^{20}} \right] \\ &= \text{Rp } 37,543,594 \end{aligned}$$

Besar nilai sekarang (*present value*) untuk biaya penggantian selama umur proyek (R_{PW}), dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Biaya Pergantian Komponen Selama Umur Proyek

Komponen	Umur Komponen	Harga	Total Harga
Baterai	10	Rp 21,678,300	Rp 21,678,300
Inverter	10	Rp 40,500,000	Rp 40,500,000
Jumlah Biaya Penggantian Komponen			Rp 62,178,300

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

$$\begin{aligned} LCC &= C + M_{PW} + RPW \\ &= \text{Rp } 382,389,800 + \text{Rp } 37,543,594 + \text{Rp } 62,178,300 \\ &= \text{Rp } 482,111,69 \end{aligned}$$

4.7.4 Menghitung Biaya Energi PLTS

Perhitungan biaya energi (*cost of energy*) suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan kWh produksi tahunan PLTS yang beroperasi di pintu air irigasi *Pamukkulu*'.

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

$$\begin{aligned} CRF &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\ &= \frac{8\%(1+8\%)^{20}}{(1+8\%)^{20} - 1} \\ &= 0,1019 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan LCC yaitu Rp 482.111.694, CRF yaitu 0,1019 dan produksi energi listrik tahunan yaitu 10.982 kWh maka besar biaya energi (COE) untuk PLTS pintu air irigasi *Pamukkulu*' dihitung dengan menggunakan persamaan (2-11) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} COE &= \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \\ &= \frac{482,111,694 \times 0,1019}{10,982} \\ &= \text{Rp } 4.471/\text{kWh} \end{aligned}$$

4.8 Analisis Kelayakan Investasi PLTS

Kelayakan investasi PLTS pintu air irigasi *Pamukkulu'* ditentukan berdasarkan hasil perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Discounted Payback Period* (DPP).

Perhitungan NPV, PI dan DPP ditentukan oleh besar arus kas bersih (*Net Cash Flow*), faktor diskonto (*discount factor*) dan nilai sekarang arus kas bersih (*Present Value Net Cash Flow*). Arus kas bersih (NCF) dihasilkan dengan mengurangi arus kas masuk dengan arus kas keluar. Sedangkan untuk nilai sekarang arus kas bersih (PVNCF) dihasilkan dengan mengalikan arus kas bersih dengan tingkat diskonto. Tabel 4.5 menunjukkan hasil perhitungan arus kas bersih, faktor diskonto dengan tingkat diskonto (*i*) sebesar 8% dan nilai sekarang arus kas bersih.

Arus kas masuk tahunan PLTS pintu air irigasi *Pamukkulu'* dihasilkan dengan mengalikan kWh produksi energi listrik tahunan PLTS dengan biaya energi. Dengan kWh produksi energi listrik tahunan PLTS sebesar 10.982 kWh. Untuk arus kas keluar tahunan PLTS ditentukan berdasarkan biaya pemeliharaan dan operasional tahunan PLTS.

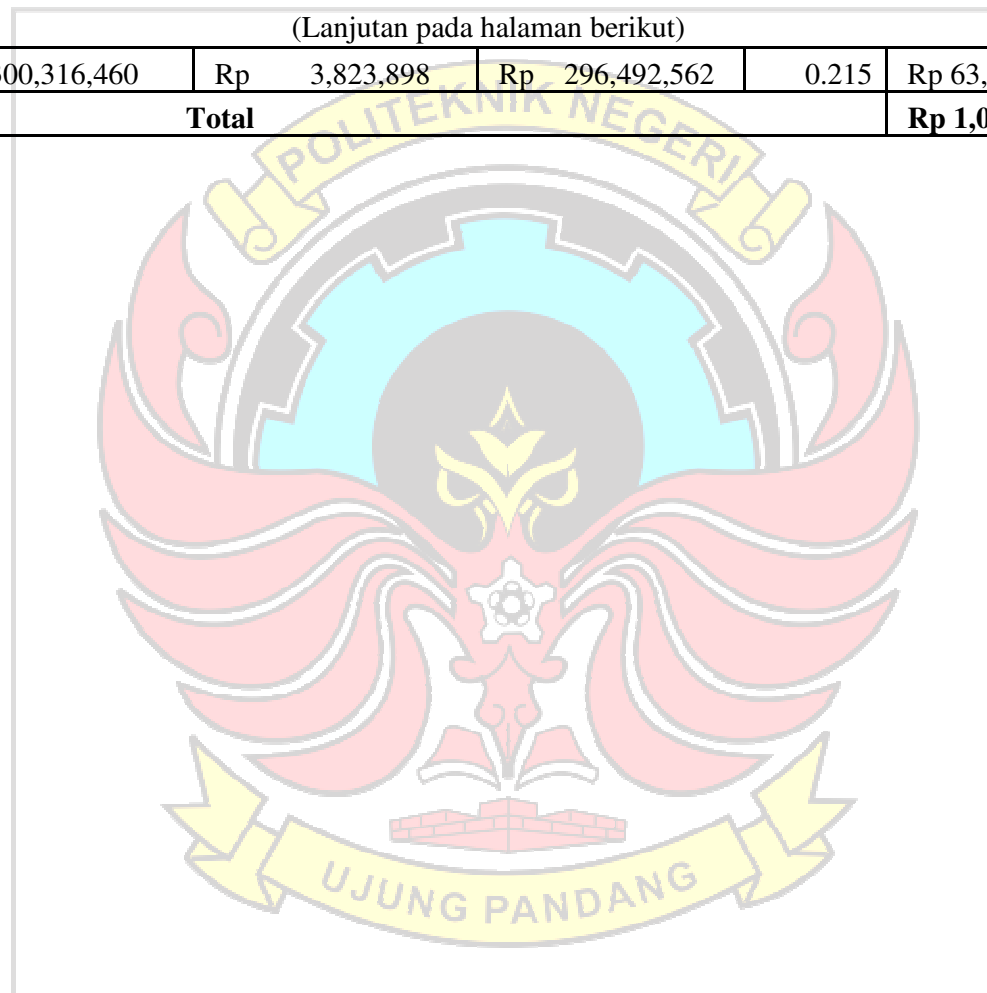
Untuk tahun pertama dengan biaya energi sebesar Rp 4.471 /kWh maka besar arus kas masuk tahunan adalah sebesar Rp 49.104.141. Untuk arus kas keluar tahunan PLTS adalah sebesar Rp 3.823.898.

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

Tabel 4. 14 Perhitungan NCF, DF,PVNCF, dengan $i = 8\%$

Tahun	Investasi Awal	Arus Kas Masuk 10.00%	Arus Kas Keluar 10.00%	Arus Kas Bersih	Faktor Diskonto 8.00%	NCFr	PVNCF
0	Rp 382,389,800						
1		Rp 49,104,141	Rp 3,823,898	Rp 45,280,243	0.926	Rp 41,926,151	Rp 41,926,151
2		Rp 54,014,555	Rp 3,823,898	Rp 50,190,657	0.857	Rp 43,030,399	Rp 84,956,550
3		Rp 59,416,011	Rp 3,823,898	Rp 55,592,113	0.794	Rp 44,130,811	Rp 129,087,361
4		Rp 65,357,612	Rp 3,823,898	Rp 61,533,714	0.735	Rp 45,229,116	Rp 174,316,477
5		Rp 71,893,373	Rp 3,823,898	Rp 68,069,475	0.681	Rp 46,326,941	Rp 220,643,418
6		Rp 79,082,710	Rp 3,823,898	Rp 75,258,812	0.630	Rp 47,425,818	Rp 268,069,236
7		Rp 86,990,981	Rp 3,823,898	Rp 83,167,083	0.583	Rp 48,527,194	Rp 316,596,430
8		Rp 95,690,079	Rp 3,823,898	Rp 91,866,181	0.540	Rp 49,632,439	Rp 366,228,869
9		Rp 105,259,087	Rp 3,823,898	Rp 101,435,189	0.500	Rp 50,742,849	Rp 416,971,718
10		Rp 115,784,996	Rp 3,823,898	Rp 111,961,098	0.463	Rp 51,859,651	Rp 468,831,369
11		Rp 127,363,495	Rp 3,823,898	Rp 123,539,597	0.429	Rp 52,984,016	Rp 521,815,385
12		Rp 140,099,845	Rp 3,823,898	Rp 136,275,947	0.397	Rp 54,117,053	Rp 575,932,438
13		Rp 154,109,829	Rp 3,823,898	Rp 150,285,931	0.368	Rp 55,259,825	Rp 631,192,263
14		Rp 169,520,812	Rp 3,823,898	Rp 165,696,914	0.340	Rp 56,413,344	Rp 687,605,607
15		Rp 186,472,894	Rp 3,823,898	Rp 182,648,996	0.315	Rp 57,578,581	Rp 745,184,188
16		Rp 205,120,183	Rp 3,823,898	Rp 201,296,285	0.292	Rp 58,756,467	Rp 803,940,655
17		Rp 225,632,201	Rp 3,823,898	Rp 221,808,303	0.270	Rp 59,947,898	Rp 863,888,552
18		Rp 248,195,421	Rp 3,823,898	Rp 244,371,523	0.250	Rp 61,153,736	Rp 925,042,289
19		Rp 273,014,963	Rp 3,823,898	Rp 269,191,065	0.232	Rp 62,374,817	Rp 987,417,106

(Lanjutan pada halaman berikut)							
20		Rp 300,316,460	Rp 3,823,898	Rp 296,492,562	0.215	Rp 63,611,948	Rp 1,051,029,054
Total						Rp 1,051,029,054	Rp 1,051,029,054



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

4.8.1 Net Present Value (NPV)

Tabel 4.15 menunjukkan bahwa total nilai sekarang arus kas bersih yang merupakan hasil perkalian antara arus kas bersih dengan faktor diskonto $NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF}{(1+i)^n} - C$ adalah sebesar Rp 1.051.029.054, sehingga dengan biaya investasi awal (*Initial Investment*) sebesar Rp 382.389.800, maka besar nilai NPV dapat dihitung dengan persamaan (2-13) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} NPV &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF}{(1+i)^n} - C \\ &= \text{Rp } 1.051.029.054 - \text{Rp } 382.389.800 \\ &= \text{Rp } 668.639.254 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan NPV yang bernilai positif Rp 669.233.056 (> 0), menunjukkan bahwa investasi PLTS yang telah beroperasi pada pintu air irigasi *Pamukkulu'* layak untuk dioperasikan.

