

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA UNTUK
BEBAN SISTEM *TRASH RACK* DI PLTMH TOMBOLO PAO



SKRIPSI

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

Fahrudin 442 22 214

Nur Rahmah Firman 442 22 225

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

2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Beban Sistem *Trash Rack* di PLTMH Tombolo Pao” oleh Fahrudin 44222214 dan Nur Rahmah Firman 44222225 dinyatakan telah diterima dan disahkan.

Makassar, 04 September 2023

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Ir. Firman, M.T.
NIP. 19641231 199103 1 028



Dr. Andi Subhan S., S.ST., M.T.
NIP. 19670530 199703 1 001

Mengetahui
Koordinator Program Studi,




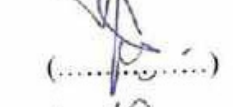



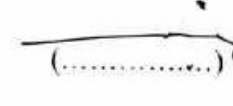
Ir. Chandra Bhuana, M.T.
NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Senin 04 September 2023, tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima hasil Ujian Sidang Skripsi oleh Fahrudin NIM 44222214 dan Nur Rahmah Firman NIM 44222225 dengan Judul "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Beban *Trash Rack* di PLTMH Tombolo Pao"

Makassar, 04 September 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi:

- | | | |
|-------------------------------------|-----------------|---|
| 1. Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D. | (Ketua) |  |
| 2. Ir. La Ode Musa, M.T. | (Sekretaris) |  |
| 3. Muh. Yusuf Yunus, S.ST.,M.T. | (Anggota I) |  |
| 4. Yiyin Klistafani, S.T.,M.T. | (Anggota II) |  |
| 5. Dr. Ir. Firman, M.T. | (Pembimbing I) |  |
| 6. Dr. Andi Subhan S.,S.T.,M.T. | (Pembimbing II) |  |

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Beban Sistem *Trash Rack* di PLTMH Tombolo Pao” dapat diselesaikan dengan baik.

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

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan serta inspirasi kepada kami untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua tercinta, juga kepada saudara-saudari kami yang telah memberikan banyak bantuan berupa dorongan moral, bantuan materi, serta tak henti-hentinya memberikan doa yang tulus kepada kami dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T. selaku Koordinator Program Studi RPL Teknik Pembangkit Energi Spesialisasi Energi Terbarukan PNUP.

6. Bapak Ir. Nur Hamzah, M.T.,Ph.D. selaku wali kelas kami.
7. Bapak Dr. Ir. Firman, M.T. selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Andi Subhan S., S.ST., M.T. selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan ilmunya untuk memberikan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Seluruh Dosen dan Staf Program Studi Teknik Pembangkit Energi Spesialisasi Energi Terbarukan yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama melaksanakan perkuliahan, dan telah membantu dalam menyediakan fasilitas dan sarana dalam mengerjakan skripsi.
9. Pihak PT. Bumi Karsa di unit PT. Tombolo Energy yang telah memberikan ilmu dan waktunya untuk memberikan bimbingan serta membantu dalam menyelesaikan laporan skripsi/*Capstone Project* ini.
10. Seluruh rekan-rekan mahasiswa RPL Teknik Pembangkit Energi Spesialisasi Energi Terbarukan angkatan 2022 khususnya rekan seperjuangan proyek PLTMH Tombolo Pao, Nur Pratiwi, Muh. Pangeran dan Makraza.
11. Semua pihak yang tidak sempat kami sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini sempurna, sehingga kami mengharap kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa mendatang, akhir kata, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi pembacanya.

Makassar, 04 September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SIMBOL	x
SURAT PERNYATAAN	xiii
RINGKASAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Gambaran Umum Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	6
2.2 Potensi Cahaya Matahari.....	8
2.3 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	10
2.4 <i>Software Simulasi HOMER</i>	18
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).....	19
2.6 <i>Trash Rack</i>	20
2.7 Jenis-jenis <i>Trash rack</i>	21
2.8 Pemilihan Jenis <i>Trash rack</i>	23
2.9 Pertimbangan Desain <i>Trash rack</i>	24
2.10 Desain <i>Trash rack</i> Untuk Struktur Hidrolik.....	28
2.11 Mesin Penggerak.....	34
2.12 Analisis Kelayakan Ekonomi.....	35
2.12.1 <i>LCC (Life Cycle Cost)</i>	36
2.12.2 Faktor Diskonto.....	37
2.12.3 Biaya Energi (<i>Cost of Energy</i>).....	38
2.12.4 <i>Net Present Value (NPV)</i>	38
2.12.5 <i>IRR (Internal Rate Of Return)</i>	39
2.12.6 <i>Benefit Cost Ratio (BCR)</i>	40

2.12.7	<i>Pay Back Period (PBP)</i>	40
BAB III	METODE KEGIATAN	41
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	41
3.2	Alat dan Bahan	41
3.2.1	Mengukur di Lapangan.....	41
3.2.2	Penyusunan Laporan.....	41
3.3	Prosedur/Langkah Kerja.....	42
3.3.1	Tahap Penelitian	42
3.3.2	Pengumpulan Data.....	43
3.3.3	Pengambilan Data.....	43
3.3.4	Tahap Perancangan.....	44
BAB IV	HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN	57
4.1	Hasil Perancangan <i>Trash Rack</i>	57
4.1.1	Perhitungan Gaya Hidrostatik pada <i>Trash Rack</i>	57
4.1.2	Sistem Kontrol <i>Trash rack</i>	67
4.1.3	Sistem Transmisi Motor listrik <i>Wire Rope Hoist</i>	72
4.2	Perancangan PLTS	73
4.2.3	Hasil Perhitungan	73
4.2.4	Hasil Simulasi HOMER	87
4.3	Analisis Kelayakan Ekonomi	90
BAB V	PENUTUP	98
5.1	KESIMPULAN	98
5.2	SARAN	99
DAFTAR PUSTAKA	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja PLTS	8
Gambar 2.2 Tampilan Solargis.....	9
Gambar 2.3 Perbedaan Tampilan Fisik Panel Surya Monokristalin dan Polikristalin serta Thin Film	11
Gambar 2.4 Logo <i>Software</i> HOMER Pro	18
Gambar 2.5 <i>Trash Rack</i>	20
Gambar 2.6 Momen Statis.....	30
Gambar 2.7 Momen Statis terhadap Sumbu Orentasi.....	30
Gambar 2.8 Momen Inersia terhadap Sumbu Orientasi.....	31
Gambar 2.9 Potongam Pada <i>Trash Rack</i>	34
Gambar 2.10 Skema Motor listrik <i>Wire Rope Hoist</i>	35
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Tahap Penelitian	42
Gambar 3.2 Motor Listrik <i>Wire Rope Hoist</i>	46
Gambar 3.3 Keadaan <i>Trash Rack</i> di PLTMH Tombolo Pao	46
Gambar 3.4 Detail Ukuran <i>Trash Rack</i>	47
Gambar 3.5 <i>Trash Rack</i> Tampak Samping	47
Gambar 3.6 Denah Bangunan <i>Trash Rack</i>	47
Gambar 3.7 Peta Lokasi PLTMH Tombolo Pao	49
Gambar 3.8 Denah <i>Headpond</i> PLTMH Tombolo Pao.....	50
Gambar 3.9 Skema Beban PLTS	50
Gambar 3.10 Tampilan untuk menginput lokasi proyek.....	51
Gambar 3.11 Tampilan Memasukkan data ekonomi pada HOMER Pro	52
Gambar 3.12 Tampilan Menginput Data GHI, Temperatur, dan Kecepatan Angin	52
Gambar 3.13 Tampilan Menginput Data Beban	53
Gambar 3.14 Tampilan Menginput Data PV	53
Gambar 3.15 Tampilan Menginput Data Inverter	54
Gambar 3.16 Tampilan Memasukkan Data <i>Grid</i>	54

Gambar 4.1 Gaya Tekanan pada Pintu <i>Trash Rack</i>	58
Gambar 4.2 Hasil Perhitungan Resultan Gaya.....	59
Gambar 4.3 Hasil Perhitungan Gaya untuk Membuka Pintu	60
Gambar 4.4 Usaha untuk Beban Total pada <i>Trash Rack</i>	64
Gambar 4.5 Ukuran <i>Trash Rack</i>	66
Gambar 4.6 Hasil Desain <i>Trash Rack</i>	67
Gambar 4.7 Bagian-Bagian Motor <i>Wire Rope Hoist</i>	68
Gambar 4.8 Ilustrasi <i>Trash Rack</i> pada PLTMH Tombolo Pao	69
Gambar 4.9 Ilustrasi Pengoperasian <i>Trash Rack</i> secara manual dan <i>rake</i>	70
Gambar 4.10 Data Debit untuk Sistem Kontrol	71
Gambar 4.11 Spesifikasi Motor Listrik <i>Wire Rope Hoist</i>	72
Gambar 4.12 Grafik Data Temperatur NASA	75
Gambar 4.13 Konfigurasi Panel Surya.....	77
Gambar 4.14 Diagram Skematik Desain Sistem PLTS	86
Gambar 4.15 Skematik Simulasi HOMER	87
Gambar 4.16 Tampilan Hasil Simulasi HOMER.....	87
Gambar 4.17 Hasil Simulasi HOMER Pro Kelistrikan.....	88



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis-Jenis PLTS	7
Tabel 2.2 Keunggulan dan Kelemahan Jenis Panel Surya Monokristalin, Polikristalin dan <i>Thin Film</i>	11
Tabel 2.3 Profil pada <i>Trash Rack</i>	34
Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Listrik.....	46
Tabel 3.2 Spesifikasi Solar Module	48
Tabel 3.3 Spesifikasi Inverter.....	49
Tabel 4.1 Data Beban.....	74
Tabel 4.2 Data Radiasi Matahari NASA.....	76
Tabel 4.3 Luas Penampang Kabel.....	80
Tabel 4.4 Faktor Kode Motor Induksi.....	83
Tabel 4.5 Hasil Simulasi <i>Renewable Penetration</i>	89
Tabel 4.6 Hasil Simulasi PV	89

DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	KETERANGAN	SATUAN
E_{tot}	Beban total	<i>Wh</i>
P_{total}	Daya total	W
<i>t</i>	Waktu pemakaian	jam/hour
$P_{saatnaik} \text{ } ^\circ\text{C}$	Daya pada saat suhu naik $^\circ\text{C}$ dari suhu standar	W
P_{MPP}	Daya keluaran maksimal modul surya	W
Δt	Kenaikan suhu	$^\circ\text{C}$
<i>PV Area</i>	Luas area <i>array</i>	m^2
E_{tot}	Besar pemakaian energi listrik	<i>kWh</i>
<i>GAV</i>	Nilai isolasi harian Matahari	<i>kWh/m2</i>
<i>npv</i>	Efisiensi modul surya	%
<i>TCF</i>	<i>Temperature Correction Factor</i>	-
<i>pnout</i>	Efisiensi output	&
$P_{wattpeak}$	Besar daya yang dibangkitkan PLTS	W_p
PSI	<i>Peak Sun Insolation</i>	W/m^2
F	Gaya tekanan	N
γ	Berat jenis zat cair	N/m^3
A	Luas bidang datar	m^2
I_c	Momen inersia terhadap sumbu orientasi	-
h_p	Jarak vertikal pusat resultan gaya dan muka zat cair	M
I_o	Momen inersia terhadap garis sumbu pusat bidang	m^4
h_o	Jarak vertikal pusat berat bidang dan muka zat cair	M
H_e	Kehilangan energi akibat <i>trash rack</i>	M
ϕ	<i>Koefisien losses</i>	-
s	Tebal elemen	M
a	Sudut kemiringan <i>trash rack</i>	$^\circ$
B	Celah antar 2 elemen	M
V_o	Kecepatan rata-rata dalam aliran	m^3/s

g	Percepatan gravitasi	m/s^2
\bar{a}	Percepatan rata-rata	m/s^2
Δv	Perubahan percepatan	m/s
Δt	Selang waktu	s
v_1	Kecepatan awal	m/s
v_2	Kecepatan akhir	m/s
t_1	Waktu awal	s
t_2	Waktu akhir	s
τ	Momen gaya/torsi	Nm
F	Gaya	N
θ	Sudut	$^\circ$
P	Daya	W
N	Kecepatan putaran	RPM
T	Torsi	Nm
ω	Kecepatan sudut	rad/s
pr	Daya masuk pada beban penuh	kW
P	Daya <i>output</i> motor	kW/HP
η_r	Efisiensi pada beban	%
η	Efisiensi operasi motor	%
Pi	Daya dalam <i>phase</i>	kW
LCC	<i>life cycle cost</i>	-
C	Biaya investasi awal	-
MPW	Biaya nilai sekarang untuk O&M	-
RPW	Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian komponen	-
COE	<i>Cost of Energy</i>	Rp/kWh
A kWh	Energi yang dibangkitkan tahunan	kWh/Thn
BCR	<i>Benefit Cost Ratio</i>	-
CRF	Faktor pemulihan modal	-
NPV	Nilai sekarang bersih	-

b_i	Manfaat pada tahun i	-
c_i	Biaya pada tahun i	-
r	Suku bunga diskonto (<i>discount rate</i>)	-
n	Umur ekonomi proyek	-
IRR	Arus pengembalian internal	-
i_1	Tingkat bunga yang menghasilkan NPV negatif terkecil	-
i_2	Tingkat bunga yang menghasilkan NPV positif terkecil	-
NPV1	Nilai sekarang dengan menggunakan i_1	-
NPV2	Nilai sekarang dengan menggunakan i_2	-
ΣF	Total gaya	N
F_p	Gaya untuk membuka pintu	N
F_s	Gaya pada sampah	N
F_t	Gaya pada <i>trash rack</i>	N
m	Massa	Kg
ρ_s	Massa jenis sampah	kg/m ³
ρ_B	Massa jenis besi	kg/m ³
W	Usaha	Nm
s	Jarak	m
t	Waktu	s
V	Volume	m ³

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fahrudin

NIM : 44222214

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam laporan skripsi ini, yang berjudul "**Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Beban *Trash Rack* di PLTMH Tombolo Pao**" merupakan gagasan, hasil karya saya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

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

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

Makassar, 04 September 2023



Fahrudin
NIM 44222214

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nur Rahmah Firman

NIM : 44222225

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam laporan skripsi ini, yang berjudul "**Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Beban *Trash Rack* di PLTMH Tombolo Pao**" merupakan gagasan, hasil karya saya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

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

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

Makassar, 04 September 2023



Nur Rahmah Firman
NIM 44222225

RINGKASAN

PT. Tombolo Energi merupakan salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang berada di Desa Tombolo Pao, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.

Pada penelitian ini dilakukan evaluasi desain *trash rack* di *waterway* PLTMH

Tombolo Pao untuk pengoptimalan pengoperasian *trash rack* dan dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan matahari dilingkungan sekitar untuk memenuhi energi listrik selama pengoperasian *trash rack* di PLTMH Tombolo Pao.

Pada penelitian ini Teknik analisis data yang dilakukan adalah analisis data metode deskriptif dengan melakukan perhitungan numerik berdasarkan landasan teori dan simulasi *software* Homer Pro, sehingga menghasilkan data perbandingan antara perhitungan numerik dan hasil simulasi.

Hasil evaluasi *trash rack* diperoleh berat total sampah yang dapat diangkat oleh *trash rack* sebesar 1.216 kg dengan waktu angkat 27 sekon dan daya yang digunakan 1.219 Watt. Pengoperasian *trash rack* menggunakan motor listrik *wire rope hoist* dengan spesifikasi daya 4 kW dan beban angkat maksimal 750-1500 kg. Sehingga dirancang sistem PLTS dengan kebutuhan daya 4 kW perhari dengan hasil perhitungan daya puncak sebesar 1.000 Wp. Panel yang digunakan diperoleh dengan jumlah 3 unit 390 Wp dan 1 unit inverter 1.800 W yang terhubung hybrid dengan PLN. Pada perhitungan numerik, produksi energi dari PLTS selama satu tahun adalah sebesar 1.956,4 kWh, sedangkan simulasi HOMER produksi energi yang dihasilkan sebesar 1.878 kWh per tahun. Ditinjau dari sisi kelayakan ekonomi, dengan perhitungan metode *payback* periode. Nilai NPV dari proyek ini adalah senilai Rp 7.981.981,40 bernilai positif, IRR 11,64 % dan BCR 1,26 sehingga proyek ini layak untuk dilaksanakan. Untuk pengembalian modal dengan menghitung PBP dengan hasil 7,2 tahun.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini penggunaan listrik di Indonesia semakin meningkat tiap tahunnya karena semakin banyaknya kebutuhan pasokan listrik, yang menyebabkan kemungkinan emisi energi karbon juga semakin meningkat. Hal ini dapat menyebabkan perubahan iklim yang semakin tidak stabil. Perubahan iklim akan membawa banyak dampak buruk seperti kebakaran hutan, kenaikan level air di permukaan laut, hujan asam dan bencana alam lainnya. Oleh karena itu, perubahan iklim harus dapat dikendalikan. Penggunaan energi listrik di Indonesia sendiri masih menggunakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Terlihat komposisi penggunaan energinya yaitu batu bara 45%, gas alam 27%, minyak sebesar 13%, dan sumber energi lain sebesar 15% (Agung, 2013). Jika digunakan terus menerus, maka ketersediaan energi tak terbarukan akan habis dan menjadi salah satu penyebab terjadinya krisis energi dunia.

Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), Indonesia memiliki target penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 31% atau setara dengan 167,7 GW total potensi EBT di tahun 2050. Namun, per Maret 2017 pembangkit listrik EBT baru mencapai 2% atau setara dengan 8,80 GW (IESR, 2017). Untuk memenuhi capaian target tersebut, sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 maka diperlukan pembangunan tambahan proyek pembangkit EBT sesuai dengan prospek peluang pengembangan EBT ke depan (*potential project*). Salah satunya pembangunan pembangkit listrik EBT, diantaranya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit

Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Data dari *International Renewable Energy Agency* (IRENA) menyebutkan bahwa energi surya di Indonesia memiliki potensi lebih dari 400 GW, angin dan air atau hidro memiliki potensi yang sama, yaitu sebesar 150 GW.

PT. Tombolo Energi merupakan salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang berada di Desa Tombolo Pao, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. PLTMH ini memiliki dua unit turbin yang mana dapat menghasilkan energi listrik sebesar 3 MW yang beroperasi pada tahun 2015 dengan pemanfaatan utama listrik yang dihasilkan untuk penerangan dan keperluan rumah tangga lainnya yang didistribusikan melalui jaringan PLN. Pembangkit Mikrohidro tersebut sudah 8 tahun beroperasi dan pada bagian *trash rack* belum pernah dilakukan perbaikan sehingga pada saat musim penghujan sampah-sampah yang melalui *trash rack* menumpuk dan sebagian tidak tersaring dengan baik yang menyebabkan aliran air terganggu menuju ke *headpond* dan *penstock*. Sedangkan pada musim kemarau debit air tidak dapat tercukupi untuk mengoperasikan 2 unit turbin, dan penyebab kurangnya debit air bisa saja berasal dari tumpukan sampah yang ada di *trash rack* sehingga hal tersebut dapat dianggap kerugian. Pada dasarnya penggunaan *trash rack* pada PLTMH memengaruhi optimalisasi kerja sistem PLTMH. Tujuan dari *trash rack* adalah membatasi masuknya bahan dimensi yang cukup besar ada di air,

yang dapat menyebabkan kurang optimalnya sistem pembangkit bekerja. Aliran air yang akan masuk ke pipa pesat (*penstock*) sering terhalang oleh

benda-benda asing yang tidak diharapkan. Adanya hambatan tersebut mengakibatkan debit air yang masuk ke *penstock* akan berkurang dalam jangka waktu tertentu (Mulyadi, 2014).

Keadaan *trash rack* di PLTMH Tombolo Pao saat ini kurang optimal digunakan, dimana dalam proses pengoperasian *trash rack*, operator terkadang harus turun tangan dalam membersihkan sampah pada *trash rack*. Dalam proses pengoperasian *trash rack* juga masih menggunakan sumber listrik dari PLN. Dengan memanfaatkan sistem *trash rack* yang telah tersedia di PLTMH Tombolo Pao, penulis bermaksud melakukan penelitian merancang sistem PLTS untuk beban motor listrik dalam proses pengoperasian *trash rack* dengan sumber energi terbarukan sinar matahari dilingkungan PLTMH Tombolo Pao yang melimpah. Selain penggunaan PLTS sebagai sumber listrik untuk sistem *trash rack*, juga sebagai sarana edukasi energi terbarukan bagi lingkungan masyarakat sekitar.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penyusunan Skripsi ini, penulis perlu membuat batasan-batasan masalah untuk menghindari pembahasan yang tidak perlu. Adapun pokok pembahasan masalah yang akan dibahas pada skripsi ini adalah :

1. Bagaimana desain sistem *trash rack* PLTMH Tombolo Pao ?
2. Berapa daya PLTS yang dibutuhkan dengan beban *trash rack*?
3. Bagaimana kelayakan dari segi ekonomi sistem perencanaan ini ?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari Skripsi ini, sebagai berikut :

1. Mengevaluasi desain sistem *trash rack* disaluran *water way* PLTMH Tombolo Pao
2. Mendesain sistem PLTS dengan beban motor listrik dari sistem *trash rack* PLTMH Tombolo Pao
3. Menghitung analisis kelayakan ekonomi pada sistem perencanaan PLTS dan desain sistem *trash rack*

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini antara lain :

1. Mengevaluasi sistem *trash rack* PLTMH Tombolo Pao sehingga dapat diperoleh layak atau tidak layaknya sistem *trash rack* tersebut digunakan.
2. Merancang PLTS dengan beban motor listrik pada sistem *trash rack* di PLTMH Tombolo Pao
3. Menghitung kelayakan dari segi ekonomi sistem perencanaan ini

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Bagi Mahasiswa

Penulis mendapatkan pengalaman mendesain PLTS sebagai bentuk penerapan ilmu yang telah diperoleh selama perkuliahan dan penulis mendapatkan kesempatan untuk bekerja sama dengan pihak industri.

1.5.2 Bagi Perusahaan

Sebagai bahan masukan dalam pengembangan PLTMH Tombolo Pao baik dari segi energi yang dibangkitkan maupun meningkatkan nilai profit

perusahaan dengan memanfaatkan potensi Energi terbarukan yang ada dilokasi PLTMH Tombolo Energi.

1.5.3 Bagi Masyarakat

Diharapkan masyarakat setempat dapat lebih tertarik dengan pemanfaatan energi terbarukan serta mengambil peran lebih dalam inovasi Pembangunan PLTS dan dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

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

Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan. Bandingkan dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik. Selain itu gas buang yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (*green house gas*) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita. (Nuryanto, 2021)

Terdapat 2 (dua) sistem utama pembangkit listrik tenaga surya, yaitu sistem *on grid* dan *off grid*, meskipun ada jenis sistem lain yang merupakan sistem hibrida (*hybrid*) yang secara harfiah menggabungkan sistem *on* dan *off grid*

sebagai sebuah kesatuan sistem PLTS. Berikut adalah perbedaan jenis sistem

PLTS tersebut: (Kencana dkk, 2018)

Tabel 2.1 Jenis-Jenis PLTS

	PLTS OFF GRID	PLTS ON GRID	PLTS HYBRID
Deskripsi	Sistem PLTS yang output daya listriknya secara mandiri menyuplai listrik ke jaringan distribusi pelanggan atau tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN	Bisa beroperasi tanpa baterai, karena output listriknya disalurkan ke jaringan distribusi yang telah disuplai pembangkit lainnya (mis. Jaringan PLN).	Gabungan dari sistem PLTS dengan pembangkit yang lainnya (mis. PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu)).
Baterai	Ya, supaya bisa memberikan suplai listrik sesuai kebutuhan beban	Tidak	Bisa off-grid (pakai baterai) atau on-grid (tanpa baterai)
Manfaat	Untuk menjangkau daerah yang belum ada jaringan listrik PLN.	Untuk berbagi beban atau mengurangi beban pembangkit lain yang terhubung pada jaringan yang sama	Memaksimalkan penyediaan energi dari berbagai potensi sumber daya daerah.