4.8.2 Profitability Index (PI)

Tabel 4.15 menunjukkan bahwa total nilai sekarang arus kas bersih sebesar sebesar Rp 669.233.056. Sehingga dengan biaya investasi awal (*Initial Investment*) sebesar Rp 382.389.800, maka besar nilai PI dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-14) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} PI &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t(1+i)^n}{C} \\ &= \frac{\text{Rp } 668.639.254}{\text{Rp } 382.389.800} = 1,7 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan PI yang bernilai 1,7 (> 1), menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan diimplementasikan pada pintu air irigasi *Pamukkulu'* layak untuk dilaksanakan.

4.8.3 Discounted Payback Period (DPP)

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

Pada Tabel 4.14 menunjukkan tahun ke-8, nilai sekarang arus kas bersih kumulatif mendekati nilai investasi awal dengan kekurangan sebesar Rp 16.160.931 yaitu dari Rp 382.389.800 – Rp 366.228.869. Dalam tahun ke-8, nilai sekarang arus kas bersih adalah sebesar Rp 91.866.181. Sehingga untuk dapat menutupi kekurangan investasi awal sebesar Rp 16.160.931, maka lama waktu yang diperlukan adalah sekitar 4 bulan ($\text{Rp } 16.160.931 / \text{Rp } 91.866.181 = 0,17$ dari 12 bulan).

Dihasilkannya DPP sekitar 8 tahun 4 bulan, menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan diimplementasikan pada PLTS *off grid Pamukkulu'* layak untuk dilaksanakan. Hal ini karena DPP yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih kecil dari periode umur proyek yang ditetapkan, yaitu selama 20 tahun.

4.8.4 Internal Rate Return (IRR)

Untuk menentukan nilai IRR digunakan metode interpolasi antara suku bunga untuk menghasilkan nilai NPV positif. Pada perencanaan ini menggunakan suku bunga yaitu sebesar 8%. Untuk mengitung IRR digunakan tingkat suku bunga yang lebih rendah dan tingkat suku bunga yang lebih tinggi dari tingkat suku bunga yang telah ada, dimana suku bunga rendah yang digunakan adalah 6% dan suku bunga tinggi adalah 8%.

Tabel 4. 15 Perhitungan DF dan NCFr dengan $i = 8\%$

Tahun	Investasi Awal	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Faktor Diskonto	NCFr	PVNCF
		10.00%	10.00%		8.00%		
0	Rp 382,389,800						
1		Rp 49,104,141	Rp 3,823,898	Rp 45,280,243	0.926	Rp 41,926,151	Rp 41,926,151
2		Rp 54,014,555	Rp 3,823,898	Rp 50,190,657	0.857	Rp 43,030,399	Rp 84,956,550
3		Rp 59,416,011	Rp 3,823,898	Rp 55,592,113	0.794	Rp 44,130,811	Rp 129,087,361
4		Rp 65,357,612	Rp 3,823,898	Rp 61,533,714	0.735	Rp 45,229,116	Rp 174,316,477
5		Rp 71,893,373	Rp 3,823,898	Rp 68,069,475	0.681	Rp 46,326,941	Rp 220,643,418
6		Rp 79,082,710	Rp 3,823,898	Rp 75,258,812	0.630	Rp 47,425,818	Rp 268,069,236
7		Rp 86,990,981	Rp 3,823,898	Rp 83,167,083	0.583	Rp 48,527,194	Rp 316,596,430
8		Rp 95,690,079	Rp 3,823,898	Rp 91,866,181	0.540	Rp 49,632,439	Rp 366,228,869
9		Rp 105,259,087	Rp 3,823,898	Rp 101,435,189	0.500	Rp 50,742,849	Rp 416,971,718
10		Rp 115,784,996	Rp 3,823,898	Rp 111,961,098	0.463	Rp 51,859,651	Rp 468,831,369
11		Rp 127,363,495	Rp 3,823,898	Rp 123,539,597	0.429	Rp 52,984,016	Rp 521,815,385

(Lanjutan pada halaman berikut)

12	Rp 140,099,845	Rp 3,823,898	Rp 136,275,947	0.397	Rp 54,117,053	Rp 575,932,438
13	Rp 154,109,829	Rp 3,823,898	Rp 150,285,931	0.368	Rp 55,259,825	Rp 631,192,263
14	Rp 169,520,812	Rp 3,823,898	Rp 165,696,914	0.340	Rp 56,413,344	Rp 687,605,607
15	Rp 186,472,894	Rp 3,823,898	Rp 182,648,996	0.315	Rp 57,578,581	Rp 745,184,188
16	Rp 205,120,183	Rp 3,823,898	Rp 201,296,285	0.292	Rp 58,756,467	Rp 803,940,655
17	Rp 225,632,201	Rp 3,823,898	Rp 221,808,303	0.270	Rp 59,947,898	Rp 863,888,552
18	Rp 248,195,421	Rp 3,823,898	Rp 244,371,523	0.250	Rp 61,153,736	Rp 925,042,289
19	Rp 273,014,963	Rp 3,823,898	Rp 269,191,065	0.232	Rp 62,374,817	Rp 987,417,106
20	Rp 300,316,460	Rp 3,823,898	Rp 296,492,562	0.215	Rp 63,611,948	Rp 1,051,029,054
Total					Rp 1,051,029,054	Rp 1,051,029,054

Pada tabel 4.16 berdasarkan referensi yang menggunakan *lifetime* selama 20 tahun (Suhendar, 2022) tercantum nilai sekarang arus kas bersih dengan tingkat suku bunga rendah 6% yang merupakan hasil perkalian antara arus kas bersih dengan faktor diskonto $NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t}$ adalah sebesar Rp 1,303,639,190, dengan biaya investasi awal (*initial investment*) Rp 382,389,800, maka besar nilai NPV dapat dihitung dengan persamaan (2-13) di bawah ini:

$$\begin{aligned}
 NPV &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - C \\
 &= \text{Rp } 1.051.029.054 - \text{Rp } 382,389,800 \\
 &= \text{Rp } 668.639.254
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 16 Perhitungan DF dan NCFt dengan I = 10%

Tahun	Investasi Awal	Arus Kas Masuk 10%	Arus Kas Keluar 10%	Arus Kas Bersih	Faktor Diskonto 10.00%	PVNCF	PVNCF
0	Rp 382,389,800						
1		Rp 49,104,141	Rp 3,763,418	Rp 45,340,723	0.909	Rp 41,218,839	Rp 41,218,839
2		Rp 54,014,555	Rp 3,763,418	Rp 50,251,137	0.826	Rp 41,529,865	Rp 82,748,704
3		Rp 59,416,011	Rp 3,763,418	Rp 55,652,593	0.751	Rp 41,812,617	Rp 124,561,321
4		Rp 65,357,612	Rp 3,763,418	Rp 61,594,194	0.683	Rp 42,069,663	Rp 166,630,984
5		Rp 71,893,373	Rp 3,763,418	Rp 68,129,955	0.621	Rp 42,303,342	Rp 208,934,326
6		Rp 79,082,710	Rp 3,763,418	Rp 75,319,292	0.564	Rp 42,515,777	Rp 251,450,103
7		Rp 86,990,981	Rp 3,763,418	Rp 83,227,563	0.513	Rp 42,708,900	Rp 294,159,002
8		Rp 95,690,079	Rp 3,763,418	Rp 91,926,661	0.467	Rp 42,884,466	Rp 337,043,468
9		Rp 105,259,087	Rp 3,763,418	Rp 101,495,669	0.424	Rp 43,044,072	Rp 380,087,540
10		Rp 115,784,996	Rp 3,763,418	Rp 112,021,578	0.386	Rp 43,189,168	Rp 423,276,707
11		Rp 127,363,495	Rp 3,763,418	Rp 123,600,077	0.350	Rp 43,321,073	Rp 466,597,781
12		Rp140,099,845	Rp 3,763,418	Rp 136,336,427	0.319	Rp 43,440,987	Rp 510,038,768
13		Rp154,109,830	Rp 3,763,418	Rp 150,346,412	0.290	Rp 43,550,000	Rp 553,588,768
14		Rp169,520,812	Rp 3,763,418	Rp 165,757,394	0.263	Rp 43,649,103	Rp 597,237,870
15		Rp186,472,894	Rp 3,763,418	Rp 182,709,476	0.239	Rp 43,739,196	Rp 640,977,066
16		Rp205,120,183	Rp 3,763,418	Rp 201,356,765	0.218	Rp 43,821,099	Rp 684,798,165
17		Rp225,632,201	Rp 3,763,418	Rp 221,868,783	0.198	Rp 43,895,556	Rp 728,693,721
18		Rp248,195,422	Rp 3,763,418	Rp 244,432,004	0.180	Rp 43,963,244	Rp 772,656,965

(Lanjutan pada halaman berikut)							
19		Rp273,014,964	Rp 3,763,418	Rp 269,251,546	0.164	Rp 44,024,779	Rp 816,681,745
20		Rp300,316,460	Rp 3,763,418	Rp 296,553,042	0.149	Rp 44,080,720	Rp 860,762,465
Total						Rp 860,762,465	Rp 860,762,465

Pada tabel 4.16 berdasarkan referensi yang menggunakan *lifetime* selama 20 tahun (Suhendar, 2022) tercantum nilai sekarang arus kas bersih dengan tingkat suku bunga rendah 6% yang merupakan hasil perkalian antara arus kas bersih dengan faktor diskonto $NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^n}$ adalah sebesar Rp 1.051.622.856, dengan biaya investasi awal (*initial investment*) Rp 382.389.800, maka besar nilai NPV dapat dihitung dengan persamaan (2-13) di bawah ini :

$$\begin{aligned}
 NPV &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^n} - C \\
 &= \text{Rp } 860.762.465 - \text{Rp } 382.389.800 \\
 &= \text{Rp } 478.372.665
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan NCFr dan NCFt yang telah dilakukan selama usia proyek yakni 20 tahun , maka IRR dapat diperhitungkan menggunakan persamaan (2-15) sebagai berikut :

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

$$= 8\% + \frac{Rp\ 668.639.254}{Rp\ 668.639.254 - Rp\ 478.372.665} (10\% - 8\%)$$

$$= 5,6\%$$

Perhitungan capital cost di atas merupakan perhitungan berdasarkan annual cost dari referensi buku (Suhendar, 2022) sehingga didapatkan *cost of energy* yang tergolong mahal yakni Rp 4.471/kWh dan dinyatakan tidak layak. Jika berdasarkan fakta lapangan dimana annual cost tidak ada, maka NPV dan IRR layak apabila dikomersilkan. Namun jika berdasarkan fakta di lapangan, secara umum sistem PLTS eksisting tidak menguntungkan dari segi investasi karena tidak dikomersilkan sehingga NPV dan IRR minus.

Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan NPV, IRR, dan Payback Period

Parameter	Hasil Perhitungan
NPV	Rp 668.639.254
IRR	5,6%
Payback Period	8,4 tahun

4.9 Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik dan Hasil Simulasi PVSyst

Tabel 4. 18 Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik dan Hasil Simulasi PVSyst

	Perhitungan Numerik	Simulasi PVSyst
Daya yang Dibangkitkan (kW)	6,08 kWp	5,92 kWp
Produksi Energi (kWh/tahun)	9723 kWh/year	6128 kWh/year
Energi yang Digunakan (kWh/tahun)	2715 kWh/year	2715 kWh/year
Performance Ratio (%)	27%	23%
Energi yang tidak terpakai (<i>Unused Energy</i>)	7008 kWh/year	3249 kWh/year

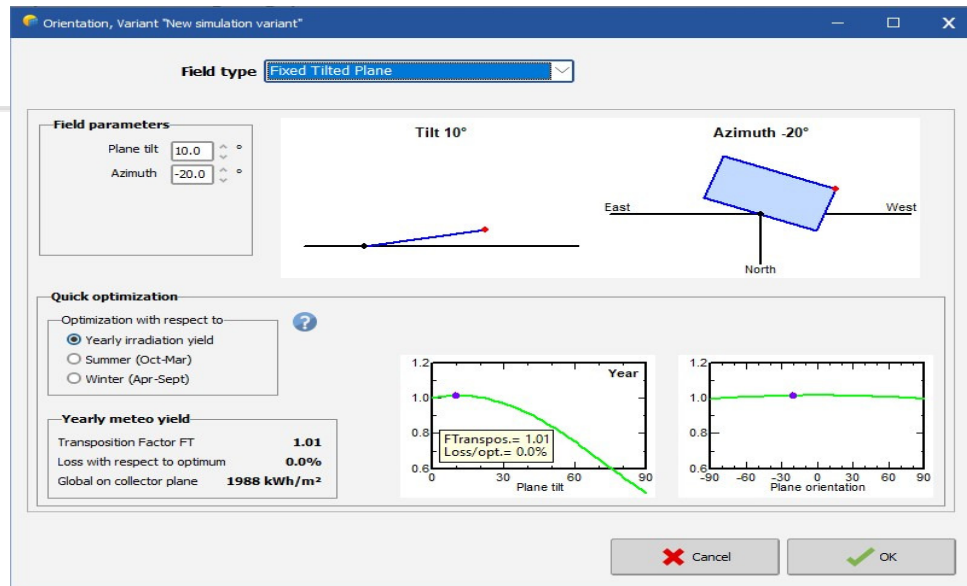
Pada tabel 4.18 menunjukkan perbandingan 2 metode evaluasi yaitu perhitungan numerik dan simulasi PVSyst yang terdiri dari produksi energi per tahun dari perhitungan numerik 9723 kWh/tahun dan hasil simulasi PVSyst 9380 kWh. Performance ratio 27% dari perhitungan numerik dan 23% dari simulasi PVSyst, daya yang dibangkitkan dari hasil perhitungan numerik 6,08 kW dan hasil dari simulasi PVSyst 5,92 kW. Adapun nilai ekonomi dari hasil perhitungan numerik terdiri dari NPV = Rp 668.639.254, payback period = 8,4 tahun, dan IRR = 5,6%.

4.10 Hasil Simulasi PVSyst untuk Sistem PLTS yang Direkomendasikan

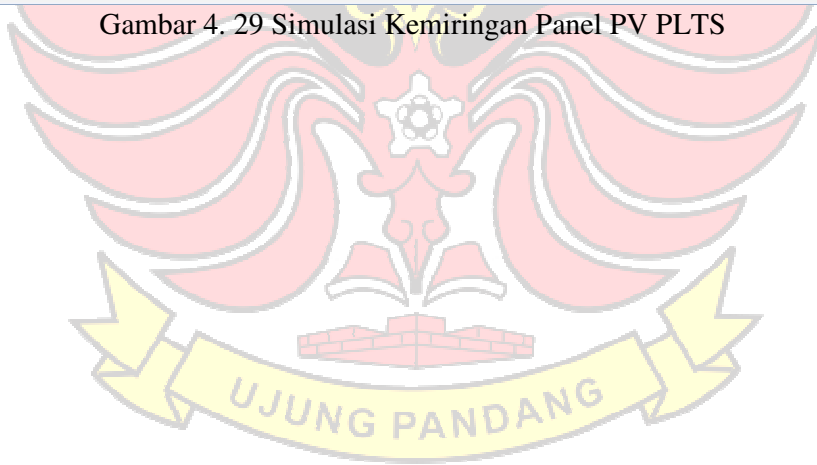
Berdasarkan hasil simulasi perangkat Lunak PVSyst 7.3.1, terdapat beberapa perbedaan angka dari data yang signifikan seperti tabel produksi energi listrik, grafik produksi energi listrik, grafik *performance ratio*, dan diagram *losses* (rugi-rugi). Terdapat beberapa poin dari hasil simulasi PVSyst 7.3.1 sebagai berikut:

4.10.1 Kemiringan Panel PV pada Sistem yang Direkomendasikan

Berdasarkan hasil simulasi PVSyst, kemiringan sudut (tilt) pada panel PV yang telah terpasang kurang optimum yakni kemiringan 10° .



Gambar 4. 29 Simulasi Kemiringan Panel PV PLTS



4.10.2 Parameter Simulasi Sistem PLTS yang Direkomendasikan

General parameters			
Standalone system		Standalone system with batteries	
PV Field Orientation		Sheds configuration	Models used
Orientation		Nb. of sheds	2 units
Fixed plane		Single array	
Tilt/Azimuth	10 / -20 °	Sizes	
		Sheds spacing	3.00 m
		Collector width	2.03 m
		Ground Cov. Ratio (GCR)	67.8 %
		Top inactive band	0.02 m
		Bottom inactive band	0.02 m
		Shading limit angle	
		Limit profile angle	20.1 °
Horizon		Near Shadings	
Average Height	90.0 °	Linear shadings	
		User's needs	
		Daily household consumers	
		Constant over the year	
		Average	7.4 kWh/Day
PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Suntech	Manufacturer	BYD
Model	STP-370-S-72-Pfd-Bifacial	Model	B-Box Compact 2.5
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, LFP
Unit Nom. Power	370 Wp	Nb. of units	6 in parallel
Number of PV modules	8 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	2960 Wp	Stored energy	13.8 kWh
Modules	2 Strings x 4 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	51 V
Pmpp	2687 Wp	Nominal Capacity	300 Ah (C10)
U mpp	144 V	Temperature	Fixed 29 °C
I mpp	19 A		
Controller		Battery Management control	
Manufacturer	Morningstar	Threshold commands as	SOC calculation
Model	TriStar TS MPPT 60-600V-48V	Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Technology	MPPT converter	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.		
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.5 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	2.96 kWp		
Total	8 modules		
Module area	15.6 m ²		
Cell area	14.0 m ²		

Gambar 4. 30 Parameter Simulasi PLTS yang Direkomendasikan.

Gambar 4.30 merupakan parameter secara keseluruhan dari sistem PLTS yang direkomendasikan, dimulai dari kemiringan yang optimum yakni 10° dan azimuth 20°. Kemudian karakteristik PV array yang menampilkan spesifikasi dari panel PV, converter, dan baterai pack serta dilengkapi data kemampuan setiap komponen.

4.10.3 Hasil Produksi Energi pada Sistem yang Direkomendasikan

Pada tabel 4.18 di bawah ini menunjukkan adanya available solar energy (E_Avail) yaitu keseluruhan energi yang dapat dihasilkan dari sistem PLTS sebesar 3347,4 kWh/tahun. Unused energy (EUnused) adalah energi yang tidak dapat digunakan akibat baterai penuh sebesar 611,6 kWh/tahun. Energy supplied to the user (E_User) adalah energi yang dapat disuplai ke beban sebesar 2597,7 kWh/tahun.

Tabel 4. 19 Hasil Produksi Energi pada Sistem Rekomendasi

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	159.4	134.6	261.9	38.4	18.11	212.5	230.6	0.921
February	125.8	109.3	209.7	27.5	36.76	171.6	208.3	0.824
March	148.7	133.2	257.3	24.1	15.34	215.3	230.6	0.933
April	157.4	140.1	275.3	48.2	1.59	221.6	223.2	0.993
May	155.3	118.9	229.1	4.2	21.29	209.4	230.6	0.908
June	146.7	127.3	251.0	19.2	2.64	220.6	223.2	0.988
July	171.0	150.4	301.1	52.8	0.00	230.6	230.6	1.000
August	193.1	171.2	345.6	103.5	0.00	230.6	230.6	1.000
September	185.7	165.0	327.7	101.7	0.00	223.2	223.2	1.000
October	200.1	180.8	360.6	113.0	0.53	230.1	230.6	0.998
November	167.6	143.9	283.4	48.4	0.00	223.2	223.2	1.000
December	150.9	126.3	244.6	30.6	21.66	209.0	230.6	0.906
Year	1961.7	1700.9	3347.4	611.6	117.92	2597.7	2715.6	0.957