Sumber: Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Tenaga Surya (PLTS) Terpusat, 2018

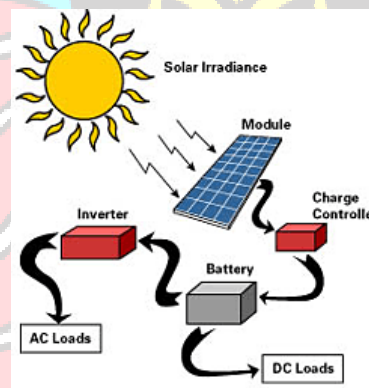
Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah ketika

cahaya bersentuhan dengan sel surya dan diserap oleh bahan semikonduktor,

terjadi pelepasan elektron. Apabila elektron tersebut bisa menempuh

perjalanan menuju bahan semi-konduktor pada lapisan yang berbeda, terjadi perubahan sigma gaya-gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semi-konduktor, menyebabkan aliran medan listrik. Dan menyebabkan elektron dapat disalurkan ke saluran awal dan akhir untuk digunakan pada perabot listrik (Nuryanto, 2021).

Panel surya / *solar cell* sebagai komponen penting pembangkit listrik tenaga surya, mendapatkan tenaga listrik pada pagi sampai sore hari sepanjang ada sinar matahari. Umumnya kita menghitung maksimum sinar matahari yang diubah menjadi tenaga listrik sepanjang hari adalah 5 jam. Tenaga listrik pada pagi sampai sore disimpan dalam baterai, sehingga listrik dapat digunakan pada malam hari, dimana tanpa sinar matahari (Nuryanto, 2021).



Gambar 2.1 Prinsip Kerja PLTS
(Sumber: <https://tenagamatahari.wordpress.com>)

2.2 Potensi Cahaya Matahari

Energi matahari di Indonesia memiliki potensi besar dengan nilai 4,8 kWh/m² atau 112.000 GWp yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai PLTS. Dalam teknologi pemanfaatan potensi cahaya matahari untuk pembangkitan PLTS, terdapat hal-hal yang berperan terhadap jumlah energi

yang dihasilkan, diantaranya adalah DNI (*Direct Normal Irradiance*) yang merupakan jumlah cahaya yang datang secara tegak lurus terhadap permukaan tanah ataupun yang sejajar dengan tanah, DHI (*Diffused Horizontal Irradiance*) yang merupakan nilai yang merepresentasikan jumlah irradiansi matahari yang diterima permukaan dalam kondisi terbiaskan oleh awan dan partikel di atmosfer, serta GHI (*Global Horizontal Irradiance*) yang merupakan total nilai irradiansi gelombang pendek yang diterima bumi pada permukaan yang horizontal atau sejajar dengan tanah (Pratiwi dkk., 2022).

Terdapat dua metode verifikasi data yaitu melalui pengukuran data primer dan data sekunder. Verifikasi data primer dilakukan melalui pengukuran langsung potensi radiasi matahari pada lokasi dimana PLTS akan dibangun, minimal selama 1 tahun. Sedangkan, data sekunder diperoleh dari badan atau otoritas yang memiliki kewenangan untuk menerbitkan data radiasi. Apabila data lama penyinaran matahari dari BMKG tidak tersedia, maka dapat digunakan data citra satelit dari badan seperti NASA, NREL, atau Solargis (Kencana dkk., 2018).



Gambar 2.2 Tampilan Solargis
(Sumber: <http://globalsolaratlas.info>)

2.3 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

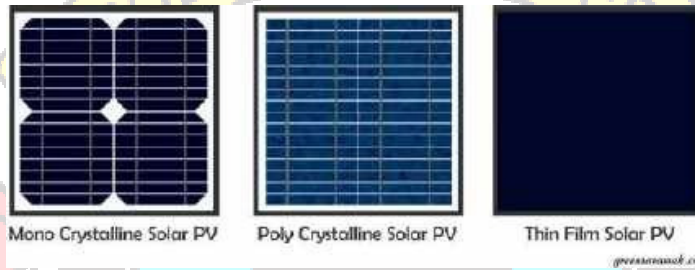
2.3.1 Panel Surya

Sel surya pada dasarnya sebuah foto dioda yang besar dan dirancang dengan mengacu pada gejala fotovoltaiik sehingga dapat menghasilkan daya sebesar mungkin. Sel surya mempunyai pengertian yaitu suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Pengertian tersebut berdasarkan irisan sel surya yang terdiri dari bahan semi konduktor positif dan negatif dengan ketebalan minimum 0,3 mm, yang apabila suatu cahaya jatuh padanya, maka pada kedua kutubnya timbul perbedaan tegangan sehingga menimbulkan suatu arus searah. Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai *junction*. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin sebagai terminal keluaran positif. Di bawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif (Alamsyah dkk., 2019).

Terdapat 2 (dua) jenis panel surya yang umum dijumpai di pasaran, yaitu panel monokristalin dan polikristalin, selain kedua jenis tersebut terdapat pula jenis lain yang agak jarang digunakan yakni panel *thin film*. Panel surya monokristalin dibuat dengan wafer silikon yang dipotong dari kristal tunggal, oleh karena itu disebut dengan nama monokristalin. Panel surya jenis ini umumnya mampu menyediakan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan

dengan panel polikristalin karena panel surya jenis ini biasanya menggunakan tingkat silikon yang lebih tinggi. Panel surya polikristalin, seperti juga jenis

monokristalin, juga terbuat dari silikon. Perbedaan utama adalah bahwa sel surya polikristalin dibuat dengan melelehkan banyak fragmen silikon dan bukan dari kristal silicon tunggal. Kekurangan panel surya polikristalin adalah umumnya efisiensi panel jenis ini lebih rendah dari panel jenis monokristalin, namun harga mereka cenderung lebih ekonomis. (NAGEL dkk., 2022)



Gambar 2.3 Perbedaan Tampilan Fisik Panel Surya Monokristalin dan Polikristalin serta Thin Film (Sumber: NAGEL dkk., 2022)

Berikut adalah tabel perbedaan ketiga jenis panel surya :

Tabel 2.2 Keunggulan dan Kelemahan Jenis Panel Surya Monokristalin, Polikristalin dan Thin Film

NO	Jenis Panel	Keunggulan	Kelemahan
1.	<i>Monocrystalline</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Efisiensi energi tertinggi (hingga 22,5%) ✓ Hemat tempat ✓ Daur hidup umumnya lebih lama ✓ Cenderung lebih efisien pada suhu yang panas/ iklim hangat 	Cenderung lebih mahal daripada jenis panel lainnya
2.	<i>Polycrystalline</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lebih mudah dibuat ✓ Biaya cenderung lebih rendah 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Efisiensi hanya berkisar di angka 14% sd 16%

		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mampu mempertahankan efisiensi di suhu yang tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lebih tidak efisien tempat bila dibandingkan Monokristalin ✓ Cenderung tidak estetik bila dibandingkan jenis monokristalin dan <i>thin film</i>
3.	<i>Thin Film</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lebih mudah diproduksi secara massal ✓ Warna seragam sehingga lebih estetik ✓ Fleksibel ✓ Temperatur tinggi dan shading cenderung lebih tidak berdampak dibandingkan jenis panel surya lain 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Efisiensi area dan energi paling rendah ✓ Daur hidup cenderung lebih rendah dibandingkan jenis panel lain ✓ Cenderung mempunyai garansi paling rendah dibandingkan jenis panel lain

Sumber: (NAGEL dkk., 2022)

Untuk menghitung beban dapat menggunakan persamaan berikut:

$$E_{tot} = \sum P_{total} \times t \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana:

E_{tot} : beban total (Wh)

P_{total} : daya total (Watt)

t : waktu pemakaian (jam/hour)

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja modul sel surya antara lain sebagai berikut (Gifson dkk., 2020):

1. Suhu Modul

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimal jika suhu panel tetap normal pada suhu 25 °C. Kenaikan suhu lebih tinggi dari suhu normal pada panel surya akan melemahkan tegangan *open circuit* (Voc) yang dihasilkan. Setiap kenaikan suhu surya 1 °C (dari 25 °C) akan mengakibatkan berkurangnya daya yang dihasilkan sekitar 0,5% (Schaeer: 1990) ; (Gifson dkk., 2020). Menghitung besarnya daya yang berkurang pada saat suhu di sekitar panel mengalami kenaikan °C dari suhu standar, menggunakan persamaan :

$$P_{saat\ t\ naik\ ^\circ C} = 0,5\ \% \text{ perc } ^\circ C \times P_{MPP} \times \Delta t \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana:

$P_{saat\ naik\ ^\circ C}$: daya pada saat suhu naik °C dari suhu standar (W)

P_{MPP} : daya keluaran maksimal modul surya (W)

Δt : kenaikan suhu (°C)

Daya keluaran maksimum panel surya pada saat suhu naik menjadi t °C dari suhu standar dihitung dengan persamaan (Gifson, Siregar, & Pambudi, 2020) :

$$P_{MPP \text{ Saat naik menjadi } t^{\circ}\text{C}} = P_{MPP} - P_{\text{saat } t \text{ naik }^{\circ}\text{C}} \dots\dots\dots (2-3)$$

P_{MPP} saat t naik menjadi t °C adalah daya keluaran maksimum panel surya pada saat suhu di sekitar panel naik menjadi t °C dari suhu standar. Faktor koreksi temperatur (*Temperatur Correction Factor*) dihitung dengan persamaan (Gifson dkk., 2020) :

$$TCF = \frac{P_{MPP \text{ saat naik menjadi } t^{\circ}\text{C}}}{P_{MPP}} \dots\dots\dots (2-4)$$

2. Intensitas Cahaya Matahari

Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariasi dan sangat bergantung dengan keadaan spektrum matahari ke bumi. Radiasi matahari akan berpengaruh terhadap daya yang dikeluarkan oleh panel.

3. Kecepatan Tiupan Angin

Kecepatan tiupan angin di sekitar lokasi panel surya akan sangat membantu terhadap pendinginan suhu permukaan panel sehingga suhu dapat terjaga di kisaran suhu yang kondusif.

4. Keadaan Atmosfir Bumi

Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis debu udara, asap, uap air, kabut dan polusi sangat menentukan kinerja dari panel surya.

5. Peletakan Panel Surya

Agar energi matahari yang diserap berada pada nilai yang optimal maka permukaan panel surya harus dipertahankan tegak lurus terhadap sinar matahari yang jatuh ke permukaan panel surya. Oleh karena itu peletakan panel surya sangat penting agar kinerja panel surya maksimal.

Perancangan PLTS atap dipengaruhi oleh ketersediaan atap serta luas *array* yang dibutuhkan. Apabila luas *array* < luas atap tersedia, sistem dapat dibangun (Pratiwi dkk., 2022). Kebutuhan luas *array* dihitung melalui persamaan berikut :

$$PV_{area} = \frac{E_{tot}}{G_{av} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out}} \dots \dots \dots (2-5)$$

Dimana :

PVArea : Luas area *array* (m²)

E_{tot} : Besar pemakaian energi listrik (*kWh*)

G_{av} : Nilai isolasi harian Matahari (*kWh/m²*) yaitu daya per unit yang dihasilkan matahari dalam bentuk radiasi elektromagnet per meter persegi

η_{pv} : Efisiensi modul surya (%)

TCF : *Temperature Correction Factor*

η_{out} : Efisiensi output (%)

Adapun yang dimaksud dengan luas area efektif disini adalah area khusus untuk penempatan modul surya, belum termasuk area untuk memudahkan instalasi dan perawatan, serta belum juga termasuk lahan untuk rumah daya, jarak dengan pagar, dan lain-lain. Data yang

diperlukan adalah nilai efisiensi Modul Surya, yang ditentukan berdasarkan spesifikasi Modul Surya yang diinginkan (Kencana dkk., 2018).

Dari perhitungan area *array*, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (*Watt Peak*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{Watt\ Peak} = area\ array \times PSI \times \eta_{pv} \dots \dots \dots (2-6)$$

Dimana :

$P_{wattpeak}$: Besar daya yang dibangkitkan PLTS (*Wattpeak*)

PSI : *Peak Sun Insolation* (PSI) adalah 1000 (W/m^2)

Dalam menentukan jumlah modul sel surya yang akan digunakan, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Pratiwi dkk., 2022) :

$$Jumlah\ Panel\ Surya = \frac{P_{Watt\ Peak}}{P_{MPP}} \dots \dots \dots (2-7)$$

2.3.2 SCC

Salah satu komponen atau alat yang juga ada didalam rangkaian suatu Pembangkit Listrik Tenaga Surya yaitu *Solar Charge Controller* (SCC), atau *Solar Charge Regulator* (SCR), dimana alat ini memiliki fungsi sebagai pengatur arus listrik baik terhadap arus yang masuk dari panel surya menuju baterai maupun arus beban keluar atau digunakan dari suatu baterai. Sehingga dapat menjaga baterai dari pengisian atau pemakaian daya yang berlebihan sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada baterai.

Input daya dan arus SCC ditentukan oleh daya puncak modul surya (W_p), sedangkan output daya dan arus SCC ditentukan oleh Tegangan Kerja Sistem baterai (V_{DC}) (Kencana dkk., 2018).

Total Daya SCC harus di atas Daya Maksimal

Total Arus SCC > W_{peak}

$$\text{Jumlah SCR unit yang dibutuhkan} = \frac{\text{total arus SCR}}{\text{kapasitas arus SCR}} \text{ (unit) (2-8)}$$

; dengan

$$\text{daya SCR} = \frac{W_p}{\text{jumlah SCR}} \text{ (Watt) (2-9)}$$

2.3.3 Inverter

Inverter adalah rangkaian yang mengubah tegangan DC menjadi AC. Atau lebih tepatnya inverter memindahkan tegangan dari sumber DC ke beban AC. Sumber tegangan inverter dapat berupa baterai, Panel Surya maupun sumber tegangan DC lainnya. Berdasarkan gelombang keluaran yang dihasilkan, inverter dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu *square wave*, *modified sine wave*, dan *pure sine wave* (Alamsyah dkk., 2019).

1. *Square Wave* Inverter ini adalah yang paling sederhana. Walaupun inverter jenis ini dapat menghasilkan tegangan 220V AC, 50 Hz namun kualitasnya sangat buruk. Sehingga hanya dapat digunakan pada beberapa alat listrik saja. Hal ini disebabkan karena karakteristik output inverter ini adalah memiliki level total *harmonic distortion* yang tinggi.
2. *Modified Sine Wave* *Modified Sine Wave* disebut juga *Modified Square Wave* atau *Quasy Sine Wave* karena gelombang *modified sine wave* hampir sama dengan *square wave*, namun pada *modified sine wave* outputnya menyentuh titik 0 untuk beberapa saat sebelum pindah ke positif atau negatif. Selain itu karena *modified sine wave* mempunyai *harmonic distortion* yang lebih sedikit dibanding *square wave* maka

dapat dipakai untuk beberapa alat listrik seperti komputer, tv dan lampu. Namun tidak bisa untuk beban-beban yang lebih sensitif.

3. *Pure Sine Wave Pure Sine Wave* atau *true sine wave* merupakan gelombang inverter yang 18 amper menyerupai gelombang sinusoida sempurna, Dengan total *harmonic distortion* (THD) < 3%. Sehingga cocok untuk semua alat elektronika.

Pertimbangan memilih inverter supaya sesuai dengan daya yang dibutuhkan dilakukan menggunakan rumus (Kencana dkk., 2018) :

$$\text{Inverter} = P_{\text{maks}} + (25\% \times P_{\text{maks}}) \text{ (Watt)} \dots\dots\dots(2-10)$$

25% adalah daya cadangan untuk memenuhi kebutuhan *starting* alat listrik.

2.4 *Software Simulasi HOMER*



Gambar 2.4 Logo *Software HOMER Pro*
(Sumber: <https://www.homerenergy.com>)

HOMER Pro merupakan singkatan dari *The Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables*. HOMER Pro adalah sebuah model komputer yang dikembangkan oleh *The National Renewable Energy Laboratory* (NREL) Amerika Serikat untuk optimasi desain sistem pembangkit listrik tersebar dengan output estimasi ukuran/kapasitas sistem, *lifecycle cost*, dan emisi gas rumah kaca. Program ini merupakan salah satu *tool* populer untuk desain sistem pembangkit listrik menggunakan energi terbarukan (Fazri dkk, 2016).

HOMER Pro mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *stand-alone* maupun *grid-connected* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, photovoltaik, mikrohidro, biomassa, generator (diesel/bensin), *microturbine*, *fuel-cell*, baterai, dan penyimpanan hidrogen. Program ini juga dapat digunakan untuk melayani beban listrik maupun termal (Fazri dkk, 2016).

Dalam menjalankan aplikasi HOMER Pro dibutuhkan parameter-parameter yang akan menjadi masukan sebagai variabel penting dalam proses simulasi yang akan dilakukan.

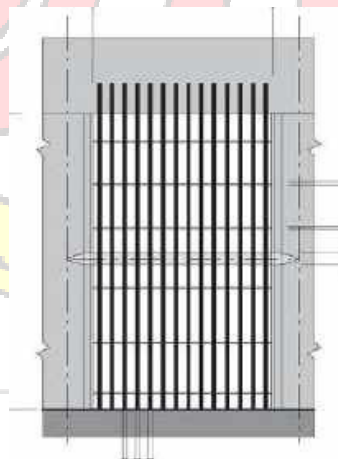
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro merupakan pembangkit listrik tenaga air yang dayanya tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. PLTMH adalah instrumen yang tepat untuk memanfaatkan sungai-sungai di daerah yang belum dialiri listrik. Pemanfaatannya sebagai PLTMH diharapkan dapat membantu masyarakat sekitar untuk meningkatkan keadaan ekonomi dan memenuhi kebutuhan konsumsi listrik di daerah (Syahrial dkk, 2019). Secara teknis, mikrohidro mempunyai tiga komponen utama yaitu air sumber energi, turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu melalui pipa pesat menuju rumah instalasi (*power house*). Di rumah instalasi, air tersebut akan menumbuk turbin sehingga akan menghasilkan

energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Putaran poros turbin ini akan memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik.

2.6 *Trash Rack*

Trash rack digunakan di *intake* pembangkit listrik, *intake* pabrik pemompaan, *headwork* kanal dan di dalam kanal untuk meminimalisir lewatnya puing-puing besar yang mengapung dan terendam, hal ini akan menyebabkan kerusakan atau masalah operasional di struktur dan peralatan hilir. Puing-puing tersebut dapat merusak turbin, pompa, katup, gerbang, layar, dll. Selain menggunakan *trash rack* untuk mencegah masuknya puing-puing besar yang tidak diinginkan, mungkin juga perlu mencegah dan membuang puing-puing agar aliran air tidak terhalang. Oleh karena itu, metode pembersihan *trash rack* harus ditentukan, dan alat pembersih yang mampu menghilangkan kotoran dari *trash rack* mungkin juga diperlukan. Perangkat pembersih dapat bervariasi berupa penggerak yang dioperasikan secara manual hingga mesin pembersih mekanis yang canggih dan otomatis. Jenis alat pembersih yang dipilih harus bergantung pada kebutuhan khusus di lokasi (Girgis & Chief, 2016).



Gambar 2.5 *Trash Rack*
(Sumber: A Miltenovic, 2019)

2.7 Jenis-jenis *Trash rack*

Trash rack dapat dibagi menjadi tiga jenis sesuai dengan persyaratan konstruksi dan pemasangan. (Girgis & Chief, 2016)

2.7.1 *Trash rack End Bearing*

End bearing adalah *trash rack* yang paling sederhana (dan biasanya paling murah) dari tiga jenis rak. Bar sampah berjalan dari atas ke bawah dan secara individual membawa muatan ke dalam struktur *Trash rack*. *Trash rack end bearing* biasanya digunakan untuk *headwork* kanal dan di mana panel *trash rack* dapat memanjang dari atas ke bawah area yang dilindungi rak. Karena karakteristik *end bearing*, *trash rack* ini dapat dipasang berdampingan untuk mendapatkan area yang diinginkan. *Trash rack end bearing* sangat ideal jika ada kondisi *head* yang rendah dan area *trash rack* yang besar diperlukan. *Trash rack end bearing* biasanya dipasang pada posisi miring, namun, dapat juga digunakan dalam posisi vertikal atau hampir vertikal jika perawatan yang tepat dilakukan untuk mengamankan *rake* dengan klip atau jangkar ekspansi. Dalam instalasi di mana jeruji sampah terlalu panjang, akan menguntungkan secara ekonomi untuk memasang satu atau lebih balok penyangga secara menyamping ke *rake*. Balok penyangga, yang memikul dan membawa beban *trash rack* ke sisi struktur *trash rack*, memberikan penyangga lateral pada palang sampah sehingga bentang muatannya lebih pendek, sehingga mengurangi ukuran palang sampah.

2.7.2 *Trash rack Side Bearing*

Side bearing didukung oleh struktur *trash rack* di kedua sisi rak. Batang sampah berjalan dari atas ke bawah dan didukung oleh batang atau balok lateral, yang membawa beban ke setiap sisi rak. Rak didukung atau ditahan oleh pemandu atau alur yang disediakan dalam struktur *trash rack*. *Trash rack side bearing* biasanya dipasang dalam posisi vertikal, tetapi dapat digunakan secara efektif dalam posisi miring, dan terkadang digunakan dalam posisi tengkurap. *Trash rack side bearing* digunakan untuk kondisi kepala tinggi atau rendah, dan kadang-kadang diganti dengan *trash rack* bantalan ujung ketika struktur pendukung *trash rack* tidak dapat menahan beban bantalan tinggi di bagian atas. Hal yang harus diperhatikan desain pembatas utama untuk rak sampah bantalan samping adalah bentang, yang secara langsung berkaitan dengan ekonomi. *Trash rack* bantalan samping dapat ditumpuk dalam tingkatan untuk mendapatkan ketinggian yang dirancang dan mungkin memerlukan pasak pelurus untuk memungkinkan pembersihan.

2.7.3 *Trash rack Integral*

Trash rack integral adalah kombinasi dari beberapa panel yang terbuat dari jeruji sampah dengan balok atau elemen penyangga lateral. *Trash rack integral* dapat berbentuk lingkaran, tiga sisi, atau kotak. Elemen ini dapat dirancang dengan superstruktur yang memiliki panel *trash rack* yang dimasukkan ke dalam struktur atau dengan panel bertulang yang dilas atau dibaut bersama. Anggota pendukung membentuk kerangka kaku multisisi,

yang membawa muatan ke dalam struktur pendukung rak sampah. *Trash rack integral* menyederhanakan struktur *trash rack* dengan menghilangkan sebagian besar penyangga beton yang biasanya diperlukan untuk *trash rack*.

Trash rack integral biasanya digunakan dalam aplikasi yang terendam dalam, seperti *penstocks* atau sistem outlet penarikan bertingkat, dan biasanya tidak dimaksudkan untuk diganti selama masa pakai struktur.

2.8 Pemilihan Jenis *Trash rack*

Jenis rak yang sesuai untuk suatu instalasi harus sesuai dengan struktur *trash rack*, untuk ukuran dan jumlah kotoran dan sampah yang diharapkan, dan untuk metode pembersihan (penggarukan), jika diperlukan. Selain itu, jenis rak yang dipilih akan bergantung pada aksesibilitasnya untuk pemeliharaan atau penggantian. Rancangan rak, termasuk jarak palang, harus didiskusikan dengan insinyur yang bertanggung jawab atas rancangan struktur dan peralatan yang dilindungi. Kebutuhan akan alat pembersih rak sampah harus diidentifikasi dalam permohonan data desain karena dapat mempengaruhi desain rak sampah dan struktur pendukungnya. Saat memilih jenis *trash rack*, tren berikut umum terjadi (Girgis & Chief, 2016):

1. Pada *headwork* kanal dan untuk instalasi pemompaan di mana satu baris bagian rak dengan jarak menyamping memanjang dari atas permukaan air ke bagian bawah area yang dilindungi rak, rak sampah bantalan ujung biasanya telah dipilih dan dipasang pada posisi miring.