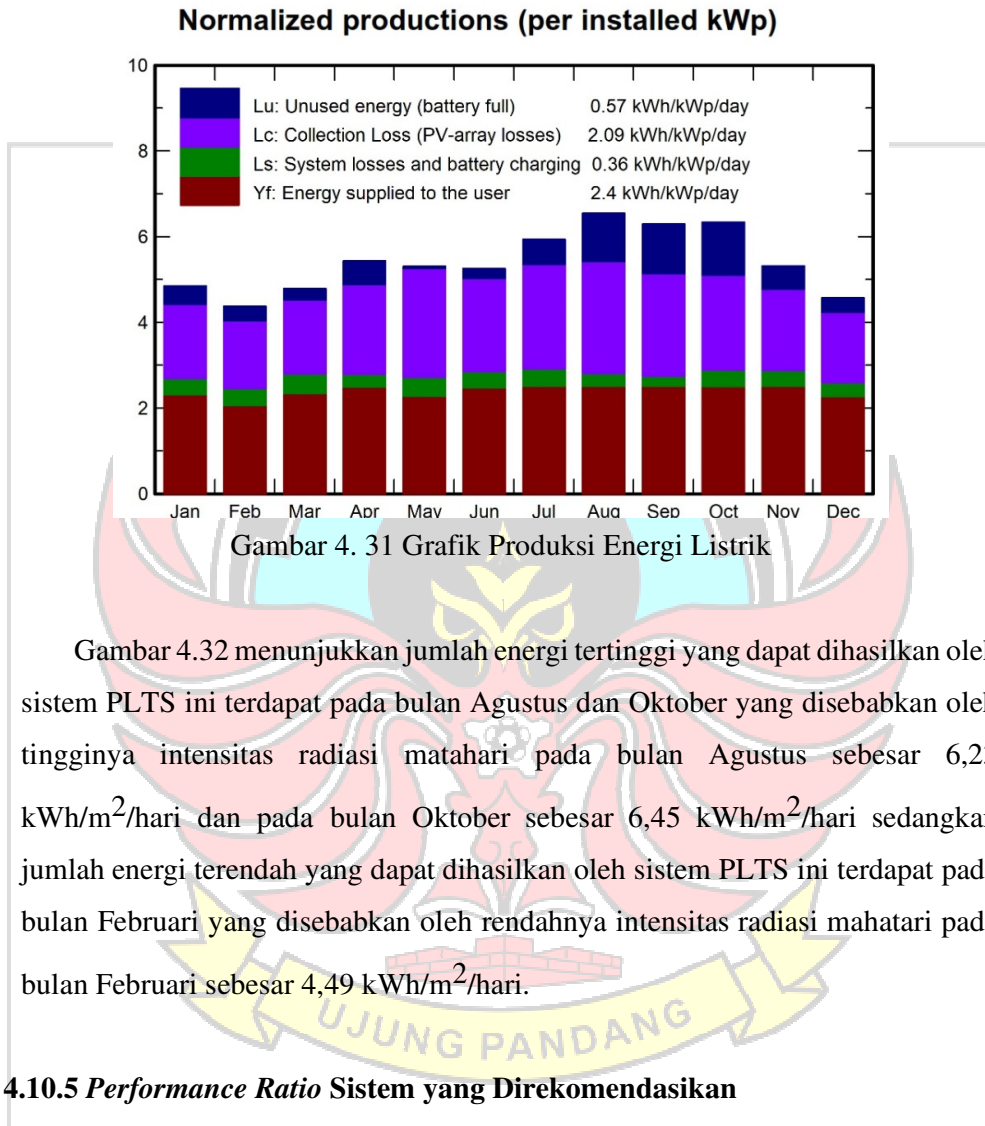
Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		

4.10.4 Produksi Energi Listrik

Pada gambar 4.32 menunjukkan produksi energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS off grid dalam 1 tahun di setiap bulannya. Lu (unused energy) adalah nilai energi yang diproduksi pada PLTS dimana energi tersebut tidak dapat digunakan akibat baterai penuh sebesar 0,57 kWh/kWp/hari. Lc (collection loss) adalah rugi-rugi pada modul surya mencakup instalasi kabel, module quality dan mismatch, sebesar 2,09 kWh/kWp/hari. Lc didapatkan dari hasil perbandingan antara energi yang seharusnya dibangkitkan oleh modul surya tanpa adanya rugi-rugi (Yr) dengan energi yang diproduksi oleh modul surya dengan

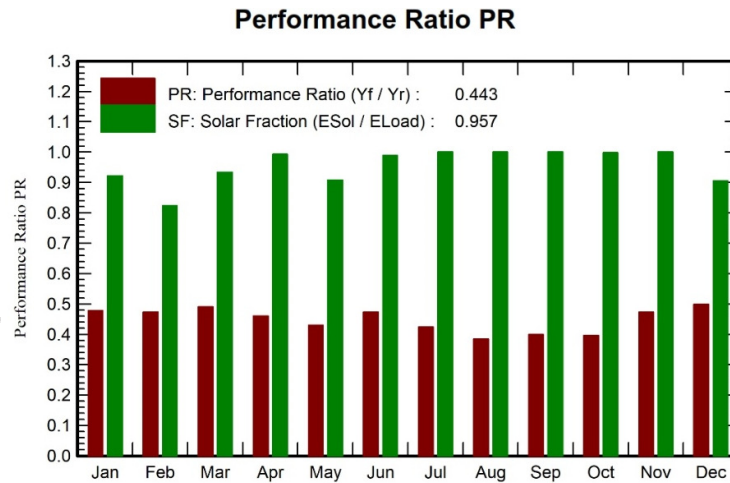
memperhitungkan rugi-rugi (Y_a). L_s (system losses) adalah rugi-rugi sistem PLTS dan pengisian baterai sebesar 0,36 kWh/kWp/hari. Y_f (Energy supplied) adalah energi yang dapat disuplai ke beban sebesar 2,4 kWh/kWp/hari.



Gambar 4.32 menunjukkan jumlah energi tertinggi yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS ini terdapat pada bulan Agustus dan Oktober yang disebabkan oleh tingginya intensitas radiasi matahari pada bulan Agustus sebesar 6,23 kWh/m²/hari dan pada bulan Oktober sebesar 6,45 kWh/m²/hari sedangkan jumlah energi terendah yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS ini terdapat pada bulan Februari yang disebabkan oleh rendahnya intensitas radiasi matahari pada bulan Februari sebesar 4,49 kWh/m²/hari.

4.10.5 Performance Ratio Sistem yang Direkomendasikan

Pada gambar 4.32 menunjukkan performance ratio (PR) sebesar 0,443 atau dengan persentasi sebesar 44%. PR adalah perbandingan antara energi yang disuplai ke beban (Y_f) dengan energi yang seharusnya dibangkitkan oleh modul surya tanpa adanya rugi-rugi (Y_r). Solar fraction (SF) sebesar 0,957 atau dengan persentasi sebesar 95%. SF adalah perbandingan antara jumlah energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS dengan total energi yang dibutuhkan oleh beban.

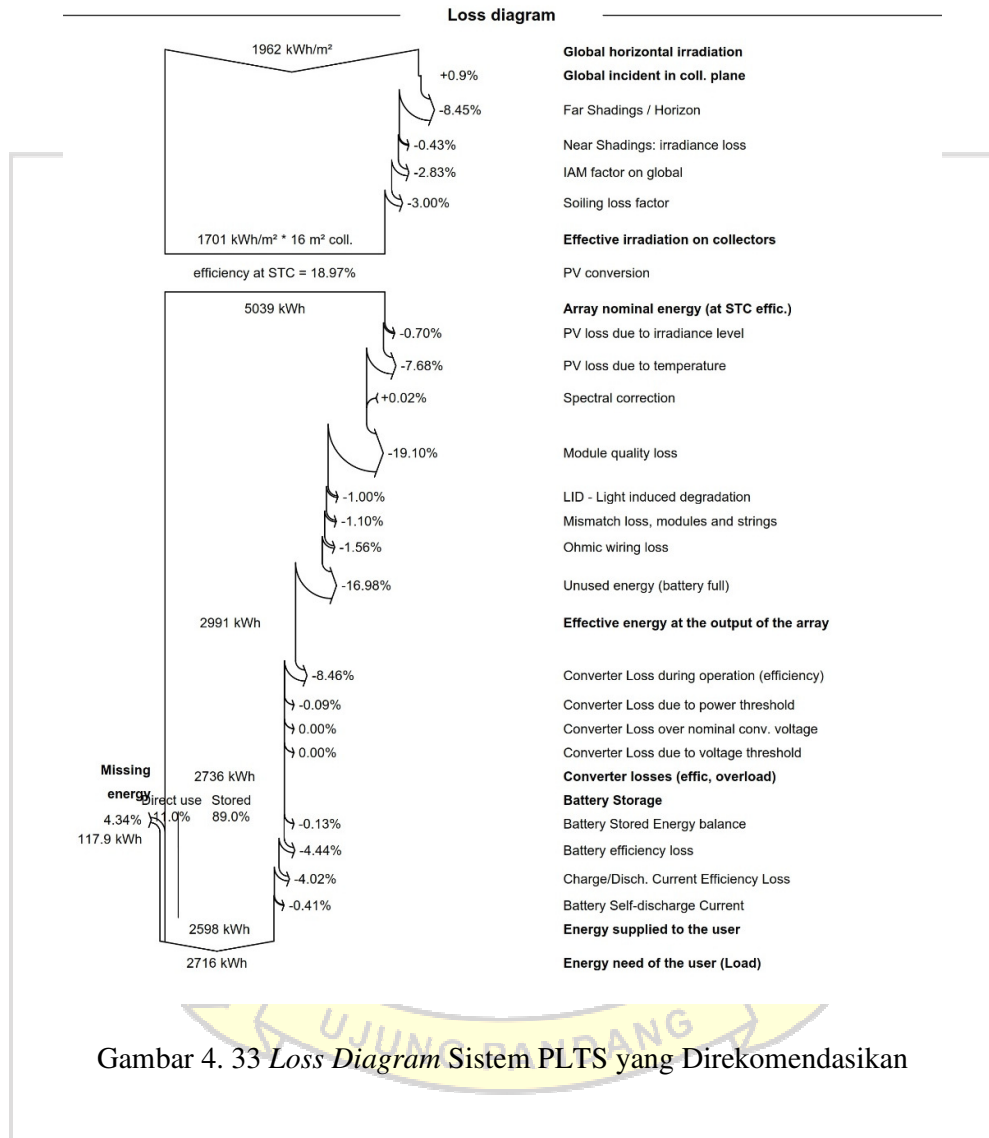


Gambar 4. 32 Grafik *Performance Ratio*

Gambar 4.32 menunjukkan performance ratio (PR) tertinggi terdapat pada bulan Februari dan Desember yang disebabkan oleh energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS dapat disuplai ke beban dan PR terendah terdapat pada bulan Agustus dan Oktober yang disebabkan oleh energi yang dihasilkan sistem PLTS tertinggi tetapi tidak dapat disuplai ke beban. Solar fraction (SF) tertinggi terdapat pada bulan Oktober yang disebabkan oleh tingginya intensitas radiasi matahari pada bulan Oktober 6,45 kWh/m²/hari dan SF terendah terdapat pada bulan Februari yang disebabkan oleh rendahnya intensitas radiasi matahari pada bulan Februari sebesar 4,49 kWh/m²/hari.

4.10.6 Rugi-Rugi Sistem PLTS (*Losses*) pada Sistem yang Direkomendasikan

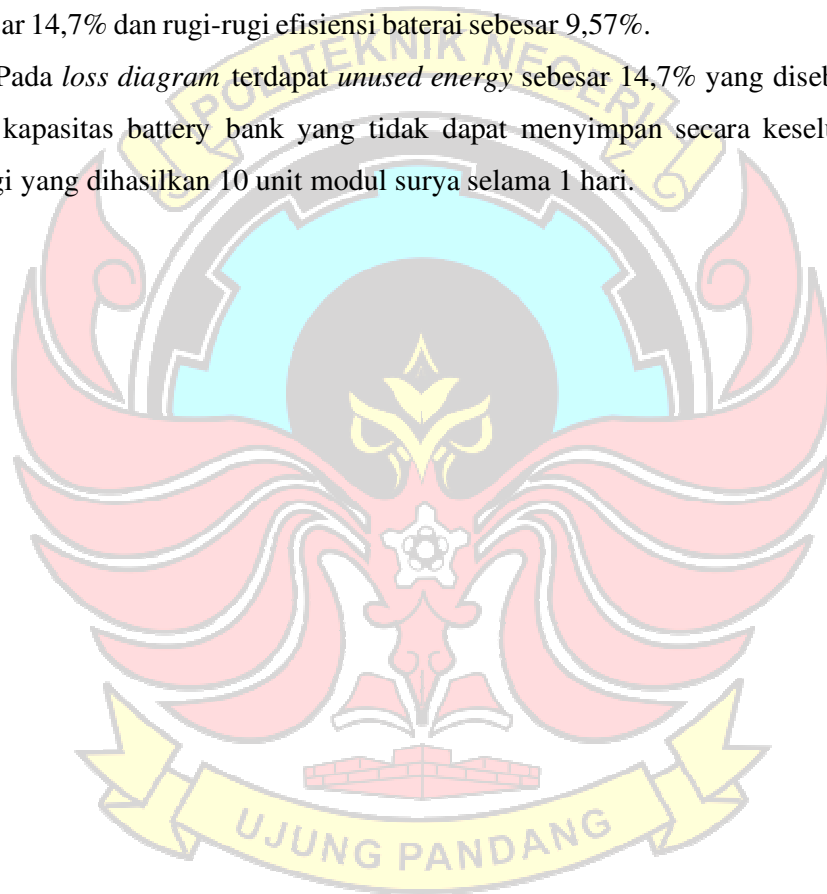
Berikut diagram *loss*/rugi-rugi sistem PLTS yang direkomendasikan, lihat gambar 4.33.



Gambar 4. 33 *Loss Diagram* Sistem PLTS yang Direkomendasikan

Energi yang dapat dikonversi oleh PV array 8 modul surya jenis ICA370-72M dengan daya nominal 370 Wp dan efisiensi 19,17% adalah sebesar 5039 kWh/tahun. Rugi-rugi modul surya yang dipengaruhi perbedaan tingkat intensitas radiasi matahari sebesar 0,7%, rugi-rugi modul surya yang dipengaruhi oleh suhu lingkungan sebesar 7,68%, rugi-rugi modul surya yang umumnya menyimpang dari spesifikasi sebesar 19,10%, rugi-rugi ketidakcocokan sebesar 1,1%, rugi-rugi instalasi kabel sebesar 1,56%, rugi-rugi akibat baterai penuh sebesar 14,7% dan rugi-rugi efisiensi baterai sebesar 9,57%.

Pada *loss diagram* terdapat *unused energy* sebesar 14,7% yang disebabkan oleh kapasitas battery bank yang tidak dapat menyimpan secara keseluruhan energi yang dihasilkan 10 unit modul surya selama 1 hari.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

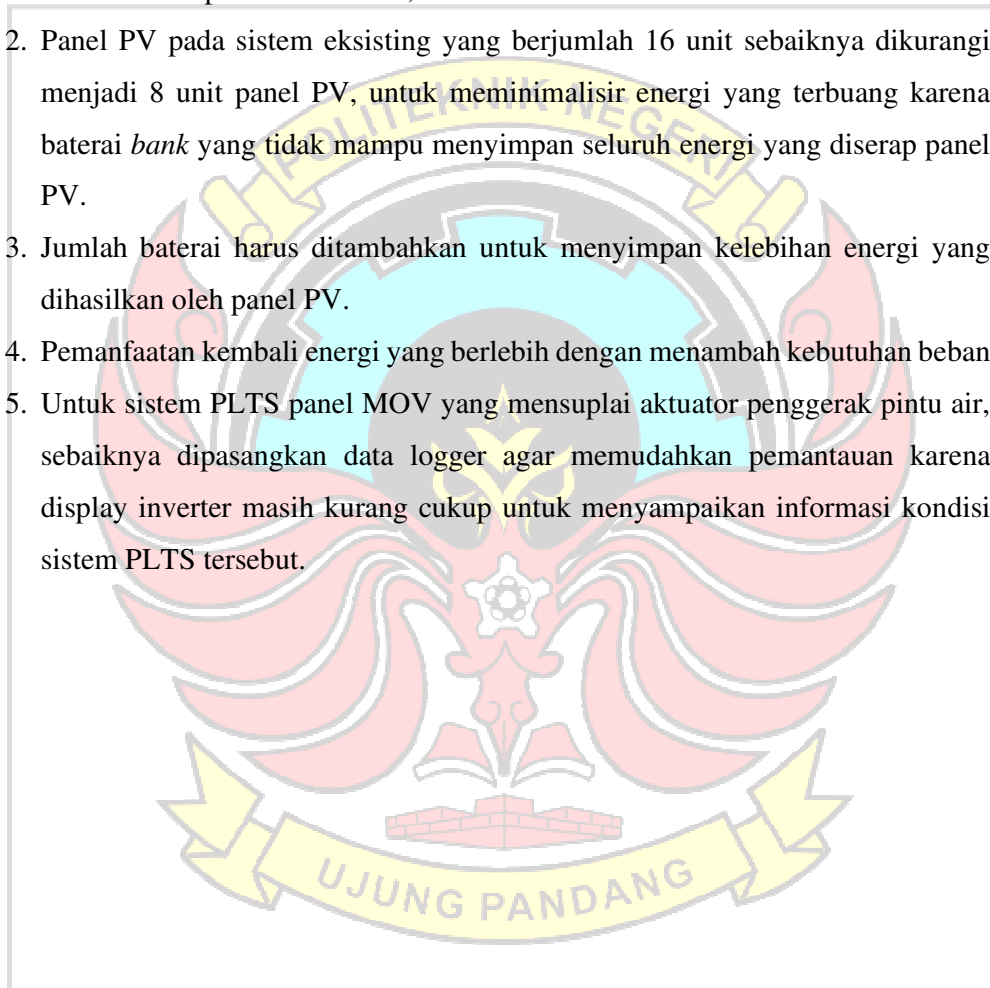
Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian yang dijelaskan pada penelitian ini maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dari evaluasi perancangan PLTS off grid pada pintu air irigasi Pamukkulu Kabupaten Takalar sebagai berikut:

1. Kondisi *eksisting* sistem PLTS off grid pada pintu air irigasi Pamukkulu Kabupaten Takalar, setelah dievaluasi ditemukan fakta bahwa secara umum desain sistem PLTS sudah memenuhi kebutuhan energi dan bekerja dengan baik. Pada sistem PLTS ini terjadi kehilangan energi tidak terpakai (*unused energy*) sebesar 7008 kWh/Tahun berdasarkan perhitungan numerik, Sedangkan hasil simulasi PVsyst 7.3.1 terjadi *unused energy* sebesar 3249 kWh/Tahun disebabkan oleh jumlah kapasitas panel PV yang berlebih.
2. Hasil evaluasi penyimpanan energi pada baterai sistem PLTS Off Grid 'Pamukkulu' BP 1 baterai mampu memenuhi kebutuhan energi pada beban untuk pengoperasian pintu air irigasi Pamukkulu dimana total kapasitas energi baterai sebesar 15.360 Wh dengan *Depth Of Discharge (DOD)* 80% sehingga energi baterai yang dapat digunakan sebesar 12.288 Wh, dimana energi harian yang disuplai pada beban berdasarkan data maksimum sebesar 6.006 Wh sehingga energi baterai yang tersisa sebesar 6.282 Wh atau sekitar 48% untuk level presentase baterai.
3. Biaya investasi awal yang digunakan untuk sistem PLTS *off grid Pamukkulu* sebesar Rp 382.000.000, maka diperoleh perhitungan kelayakan investasi adalah NPV = Rp 669.000.000, payback period = 8,4 tahun, dan IRR 5,6% dimana lebih kecil dari suku bunga 8% dengan harga jual Rp 4.471/kWh yang diperoleh dari perhitungan numerik capital cost dan analisis ekonomi berdasarkan annual cost dinyatakan tidak layak dari segi investasi walaupun dengan diasumsikan jika sistem *eksisting* dikomersilkan. Fakta berdasarkan

data sistem eksisting di lapangan tidak dikomersilkan dan tidak menguntungkan karena NPV dan IRR minus.

5.2 Saran

1. Kemiringan panel PV sebaiknya pada kemiringan 10° karena pada kemiringan 10° losses respect maximum 0,0%.
2. Panel PV pada sistem eksisting yang berjumlah 16 unit sebaiknya dikurangi menjadi 8 unit panel PV, untuk meminimalisir energi yang terbuang karena baterai *bank* yang tidak mampu menyimpan seluruh energi yang diserap panel PV.
3. Jumlah baterai harus ditambahkan untuk menyimpan kelebihan energi yang dihasilkan oleh panel PV.
4. Pemanfaatan kembali energi yang berlebih dengan menambah kebutuhan beban
5. Untuk sistem PLTS panel MOV yang mensuplai aktuator penggerak pintu air, sebaiknya dipasangkan data logger agar memudahkan pemantauan karena display inverter masih kurang cukup untuk menyampaikan informasi kondisi sistem PLTS tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Muhaimin, dkk. 2021. *Perancangan Miniatur Pintu Air Otomatis Berbasis Sensor Water Level dan Arduino Uno pada Sistem Irigasi Persawahan*. Serambi Engineering. Palembang.
- Kurniawan, Wawan Setiawan. 2021. *Simulasi Kendali Pintu Air Otomatis Menggunakan Mikrocontroller Arduino Mega 2560 Dan Panel Surya*. Teknik Elektro. Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Apriyanto, Heki. 2015. *Rancang Bangun Pintu Air Otomatis Menggunakan Water Level Float Switch Berbasis Mikrokontroler*. Jurnal Sisfokom. 4(1) ; 22-27.
- Fahrul Islam. 2020. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Perahu Nelayan*. Teknik Mesin. Universitas Hasanuddin.
- Tony Koerniawan, Aas Wasri Hasanah. 2018. *Kajian Sistem Kinerja Plts Off-Grid 1 Kwp Di Stt-Pln*. Jurnal Ilmiah. 10(1) ; 38-44.
- Widha Z. Z. Muna, dkk. 2022. *Studi Evaluasi PLTS Off-Grid di Gedung Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember*. Indonesian Journal of Energi and Mineral. 2(2) ; 1-12.
- Yakobus Kariongan , Joni. 2022. *Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat 20 KWP di Kampung Ampas Distrik Waris Kabupaten Keerom*. Jurnal Pendidikan Tambusai. 6(1) ; 3591-3598
- Rimbawati. 2018. "Analysis of Hybrid Power Plant Technology Using Data Weather in North Sumatera" 7: 481 –85.
- Aslam Ridho Effendy, Muhammad. 2021. "*Sistem Monitoring Kinerja Panel Surya Berbasis IoT Menggunakan Arduino Uno Pada PLTS Pematang Johar*". Deli Serdang: Sumatera Utara.
- Syah Putra, Muhammad dan Waluyo. 2019. "Analisis Efisiensi Pembangkitan Daya Listrik Modul Surya Terhadap Penyinaran Matahari Menggunakan Solar Power Meter (hlm. 3-5). Bandung: Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (DJEBTKE) Direktorat Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan.