2. Jika sebagian rak terendam dalam, rak sampah bantalan samping biasanya dipilih dan dipasang pada posisi vertikal.

3. Pada *intake* yang benar-benar terendam, rak sampah tipe integral sangat cocok.

2.9 Pertimbangan Desain *Trash rack*

Jika sebagian rak terendam dalam, *trash rack* bantalan samping biasanya dipilih dan dipasang pada posisi vertikal. Pada *intake* yang benar-benar terendam, *trash rack* tipe integral sangat cocok. Kecepatan pendekatan (aliran maksimum dibagi dengan keseluruhan area *trash rack*) untuk setiap struktur harus ditentukan berdasarkan kasus per kasus. Sebagian besar struktur *trash rack* berukuran untuk memberikan kecepatan pendekatan maksimum 1 hingga 2 kaki per detik (ft/s) untuk aliran normal. Kecepatan pendekatan yang lambat ini mengurangi kecenderungan untuk mengumpulkan puing-puing ke rak, meminimalkan kemungkinan getaran *trash rack*, dan memberikan kondisi yang relatif aman bagi personel yang tidak berwenang seperti pelaut atau perenang. *Trash rack* dengan kecepatan rendah lebih mudah dibersihkan, dan kotoran tidak mudah tersangkut di antara jeruji *trash rack*. Kehilangan *head* hidraulik melalui *trash rack* dapat dikurangi secara efektif dengan meminimalkan kecepatan pendekatan. *Trash rack* yang dirancang dengan kecepatan rendah umumnya tidak memiliki masalah getaran yang merusak dan dapat dirancang tanpa memperhitungkan getaran panel tempat sampah dan panel *trash rack* individual. Berdasarkan pengujian dan observasi lapangan, kecepatan tidak selalu seragam melalui area *trash rack*. Pertimbangan harus selalu diberikan pada lokasi, ukuran, dan pola aliran struktur tempat sampah untuk

membantu merancang distribusi aliran terbaik di seluruh tempat sampah.
(Girgis & Chief, 2016)

Area *trash rack* yang diperlukan untuk mencapai kecepatan pendekatan 1 hingga 2 ft/dtk diinginkan tetapi tidak selalu praktis. Kecepatan pendekatan yang lebih tinggi telah digunakan untuk mengukur area *trash rack* untuk membatasi ukuran fisik struktur dan, dengan demikian, mengurangi biaya modal. Pengujian pada *trash rack* mengungkapkan kecepatan yang tidak seragam akan terjadi di area rak sampah. Kecepatan lokal bisa mencapai dua kali kecepatan rata-rata, tergantung pada geometri struktur *trash rack*. Selain itu, pada *intake* dengan lebih dari satu bukaan per unit, aliran air tidak terdistribusi secara merata di antara bukaan. Dengan dua bukaan per unit, desain *trash rack* harus memungkinkan dua pertiga air mengalir melalui salah satu dari dua bukaan. Dengan tiga bukaan per unit, desain rak sampah harus memungkinkan 45 persen air mengalir melalui salah satu dari tiga bukaan. Pada kecepatan pendekatan yang lebih tinggi (biasanya lebih besar dari 5 ft/s), getaran bisa menjadi masalah.

Banyak faktor yang harus dipertimbangkan ketika memutuskan seberapa besar untuk merancang kecepatan pendekatan, seperti (Girgis & Chief, 2016) :

- Ekonomi.
- Pertimbangan keselamatan.
- Lokasi struktur *trash rack* di dalam sistem.
- Jumlah puing-puing yang diharapkan.

- Kondisi terendam.
- Umur struktur; misalnya, struktur baru mungkin memiliki lebih banyak puing daripada struktur lama.
- Jenis penggunaan; misalnya, *outlet* kanal dan struktur *intake* sungai.
- *Intake* hidrolika dan arus konstan.
- Jenis dan perkiraan jumlah puing-puing dan sedimen yang mungkin ada di air.
- Apakah *trash rack* akan dibersihkan dan, jika ya, metode pembersihan apa yang akan dilakukan.

Jika *trash rack* akan disapu, pertimbangan khusus harus dibuat. Metode penggarukan yang berbeda membutuhkan kemiringan yang berbeda untuk rak sampah. Umumnya, *trash rack* dengan tangan dirancang dengan kemiringan yang sedatar (*horizontal*) mungkin (biasanya 45 derajat atau lebih rata) dan kecepatan pendekatan 1 kaki/dtk. *Trash rack* yang akan disapu secara mekanis biasanya harus memiliki sudut kemiringan antara 5 hingga 30 derajat dari vertikal dan kecepatan pendekatan 2 ft/s; namun, beberapa penggaruk juga dapat membersihkan *trash rack* vertikal. Panel *trash rack* yang akan disapu dan ditumpuk dalam tingkatan (biasanya *trash rack* tipe bantalan samping) harus dijaga agar tetap sejajar, biasanya dengan memberikan pin dowel besar di antara panel. Bagian samping dari *trash rack* juga harus tersembunyi minimal 1,50 inci dari muka jeruji *trash rack*,

jika memungkinkan, untuk mencegah gangguan pada gigi perangkat pembersih. Perpanjangan rak sampah atau penambahan panjang batang

sampah *trash rack* mungkin juga diperlukan jika perangkat pembersih perlu menyapu sampah ke dalam sistem pengangkutan sampah yang terletak di atas geladak (Girgis & Chief, 2016) .

Trash rack biasanya tidak dirancang untuk menjadi perangkat pelarian atau fitur keselamatan, tetapi kadang-kadang dapat melakukan fungsi itu. Setiap kali *trash rack* dimaksudkan terutama sebagai rak keselamatan (pelarian) untuk melindungi manusia atau hewan agar tidak terseret ke dalam struktur, *siphon*, atau saluran, aspek berikut harus dipertimbangkan:

1. Kecepatan pendekatan harus kurang dari 2 ft/s dengan kekuatan arus minimal;
2. Kemiringan *trash rack* 4:1 (rasio horizontal terhadap vertikal) atau lebih rata (lebih disukai 6:1); dan
3. Jarak penopang lateral (batang silang) harus berjarak 15 to bukaan bersih kurang dari atau sama dengan 1 inci juga telah digunakan untuk mencegah masuknya ikan. Catatan: *trash rack* tidak dimaksudkan untuk digunakan sebagai saringan ikan; oleh karena itu, perlu untuk memeriksa kriteria yang sesuai dari pengelolaan sumber daya ikan yang bertanggung jawab dan badan pengatur karena bukaan kecil ini mungkin masih belum memenuhi kriteria untuk ukuran dan spesies ikan di lokasi tersebut.

Bukaan kecil juga dapat mengakibatkan penumpukan puing yang berlebihan, pemuatan, dan persyaratan pembersihan. Untuk mendesain

sebuah *trash rack*, beban desain yang bekerja harus ditentukan terlebih dahulu. Bukaan bening 1,5 hingga 2 inci umumnya digunakan untuk aplikasi kanal dan di mana *trash rack* berada di hulu dari saringan air dan saringan ikan. 18 inci untuk memfasilitasi pendakian untuk melarikan diri. Jarak maksimum antara bilah *trash rack* tidak boleh lebih dari 8 inci; namun, jaraknya harus cukup besar untuk memungkinkan tangan menjangkau diantara jeruji *trash rack* untuk meraih jeruji silang (Girgis & Chief, 2016) .

Meratakan kemiringan *trash rack* dan menyediakan palang silang yang cukup untuk memfasilitasi pendakian untuk melarikan diri adalah modifikasi yang dapat menjadikan rak pengaman sebagai alat untuk melarikan diri. Rak pengaman akan membutuhkan perawatan tambahan, jadi sebaiknya hanya digunakan jika masalah perawatan yang terkait dengan puing-puing tidak parah (Girgis & Chief, 2016) .

2.10 Desain *Trash rack* Untuk Struktur Hidrolik

Selain masalah ekonomi, pengoperasian dan pemeliharaan, desain *trash rack* untuk struktur hidrolik harus mempertimbangkan empat faktor penting : (Girgis & Chief, 2016)

- a) Tekanan statik pada *trash rack*
- b) Jarak antara jeruji
- c) *Head loss*
- d) Getaran

Head loss akibat pemasangan *trash rack*, dengan sendirinya, merupakan faktor yang sangat penting dalam desain dan perencanaan *trash rack*, karena penerapan tindakan yang tidak tepat akan mengakibatkan hilangnya energi yang cukup besar sepanjang umur. Terlepas dari bentuk batang dan sudut *trash rack* dan memungkinkan estimasi kerugian pada kondisi tersumbat sebagian; semua elemen sampah harus dipertimbangkan bersama, untuk menghitung tekanan stasis pada *trash rack* di pakai persamaan sebagai berikut :

2.10.1 Tekanan statik pada *trash rack*

Fluida dikatakan statis, jika fluida tersebut diam ($v = 0$) atau bergerak dengan kecepatan tetap ($a = 0$). Pada fluida yang diam, tidak terjadi tegangan geser (τ) di antara partikel-partikelnya, dan untuk zat cair akan mempunyai permukaan horizontal dan tekanan yang tetap. Apabila suatu benda berada di dalam zat cair yang diam, maka akan mengalami gaya yang diakibatkan oleh tekanan zat cair. Tekanan tersebut bekerja tegak lurus terhadap permukaan benda.

1. Gaya tekanan terhadap bidang datar

Bidang datar yang berhubungan dengan zat cair akan bekerja gaya tekanan yang besarnya adalah (Saiby, 2019) :

$$F = P A \quad dF = P dA \quad \text{atau} \quad dF = \gamma h dA$$

Gaya tekanan total adalah

$$F = \int \gamma h dA$$

$$F = \gamma \int h dA \quad \longrightarrow \quad \int h dA$$

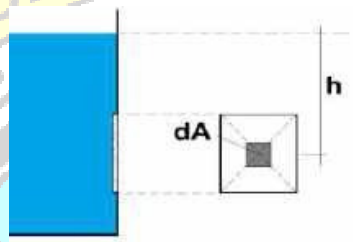
Dimana :

F : Gaya tekanan (N)

γ : berat jenis zat cair (N/m³)

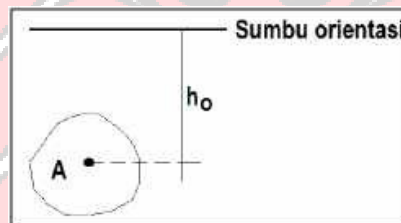
h : jarak vertikal pusat bidang datar dan permukaan zat cair (m)

dA : Luas bidang datar (m²)



Gambar 2.6 Momen Statis
Sumber: (Saiby, 2019)

Momen statis (*first moment of an area*) bidang A terhadap sumbu orientasi adalah:



Gambar 2.7 Momen Statis terhadap Sumbu Orentasi
Sumber: (Saiby, 2019)

$$M = h \cdot A \quad \text{dengan} \quad \int h \, dA$$

Momen statis bidang A terhadap sumbu X yang besarnya sama dengan $h_0 A$ dimana A luas bidang dan h_0 adalah jarak pusat berat luasan terhadap sumbu orientasi.

Jadi Resultan gaya total adalah :

$$F = \gamma h_0 A \dots\dots\dots (2-11)$$

Dimana :

F : Gaya tekanan (N)

γ : berat jenis zat cair (N/m³)

h_0 : jarak vertikal pusat berat bidang datar dan permukaan zat cair (m)

A : Luas bidang datar (m²)

Momen gaya tekanan terhadap titik permukaan zat cair adalah sama dengan jumlah momen gaya tekanan pada seluruh luasan terhadap titik permukaan zat cair, sehingga dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut (Saiby, 2019) :

$$F \cdot h_p = \int_A p \cdot dA \cdot h$$

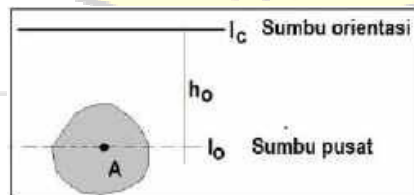
$$\gamma \cdot h_0 \cdot A \cdot h_p = \int_A \gamma \cdot h^2 \cdot dA \quad \text{atau}$$

$$= \gamma \int_A h^2 \cdot dA$$

Momen inersia (*second moments of an area*)

$$\int_A h^2 \cdot dA$$

Momen inersia (*second moments of an area*) bidang A terhadap sumbu orientasi, maka dari gambar disamping dapat dijelaskan sebagai berikut (Saiby, 2019) :



Gambar 2.8 Momen Inersia terhadap Sumbu Orientasi
Sumber: (Saiby, 2019)

$$I_c = I_o + A \cdot h_o^2 \dots \dots \dots (2-12)$$

Dimana :

I_c : momen inersia terhadap sumbu orientasi,

I_o : momen inersia terhadap garis sumbu pusat A dan sejajar terhadap garis sumbu c,

A : luas bidang A

$$h_p = \frac{\int_A h^2 \cdot dA}{A \cdot h_o} \quad \longrightarrow \quad \int_A h^2 \cdot dA \quad \longrightarrow \quad I_c = I_o + A \cdot h_o^2$$

$$h_p = \frac{I_o + A \cdot h_o^2}{A \cdot h_o} \quad \longrightarrow \quad h_p = h_o + \frac{I_o}{A \cdot h_o} \dots \dots \dots (2-13)$$

Dimana :

h_p : jarak vertikal pusat resultan gaya dan muka zat cair (m)

I_o : momen inersia terhadap garis sumbu pusat bidang (m^4)

h_o : jarak vertikal pusat berat bidang dan muka zat cair (m)

A : Luas bidang datar (m^2)

2.10.2 Jarak antara Jeruji

Jarak dari masing-masing *trash rack* harus dipilih agar sesuai dengan peralatan yang dilindungi. Praktek yang biasa dilakukan adalah menyediakan bukaan yang jelas seluas mungkin, sambil tetap melindungi peralatan hilir. Jarak batang sampah yang lebih dekat dari yang dibutuhkan akan mengakibatkan kehilangan tekanan hidrolik yang tidak perlu dan akan menyebabkan rak tersumbat sebelum waktunya. Bukaan bening 1,5 hingga 2 inci umumnya digunakan untuk aplikasi kanal dan di mana *trash rack*

berada di hulu dari saringan air. Jarak terbesar tempat sampah biasanya 6 inci. Dukungan lateral biasanya berjarak antara 18 dan 30 inci (Girgis & Chief, 2016) .

Untuk turbin Francis, Kaplan, atau baling-baling, jarak harus lebih kecil dari bukaan minimum pada kisi-kisi turbin atau bukaan maksimum, mana yang lebih kecil. Untuk turbin Pelton, jarak minimum 1,5 inci biasanya digunakan karena kotoran tidak dapat dengan mudah melewati nosel katup jarum. Bukaan bersih kurang dari atau sama dengan 1 inci juga telah digunakan untuk mencegah masuknya ikan. Catatan: *trash rack* tidak dimaksudkan untuk digunakan sebagai saringan ikan; oleh karena itu, perlu untuk memeriksa kriteria yang sesuai dari pengelolaan sumber daya ikan yang bertanggung jawab dan badan pengatur karena bukaan kecil ini mungkin masih belum memenuhi kriteria untuk ukuran dan spesies ikan di lokasi tersebut. Bukaan kecil juga dapat mengakibatkan penumpukan puing yang berlebihan, pemuatan, dan persyaratan pembersihan (Girgis & Chief, 2016) .

2.10.3 Kehilangan Energi pada *trash rack* (*Head Loss*)

Terjadi dua macam kehilangan energi pada saluran yaitu *major losses* dan *minor losses*. *Major losses* adalah kehilangan energi yang ditimbulkan akibat gesekan dengan dinding pipa. Sedangkan *minor losses* diakibatkan oleh tumbukan dan turbulensi, misal terjadi pada saat melewati kisi-kisi

(*trash rack*) perubahan penampang, belokan dan lain-lain (Widyanto S, 2010) .

Menurut O. Kirschmer :

$$H_e = \varphi \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^{4/3} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (2-14)$$

Keterangan :

H_e : kehilangan energi akibat *trash rack* (m)

φ : Koefisien *losses* untuk elemen dengan bentuk segi empat = 2,42

s : tebal elemen (m)

α : sudut kemiringan *trash rack* (°)

B : celah antar 2 elemen (m)

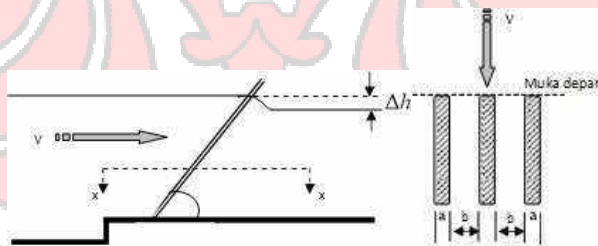
V : kecepatan rata-rata dalam aliran (m^3/s)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

Tabel 2.3 Profil pada *Trash Rack*

Profil	A	B	C	D	E	F	G
φ	2,42	1,83	1,67	1,03	0,92	0,76	1,79

Sumber: (Widyanto S, 2010)



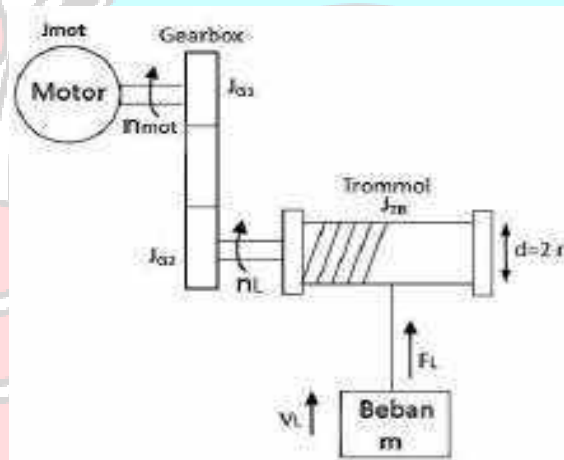
Gambar 2.9 Potongam Pada *Trash Rack*
(Sumber: Widyanto S, 2010)

2.11 Mesin Penggerak

Mesin penggerak adalah suatu mesin yang amat vital dalam proses permesinan yang berhubungan dengan gaya mekanik yang bertujuan untuk mendapat efek gerakan pada suatu komponen yang diam dengan adanya

mesin penggerak maka komponen itu berkerja dengan semestinya. (Ulaan dkk., 2022)

Motor listrik *wire rope hoist* digunakan pada *trash rack* PLTMH tombolo pao agar memudahkan untuk menaikkan dan menurunkan *trash rack*. Motor ini menggunakan *chain* atau *wire rope* yang dipasang pada sebuah drum serta dilengkapi dengan *chain guide/rope guide*. Pada bagian drum tersebut terhubung dengan *gearbox* dan *electrical* motor sehingga bisa berputar untuk menurunkan atau menaikkan beban.



Gambar 2.10 Skema Motor listrik *Wire Rope Hoist*
Sumber : (AHMAD dkk., 2016)

2.12 Analisis Kelayakan Ekonomi

Keputusan dalam menganalisis investasi mempunyai peran penting terhadap perkembangan atau pertumbuhan suatu perusahaan. Menurut (Trimintarsih, 2016) analisis kelayakan memiliki beberapa metode diantaranya analisis keuntungan dan biaya (*Benefit Cost Ratio*), nilai sekarang (*Net Present Value*), laju pengembalian modal (*Internal Rate of Return*), IRR (*Internal rate of Return*) dan BCR (*Benefit Cost Ratio*). Waktu

pengembalian modal dihitung dengan metode *Pay Back Period* (PBP). Untuk menghitung beberapa metode analisis ekonomi tersebut, terdapat beberapa aspek yang harus dihitung.

2.12.1 LCC (*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 (Suhendar, 2022) :

$$LCC = C + M_{PW} + R_{PW} \dots \dots \dots (2-15)$$

Dengan:

LCC : Biaya Siklus hidup (*life cycle cost*)

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

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

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% (Jais,2012) ; (Suhendar, 2022) . Adapun besar

biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$M = 1\% \times \text{total biaya investasi (C)} \dots\dots\dots(2-16)$$

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai sekarang (*present value*) untuk biaya pemeliharaan dan operasional (MPW) PLTS sebagai berikut (Suhendar, 2022) :

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \dots\dots\dots (2-17)$$

Dengan:

P : Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek

A : Biaya tahunan.

i : Tingkat diskonto.

n : Umur proyek.

2.12.2 Faktor Diskonto

Faktor diskonto (*Discount factor*) adalah faktor yang digunakan untuk nilai penerimaan-penerimaan di masa mendatang sehingga dapat dibandingkan dengan pengeluaran pada masa sekarang. Sedangkan tingkat diskonto yang digunakan untuk penerimaan-penerimaan tersebut dapat berupa tingkat suku bunga pasar (tingkat suku bunga bank). Adapun persamaan faktor diskonto adalah sebagai berikut (Suhendar, 2022) :

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \dots\dots\dots (2-18)$$

Dengan:

DF : Faktor diskonto.

i : Tingkat diskonto.

n : Periode dalam tahun (umur investasi).

2.12.3 Biaya Energi (*Cost of Energy*)

Perhitungan biaya energi (*cost of energy*) suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan kWh produksi tahunan PLTS yang didesain. Biaya energi (*cost of energy*) PLTS diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut (Suhendar, 2022) :

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \dots\dots\dots (2-19)$$

dengan:

COE : *Cost of Energy* atau Biaya Energi (Rp/kWh).

CRF : Faktor pemulihan modal.

A kWh : Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun)

Faktor pemulihan modal dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots (2-20)$$

Sedangkan untuk energi yang dibangkitkan pertahun menggunakan persamaan :

$$A \text{ kWh} = \text{kWh produksi harian} \times 365 \dots\dots\dots (2-21)$$

2.12.4 *Net Present Value* (NPV)

Menurut (Armaeni dkk., 2017), metode *Net Present Value* ini sering digunakan untuk penilaian usulan proyek, apabila NPV positif maka dana yang diinvestasikan tersebut dapat menghasilkan PV arus kas lebih tinggi dari PV investasi awal. Dan sebaliknya apabila NPV negatif maka dana yang diinvestasikan tersebut dapat menghasilkan PV arus kas lebih rendah dari PV investasi awal. Berikut adalah rumus *net present value* :

$$NPV = \sum(\text{Arus kas netto} \times \text{faktor diskonto}) - \text{Investasi awal} \dots\dots\dots (2-22)$$

Apabila NPV positif atau $NPV > 0$ proyek diterima. Sebaliknya apabila $NPV < 0$ maka proyek tersebut tidak layak, apabila $NPV = 0$ maka usulan proyek tersebut netral dan perlu ditinjau kembali (Sakinah dkk., 2021).

2.12.5 IRR (*Internal Rate Of Return*)

Metode tingkat pengembalian internal (*internal rate of return*) berdasarkan pada nilai tingkat bunga (*discount rate*) dimana tingkat bunga yang menyamakan *present value cash inflow* dengan jumlah investasi awal dari proyek yang akan dinilai. *Internal Rate of Return* digunakan untuk mengetahui tingkat pada kondisi $NPV = 0$, sehingga dengan mengetahui tingkat bunga saat ini dan juga kecenderungannya di masa mendatang maka dapat diambil keputusan untuk mengimplementasikan suatu kegiatan. Besarnya IRR harus lebih besar dari tingkat bunga yang digunakan saat ini (Sakinah dkk, 2021). Berikut rumus *internal rate of return* :

$$IRR = i_r + \frac{NPV_r}{NPV_r - NPV_t} \times (i_t - i_r) \dots \dots \dots (2-23)$$

dimana:

IRR : arus pengembalian internal

i_r : tingkat bunga yang menghasilkan NPV terkecil

i_t : tingkat bunga yang menghasilkan NPV terkecil

NPV_r : nilai sekarang dengan menggunakan i_r

NPV_t : nilai sekarang dengan menggunakan i_t

Apabila $IRR > discount\ factor$, maka usulan proyek diterima.