2021. *Panduan Evaluasi Sistem PLTS Fotovoltaik*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) Republik Indonesia: Jakarta.

Kementerian Federal Jerman Urusan Kerjasama Ekonomi dan Pembangunan (BMZ) Melalui Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Proyek Electrification through Renewable Energy (ELREN). 2020. *Panduan PLTS Off Grid*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) Republik Indonesia: Jakarta.

Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (DJEBTKE) Direktorat Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan. 2018. *Panduan Studi Kelayakan PLTS Terpusat*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) Republik Indonesia: Jakarta.

Yusuf, Hamzah, dkk. 2016. *Pedoman Penulisan Proposal dan Skripsi Program Diploma Empat (D-4) Bidang Rekayasa dan Tata Niaga*. Politeknik Negeri Ujung Pandang: Makassar.

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

Aslam Ridho Effendy, Muhammad. 2021. "*Sistem Monitoring Kinerja Panel Surya Berbasis IoT Menggunakan Arduino Uno Pada PLTS Pematang Johar*". Deli Serdang: Sumatera Utara.

Sivertsen, Christer, J., & Søyland, P. (2014). Design and Installation of a Grid-Connected PV System. Faculty of Engineering and Science. Kristiansand: Department of Engineering Sciences, University of Agder.



Lampiran 1. Panel PV 370 WP untuk panel box MOV



ICA370-72M

Monocrystalline 370W

Powered by high-efficiency MONOCRYSTALLINE cells, this series of high performance modules provides the most cost-effective solution for lowering the LCOE of any PV systems large or small

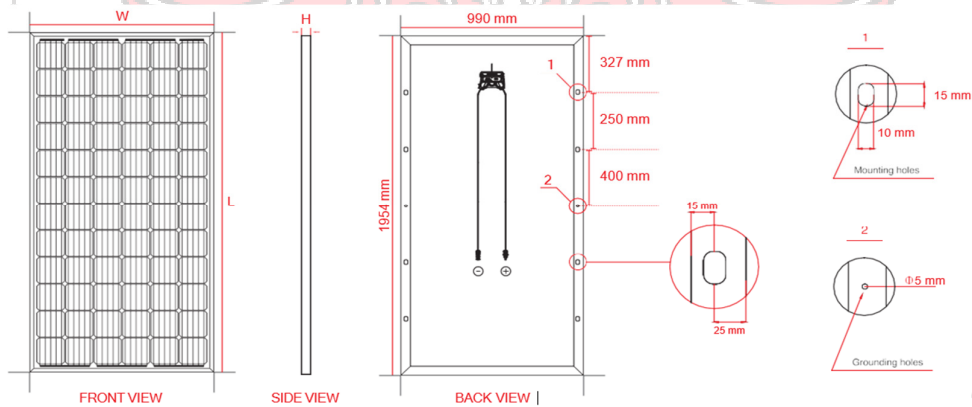


ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Max. Power (W)	370
Efficiency (%)	19.17
Max. Power Voltage, Vmp (V)	39.20
Max. Power Current, Imp (A)	9.44
Open Circuit Voltage, Voc (V)	48.20
Short Circuit Current, Isc (A)	9.86
Weight (kg)	23.00
Dimension of module (mm)	1954 x 990 x 40
Pmax Temperature Coefficient (%/°C)	-0.40
Voc Temperature Coefficient (%/°C)	-0.29
Isc Temperature Coefficient (%/°C)	+0.05
Maximum System Voltage(VDC)	1000
Maximum Series Fuse Rating (A)	15
Operating Temperature (°C)	-40~+85
NOCT (°C)	45±2

STC:1000W/m²,AM1.5 and 25°C cell temperature

Specifications subject to change without prior notice



Lampiran 2. Panel PV 450 WP untuk Panel Box RTU/SCADA



TECHNICAL SPECIFICATION:

Maximum Power (Pmax): 450W
Efficiency: 20.37%
Cell Type: Monocrystalline Si, PERC
Number of Cell: 144
Maximum Power Voltage (Vmp): 41.40V
Maximum Power Current (Imp): 10.87A
Open Circuit Voltage (Voc): 50.00V
Short Circuit Current (Isc): 11.36A
Pmax Temperature Coefficient: -0.36%/°C
Voc Temperature Coefficient: -0.29%/°C
Isc Temperature Coefficient: +0.05%/°C
Maximum System Voltage: 1500VDC
Maximum Series Fuse Rating: 20A
Operating Temperature: -40~+85°C
NOCT: 45±2°C
Dimension of module (mm): 2108 x 1048 x 35
Weight (kg): 24.50



Lampiran 3. Inverter 5 kW untuk Panel Box MOV



MODEL		SNV-GH5041
Phase	1-phase in/ 1-phase out	
Max. PV input power	5kW	
Rated output power	5kW	

PV INPUT (DC)

Nominal DC voltage/ Max. DC voltage	360Vdc/450Vdc
MPPT voltage range	120Vdc~430Vdc
Number of MPP trackers/ Max. input current	1/23A

GRID-TIED GRID OUTPUT (AC)

Nominal output voltage	220/230/240Vac
Output voltage range	184~264.5Vac or 195.5~253Vac (selectable)
Output frequency range	47.5~51.5Hz or 49~51Hz (selectable)
Nominal output current	21.7A
Power factor (cos Φ)	>0.99

EFFICIENCY

Max. conversion efficiency (DC/AC)	95%
------------------------------------	-----

OFF-GRID & HYBRID OPERATION

AC INPUT

Acceptable input voltage range	90~280Vac or 170~280Vac
Frequency range	50Hz/60Hz (auto sensing)
Max. AC input current	40A

BATTERY MODE OUTPUT (AC)

Nominal output voltage	220/230/240Vac
Output wave form	Pure Sine Wave
Nominal output frequency	50Hz
Efficiency (DC to AC)	93%

BATTERY & CHARGER

Nominal DC voltage	48Vdc
Max. solar charging current	100A
Max. AC charging current	100A
Max. charging current	100A

GENERAL

PHYSICAL

Dimensions (W*L*D) in mm	120 x 295 x 468
Net weight (kg)	11

INTERACE

Parallel function	Yes, 9 units
Communication port	USB or RS-232/ Dry contact

ENVIRONMENT

Humidity	0~90% RH (no condensing)
Operating temperature	-10°C to 50°C

Specifications subject to change without prior notice

Lampiran 4. Baterai Lithium untuk Panel Box MOV

TECHNICAL SPECIFICATION IFR Technology	
Type	TF - 8s-2p
Capacity	100Ah
Nominal Voltage	25,6 V
Full Voltage	29,2 V
Empty Voltage	20 V
Dimension	19,5 L x 19 W x 31,5 H (cm)
Weight	15,5 kg
Temperature	60°C
Normal Working Temperature	0°C- 45°C, <60RH
Extended Operating Temperature	-20°C- 80°C, <60RH
Max number of modules in parallel	No limit
Life Cycle	DOD 100% : 2000 cycles*
Maximum Cycle	More than 4.000 cycle <i>(depends on DOD, working temperature, SOC)</i>
Packaging	Softpack
Features	<ol style="list-style-type: none"> 1. Design for Long-Deep Discharge & Fast Charge environment, Ideal for Solar Panel or Intermittent Power Supply 2. Suitable for typical Equator temperatur range (25°C -40°C) <i>* Extended Life Available</i> 3. Light weight and space-saving (compare to Lead) 4. Easily put inside customer enclosure 5. Compatible with typical 24 V float for system PJU, PLTS, System Solar Home and Traffic Light. 6. Battery Management System (BMS) Included 7. Integrated Alarm Status (Optional) 8. Extended warranty for 3 - years in normal operation (special project)



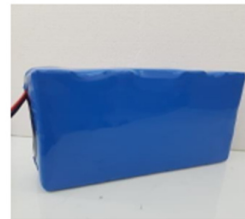
PT. SENTRAMITRA DAYAUTAMA

One-Stop Custom Energy Solution

Jl. Mangga Besar VIII No. 22 Jakarta 11150
Telp : (021) 6490880, 6490891



TnD Lithium – Iron Phospate Battery



Lampiran 5. Baterai VRLA untuk Panel Box RTU/SCADA



Tipe	ICAL-VRLA
Efisiensi Maksimal	95%
VDC Nominal	12 Volt
Tegangan Baterai Saat Kosong	20 Volt
Kapasitas	100 Ah
Dimensi (LxWxH)	330x171x214mm

TECHNICAL SPECIFICATIONS:

Nominal Voltage: 12V

Capacity: 100Ah

Dimension (LxWxH): 330x171x214mm

Approx. Weight: 32kg

Terminal Type: T9

Terminal Position: C

Internal Resistance: 5M

Self-discharge (25°C):

- 3 months: Remaining Capacity 94%
- 6 months: Remaining Capacity 88%
- 12 months: Remaining Capacity 75%

Nominal operating temperature: $25^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($77^{\circ}\text{F}\pm 5^{\circ}\text{F}$)

Operating temperature range:

- Discharge: $-15^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ($5^{\circ}\text{F}\sim 131^{\circ}\text{F}$)
- Charge: $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ($14^{\circ}\text{F}\sim 131^{\circ}\text{F}$)
- Storage: $-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ($-4^{\circ}\text{F}\sim 131^{\circ}\text{F}$)

Float charging voltage (25°C): 13.50 to 13.80V Temperature compensation: $-18\text{mV}/^{\circ}\text{C}$

Cyclic charging voltage (25°C): 14.10 to 14.40V Temperature compensation: $-30\text{mV}/^{\circ}\text{C}$

Max. charging current: 20.0A

Max. discharging current: 800A (5 sec.)