Sebaliknya, apabila $IRR < discount\ factor$, maka usulan proyek tersebut

belum dapat diterima (Sakinah dkk, 2021).

2.12.6 Benefit Cost Ratio (BCR)

Benefit Cost Ratio (BCR) merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Teknik ini juga sering disebut dengan model rasio manfaat biaya. Teknik BCR Dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Suhendar, 2022) :

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n NCF_t(1+i)^{-t}}{C} \dots\dots\dots (2-24)$$

Dengan :

NCF_t : *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).

2.12.7 Pay Back Period (PBP)

Pay back periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian biaya investasi dari proyek yang dikerjakan. Untuk mendapatkan nilai *payback period* dengan cara membagi biaya investasi keseluruhan sistem dengan pendapatan yang dihasilkan oleh pembangkit dalam setahun. (Danu, 2020). *Pay back periode* dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Pay\ Back\ Period\ (t) = \frac{Biaya\ investasi\ keseluruhan}{pendapatan\ pertahun} \dots\dots\dots (2-25)$$

Pay back periode dapat dikatakan layak jika waktu pengembalian biaya investasi lebih kecil dari waktu proyek yang dikerjakan atau *lifetime* sistem.

BAB III METODE KEGIATAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Lokasi Penelitian ini dilakukan di PLTMH Tombolo Pao, Kec. Tombolo Pao, Kabupaten Gowa dan di Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Pada bulan Maret 2023 sampai dengan Agustus 2023.

3.2 Alat dan Bahan

Berikut adalah alat dan bahan yang akan kami gunakan untuk pengambilan data, simulasi, dan pengolahan data selama penelitian ini:

3.2.1 Mengukur di Lapangan :

- Meteran/rambu ukur untuk mengukur kedalaman saluran pada PLTMH
- *Current meter* untuk mengukur kecepatan aliran saluran pada PLTMH
- Tali rafia membantu dalam proses pengukuran debit air (penentuan titik pengukuran)
- *Solar Power meter* untuk mengukur radiasi matahari

3.2.2 Penyusunan Laporan

- *Software Solar Atlas* untuk mendapatkan informasi penggunaan energi pada sebuah lokasi seperti *Specific photovoltaic power output, Direct normal irradiation, Global horizontal irradiation, Diffuse horizontal irradiation, Global tilted irradiation at optimum angle, Optimum tilt of PV modules, Air temperature* dan *Terrain elevation*.
- *Software Homer Pro* untuk melakukan simulasi perancangan PLTS

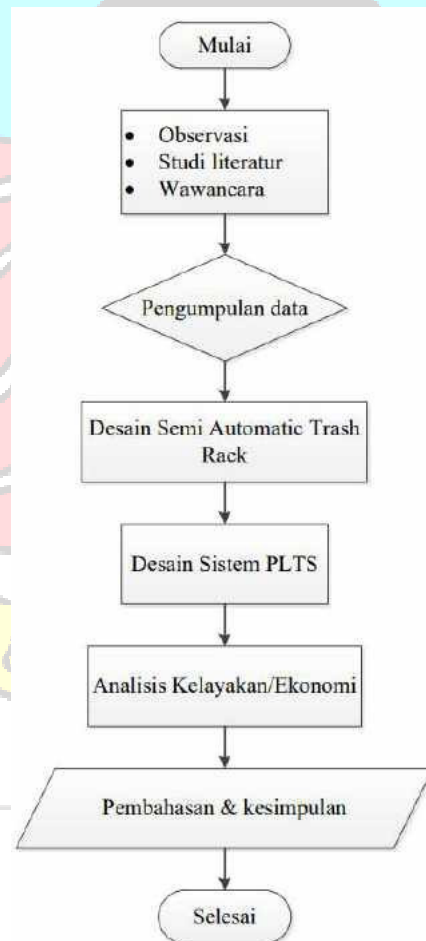
- *Software* google Earth untuk melihat peta lokasi
- *Software* Sketchup dan AutoCAD untuk menggambar pemodelan 2D dan 3D desain pada penelitian ini.

3.3 Prosedur/Langkah Kerja

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

3.3.1 Tahap Penelitian

Tahap penelitian dilakukan dengan membagi kegiatan kedalam tahapan - tahapan berikut ini :



Gambar 3.1 *Flowchart* Tahap Penelitian

3.3.2 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini Teknik analisis data yang dilakukan adalah analisis data metode deskriptif dengan melakukan perhitungan numerik berdasarkan landasan teori dan simulasi *software* HomerPro, sehingga menghasilkan data perbandingan antara perhitungan numerik dan hasil simulasi. Adapun beberapa tahapan dalam proses pengumpulan data, yaitu:

1. Teknik Observasi (*Field Research*)

Penulis melakukan pengukuran secara langsung di lapangan terhadap obyek penelitian untuk memperoleh data-data yang akan diperlukan. Pada penelitian ini ada beberapa parameter yang diukur secara langsung.

2. Studi Literatur

Penulis mengumpulkan data-data dengan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur yang ada sesuai dengan masalah yang diteliti.

3. Wawancara (*Interview*)

Salah satu teknik pengumpulan data yang dilakukan oleh peneliti untuk memperoleh informasi tentang PLTMH dengan bertanya langsung pada pengelola pembangkit listrik tersebut

3.3.3 Pengambilan Data

Berikut adalah pengambilan data primer pada penelitian ini :

1. Pengukuran Debit air untuk sistem Semi Otomatis *trash rack*. Dalam proses pengukuran debit ini menggunakan *Current Meter* dengan prosedur sebagai berikut :

- Mengukur Panjang saluran yang akan diukur debitnya
- Membuat sketsa dan menentukan tiga titik lokasi pengukuran lalu diberi tanda menggunakan tali rafia
- Mengukur kedalaman sungai pada ketiga titik yang telah ditentukan, lalu catat.
- Di titik I, diukur kecepatan aliran sungai pada kedalaman 0,3 m, titik II pada kedalaman 0,3 m dan 1 m dan titik III pada kedalaman 0,2 m menggunakan alat ukur *current meter*.
- Mencatat hasil pengukuran

3.3.4 Tahap Perancangan

Pada penelitian ini yang akan dirancang adalah PLTS dengan beban motor listrik sistem *trash rack*. Prinsip kerja pada perancangan PLTS ini adalah menggunakan sistem ON *GRID* yang akan diterapkan dengan teknologi hibrid. Teknologi hibrid ini maksudnya sistem listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat digabungkan dengan PLN (dijual ke PLN) dengan menggunakan kWh EXIM yang sudah ada di PLTMH Tombolo Pao. Oleh karena itu energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS selain dapat digunakan untuk mengoperasikan *trash rack*, juga dapat dijual kembali ke

PLN atau dapat digunakan secara pribadi. Adapun tahapan perancangan ini terlebih dahulu dilakukan desain untuk *trash rack* untuk mengetahui

kemampuan daya angkatnya dan untuk mengetahui estimasi waktu pada saat pengoperasian *trash rack*, kemudian perhitungan parameter pada sistem PLTS dapat dilakukan. Pada penelitian ini juga dilakukan perancangan sistem semi otomatis pengangkatan *trash rack* secara sederhana. Berikut adalah uraian proses desain pada penelitian ini :

3.3.4.1 Perancangan *Trash Rack*

Perancangan *trash rack* dimulai dari tahap persiapan, observasi, perancangan sistem dan komponen, dan analisis hasil sampai pembuatan laporan hasil. Kegiatan penelitian dan observasi dilaksanakan di PLTMH Tombolo Pao. Tahapan persiapan meliputi studi pustaka dan observasi pada *trash rack* PLTMH Tombolo Pao, selanjutnya perancangan sistem meliputi perancangan rangka dan sistem penggerak yang menggunakan motor listrik. Konstruksi rangka utama menggunakan besi plat dengan tebal 5 mm dan lebar 40 mm. Sistem penggerak bertujuan sebagai penggerak naik turun *trash rack*. Perancangan sistem kontrol berfungsi sebagai pengatur sistem penggerak dalam artian ON/OFF dan putaran arah motor.

Berikut adalah proses tahap perancangan *trash rack* pada penelitian ini:

- 1) Mengukur dimensi dari *trash rack* pada saluran *water way*
- 2) Menghitung gaya hidrostatis *trash rack*
- 3) Menghitung gaya total *trash rack*
- 4) Menghitung total beban *trash rack*
- 5) Menghitung beban angkat motor dengan beban *trash rack*
- 6) Menghitung kehilangan energi (*losses*) pada *trash rack*

a. Spesifikasi Komponen

Adapun spesifikasi dari motor listrik ini sebagai berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Listrik

Spesifikasi Motor Listrik	
Model	CD-K1 Hoist
Type	YEP. 90-2
Load Capacity	750 - 1500 Kg
Voltage	220V - 50Hz 1 Phase
Insulating Grade	E
Protecting Grade	IP 44
Lifting Height	30 Meter
Speed of Lifting	7 - 14 m/min
Motor Power	4 Kw
RPM Motor	2800 r/min
Braking Torque	22 Nm



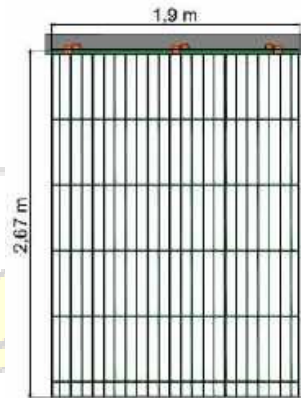
Gambar 3.2 Motor Listrik *Wire Rope Hoist*

b. Keadaan *Trash Rack*

Berikut adalah keadaan *trash rack* di PLTMH Tombolo Pao saat ini:

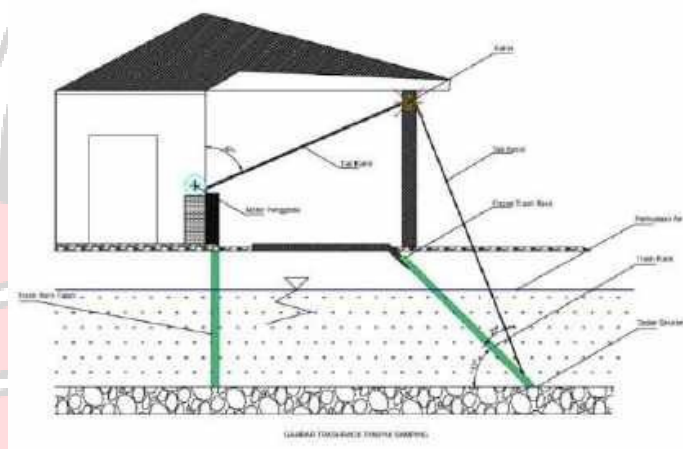


Gambar 3.3 Keadaan *Trash Rack* di PLTMH Tombolo Pao



Gambar 3.4 Detail Ukuran *Trash Rack*

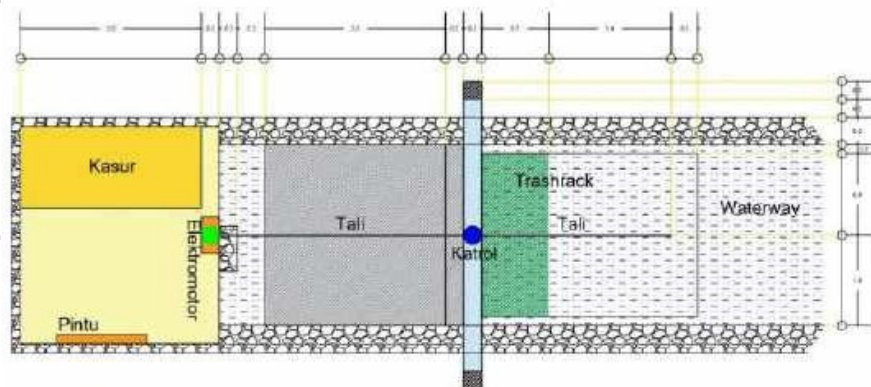
Berikut adalah Detail *Trash rack* Tampak Samping



Gambar 3.5 *Trash Rack* Tampak Samping

Ilustrasi Denah Bangunan *Trash rack* pada *water way* PLTMH

Tombolo Pao



Gambar 3.6 Denah Bangunan *Trash Rack*

3.3.4.2 Perancangan Sistem PLTS

Berikut adalah proses dalam mendesain PLTS pada penelitian ini :

- 1) Mendata spesifikasi beban dan jam pengoperasiannya
- 2) Menghitung kebutuhan energi harian
- 3) Menghitung daya puncak modul surya
- 4) Memilih modul surya dan menghitung luas area efektif yang dibutuhkan
- 5) Menghitung jumlah modul
- 6) Memilih Inverter sesuai daya sistem
- 7) Simulasi pada *software* HOMER Pro

Adapun komponen yang digunakan pada perancangan PLTS ini sebagai berikut :

a. Spesifikasi Komponen

Berikut adalah spesifikasi alat-alat yang akan digunakan pada system Pembangkit Listrik Tenaga Surya:

Tabel 3.2 Spesifikasi *Solar Module*

<i>Module Type</i>	ICA390-72MF
<i>Rated Max.Power (Pmax)</i>	390W
<i>Current at Pmax (Imp)</i>	9,68 A
<i>Voltage at Pmax (Vmp)</i>	40,30 V
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	10,14 A
<i>Open Circuit Voltage (Voc)</i>	49.20 V
<i>Dimension (mm)</i>	1979*1002*35
<i>Efficiency</i>	19,67 %
<i>Max.System Voltage</i>	1000V
<i>Temperature Range</i>	25°C

Tabel 3.3 Spesifikasi Inverter

Type Inverter	Solis-mini-1500-4G
<i>Merk</i>	SOLIS
<i>Max AC Output Power</i>	1.800 Watt
<i>Start-up Voltage</i>	60 V
<i>MPPT Voltage Range</i>	50-500 V
<i>Max Input Current (I_{DC})</i>	11 A
<i>Max. Short Circuit Current</i>	17,2 A
<i>Efficiency</i>	97,2%

b. Lokasi Proyek

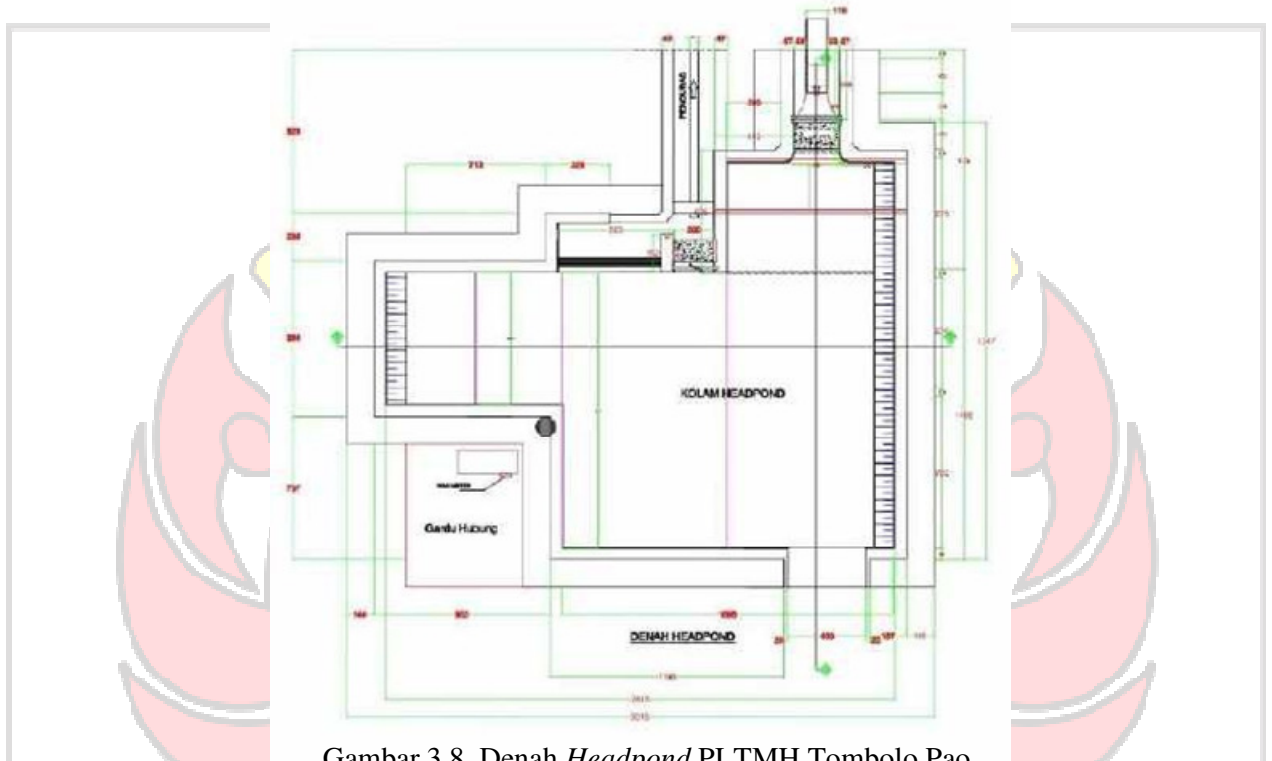
Lokasi : Desa Pao, Kelurahan Tamaona, Kecamatan Tombolo Pao,
Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia.

Koordinat : 5°10'55.1"S 119°56'52.7"E



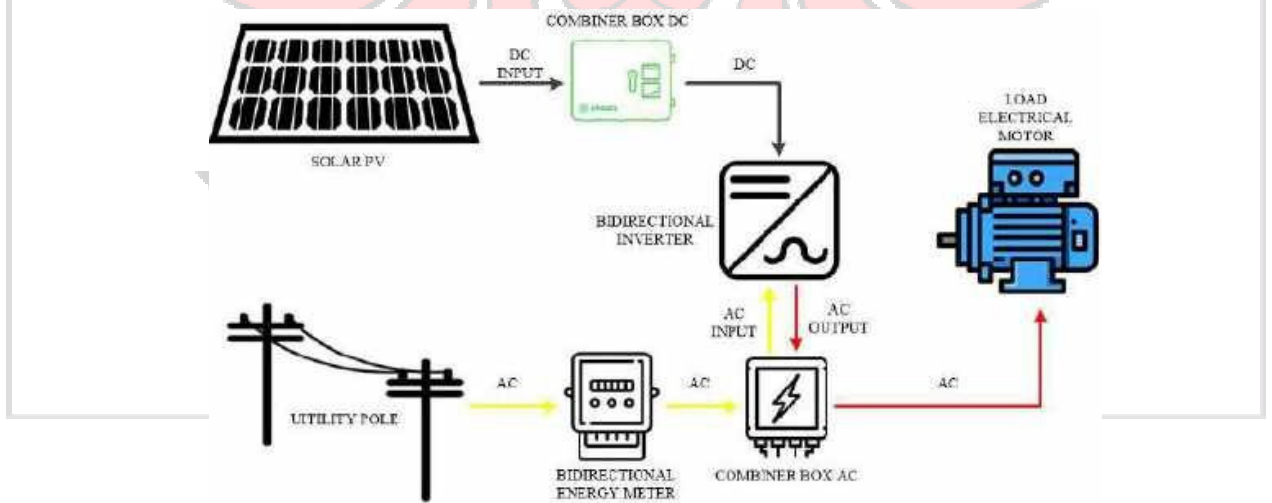
Gambar 3.7 Peta Lokasi PLTMH Tombolo Pao

Peletakan Solar Panel diletakkan di *headpond*, berikut adalah denah *headpond* PLTMH Tombolo Pao :



Gambar 3.8 Denah *Headpond* PLTMH Tombolo Pao

c. Skema Beban PLTS



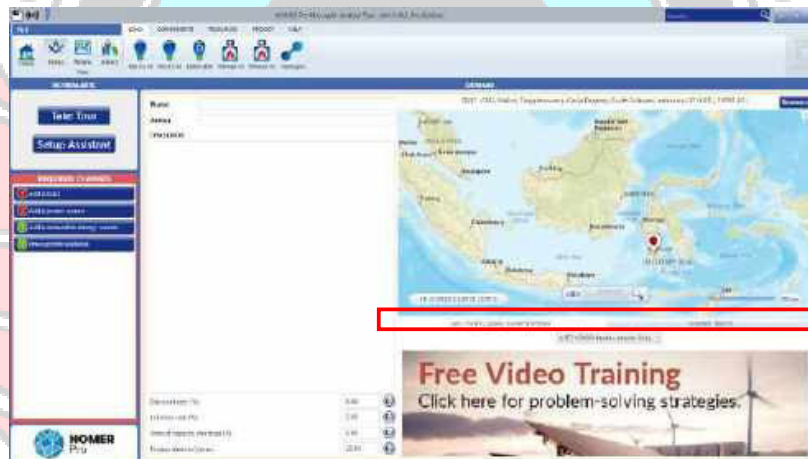
Gambar 3.9 Skema Beban PLTS

3.3.4.3 Simulasi HOMER Pro

Dalam menjalankan aplikasi HOMER Pro dibutuhkan parameter-parameter komponen yang akan menjadi masukan sebagai variabel penting dalam proses simulasi yang akan dilakukan. Berikut adalah hasil simulasi pada HOMER Pro :

a) Pemilihan Lokasi

Aplikasi HOMER Pro memiliki fitur mencari lokasi proyek akan dibangun dengan memasukkan titik koordinat atau nama lokasi secara detail.



Gambar 3.10 Tampilan untuk menginput lokasi proyek

b) Memasukkan data Ekonomi

Data masukan pada tabel ekonomi berupa nilai diskon, nilai inflasi, perkiraan umur proyek, nilai system dan nilai O & M. Nilai diskon 8.44% dan inflasi 5.75% diperoleh dari *website* resmi BI.



Gambar 3.11 Tampilan Memasukkan data ekonomi pada HOMER Pro

c) Data Solar GHI, Temperatur dan Kecepatan Angin

Pada HOMER Pro terdapat data GHI (*Global Horizontal Irradiance*), temperatur dan kecepatan yang dapat diunduh, data ini berasal dari NASA dan BMKG.



Gambar 3.12 Tampilan Menginput Data GHI, Temperatur, dan Kecepatan Angin

d) Memasukkan data penggunaan beban

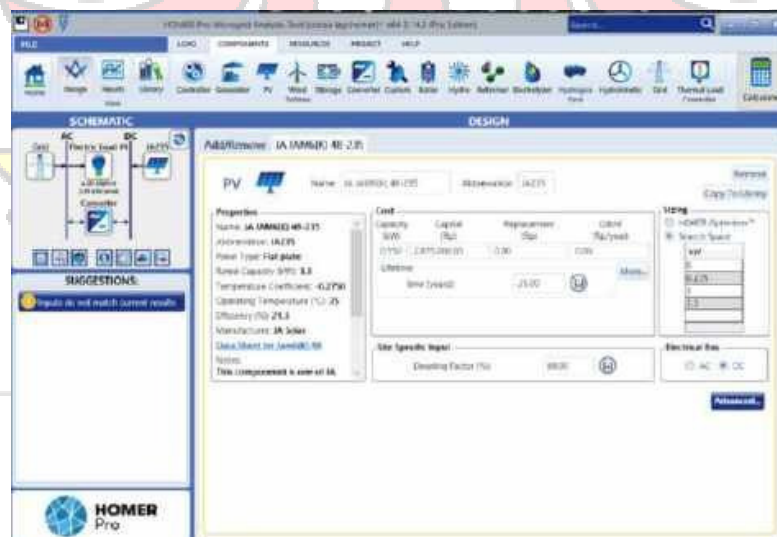
Untuk menginput data beban berdasarkan data sebelumnya. Pada HOMER Pro data beban diisi berdasarkan asumsi penggunaan beban perjamnya.



Gambar 3.13 Tampilan Menginput Data Beban

e) Memasukkan data *Photovoltaic*

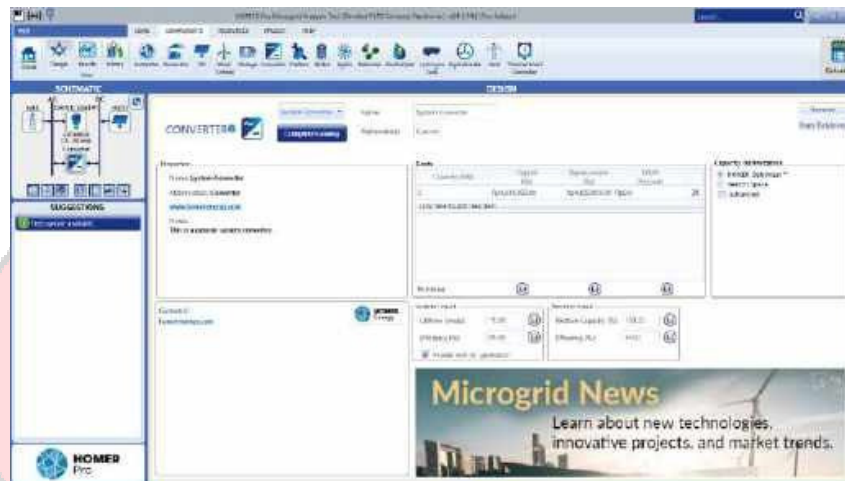
Pada jendela *components*, input data PV yang akan digunakan. Pada aplikasi HOMER Pro spesifikasi PV diinput dan data harga perunit panel yang diperoleh dari *marketplace*.



Gambar 3.14 Tampilan Menginput Data PV

f) Memasukkan data Inverter

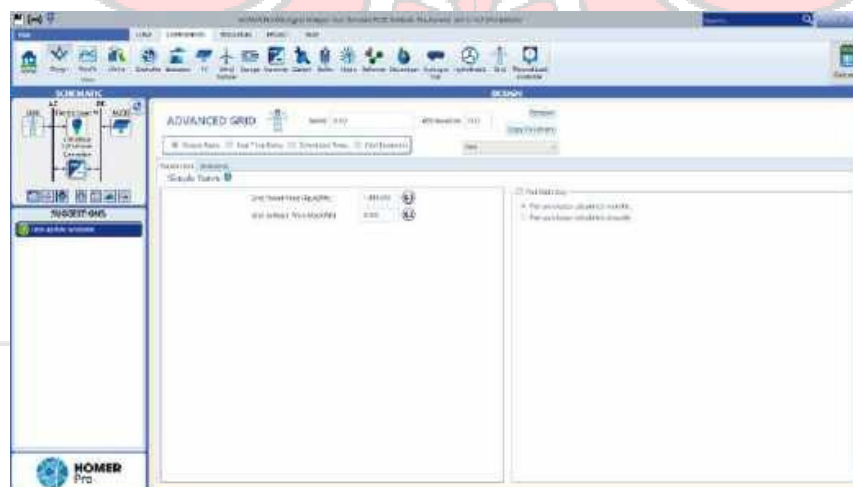
Sama seperti langkah sebelumnya, Inverter diinput dengan memasukkan harga dari Inverter yang diperoleh dari *marketplace*.



Gambar 3.15 Tampilan Menginput Data Inverter

g) Grid

Pada sistem ini disimulasikan dengan system *hybrid* yang terhubung dengan jaringan PLN. Pada HOMER Pro dapat disetting pada jendela *components* dan menu *grid*. Gambar dibawah dimasukkan nilai jual listrik PLN yaitu 1444/kWh.



Gambar 3.16 Tampilan Memasukkan Data Grid

3.3.4.4 Desain Sistem Semi Otomatis *Trash Rack*

Sistem kontrol merupakan rangkaian listrik yang berfungsi sebagai alat pengendali motor dengan sistem kerja semi otomatis, dengan artian operator hanya menekan tombol *start* setelah itu alat kontrol akan mengambil alih pengoperasian motor. Pada penelitian ini, alat Kontrol untuk mengoperasikan naik turunnya *trash rack* diatur oleh motor listrik *wire rope hoist* yang telah terpasang dengan *trash rack* di PLTMH Tombolo Pao. Motor listrik ini dilengkapi dengan tombol untuk proses naik turunnya *trash rack*. Sistem Semi kontrol *trash rack* bekerja berdasarkan pantauan besarnya debit air yang masuk melewati *trash rack*, apabila debit air berkurang, maka dapat dipastikan terdapat sampah yang menghalangi jalannya air pada *trash rack*.

3.3.4.5 Analisis Kelayakan Ekonomi

Pada penelitian ini metode Analisa ekonomi menggunakan sebuah metode yaitu metode *life cycle cost* (LCC) dimana metode LCC ini sebagai dasar yang digunakan untuk menghitung dan mengetahui seluruh biaya investasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Metode LCC sendiri menghitung seluruh biaya pembangunan PLTS mulai dari biaya investasi awal, operasi, biaya pemeliharaan, biaya penggantian peralatan dimasa yang akan datang, keamanan, asuransi dan juga nilai jual kembali. Metode ini digunakan karena telah banyak diaplikasikan untuk perhitungan biaya pada

berbagai bidang seperti, dapat dipergunakan dalam menghitung efisiensi pemakaian energi pada sebuah gedung, menghitung total biaya dan analisa

energi pada rumah yang menggunakan sistem kombinasi energi surya (Danu, 2020). Setelah menggunakan metode LCC. Selanjutnya dalam menghitung dan menentukan tarif dasar listrik atau harga tarif jual listrik PLTS yaitu dengan menggunakan metode *Cost Of Energi* (CoE). Dalam perhitungan CoE ini menggunakan data pembangkitan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS selama satu tahun. Pada penelitian ini menggunakan tiga parameter analisa ekonomi yaitu parameter *Net Present Value* (NPV), parameter *Internal Rate of Return* (IRR), dan parameter *Benefit Cost Ratio* (BCR). Parameter - parameter diatas digunakan untuk mengetahui layak atau tidak layaknya pembangunan pembangkit listrik tenaga surya di area PLTMH Tombolo Pao dari segi ekonomi. Untuk pengembalian modal dihitung menggunakan parameter *Pay Back Period* (PBP).

BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN

4.1 Hasil Perancangan *Trash Rack*

Berdasarkan analisis desain dan observasi lapangan pada penelitian ini, diperlukan perhitungan desain analisis *trash rack* sehingga dilakukan pengambilan data. Berikut adalah perhitungan untuk desain *trash rack* di PLTMH Tombolo Pao :

4.1.1 Perhitungan Gaya Hidrostatik pada *Trash Rack*

4.1.1.1 Tekanan fluida pada pintu

Tekanan fluida dihitung untuk mengetahui gaya tekanan yang terjadi pada *trash rack* yang berada di *waterway*, berikut data yang dibutuhkan untuk menghitung tekanan fluida pada pintu *trash rack* :

✓ Diketahui:

Berat jenis zat cair (γ) = 9810 m/s³

Jarak vertikal pusat bidang datar dan permukaan zat cair (h)₀ = 0,71 m

Panjang *trash rack* (D) = 2,02 m

Lebar *trash rack* (B) = 1,9 m

Untuk mengetahui luas penampang (A) maka :

$$A = D \times B$$

$$= 2,02 \times 1,9 = 3,84 \text{ m}^2$$

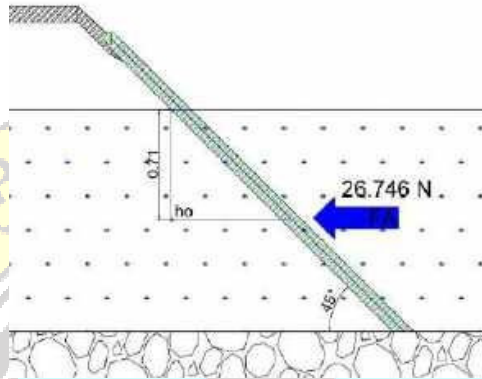
Tekanan fluida pada pintu *trash rack* dapat dihitung dengan persamaan (2-

11) sebagai berikut :

$$F_A = \gamma \cdot h_o \cdot A$$

$$F_A = 9810 \times 0,71 \times 3,84$$

$$F_A = 26.746 \text{ N}$$



Gambar 4.1 Gaya Tekanan pada Pintu *Trash Rack*

Jadi gaya tekanan fluida pada pintu adalah 26.746 N

4.1.1.2 Resultan Gaya Pada Pintu

Resultan gaya dihitung untuk mendapatkan jarak gaya tekan yang terjadi pada *trash rack*. Berikut adalah perhitungan resultan gaya pada pintu :

✓ Diketahui :

$$h_0 = 0,71 \text{ m}$$

$$A = 3,84 \text{ m}^2$$

Mencari I_0 digunakan persamaan :

$$I_0 = 1/12 \cdot B \cdot D^3$$

$$I_0 = 1/12 \times 1,9 \times 2,02^3$$

$$I_0 = 1,3 \text{ m}^4$$

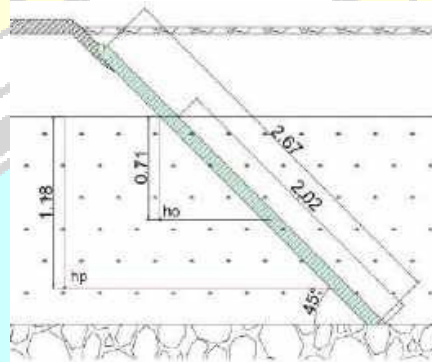
Resultan gaya pada pintu dihitung menggunakan persamaan (2-13) :

$$h_p = h_0 + \frac{I_0}{A \cdot h_0}$$

$$h_p = 0,71 + \frac{1,3}{3,64 \cdot 0,71}$$

$$h_p = 0,71 + 0,47$$

$$h_p = 1,18 \text{ m}$$



Gambar 4.2 Hasil Perhitungan Resultan Gaya

Maka resultan gaya pada pintu adalah 1,18 m

4.1.1.3 Gaya Untuk Membuka Pintu

Gaya untuk membuka pintu dihitung untuk mendapatkan gaya yang akan di angkat oleh motor penggerak. Adapun perhitungannya sebagai berikut :

✓ Diketahui : Momen terhadap engsel = 0

Berikut persamaan yang digunakan :

$$(F_p(\cos \theta \cdot x_1)) - (F_A(\cos \theta \cdot x_2))$$

$$F_p = \frac{(F_A(\cos \theta \cdot x_o))}{(\cos \theta \cdot x_e)}$$

Dimana :

F_P : Tekanan Fluida h_o (N)

F_A : Tekanan Fluida h_p (N)

x_o : panjang *trash rack* dari pusat berat bidang (m)

x_e : panjang total *trash rack* (m)

$\cos \theta$: sudut *trash rack* ($^\circ$)

maka diperoleh ;

$$F_P = \frac{26.749 (0,52 \times 1,66)}{0,52 \times 2,67}$$

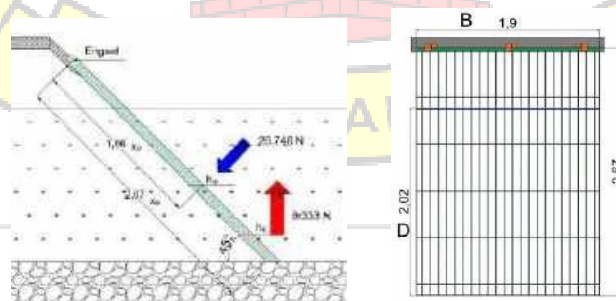
$$F_P = 16.667 \text{ N}$$

Terlepas dari bentuk batang dan sudut *trash rack* dan memungkinkan estimasi kerugian pada kondisi tersumbat sebagian. Jika asumsikan *trash rack* 50% (Wahl, 1992) tersumbat sebagian maka :

$$F_P = 16.667 \times 50\%$$

$$F_P = 8.333 \text{ N}$$

Jadi, jika diasumsikan *trash rack* tersumbat sebagian maka besar gaya yang dihasilkan yaitu 8.333 N.



Gambar 4.3 Hasil Perhitungan Gaya untuk Membuka Pintu

4.1.1.4 Beban Total Pada Trash Rack

Beban total *trash rack* dihitung untuk mengetahui total beban yang ada pada *trash rack* yang diakibatkan oleh fluida dan sampah. Untuk mengetahui beban total pada *trash rack* terlebih dahulu dilakukan perhitungan gaya total yang terjadi pada *trash rack*. Adapun perhitungan yang dilakukan untuk memperoleh beban total *trash rack* sebagai berikut :

a. Mencari gaya pada sampah (F_s)

✓ Diketahui :

massa jenis sampah (ρ_s) = 0,0909 kg/L

$p = 1,43$ m

$l = 2$ m

$t = 0,50$

Volume *trash rack* = $p \times l \times t = 1,43 \times 2 \times 0,50 = 1,43 \text{ m}^3 = 1.430 \text{ L}$

✓ Persamaan untuk mencari gaya yang terjadi pada sampah, yaitu :

$$F_s = m_s \cdot g$$

Dimana :

m_s = massa sampah (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Untuk mencari massa sampah digunakan persamaan berikut :

$$m_s = V \times \rho_s$$

$$m_s = 1.430 \times 0,0909$$

$$= 130 \text{ kg}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka berat sampah yang ada di *waterway* adalah 130 kg.

✓ Mencari F_S :

$$F_S = 130 \times 9,8$$

$$F_S = 1.274 \text{ N}$$

Jadi, gaya yang dihasilkan pada sampah di *trash rack* adalah 1.274 N.

b. Mencari gaya pada *trash rack* (F_T)

✓ Diketahui :

$$\text{massa jenis besi } (\rho_B) = 7.850 \text{ kg/ m}^3$$

$$p = 2,67 \text{ m}$$

$$l = 0,22 \text{ m}$$

$$t = 0,05$$

$$\text{Volume } \textit{trash rack} = p \times l \times t = 2,67 \times 0,22 \times 0,05 = 0,03 \text{ m}^3$$

✓ Persamaan yang digunakan untuk menghitung gaya pada *trash rack* :

$$F_T = m_T \cdot g$$

Dimana :

$$m_T = \text{massa } \textit{trash rack} \text{ (kg)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)}$$

Untuk mencari massa *trash rack* m_T digunakan persamaan berikut:

$$m_T = V \times \rho_B$$

$$m_T = 0,03 \times 7850$$

$$m_T = 235,5 \text{ kg}$$

✓ Maka F_T :

$$F_T = 235,5 \times 9,8$$
$$= 2.308 \text{ N}$$

c. Gaya Total pada *trash rack*

✓ Diketahui :

Gaya untuk membuka pintu (F_p) = 8.333 N (perhitungan 4.1.1.3)

Gaya pada sampah (F_s) = 1.274 N

Gaya pada *trash rack* (F_T) = 2.308 N

✓ Berikut persamaan untuk menghitung gaya total pada *trash rack* :

$$\Sigma F = F_p + F_s + F_T$$

$$\Sigma F = 8.333 + 1.274 + 2.308$$
$$= 11.915 \text{ N}$$

Jadi gaya total yang ada pada *trash rack* yaitu 11.915 N

d. Beban total pada *trash rack*

Untuk mendapatkan beban total *trash rack* digunakan rumus berikut :

$$m = \frac{\Sigma F}{g}$$

$$m = \frac{11.915}{9,8} = 1.216 \text{ kg}$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh beban total *trash rack* adalah 1.216 kg, hal ini sesuai dengan spesifikasi motor (tabel 3.1)

beban maksimal yang dapat diangkat 1.500 kg.

4.1.1.5 Beban dan daya Angkat pada Motor

Beban total *trash rack* yang telah dihitung akan di angkat oleh motor penggerak. Adapun untuk menghitung beban angkat motor digunakan persamaan berikut :

✓ Diketahui :

Gaya total (F) = 11.915 N (perhitungan 4.1.1.4 bagian c)

Jarak (s) = 3 m

Sudut kemiringan $\theta = 75^\circ$

a. Beban angkat pada motor

Untuk mendapatkan beban angkat pada motor maka :

$$w = m \cdot g \rightarrow m = \frac{w}{g}$$

Untuk mendapatkan usaha (W)

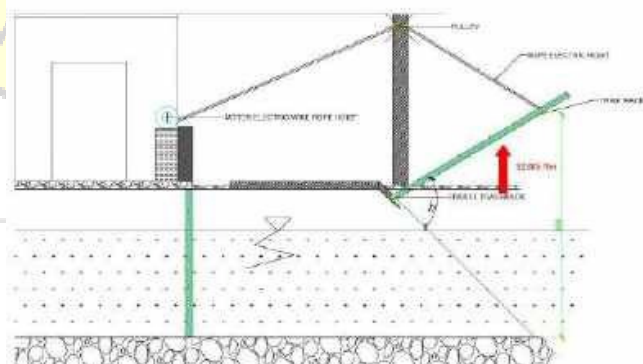
$$W = F \cdot s \cdot \cos \theta$$

Maka;

$$W = 97.54 \times 3 \times \sin \cos 75^\circ$$

$$W = 31.923 \times 0,92$$

$$W = 32.885,4 \text{ Nm}$$



Gambar 4.4 Usaha untuk Beban Total pada *Trash Rack*

b. Daya Angkat Motor

✓ Diketahui :

$$\text{kecepatan motor (v)} = \frac{7 \text{ m/min}}{60 \text{ s}} = 0,11 \text{ m/s}$$

Jarak (s) = 3 meter

$$W = 32.885,4 \text{ Nm}$$

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya angkat motor :

$$P = \frac{W}{t}$$

✓ Untuk mencari t :

$$v = \frac{s}{t} \quad \Rightarrow \quad t = v \cdot s$$

$$t = \frac{3}{0,11} \\ = 27 \text{ s}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diperoleh waktu yang dibutuhkan motor untuk mengangkat beban maksimal 1.500 kg (tabel 3.1) adalah 27 s.

✓ Setelah diperoleh nilai t = 27 s, maka daya angkat motor :

$$P = \frac{32.885,4}{27} \\ = 1.219 \text{ Watt atau } 1,219 \text{ Kw}$$

Jadi untuk mengangkat beban motor selama 27 s dibutuhkan daya sebesar 1,219 kW.

4.1.1.6 Menghitung Kehilangan Energi (*Losses*) Pada *Trash rack*

Kehilangan energi (*losses*) di hitung untuk mengetahui gangguan atau hambatan yang bisa dihindari pada *waterway*. Adapun persamaan untuk menghitung kehilangan energi (*losses*) adalah persamaan (2-20) :



Gambar 4.5 Ukuran *Trash Rack*

Diketahui :

$$\begin{aligned} \varphi &= 2,42 & ; & \quad s = 0,005 \text{ m} \\ \alpha &= 45^\circ & ; & \quad B = 0,08 \text{ m} \\ V^o &= 0,975 \text{ m/s (kecepatan aliran, lampiran 2)} & ; & \quad g : 9,8 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

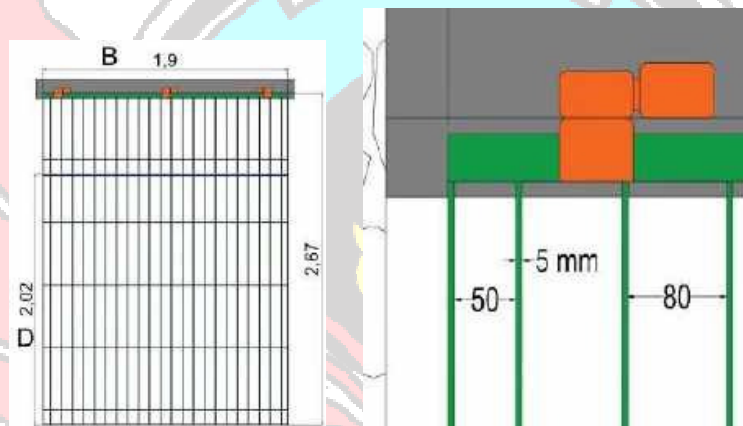
penyelesaian :

$$\begin{aligned} H_e &= \varphi \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^{4/3} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \sin \alpha \\ H_e &= 2,42 \cdot \left(\frac{0,005}{0,08}\right)^{4/3} \cdot \frac{0,975^2}{2 \cdot 9,8} \cdot \sin 45 \\ &= 2,42 \times 0,08 \times \frac{0,95}{19,6} \times 0,85 \\ &= 0,19 \times 0,04 \times 0,85 \end{aligned}$$

$$= 0,0064 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diperoleh *losses* yang terjadi pada *trash rack* yaitu 0,0064 m atau 6,4 mm.

Hasil desain rancang bangun yaitu meliputi rangka utama, pembuatan rangka utama disesuaikan dengan ukuran *waterway* pada PLTMH Tombolo Pao. Bahan yang digunakan adalah besi plat dengan tebal 5 mm dan lebar 40 mm, penyambungan rangka dilakukan menggunakan las listrik sehingga berbentuk persegi panjang dengan ukuran 1,9 x 2,67 m, dan mempunyai kisi-kisi dengan jarak 50 mm didekat dinding *waterway*, dan 80 mm jarak kisi-kisi di samping kisi-kisi 50 mm, disusun secara vertikal.



Gambar 4.6 Hasil Desain *Trash Rack*

4.1.2 Sistem Kontrol *Trash rack*

Sistem kontrol untuk *trash rack* pada area PLTMH Tombolo Pao dapat dilakukan dengan beberapa cara yang sebagai berikut :

1. Menggunakan Motor listrik *Wire Rope Hoist*

Pengoperasian *trash rack* pada PLTMH Tombolo Pao menggunakan motor listrik *wire rope hoist*, dimana pada motor ini dilengkapi dengan *remote control* untuk menaikkan dan menurunkan *trash rack*. *Wire rope hoist* ini terdiri atas motor listrik tertutup yang memutar drum

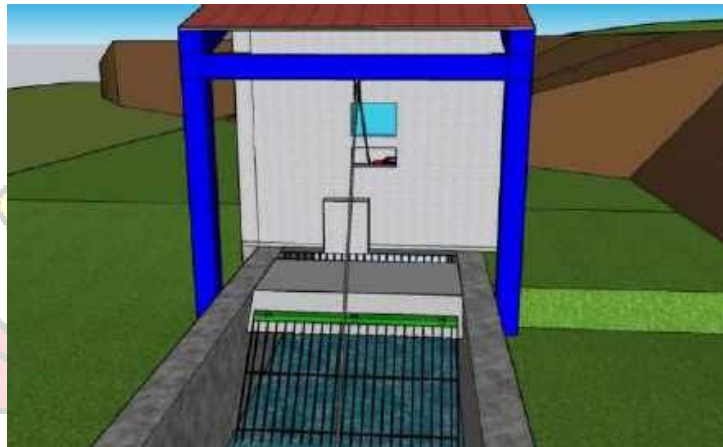
beralur. *Wire rope* terbuat dari banyak untai logam dililitkan di sekitar drum yang digulung menjadi satu. Adapun proses yang terjadi pada saat motor ini bekerja yaitu, pada saat mesin ini dioperasikan memanfaatkan rangkaian roda gigi di dalam *gearbox* yang memperkuat torsi yang ditransmisikan dari motor. Gaya terkonsentrasi dari *gearbox* ditransmisikan menuju poros *spline*. Kemudian, poros *spline* memutar gulungan drum. Ketika tali kawat ditarik untuk memindahkan beban secara vertikal, tali tersebut dililitkan di sekitar drum yang berliku. Pemandu tali bergerak di sekitar drum penggulung untuk menempatkan tali kawat dengan benar pada alur. Pemandu tali dapat mencegah tali kawat kusut. Selain itu, tali kawat pada *hoist* juga memerlukan pelumasan untuk memastikan bahwa tali tetap terjaga selama proses pengangkatan barang. Berikut adalah bagian-bagian dari motor listrik *wire rope hoist*:



Gambar 4.7 Bagian-Bagian Motor *Wire Rope Hoist*

Untuk mengoperasikan *trash rack*, berikut adalah Langkah-langkah yang dapat dilakukan :

- a. Nyalakan motor listrik menggunakan listrik dari PLTS jika energi yang dibutuhkan untuk menyalakan motor listrik terpenuhi, tekan tombol pada *remote control* motor listrik.