Lampiran 6. Tabel Operasi Panel PV pada Cuaca Cerah Selama 10 Jam

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
07.00	255	1.57	412
08.00	265	1.82	489
09.00	990	4	837
10.00	343	2.1	546
11.00	345	2.21	529
12.00	350	2.92	531
13.00	358	2.94	545
14.00	367	3.11	520
15.00	328	2.52	476
16.00	323	2.11	422
17.00	989	4	823
Rata-Rata	447	2.7	5573

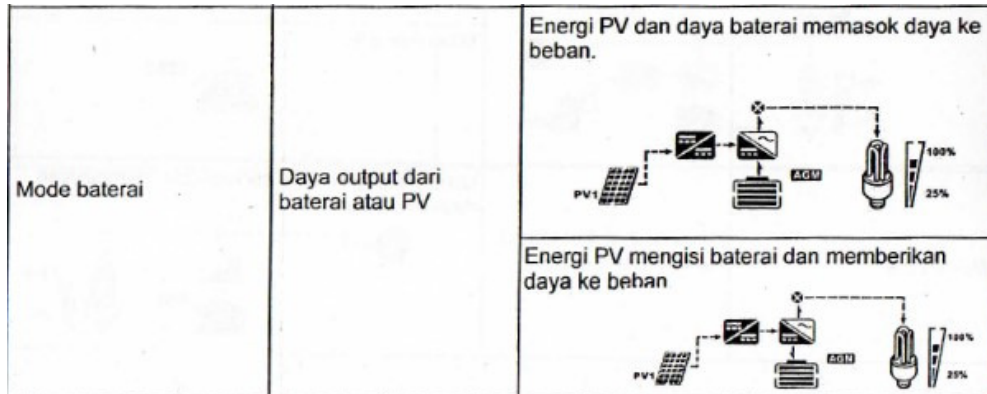
Lampiran 7. Tabel Operasi Panel PV pada Cuaca Mendung dan Hujan Selama 10 Jam

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
07.00	191	0.22	256
08.00	988	4	857
09.00	223	0.45	298
10.00	278	0.56	312
11.00	289	0.74	345
12.00	304	0.65	376
13.00	316	0.47	338
14.00	276	0.34	297
15.00	236	0.21	242
16.00	991	4	945
17.00	113	0.19	194
Rata-Rata	382.2727	1.075455	4055









Lampiran 8 Tabel Level Baterai

Waktu	Level Baterai	Tegangan (V)	Daya (Watt)
00.00	65.00%	52	88
01.00	63.00%	52	88
02.00	61.00%	52	88
03.00	59.00%	52	88
04.00	57.00%	52	88
05.00	55.00%	52	88
06.00	53.00%	52	88
07.00	51.00%	52	44
08.00	48.00%	54	880
09.00	50.00%	54	44
10.00	75.00%	53	44
11.00	90.00%	53	44
12.00	90.00%	53	44
13.00	90.00%	53	44
14.00	90.00%	52	44
15.00	89.00%	52	44
16.00	87.00%	52	946
17.00	86.00%	52	44
18.00	82.00%	52	88
19.00	75.00%	52	88
20.00	70.00%	52	968
21.00	70.00%	52	1848
22.00	69.00%	52	88
23.00	68.00%	52	88

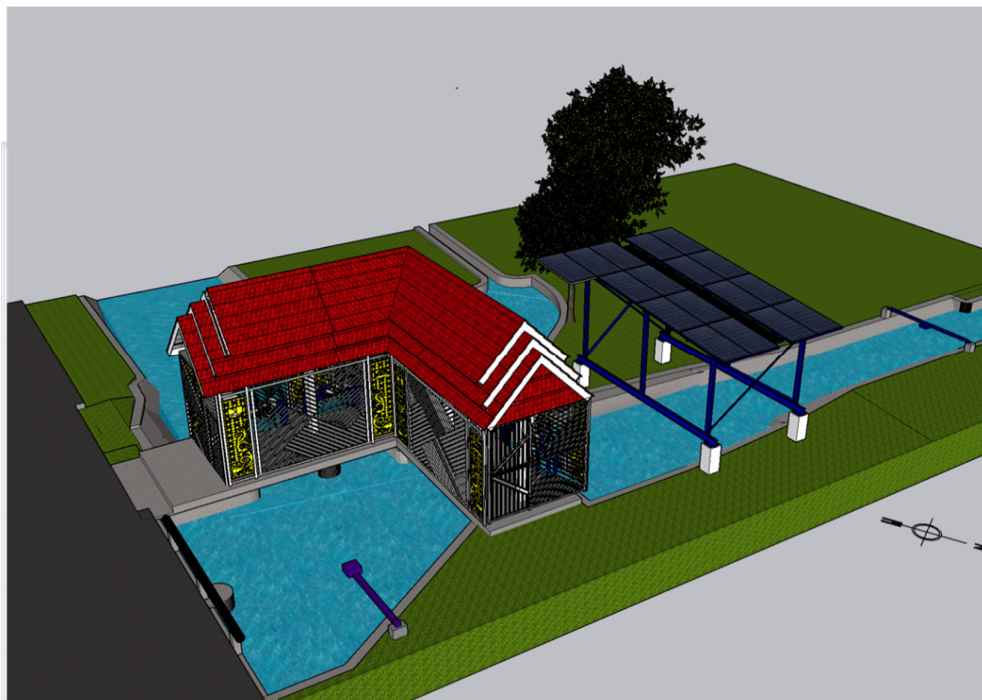
Lampiran 9 Skema PLTS dari Manual Book Inverter Hybrid ICA Solar



Lampiran 10 Informasi Tingkat Baterai dan Persentase Beban

Informasi baterai				
	Menunjukkan tingkat baterai sebesar 0-24%, 25-49%, 50-74% dan status pengisian 75-100%.			
	Menunjukkan jenis baterai: AGM, Flooded or User-Pengguna baterai.			
Muat Informasi				
	Menunjukkan kelebihan beban			
	Menunjukkan tingkat beban 0-24%, 25-50%, 50-74%, dan 75-100%			
	0% ~ 25%	25% ~ 50%	50% ~ 75%	75% ~ 100%
				

Lampiran 11 Jaringan Irigasi dan Sistem PLTS Pamukkulu'



Lampiran 12 Dokumentasi Lapangan 1



Lampiran 13 Dokumentasi Lapangan 2

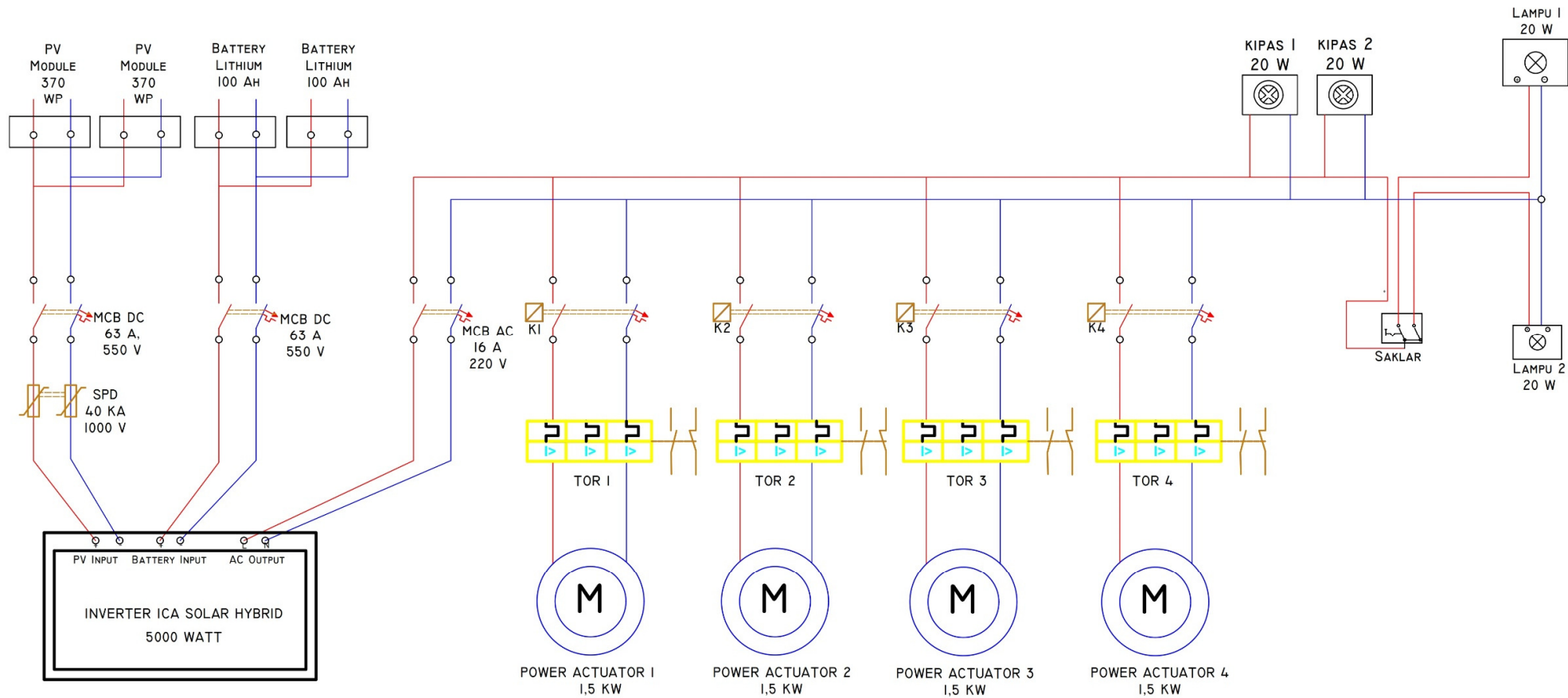


Lampiran 14 Dokumentasi Lapangan 3

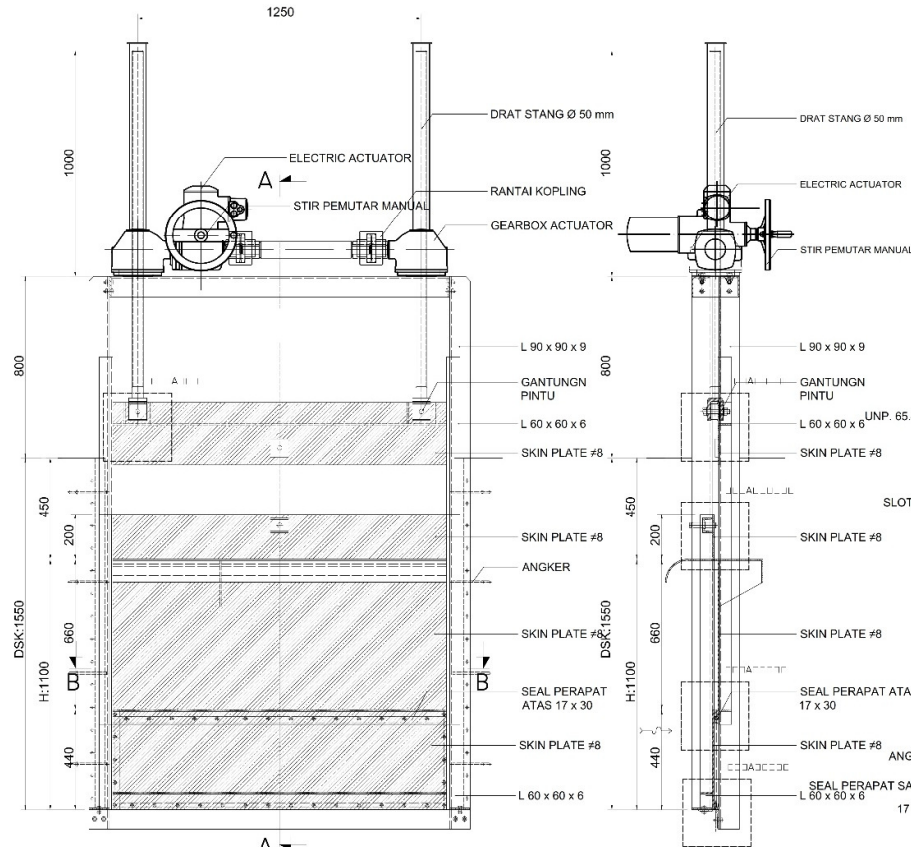


Lampiran 15 Dokumentasi Lapangan 4



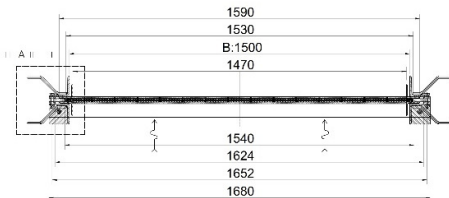


Jumlah	Nama Bagian	No bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III II I	Perubahan : SINGLE LINE DIAGRAM PLTS PINTU AIR PAMUKKULU'				
				Skala	Digambar
					Diperiksa
Politeknik Negeri Ujung Pandang					