Gambar 4.8 Ilustrasi *Trash Rack* pada PLTMH Tombolo Pao

- b. Seluruh sampah yang tersaring pada *trash rack* diangkat ke permukaan saluran, sampah yang ada pada *trash rack* akan di pisahkan dan dimasukkan ke dalam bak penampungan sampah.
 - c. Setelah sampah telah di pisahkan, turunkan kembali *trash rack* dengan menekan tombol pada motor listrik. Untuk menahan sampah yang akan lewat melalui saluran.
2. Menggunakan penggaruk sampah secara manual

Selain menggunakan motor listrik untuk mengangkat sampah pada *trash rack*, dapat juga menggunakan penggaruk sampah/*rake* manual. Hal ini dilakukan pada keadaan apabila masih ada sampah yang tersisa pada *trash rack* atau digunakan pada *trash rack* permanen (tidak bergerak)

Berikut adalah proses pengoperasian dengan sistem manual :

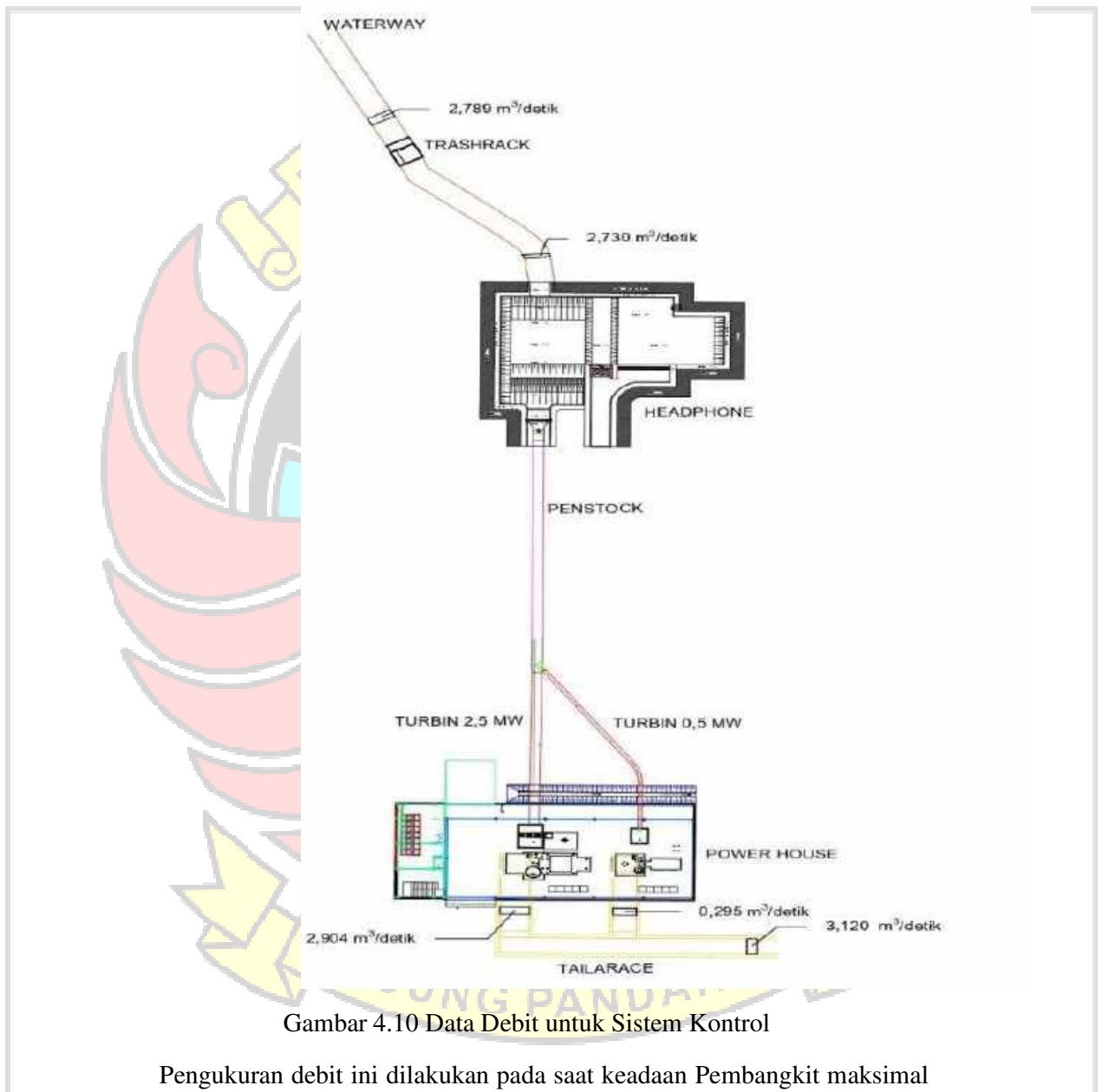
- a. Angkat sampah yang tertahan di *trash rack* menggunakan penggaruk/*rake*;
- b. Tumpuk sampah-sampah yang telah diangkat di tempat yang telah disediakan.
- c. Pindahkan sampah yang sudah terkumpul dengan gerobak sampah atau truk untuk dibawa / diangkut ke dalam bak penampungan sampah.



Gambar 4.9 Ilustrasi Pengoperasian *Trash Rack* secara manual dan *rake*
(Sumber: Tata Cara Operasi dan Pemeliharaan Sistem *Drainase* Perkotaan, 2014)

Dalam mengoperasikan *trash rack* untuk memudahkan operator dalam pengoperasian *trash rack* dapat dilihat pada parameter debit yang masuk ke turbin, jika terdapat perbedaan signifikan pada saat keadaan normal, maka dapat dipastikan bahwa terdapat sampah yang menghalangi jalan masuknya air pada *trash rack*. Pada hasil pengukuran debit yang telah dilakukan (lampiran 2) diperoleh debit pada *water way* sebelum *trash rack* 2,789 m³/s dan debit setelah melewati *trash rack* sebelum headpond adalah 2,730 m³/s. Jika dideteksi debit pada kedua titik ini mengalami perbedaan yang signifikan, maka *trash rack* dapat dioperasikan. Berikut

adalah skema hasil pengukuran debit pada lokasi PLTMH Tombolo Pao yang dapat dijadikan sebagai pedoman.



Gambar 4.10 Data Debit untuk Sistem Kontrol

Pengukuran debit ini dilakukan pada saat keadaan Pembangkit maksimal dimana pada saat pengukuran dilakukan kedua turbin pada PLTMH Tombolo Pao berjalan.

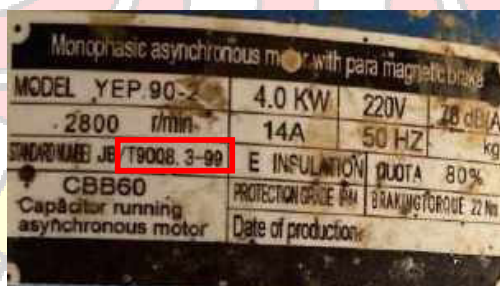
4.1.3 Sistem Transmisi Motor listrik *Wire Rope Hoist*

Sistem transmisi pada motor listrik *wire rope hoist* menggunakan *gearbox* yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya mesin ke salah satu bagian mesin lainnya, sehingga unit tersebut dapat bergerak menghasilkan sebuah pergerakan baik putaran maupun pergeseran. *Gearbox* ini merupakan alat khusus yang diperlukan untuk menyesuaikan daya atau torsi dari motor yang berputar, dan *gearbox* juga adalah alat pengubah daya dari motor yang berputar menjadi tenaga yang lebih besar.

Prinsip kerja *gearbox* ini meneruskan putaran dari motor ke poros input melalui hubungan antara kopleng, kemudian putaran diteruskan ke poros utama, diteruskan ke spindel mesin, karena adanya perbedaan ratio dan bentuk dari gigi-gigi tersebut, maka putaran spindel yang dikeluarkan berbeda, tergantung dari putaran yang diinginkan.

Berikut adalah perhitungan kecepatan *output* motor listrik:

Diketahui :



Gambar 4.11 Spesifikasi Motor Listrik *Wire Rope Hoist*

$N_1 = 2800 \text{ Rpm}$

$i = 90$ [i (ratio) didapat kan pada nameplate motor listrik, T90Q8]

Penyelesaian:

$$N2 = N1 : i$$

Dimana :

$N1$ = putaran awal (Rpm)

$N2$ = putaran output (Rpm)

i = rasio perbandingan putaran awal dengan putaran output

maka;

$$N2 = 2800 : 90$$

$$N2 = 31 \text{ Rpm}$$

Jadi kecepatan *output* yang dihasilkan motor listrik *wire rope hoist* dengan putaran awal 2800 Rpm dan ratio 90 adalah 31 Rpm

4.2 Perancangan PLTS

Dalam proses perancangan PLTS terlebih dahulu harus dilakukan perhitungan untuk menentukan kapasitas komponen yang cocok digunakan pada proyek PLTS yang akan dibangun. Berikut adalah hasil perhitungan perancangan PLTS di area PLTMH Tombolo Pao:

4.2.3 Hasil Perhitungan

4.2.3.1 Perhitungan Kapasitas Panel

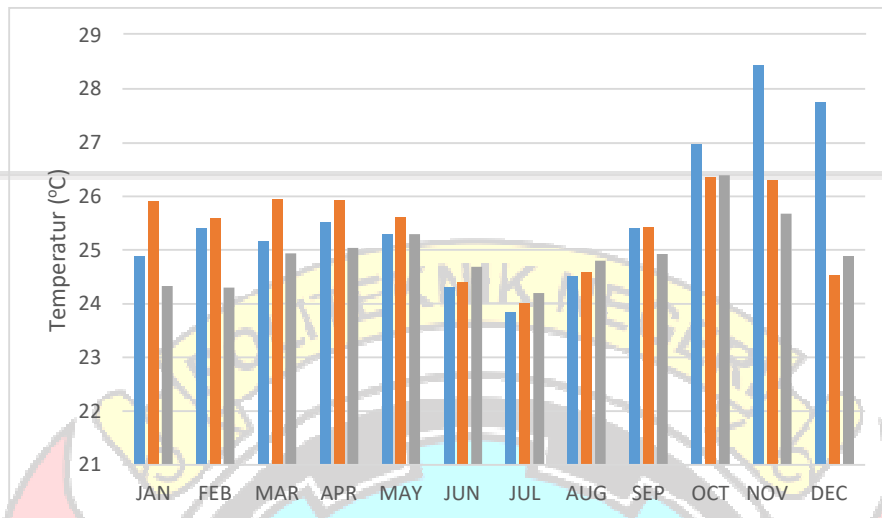
Untuk menentukan kapasitas panel yang diinginkan, perlu diketahui spesifikasi jumlah beban yang akan dibangkit oleh panel surya. Berikut adalah spesifikasi beban dari desain PLTS ini :

Tabel 4.1 Data Beban

Beban	Daya (W)	Jumlah (pcs)	Total Daya	Lama Pemakaian (Jam)	Konsumsi Energi (Wh)
Motor Listrik <i>wire rope hoist</i>	4000	1	4000	1 (asumsi)*	4000
Total Energi					4000 Wh

* nilai 1 jam diperoleh dari penggunaan maksimal trash rack dalam satu hari, yaitu sebanyak 60 kali pengoperasian, dimana dalam satu kali pengoperasian (pengangkatan dan penurunan trash rack) membutuhkan waktu 1 menit (perhitungan 4.1.1.5)

Sesuai dengan ketentuan yang berlaku, panel surya memiliki penurunan kapasitas daya yang dihasilkan jika melebihi dari standar suhu optimal panel surya tersebut bekerja. Jika panel surya tersebut bekerja diatas suhu 25 °C maka akan berkurang 0.5% setiap perubahan suhunya (Gifson dkk, 2020). Berdasarkan data yang diperoleh dari NASA, suhu tertinggi 28,43°C dan suhu terendah 23,83°C, maka kenaikannya menjadi 3,43°C. Dengan menggunakan panel berkapasitas 390 W, maka dapat dihitung dengan persamaan (2-2) sebagai berikut:



Gambar 4.12 Grafik Data Temperatur NASA

$$P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}} = 0,5 \% \text{ perc } ^\circ\text{C} \times P_{MPP} \times \Delta t$$

$$P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}} = 0,005 ^\circ\text{C} \times 390 \text{ W} \times 3,43^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}} = 6,68 \text{ W}$$

Keluaran daya pada saat suhu naik 28,43°C adalah 6,68 Watt. Berikut adalah daya P_{MPP} pada suhu naik dengan menggunakan persamaan (2-3) :

$$P_{MPP \text{ Saat naik menjadi } t ^\circ\text{C}} = P_{MPP} - P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}}$$

$$P_{MPP \text{ Saat naik menjadi } t ^\circ\text{C}} = 390 \text{ W} - 6,68 \text{ W}$$

$$P_{MPP \text{ Saat naik menjadi } t ^\circ\text{C}} = 383,32 \text{ W}$$

Berdasarkan perhitungan nilai daya keluaran maksimum panel, berikut TCF dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$TCF = \frac{P_{MPP \text{ saat naik menjadi } t ^\circ\text{C}}}{P_{MPP}}$$

$$TCF = \frac{383,32}{390}$$

$$TCF = 0,98$$

Tabel 4.2 Data Radiasi Matahari NASA

Parameter	Tahun	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUNI	JULI	AGU	SEP	OKT	NOV	DES
Radiasi Matahari (kWh/m)/day	2019	4,33	5,46	4,93	5,23	6,1	5,02	5,65	6,46	6,89	7,04	6,61	5,65
	2020	4,92	4,33	5,44	5,37	4,84	4,99	5,27	6,21	6,42	6,29	5,73	4,21
	2021	4,14	4,42	5,23	5,24	5,22	5,13	4,95	4,92	5,75	5,13	5,23	4,21
MIN	4,14												
MAX	7,04												
Rata-rata	5,36												

Sumber Data: NASA

Jika telah diketahui semuanya, maka dilakukan perhitungan menentukan kapasitas PV area keseluruhan dengan persamaan (2-5) sebagai berikut :

(nilai G_{av} diperoleh dari nilai terendah radiasi pada tabel 4.2 diatas)

$$PV_{area} = \frac{E_{tot}}{G_{av} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out}}$$

$$PV_{area} = \frac{4kWh}{4,14 kWh/m^2 \times 0,1967 \times 0,98 \times 0,95}$$

$$PV_{area} = 5,27 m^2$$

Dari perhitungan area array, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (Watt-peak) dapat dihitung dengan persamaan (2-6). Dengan area array adalah $5,27 m^2$, Peak Sun Insolation (PSI) adalah $1000 W/m^2$ dan efisiensi modul surya adalah 19,67% maka :

$$P_{Watt Peak} = area array \times PSI \times \eta_{pv}$$

$$P_{Watt Peak} = 5,27 m^2 \times 1000 \frac{W}{m^2} \times 0,1967$$

$$P_{Watt Peak} = 1.036,61 Wp$$

Modul sel surya yang akan digunakan pada perencanaan sistem ini memiliki kapasitas P_{MPP} sebesar 390 Wp per modul. Berdasarkan nilai

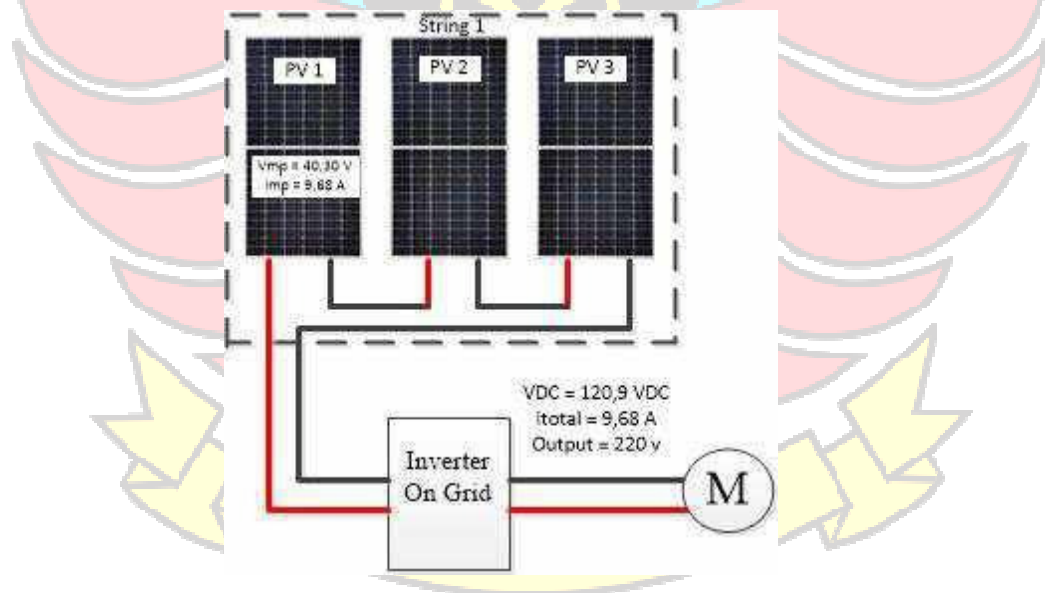
tersebut, maka jumlah modul sel surya yang dibutuhkan sistem ini dapat dihitung dengan persamaan (2-7) :

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{Watt\ Peak}}{P_{MPP}}$$

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{1.036,61\ Wp}{390\ Wp}$$

$$\text{Jumlah Panel Surya} = 2,65 \approx 3\ \text{unit}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, diperoleh jumlah panel surya yang dibutuhkan pada perancangan ini adalah sebanyak 3 unit panel surya 390 Wp tipe *monocrystalline* dengan spesifikasi nilai $V_{mp} = 40,30\ V$ dan $I_{mp} = 9,68\ A$ (Spesifikasi Panel Tabel 3.2). Sehingga diperoleh konfigurasi panel surya yang terhubung seri sebagai berikut:



Gambar 4.13 Konfigurasi Panel Surya

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa konfigurasi panel surya untuk desain PLTS ini terdiri dari 1 *string* dimana dalam satu *string* terdapat

3 unit panel surya yang terhubung secara seri sehingga tegangan maksimum pada *string* sebesar 120,9 VDC dan arus maksimum sebesar 9,68 A.

Untuk menghitung luas area yang diperlukan dalam pemasangan panel, dapat dilihat spesifikasi dimensi panel surya pada tabel 3.2 dimana dimensi panel surya ICA390-72MF memiliki dimensi 1979 mm x 1002 mm x 35 mm, sehingga luas area untuk pemasangan panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan sederhana berikut:

$$A = \text{Jumlah unit Panel Surya } (P \times L)$$

$$A = 3 (1,97 \text{ m} \times 1 \text{ m})$$

$$A = 3 (1,97 \text{ m}^2)$$

$$A = 5,91 \text{ m}^2$$

$$A \approx 6 \text{ m}^2$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka luas area/lahan yang diperlukan untuk menyusun 3 unit panel adalah 6 m².

Asumsi rugi-rugi (*losses*) sistem PLTS 15% karena keseluruhan komponen sistem yang digunakan masih baru (Bien dkk, 2008:41 dalam bukunya Mark Hankins, 1991:68) ; (Gifson dkk, 2020), *losses* terjadi karena beberapa faktor seperti kotoran (debu), temperatur, dan kabel penghantar sebesar ±10% dan *factory losses* 5%. Sehingga besar energi dari panel surya tersebut di kurangi dengan besar *losses* seperti perhitungan berikut :

$$P_i = \text{jumlah panel} \times \text{daya panel} \times \text{losses}$$

$$P_i = 3 \times 390 \times (100\% - 15\%)$$

$$P_i = 994,5 \text{ W} \approx 1 \text{ kW}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *losses* desain PLTS diatas, berikut ini energi yang dihasilkan oleh modul surya berkaitan dengan data rata-rata radiasi matahari pada tahun 2019-2021 (tabel 4.2). Apabila nilai radiasi matahari rata-rata adalah 5,36 kWh/day maka energi yang dihasilkan PLTS dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{out} = P_i \times \text{radiasi matahari}$$

$$P_{out} = 1 \text{ kW} \times 5,36$$

$$P_{out} = 5,36 \text{ kWh/day}$$

4.2.3.2 Perhitungan Kapasitas Inverter

Berdasarkan persamaan (2-10), berikut adalah hasil perhitungan untuk menentukan kapasitas inverter pada perancangan ini :

$$\text{Inverter} = P_{maks} + (25\% \times P_{maks})$$

$$\text{Inverter} = 1.036,61 \text{ Watt} + (0,25 \times 1.036,61 \text{ Watt})$$

$$\text{Inverter} = 1.295,76 \text{ Watt} \approx 1.300 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh kapasitas minimal daya inverter untuk perancangan PLTS ini yang cocok adalah 1.300 Watt. Dalam menentukan inverter dalam sebuah sistem PLTS, selain berdasarkan dayanya juga berdasarkan perhitungan tegangan inverter diatas. Tegangan Inverter harus lebih besar daripada tegangan konfigurasi panel, pada perancangan ini tegangan panel surya perunitnya adalah (V_{oc}) 40,30 V dan tegangan maksimum/tegangan konfigurasi panel surya (V_s) 120,9 V. Sehingga inverter yang dipilih adalah inverter dengan kapasitas daya diatas 1.300 Watt dengan tegangan VDC adalah berkisar 120,9 VDC. Pada perancangan ini Inverter

yang digunakan adalah Inverter ON Grid Solis-mini-1500-4G dengan spesifikasi *maximum power* adalah 1..800 Watt, untuk melihat spesifikasi dari Inverter ini dapat dilihat pada tabel 3.3 atau pada lampiran 6.

4.2.3.3 Kelistrikan

Pemilihan Kabel dan Sistem Proteksi

a) Instalasi Listrik Panel Surya ke Inverter

Dalam menentukan ukuran kabel penghubung panel surya ke inverter menggunakan *short circuit current* (I_{sc}) dari panel surya yaitu 10,14 A. Dimana pada perancangan ini 3 unit panel surya terhubung seri, dengan demikian total *short circuit current* (I_{sc}) dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{scTotal} = I_{scstring} = 10,14 A$$

Dengan menggunakan persamaan nilai KHA sebagai berikut:

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

$$= 125\% \times 10,14 A$$

$$= 12,67 A$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka diperoleh nilai KHA yaitu 12,67 A. Untuk menentukan luas penampang kabel dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 4.3 Luas Penampang Kabel

Jenis Kabel	Luas Penampang (mm ²)	KHA terus menerus (A)	KHA pengenal gawai proteksi
NYY	1,5	26	20
NYBY	2,5	35	25
NYF	4	46	35
NYFGbY	6	58	50
NYRGbY	10	79	63

NYCY	16	105	80
NYCWY	25	140	100
NYSY	35	174	125
	50	212	160

Sumber: PUIL, 2016

Berdasarkan tabel diatas maka ukuran penampang kabel yang digunakan yaitu 1,5 mm² untuk memberikan proteksi yang lebih aman dalam desain system PLTS ini akan digunakan kabel dengan luas penampang 2,5 mm² dengan jenis kabel NYY dan untuk Gawai Proteksi (MCB) DC yaitu sebesar yaitu 20 A.

Adapun untuk menentukan *Surge Protection Device* (SPD) DC dapat menggunakan *Open Circuit Voltage* (Voc) panel surya yaitu sebesar 49,20 V. Jika panel surya dipasang secara seri maka arus yang mengalir pada rangkaian akan sama, sedangkan tegangan yang dihasilkan merupakan jumlah dari masing-masing tegangan per panel. Dengan demikian total *Open Circuit Voltage* (Voc) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Voc_{Total} &= Voc_{panel\ 1} + Voc_{panel\ 2} + Voc_{panel\ 3} + \dots + Voc_{panel\ 9} \\
 &= 49,20\ V + 49,20\ V + 49,20\ V + 49,20\ V + 49,20\ V + 49,20\ V \\
 &\quad + 49,20\ V + 49,20\ V + 49,20\ V \\
 &= 442,8\ V
 \end{aligned}$$

Faktor kali dalam menghitung rating SPD DC adalah 1,2

(Ramadhani, 2018) maka rating minimal SPD DC dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$V_{rating} = V_{ocTotal} \times \text{Faktor kali}$$

$$= 442,8 \text{ V} \times 1,2$$

$$= 531,36 \text{ V}$$

Sesuai dengan perhitungan maka nilai rating tegangan minimal SPD DC adalah 531,36 V, sehingga SPD DC yang dipilih adalah SPD DC 1000 V sesuai yang ada dipasaran.

b) Pengkabelan ke Beban

Dalam pengoperasian motor listrik, daya dan arus akan meningkat pada saat awal pemakaian (*start pemakaian*). Dimana, kenaikan daya dan arus ini sangat besar, sehingga dengan pertimbangan tersebut maka energi yang akan dibangkitkan pada desain PLTS ini didasari oleh hasil perhitungan daya maksimal *start* motor listrik wire rope ini. Berikut adalah hasil perhitungan daya dan arus *start* motor listrik tersebut:

✓ Berdasarkan spesifikasi motor listrik pada tabel 3.1, Berikut persamaan untuk menghitung arus motor listrik:

Diketahui:

$$P = 4 \text{ kW (4000 W)}$$

$$V = 220\text{V}$$

Penyelesaian:

$$I = \frac{P}{V}$$

Dimana:

I : arus motor listrik (A)

P : daya motor listrik (kW)

V : tegangan motor listrik (V)

$$I = \frac{4000}{220}$$

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

Jadi arus pada motor listrik sebesar 18,18 A.

Penentuan besar arus *starting* motor induksi dapat dilakukan dengan mengenali *code letter* yang ada pada *nameplate* motor dan juga dapat dilakukan melalui metoda Extrapolasi. Berikut tabel *code letter* tersebut:

Tabel 4.4 Faktor Kode Motor Induksi

Letter Code	Nilai
A	0 - 3,15
B	3,15 - 3,55
C	3,55 - 4,00
D	4,00 - 4,50
E	4,50 - 5,00
F	5,00 - 6,00

Sumber: NEMA *Letter Code*

- ✓ Mencari arus *start* minimum

Diketahui:

$$S_{rated} = 4 \text{ kW (5,36 Hp)}$$

$$\text{letter code faktor minimum} = 4,50$$

Penyelesaian :

$$S_{start} = S_{rated} (\text{daya nominal motor HP}) \times \text{letter code faktor}$$

$$S_{start} = 5,36 \times 4,50$$

$$S_{start} = 24,12 \text{ kVA}$$

Jadi daya yang diperlukan untuk start motor adalah sebesar 24,12 kVA, sehingga untuk mendapatkan arus *start* minimum motor digunakan persamaan berikut :

Diketahui:

$$S_{start} = 24,12 \text{ kVA}$$

$$V = 220 \text{ V}$$

Penyelesaian:

$$I_{start} = \frac{1000 \times S_{start}}{V}$$

Dimana :

I_{start} : arus start pada motor listrik (A)

S_{start} : daya yang diperlukan untuk start motor (kVA)

letter code faktor : faktor pengali (kVA/Hp)

$$I_{start} = \frac{1000 \times 24,12}{220}$$

$$I_{start} = 109,63 \text{ A}$$

Jadi arus *start* minimum yang digunakan motor sebesar 109,63 A.

Berdasarkan hasil perhitungan arus *start* minimum diatas, maka dapat diketahui peningkatan arus normal ke arus *start* minimum adalah:

$$\frac{109,63}{18,18} = 6,03 \text{ atau } 6 \text{ kali}$$

- ✓ Mencari Arus *Start* Maksimum

Diketahui :

$$S_{rated} = 4 \text{ kW } (5,36 \text{ Hp})$$

letter code faktor maximum = 5,00

Penyelesaian :

$$S_{start} = S_{rated} \text{ (daya nominal motor HP)} \times \text{letter code faktor}$$

$$S_{start} = 5,36 \times 5,00$$

$$S_{start} = 26,8 \text{ kVA}$$

Jadi daya yang diperlukan untuk *start* maksimum motor sebesar 26,8 kVA. Untuk mendapatkan arus *start* maksimum motor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{start} = \frac{1000 \times S_{start}}{V}$$

$$I_{start} = \frac{1000 \times 26,8}{220}$$

$$I_{start} = 121,81 \text{ A}$$

Jadi arus *start* maksimum yang digunakan motor sebesar 121,81 A. Sehingga berdasarkan hasil perhitungan arus *start* maksimum diatas, maka dapat diketahui peningkatan arus normal ke arus *start* maksimum adalah:

$$\frac{121,81}{18,18} = 6,7 \text{ atau } 7 \text{ kali}$$

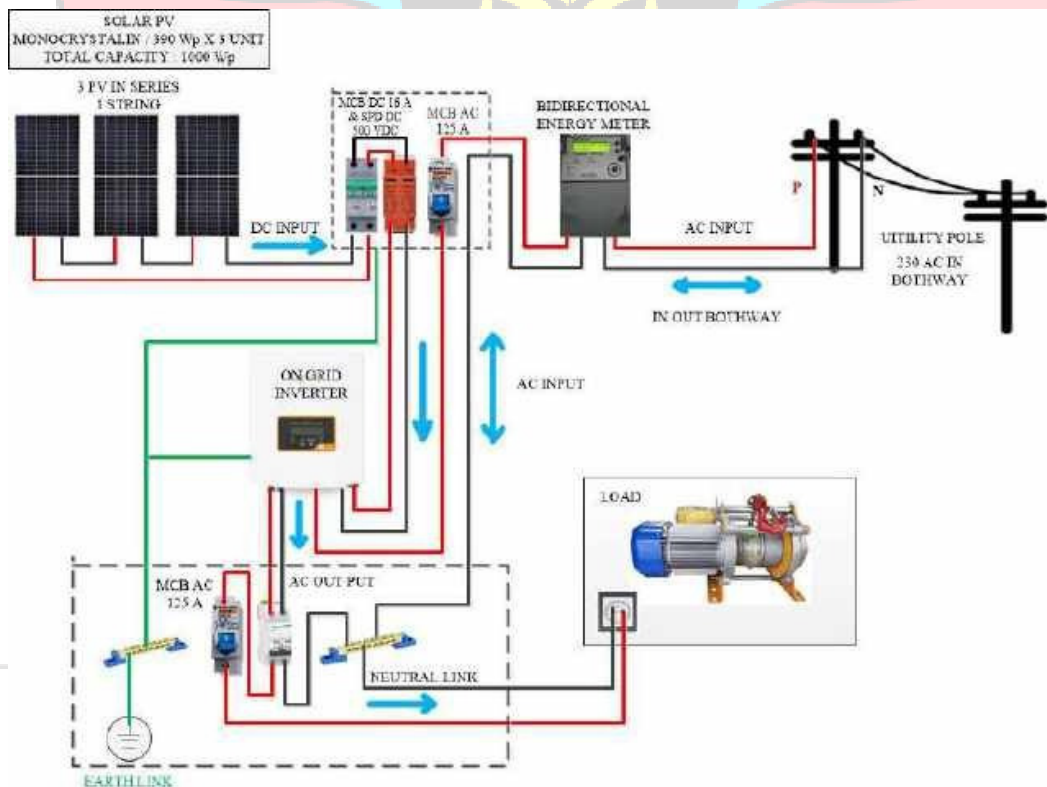
Untuk menghitung Proteksi dan pengkabelan pada beban, data perhitungan yang digunakan adalah arus *start* maksimum, sehingga berdasarkan hasil perhitungan arus *start* maksimum motor diatas, yaitu sebesar 121,81 A berikut adalah perhitungan untuk menentukan luas penampang kabel :

Dengan menggunakan persamaan dibawah, diperoleh nilai KHA sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 KHA &= 125\% \times \text{Arus Maksimum} \\
 &= 125\% \times 121,81 \text{ A} \\
 &= 152,25 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Diperoleh nilai KHA sebesar 152,25 A. Berdasarkan tabel 4.3 Maka luas penampang kabel yang digunakan untuk beban motor listrik *wire rope hoist* adalah 35 mm² dan gawai proteksi MCB sebesar 125 A.

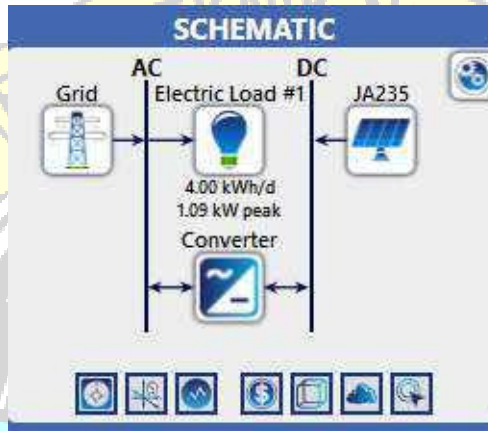
Berdasarkan hasil perhitungan perancangan sistem PLTS diatas, berikut adalah gambar skematik dari Desain sistem PLTS untuk beban *Trash Rack* di PLTMH Tombolo Pao:



Gambar 4.14 Diagram Skematik Desain Sistem PLTS

4.2.4 Hasil Simulasi HOMER

Berdasarkan parameter-parameter yang telah diinput pada simulasi HOMER pada subbab sebelumnya, berikut adalah skematik diagram hasil simulasi sistem *GRID* dengan jaringan PLN.



Gambar 4.15 Skematik Simulasi HOMER

a) Hasil Optimasi

Berikut adalah tabel hasil simulasi pada HOMER, gambar dibawah menampilkan opsi hasil simulasi. Hasil simulasi memperlihatkan nilai *renewable fraction* 69,9 % .

Architecture				Cost				System			
JA235	Grid	Converter	Dispatch	NPV	COE	Operating cost	Initial Capital	Rate of Return	Total Fuel Cost	Capital Cost	Production
(\$/yr)	(\$/yr)	(kW)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$)	(%)	(\$/yr)	(\$)	(kWh/yr)
100	200,000	100	IF	\$p417M	\$p8.910	\$p8.15M	\$p207M	69.9	0	1,371,795	1,878
100	200,000	100	CC	\$p417M	\$p8.910	\$p3.15M	\$p265M	69.9	0	1,371,795	1,878

Gambar 4.16 Tampilan Hasil Simulasi HOMER

b) Produksi *Photovoltaic*

Pada gambar dibawah menunjukkan grafik, produksi energi pada sistem ini didominasi oleh PV, yaitu sebesar 71 % pertahun menghasilkan energi listrik sebesar 1.878 kWh/tahun atau 5,14 Wh/day. Adapun total keseluruhan produksi sistem PLTS sumber *grid* sebesar 2.644 kWh/tahun, hasil *excess electricity* (kelebihan energi listrik) sebesar 0

kWh/tahun. *excess electricity* dapat memberikan dampak positif dan negatif, pada penelitian ini *excess electricity* memberikan dampak positif disebabkan *excess electricity* tersambung ke *Grid* PLN, kelebihan daya yang dihasilkan bisa dijual ke PLN sehingga memberikan dampak positif. Hasil dari unmet load (beban tidak terpenuhi) adalah 0 kWh/tahun, artinya tidak ada permintaan beban melebihi persediaan energi listrik yang ada. Sehingga beban dapat dilayani semua oleh sistem yang ada dan menghasilkan nilai *unmet load* nol. Sama halnya dengan *capacity shortage* atau besarnya kekurangan energi per tahun yang disebabkan menurunnya jumlah produksi energi listrik disebabkan kurangnya radiasi matahari pada bulan-bulan tertentu



Gambar 4.17 Hasil Simulasi HOMER Pro Kelistrikan

c) *Renewable Penetration*

Penetrasi energi terbarukan “*Renewable penetration*” adalah parameter yang digunakan untuk mengetahui kinerja dari energi terbarukan dalam satu

tahun berdasarkan energi yang diproduksi. Gambar dibawah adalah hasil dari *renewable penetrasi* dari simulasi HOMER. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa *renewable penetration* yang dihasilkan berdasarkan pembangkit energi terbarukan adalah sebesar 71%, sedangkan untuk *renewable fraction* sebesar 100%.

Tabel 4.5 Hasil Simulasi *Renewable Penetration*

Energy-based metrics	Value	Units
Total <i>renewable production divided by load</i>	73,6	%
Total <i>renewable production divided by generation</i>	71	%
<i>One minus total nonrenewable production divided by load</i>	100	%

d) Sistem PV

PV memproduksi energi 1.878 kWh/tahun atau 5,14 kWh/hari dimana peran PV pada sistem PLTS ini sangat besar sehingga pemanfaatan energi terbarukan pada sistem ini cukup tinggi. Pada gambar dibawah dapat dilihat nilai *Capacity Factor* PV mencapai 21,4 % dengan jam operasi 4.380/tahun atau 12 jam/hari.

Tabel 4.6 Hasil Simulasi PV

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	1.00	kW
Mean Output	0.214	kW
Mean Output	5.14	kWh/d
Capacity Factor	21.4	%
Total Production	1,878	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	1.00	kW
PV Penetration	129	%
Hours of Operation	4.380	hrs/yr
Levelized Cost	2.14	Rp/kWh

4.3 Analisis Kelayakan Ekonomi

Perhitungan ekonomi digunakan untuk melihat aspek ekonomi dari instalasi surya atap yang akan dipasang. Perhitungan ini mempertimbangkan jumlah uang yang harus dikeluarkan, berupa biaya investasi awal dan perkiraan biaya pemeliharaan (O/M) selama usia teknis (*lifetime*). Sistem *lifetime* dapat mencapai 25 – 30 tahun (Suhendar, 2022).

1. Menghitung Rincian Biaya Investasi

Biaya investasi awal untuk PLTS yang akan dikembangkan di area PLTMH Tombolo Pao mencakup biaya-biaya seperti biaya komponen utama PLTS, biaya konstruksi bangunan PLTS, serta biaya instalasi PLTS. Biaya investasi PLTS pada area PLTMH Tombolo Pao dapat dilihat pada Lampiran 3.

2. Menghitung Biaya Operasional dan *Maintenance*

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). Adapun besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan dapat dihitung dengan persamaan (2-16) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M &= 1\% \times \text{Total Biaya Investasi} \\ &= 0,01 \times 30.136.975 \\ &= \text{Rp } 301.370 \end{aligned}$$

3. Menghitung Biaya Siklus Hidup

Biaya siklus hidup (LCC) untuk PLTS yang akan dikembangkan di area PLTMH Tombolo Pao, ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal (C), biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional (MPW) serta biaya penggantian komponen (RPW). Sehingga biaya siklus hidup (LCC) PLTS pada penelitian ini akan dihitung dengan persamaan (2-15) sebagai berikut:

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

PLTS yang akan didesain pada penelitian ini, diasumsikan beroperasi selama 25 tahun. Penetapan umur proyek ini mengacu kepada jaminan (garansi) yang dikeluarkan oleh produsen panel surya.

Besarnya tingkat diskonto (i) yang dipergunakan untuk menghitung nilai sekarang pada penelitian ini adalah sebesar 9%. Penentuan tingkat

diskonto ini mengacu kepada tingkat suku bunga kredit bank Juli 2023, yaitu sebesar 8,44% (Website Resmi BI).

Besar nilai sekarang (*present value*) untuk biaya pemeliharaan dan operasional (MPW) PLTS selama umur proyek 25 tahun dengan tingkat diskonto 9% dihitung dengan persamaan (2-17) sebagai berikut.

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

$$M_{PW}(A_{9\%,25}) = 301.370 \left[\frac{(1+0,09)^{25} - 1}{0,09(1+0,09)^{25}} \right]$$

$$M_{PW}(A_{9\%,25}) = 301.370 \left[\frac{7,623}{0,775} \right]$$

$$M_{PW}(A_{9\%,25}) = 301.370 \times 9,836$$

$$M_{PW}(A_{9\%,25}) = 2.964.275,32$$

maka,

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

$$LCC = 30.136.975 + 2.964.275,32 + 7.900.000$$

$$LCC = 41.001.250,32$$

4. Menghitung Biaya Energi PLTS

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

Biaya energi (*cost of energy*) PLTS diperhitungkan dengan persamaan (2-

19) sebagai berikut :

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}}$$

Berikut adalah persamaan (2-20) untuk menghitung factor pemulihan

modal :

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

$$CRF = \frac{0,09 (1 + 0,09)^{25}}{(1 + 0,09)^{25} - 1}$$

$$CRF = \frac{0,776}{7,623}$$

$$CRF = 0,102$$

Sedangkan untuk kWh produksi tahunan dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$AkWh = kWh \text{ produksi harian} \times 365$$

$$AkWh = 5,36 kWh \times 365$$

$$AkWh = 1.956,4 kWh$$

maka;

$$COE = \frac{41.001.250,32 \times 0,102}{1.956,4}$$

$$COE = \frac{4.182.127,53}{1.956,4}$$

$$COE = Rp 2.137,66 / kWh$$

Kelayakan investasi PLTS yang akan dikembangkan di area PLTMH Tombolo Pao ditentukan berdasarkan hasil perhitungan NPV, BCR, dan IRR.

Perhitungan NPV, BCR dan IRR 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 dihasilkan dengan mengurangi arus kas masuk dengan arus kas keluar. Sedangkan untuk nilai sekarang arus kas bersih dihasilkan dengan mengalikan arus kas bersih dengan tingkat diskonto. Lampiran 4 menunjukkan hasil perhitungan arus kas bersih, faktor diskonto dengan tingkat diskonto (*i*) sebesar 9% dan nilai sekarang arus kas bersih.

Arus kas masuk tahunan PLTS yang akan dikembangkan di area PLTMH Tombolo Pao dihasilkan dengan mengalikan kWh produksi tahunan PLTS dengan biaya energi. Dengan kWh produksi tahunan PLTS (A kWh) sebesar 1.956,4 kWh dan biaya energi (COE) sebesar Rp. 2.137,66/kWh maka besar arus kas masuk tahunan adalah Rp. 4.182.118,02. Untuk arus kas keluar tahunan PLTS diperhitungkan sebesar Rp.301.370 yang ditentukan berdasarkan biaya pemeliharaan dan operasional tahunan PLTS yaitu 1% dari biaya investasi.

Berdasarkan hasil perhitungan arus kas bersih, faktor diskonto dan nilai sekarang arus kas bersih, maka NPV, BCR dan IRR untuk PLTS yang akan didesain dapat diperhitungkan.

1. *Net Present Value* (NPV)

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

$$NPV = 38.118.956,40 - 30.136.975$$

$$NPV = Rp\ 7.981.981,40$$

Hasil perhitungan NPV bernilai positif Rp 7.981.981,40 atau (>0) menunjukkan bahwa investasi yang didesain di daerah PLTMH

Tombolo Pao layak untuk dilaksanakan. Pada lampiran 4 tabel hasil perhitungan aliran kas bersih dengan nilai *future value* sebesar Rp 38.118.956,40 nilainya lebih besar daripada nilai investasi awal, sehingga nilai NPV positif dan layak untuk dilaksanakan.

2. IRR (*Internal Rate of Return*)

IRR adalah parameter yang digunakan untuk analisis kelayakan ekonomi dengan mendapatkan tingkat bunga yang menyamakan total nilai sekarang penerimaan arus kas yang diharapkan dengan total nilai sekarang yang diperlukan untuk investasi, dimana untuk menghitung nilai IRR yaitu dengan mencari tingkat suku bunga yang menghasilkan nilai *net present value* (NPV) positif dibandingkan dengan tingkat suku bunga yang menghasilkan nilai *net present value* positif (lampiran 4), kemudian nilai IRR dibandingkan dengan tingkat suku bunga pengembalian investasi yang berlaku yaitu 9%. Berikut adalah hasil perhitungan IRR :

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

$$IRR = 0,08 + \frac{14.400.729,76}{14.400.729,76 - 5.984.075,82} \times (0,1 - 0,08)$$

$$IRR = 0,08 + (1,82 \times 0,02)$$

$$IRR = 0,1164$$

$$IRR = 11,64\%$$

Dari hasil perhitungan diatas menunjukkan hasil IRR adalah 11,64 % kemudian dibandingkan dengan tingkat suku bunga pengembalian

investasi sebesar 9%, maka proyek ini layak untuk dilaksanakan karena $IRR > 9\%$.

3. BCR (*Benefit Cost Ratio*)

Benefit Cost Ratio (BCR) merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Teknik ini juga sering disebut dengan model rasio manfaat biaya. Teknik BCR Dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

$$BCR = \frac{Rp. 38.118.956,40}{Rp. 30.136.975}$$

$$BCR = 1,26$$

Hasil perhitungan BCR bernilai 1,26 (>1), menunjukkan bahwa investasi PLTS yang didesain di area PLTMH Tombolo Pao layak untuk dilaksanakan.

4. *Pay Back Period*

Parameter *pay back periode* (PBP) digunakan untuk menghitung dan mengetahui seberapa lama waktu pengembalian modal investasi dalam sebuah proyek yang telah dibangun dari aliran kas masuk yang didapat. Perhitungan *pay back periode* (PBP) sendiri yaitu dengan cara membagi biaya investasi keseluruhan sistem yang bernilai Rp.

30.136.975 dengan aliran kas masuk atau keuntungan yang didapat selama 25 tahun melalui +penjualan energi listrik yang dihasilkan menggunakan tarif penjualan listrik sebesar Rp 2.137,66/kWh. Dengan

tarif penjualan listrik yang telah dihitung sebelumnya dan produksi energi listrik pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) mampu menghasilkan Rp. 4.182.118,024 selama setahun. Untuk *menghitung pay back periode* (PBP) menggunakan persamaan 2.25 adalah sebagai berikut:

$$\text{Pay Back Period (t)} = \frac{\text{Biaya investasi keseluruhan}}{\text{pendapatan pertahun}}$$

$$\text{Pay Back Period (t)} = \frac{\text{Rp } 30.136.975}{\text{Rp } 4.182.118,024}$$

$$\text{Pay Back Period (t)} = 7,2 \text{ tahun}$$



BAB V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data, peneliti menarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan spesifikasi motor *wire rope hoist* yang digunakan di PLTMH Tombolo Pao untuk mengoperasikan *trash rack* dibutuhkan daya sebesar 4000 Watt, sehingga daya yang dibangkitkan pada sistem PLTS ini sebesar 4 kW dengan waktu pemakaian 1 jam perharinya. Desain *trash rack* yaitu meliputi rangka utama, pembuatan rangka utama disesuaikan dengan ukuran waterway pada PLTMH Tombolo Pao. Untuk mengangkat *trash rack* dengan berat total 1.216 kg setinggi 3 meter diperlukan usaha sebesar 32.885,4 Nm dengan waktu pengangkatan 27 detik dan daya minimal sebesar 1.219 kW, menggunakan motor listrik *wire rope hoist*.
2. Perancangan PLTS untuk suplai motor listrik pengoperasian *trash rack* PLTMH Tombolo Pao ini menggunakan sisten On Grid. Perancangan menggunakan 3 panel surya kapasitas 390 Watt Peak dengan 1 array. Inverter yang digunakan pada perancangan berjumlah 1 unit dengan kapasitas 1.800 Watt. Berdasarkan perhitungan manual, produksi energi PLTS atap ini dalam satu hari rata-rata mampu menghasilkan daya sebesar 5,36 kWh. Dalam satu tahun, rata-rata energi yang dapat dihasilkan adalah sebesar 1.956,4 kWh. Sedangkan pada hasil simulasi perancangan PLTS dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak HOMER sebagai

pembandingan terhadap hasil yang didapatkan dari perhitungan secara manual. Simulasi perancangan menggunakan 3 unit panel surya kapasitas 390 *Watt Peak* serta 1 unit inverter kapasitas 1.800 Watt. Simulasi perancangan memberikan hasil bahwa produksi energi PLTS dalam satu tahun adalah sebesar 1.878 kWh/tahun.