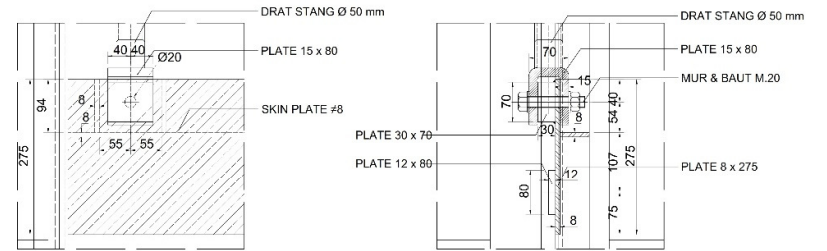


TAMPAK DEPAN
SKALA 1 : 20

POTONGAN A - A
SKALA 1 : 20

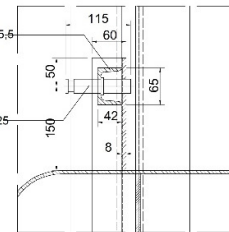


POTONGAN B - B
SKALA 1 : 20

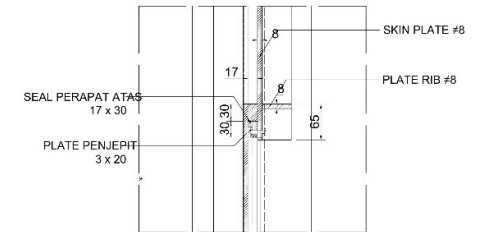


DETAIL - I
SKALA 1 : 8

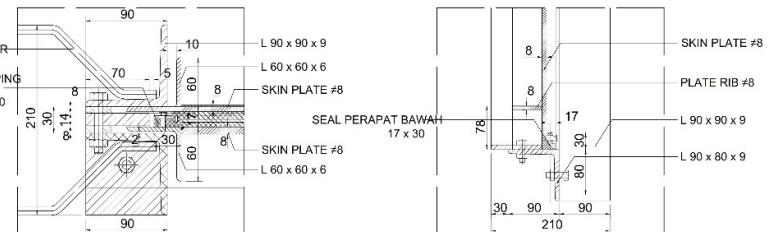
DETAIL - II
SKALA 1 : 8



DETAIL - III
SKALA 1 : 8



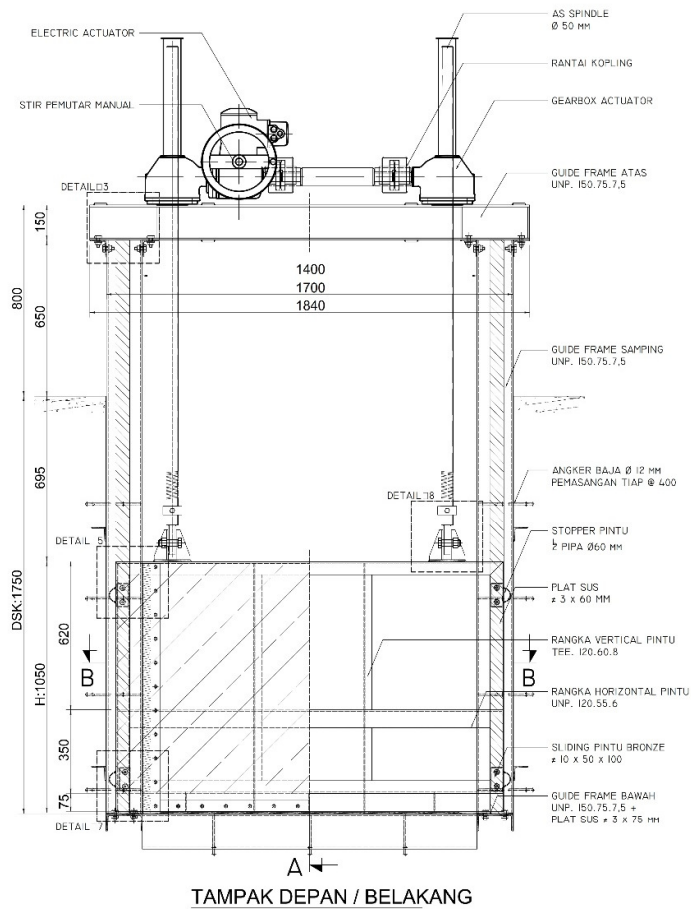
DETAIL - IV
SKALA 1 : 8



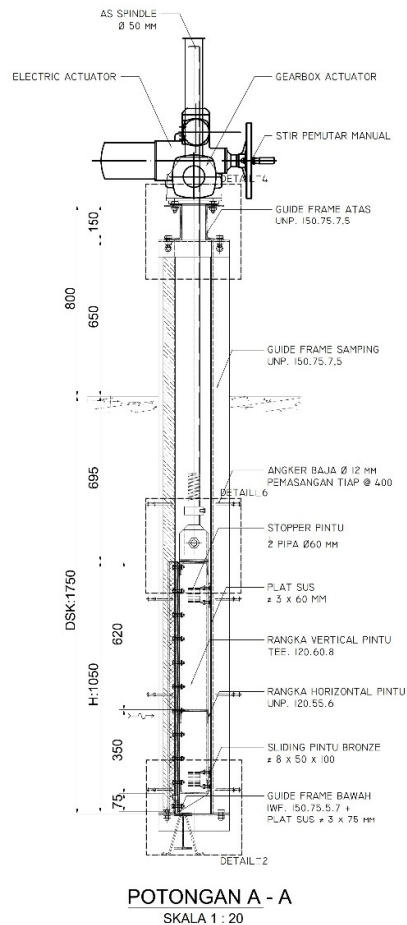
DETAIL - V
SKALA 1 : 8

DETAIL - VI
SKALA 1 : 8

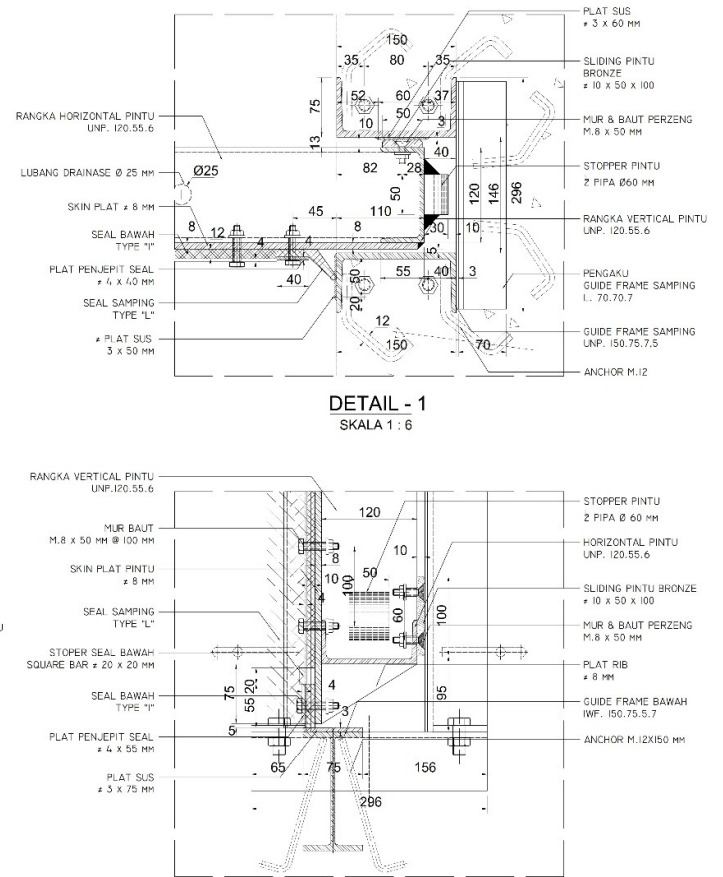
Jumlah	Nama Bagian	No bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I	Perubahan :		
			PINTU SORONG INDUK BP I	Skala	Digambar
					Diperiksa
Politeknik Negeri Ujung Pandang					



TAMPAK DEPAN / BELAKANG

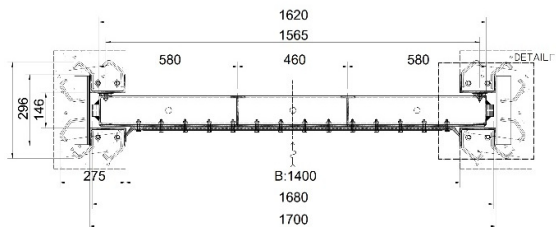


POTONGAN A - A
SKALA 1 : 20

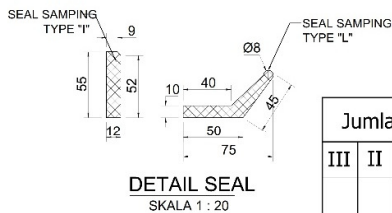


DETAIL - 1
SKALA 1 : 6

DETAIL - 2
SKALA 1 : 6



POTONGAN B - B
SKALA 1 : 20



DETAIL SEAL
SKALA 1 : 20

Jumlah	Nama Bagian	No bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III II I	Perubahan :				
	PINTU ROMIJJN BP I			Skala	Digambar
					Diperiksa
Politeknik Negeri Ujung Pandang					