3. Pada penelitian ini, analisis kelayakan ekonomi menggunakan tiga parameter untuk menguji kelayakan dari segi ekonomis. Parameter yang digunakan, yaitu perhitungan NPV (*net present value*) dengan hasil bernilai positif Rp 7.981.981,40 atau >0 dimana nilai positif proyek ini dapat dilaksanakan. Selanjutnya menggunakan parameter IRR (*Internal rate of return*) dengan hasil 11,64% $> 9%$ (nilai factor diskonto) dimana hasil tersebut berarti proyek ini dapat dilaksanakan, dan perhitungan BCR bernilai 1,26 atau >1 yang menunjukkan bahwa proyek ini dapat dilaksanakan. Untuk waktu pengembalian modal dengan perhitungan PBP sebesar 7,2 tahun.

5.2 SARAN

Adapun saran yang penulis dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Perlunya peninjauan kembali menggunakan *software* simulasi PLTS selain HOMER, seperti Pvsyst, PV Planner atau PV F-Chart.
2. Melakukan perbandingan konfigurasi system PLTS yang baik (penggunaan baterai)

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, A. I. (2013). Potensi Sumber Energi Alternatif dalam Mendukung Kelistrikan Nasional. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 2(2), 892-897.
- AHMAD R. N. M., N. H. (2016). Studi Besaran Torca Induksi pada Motor Listrik Hoist. *Jurnal Reka Elkomika*, 2337-439X Juli Vol.4 No.2.
- Alamsyah, T., Hiendro, A., & Abidin, Z. (2019). Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel Mono-Crystalline dan Poly-Crystalline di Kota Pontianak dan Sekitarnya. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2(1).
- Danu, A. R. (2020). *Analisa Keekonomian Tarif Listrik untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya FTI UII 5kWp dengan Metode Life Cycle Cost (LCC)*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia, Jurusan Teknik Elektro.
- Fazri, Syuhada, A., & Fuadi, Z. (2016). Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hibrida untuk Menggerakkan Pompa Air di Area Pertanian. *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah Volume 4, Nomor 1*.
- Gifson, A., Siregar, M. R., & Pambudi, M. P. (2020). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ON GRID di Ecopark Ancol. *TESLA, Teknik Elektro STT PLN*, Vol. 22 No. 1, 23-33.
- Girgis, G., & Chief, P. (2016). Design Standars No. 6 Hydraulic and Mechanical Equipment. In U. D. Reclamation, *RECLAMATION Managing Water in the West* (p. 16). -: -.
- Kencana, B., Prasetyo, B., Berchmans, H., Agustina, I., Myrasandri, P., Bona, R., . . . Winne. (2018). *PANDUAN STUDI KELAYAKAN PEMBANGKIT TENAGA SURYA (PLTS) TERPUSAT*. Jakarta Selatan, Indonesia: Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi.
- Mulyadi, M. (2014). RANCANG BANGUN SISTEM TRASH RAKE SEMI OTOMATIS PADA SALURAN INTAKE UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO. *SINERGI*, 75-86.
- NAGEL, A. A. (2022). *PENGEMBANGAN PLTS ATAP DENGAN SISTEM ON GRID KAPASITAS KECIL UNTUK SEKTOR UMKM (STUDI KASUS: UMKM SENTRA ROTAN, DESA TRANGSAN, KECAMATAN GATAK, KABUPATEN SUKOHARJO)*. Universitas Diponegoro: Doctoral Dissertation School of Postgraduate Studies.

- Nuryanto, L. E. (2021, November 3). Perancangan Sistem Kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid (PLN dan PLTS) Kapasitas 800 Wp. *ORBITH*, Vol. 17 No. 3 : 196-205.
- Pratiwi, N. F., Pudir, A., & Mursanto, W. B. (2022). Perancangan PLTS Atap On Grid Kapasitas 163,8 kWp. *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 297-303.
- Ramadhani, B. (2018). *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Dont's*. Jakarta: GIZ.
- Saiby, A. S. (2019). *Tekanan Zat Cair pada Bidang Vertikal Terendam*. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Sakinah, E. N., Putra, I. D., & Rumintang, A. (2021). Analisis Kelayakan Ekonomi pada Pembangunan Perkantoran Tower Poros Maritim Surabaya. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 10 (2), 224-231.
- Suhendar. (2022). *Dasar-dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Tangerang: Media Edukasi Indonesia (Anggota IKAPI).
- Syahrial, S., Azis, P., Bhuana, C., & Yunus, S. A. (2019). ANALISIS KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO DESA TOMBOLO PAO KABUPATEN GOWA. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 17(1), 10-15.
- Trimintarsih, T. (2016). Analisis Kelayakan Investasi di Usaha Jasa Transportasi Truk. *Jurnal Revitalisasi* 5 (4).
- Ulaan, T. P. (2022). Pengaruh Pemesinan Bubut Kering Terhadap Daya Motor Listrik Dengan Menvariasikan Putaran Spindel. *JURNAL POROS TEKNIK MESIN UNSRAT*, 11(2), 146-146.
- Wahl, T. (1992). *Trash Control Structures And Equipment: A Literature Review And Survey Of Bureau Of Reclamation Experience*. Colorado: Hydraulics Branch Research and Laboratory Services Division Denver Office .
- Widyanto S. (2010). Analisis dan Perhitungan Perencanaan PLTA.

L



L



**HASIL PENGUKURAN DI
LAPANGAN**

HASIL PENGUKURAN RADIASI MATAHARI

DATA HARI 1

Hari/Tanggal : Sabtu/ 13 Mei 2023

Tempat : Power House PT. Tombolo Energi

JAM	Radiasi Matahari (W/m ²)
11.05	1095
11.15	1027
11.25	1101
11.35	1044
11.43	1035
11.52	1001
12.06	1097
12.13	1150
12.23	1100
12.34	1080
13.07	1061
13.32	1070
rata-rata	1071,75

DATA HARI 2

Hari/Tanggal : Kamis, 25 Mei 2023

Tempat : Headphone PLTMH PT. Tombolo Energi

Jam	Radiasi Matahari (W/m ²)
10.30	384,0
10.40	402,8
10.50	201
11.00	210
11.10	226,3
11.20	505,8
11.30	536,7
11.40	501,5
11.50	333,3
12.00	265,6
12.10	864,1
12.20	541,4
12.30	301,9
12.40	190,7
12.50	250,9
13.00	329,6
rata-rata	377,85

DATA PENGUKURAN SUHU

Hari/Tanggal : Kamis, 25 Mei 2023

Tempat : Laboratorium Pembangkit Energi PNUP

WAKTU	PANEL 1 (50 WP)			PANEL 2 (50 Wp)			V _{udara}	I _{matahari} (W/m ²)
	T _{atas}	T _{bawah}	T _{lingkungan}	T _{atas}	T _{bawah}	T _{lingkungan}		
09.00	49,8	57,5	30,1	45,9	53,7	30,1		853
10.00	51,2	58,2	36,3	50,1	56,5	36,3		996
11.00	54,1	62,9	38,9	54,5	62,7	38,9		1070
12.00	56,7	64,3	36,1	55	63,2	36,1		
13.00	53,7	61,1	36,1	52,7	59,1	36,1		
14.00	51,3	57,4	36	49,2	55,3	36		
15.00	43,3	48,9	34,9	43,4	49,7	34,9		
rata-rata	51,44	58,61	35,49	50,11	57,17	35,49		

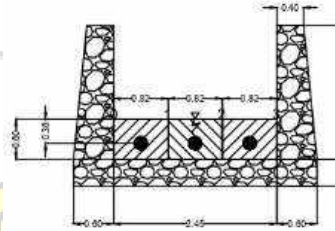


L



HASIL PERHITUNGAN DEBIT

DEBIT TAILRACE 0,5 MW



Metode Gabungan

METODE MID						
SALURAN PEMBUANGAN TURBIN 0.5 MW						
Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/detik)	Luas Penampang (m ²)	Debit (m ³ /detik)
0	0,82	0,82	0,6	0,2	0,492	0,098
1			0,6			
2	0,81	1,63	0,6	0,1	0,486	0,049
3	0,82	2,45	0,6	0,3	0,492	0,148
			Rata - rata	0,2	∑Q	0,295

Untuk menghitung debit saluran, terlebih dahulu dilakukan perhitungan Kecepatan rata-rata menggunakan persamaan berikut :

$$v_{rata-rata} = \frac{V_{0-1} + V_2 + V_3}{3}$$

$$= \frac{0,2 \frac{m}{detik} + \frac{0,1m}{detik} + 0,3m/detik}{3} = 0,2 m/detik$$

Selanjutnya menghitung luas penampang saluran dengan persamaan berikut :

$$A_{0-1} = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 0,6 m \times 0,82 m$$

$$= 0,492 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 0,6 \text{ m} \times 0,81 \text{ m}$$

$$= 0,486 \text{ m}^2$$

$$A_3 = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 0,6 \text{ m} \times 0,82 \text{ m}$$

$$= 0,492 \text{ m}^2$$

Setelah menghitung kecepatan dan luas penampang saluran, debit dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{0-1} = v_{1-0} \times A_{1-0}$$

$$= 0,2 \text{ m/detik} \times 0,492 \text{ m}^2$$

$$= 0,098 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_2 = v_2 \times A_2$$

$$= 0,1 \text{ m/detik} \times 0,486 \text{ m}^2$$

$$= 0,049 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_3 = v_3 \times A_3$$

$$= 0,3 \frac{\text{m}}{\text{detik}} \times 0,492 \text{ m}^2$$

$$= 0,148 \text{ m}^3/\text{detik}$$

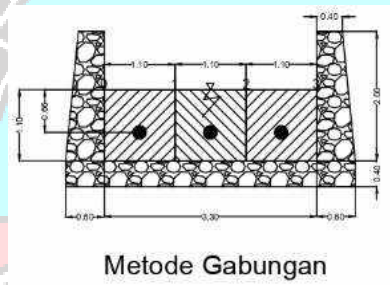
maka debit pada saluran tailrace turbin kapasitas 0,5 MW adalah :

$$Q = Q_{1-0} + Q_2 + Q_3$$

$$= 0,098 \text{ m}^3/\text{detik} + 0,049 \text{ m}^3/\text{detik} + 0,148 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 0,295 \text{ m}^3/\text{detik}$$

DEBIT TAILRACE 2,5 MW



SALURAN PEMBUANGAN TURBIN 2.5 MW						
Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/detik)	Luas Penampang (m ²)	Debit (m ³ /detik)
0	1,65	1,65	1,1	0,8	1,815	1,452
1			1,1			
2	1,65	3,30	1,1	0,8	1,815	1,452
			Rata - rata	0,8	ΣQ	2,904

Untuk menghitung debit saluran, terlebih dahulu dilakukan perhitungan Kecepatan rata-rata menggunakan persamaan berikut :

$$v_{rata-rata} = \frac{V_{0-1} + V_2}{2}$$

$$= \frac{0,8+0,8}{2} = 0,8 \text{ m/detik}$$

Selanjutnya menghitung luas penampang saluran dengan persamaan berikut :

$$A_{0-1} = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 1,1 \text{ m} \times 1,65 \text{ m}$$

$$= 1,815 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 1,1 \text{ m} \times 1,65 \text{ m}$$

$$= 1,815 \text{ m}^2$$

Setelah menghitung kecepatan dan luas penampang saluran, debit dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{0-1} = v_{1-0} \times A_{1-0}$$

$$= 0,8 \text{ m/detik} \times 1,815 \text{ m}^2$$

$$= 1,452 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_2 = v_2 \times A_2$$

$$= 0,8 \text{ m/detik} \times 1,815 \text{ m}^2$$

$$= 1,452 \text{ m}^3/\text{detik}$$

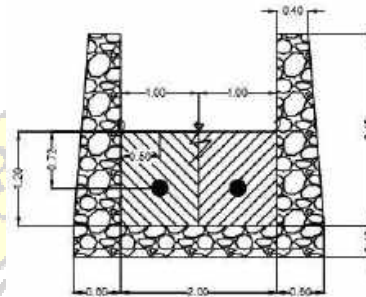
maka debit pada saluran tailrace turbin kapasitas 2,5 MW adalah :

$$Q_{tot} = Q_{1-0} + Q_2$$

$$= 1,452 \text{ m}^3/\text{detik} + 1,452 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 2,904 \text{ m}^3/\text{detik}$$

DEBIT TAILRACE 0,5 MW & 2,5 MW



Metode Mid Section

SALURAN TAILRACE TURBIN 2.5 DAN 0.5 MW

Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/detik)	Luas Penampang (m ²)	Debit (m ³ /detik)
0	1,00	1,00	1,2	1,4	1,2	1,680
1			1,2			
2	1,00	2,00	1,2	1,2	1,2	1,440
			Rata - rata	1,3	ΣQ	3,120

Untuk menghitung debit saluran, terlebih dahulu dilakukan perhitungan Kecepatan rata-rata menggunakan persamaan berikut :

$$v_{rata-rata} = \frac{V_{0-1} + V_2}{2}$$

$$= \frac{1,4 + 1,2}{2} = 1,3 \text{ m/detik}$$

Selanjutnya menghitung luas penampang saluran dengan persamaan berikut :

$$A_{0-1} = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 1,2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$= 1,2 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 1,2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$= 1,2 \text{ m}^2$$

Setelah menghitung kecepatan dan luas penampang saluran, debit dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{0-1} &= v_{1-0} \times A_{1-0} \\ &= 1,4 \text{ m/detik} \times 1,2 \text{ m}^2 \\ &= 1,680 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

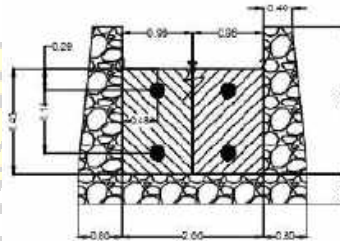
$$\begin{aligned} Q_2 &= v_2 \times A_2 \\ &= 1,2 \text{ m/detik} \times 1,2 \text{ m}^2 \\ &= 1,440 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

maka debit pada saluran tailrace turbin kapasitas 0,5 MW dan 2,5 MW adalah

$$\begin{aligned} Q_{tot} &= Q_{1-0} + Q_2 \\ &= 1,680 \text{ m}^3/\text{detik} + 1,680 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 3,12 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

DEBIT SALURAN WATER WAY

Saluran Water Way



Metode Mid Section

SALURAN WATER WAY							
Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/detik)	Kecepatan Rata-rata (m/detik)	Luas Penampang (m ²)	Debit (m ³ /detik)
0	1,00	1,00	1,43	0,8	0,85	1,43	1,216
1				0,9			
2	1,00	2,00	1,43	1,1	1,1	1,43	1,573
				1,1			
				Rata - rata	0,975	∑Q	2,789

Untuk menghitung debit saluran, terlebih dahulu dilakukan perhitungan

Kecepatan rata-rata menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 v_{rata-rata} &= \frac{V_{0-1} + V_2}{2} \\
 &= \frac{0,85 + 1,1}{2} = 0,975 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung luas penampang saluran dengan persamaan berikut :

$$A_{0-1} = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 1,43 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$= 1,43 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 1,43 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$= 1,43 \text{ m}^2$$

Setelah menghitung kecepatan dan luas penampang saluran, debit dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

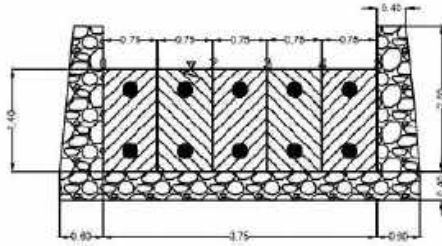
$$\begin{aligned} Q_{0-1} &= v_{1-0} \times A_{1-0} \\ &= 0,85 \text{ m/detik} \times 1,43 \text{ m}^2 \\ &= 1,216 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= v_2 \times A_2 \\ &= 1,1 \text{ m/detik} \times 1,43 \text{ m}^2 \\ &= 1,573 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

maka debit pada saluran water way adalah :

$$\begin{aligned} Q_{tot} &= Q_{1-0} + Q_2 \\ &= 1,216 + 1,573 \\ &= 2,789 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

DEBIT SALURAN HEADPOND



Metode Gabungan

SALURAN HEADPOND							
Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/detik)	Kecepatan Rata-rata (m/detik)	Luas Penampang (m ²)	Debit (m ³ /detik)
0	0,75	0,75	1,4	0,8	0,600	1,05	0,63
1	0,75	1,50	1,4	0,4			
2	0,75	2,25	1,4	0,7	0,450	1,05	0,473
3	0,75	3,00	1,4	0,3			
4	0,75	3,75	1,4	0,7	0,550	1,05	0,578
5	0,75	3,75	1,4	0,2			
				0,6	0,500	ΣQ	2,100
				0,4			
				0,6			
				0,5			
				Rata - rata	0,500	ΣQ	2,100

Untuk menghitung debit saluran, terlebih dahulu dilakukan perhitungan Kecepatan rata-rata menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 v_{rata-rata} &= \frac{V_{0-1} + V_2 + V_3 + V_4 + V_5}{5} \\
 &= \frac{0,6+0,5+0,45+0,5+0,55}{5} = 0,5 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung luas penampang saluran dengan persamaan berikut :

$$A_{0-1} = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 1,4 \text{ m} \times 0,75 \text{ m}$$

$$= 1,05 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 1,4 \text{ m} \times 0,75 \text{ m}$$

$$= 1,05 \text{ m}^2$$

$$A_3 = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 1,4 \text{ m} \times 0,75 \text{ m}$$

$$= 1,05 \text{ m}^2$$

$$A_4 = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 1,4 \text{ m} \times 0,75 \text{ m}$$

$$= 1,05 \text{ m}^2$$

$$A_5 = \text{Kedalaman saluran} \times \text{Jarak Interval}$$

$$= 1,4 \text{ m} \times 0,75 \text{ m}$$

$$= 1,05 \text{ m}^2$$

Setelah menghitung kecepatan dan luas penampang saluran, debit dapat

dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{0-1} = v_{1-0} \times A_{1-0}$$

$$= 0,6 \text{ m/detik} \times 1,05 \text{ m}^2$$

$$= 0,63 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_2 = v_2 \times A_2$$

$$= 0,5 \text{ m/detik} \times 1,05 \text{ m}^2$$

$$= 0,525 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_3 = v_3 \times A_3$$

$$= 0,45 \text{ m/detik} \times 1,05 \text{ m}^2$$

$$= 0,473 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_4 = v_4 \times A_4$$

$$= 0,5 \text{ m/detik} \times 1,05 \text{ m}^2$$

$$= 0,525 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_5 = v_5 \times A_5$$

$$= 0,55 \text{ m/detik} \times 1,05 \text{ m}^2$$

$$= 0,578 \text{ m}^3/\text{detik}$$

maka debit pada saluran menuju headpond adalah :

$$Q = Q_{1-0} + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$$= 0,63 \frac{\text{m}^3}{\text{detik}} + 0,525 \frac{\text{m}^3}{\text{detik}} + \frac{0,473 \text{m}^3}{\text{detik}} + \frac{0,525 \text{m}^3}{\text{detik}} + 0,578 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 2,1 \text{ m}^3/\text{detik}$$

L

A

M

P

I

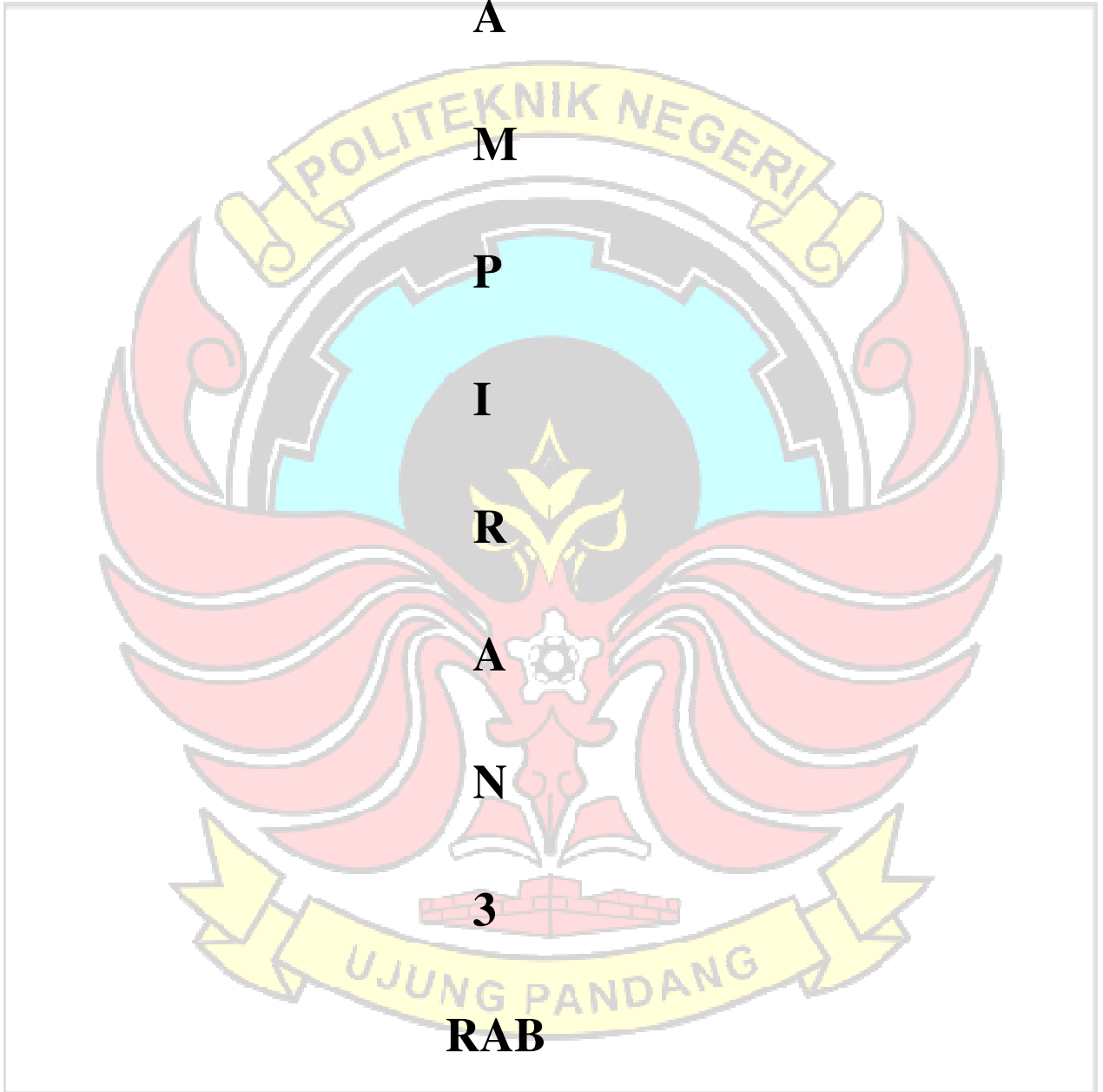
R

A

N

3

RAB



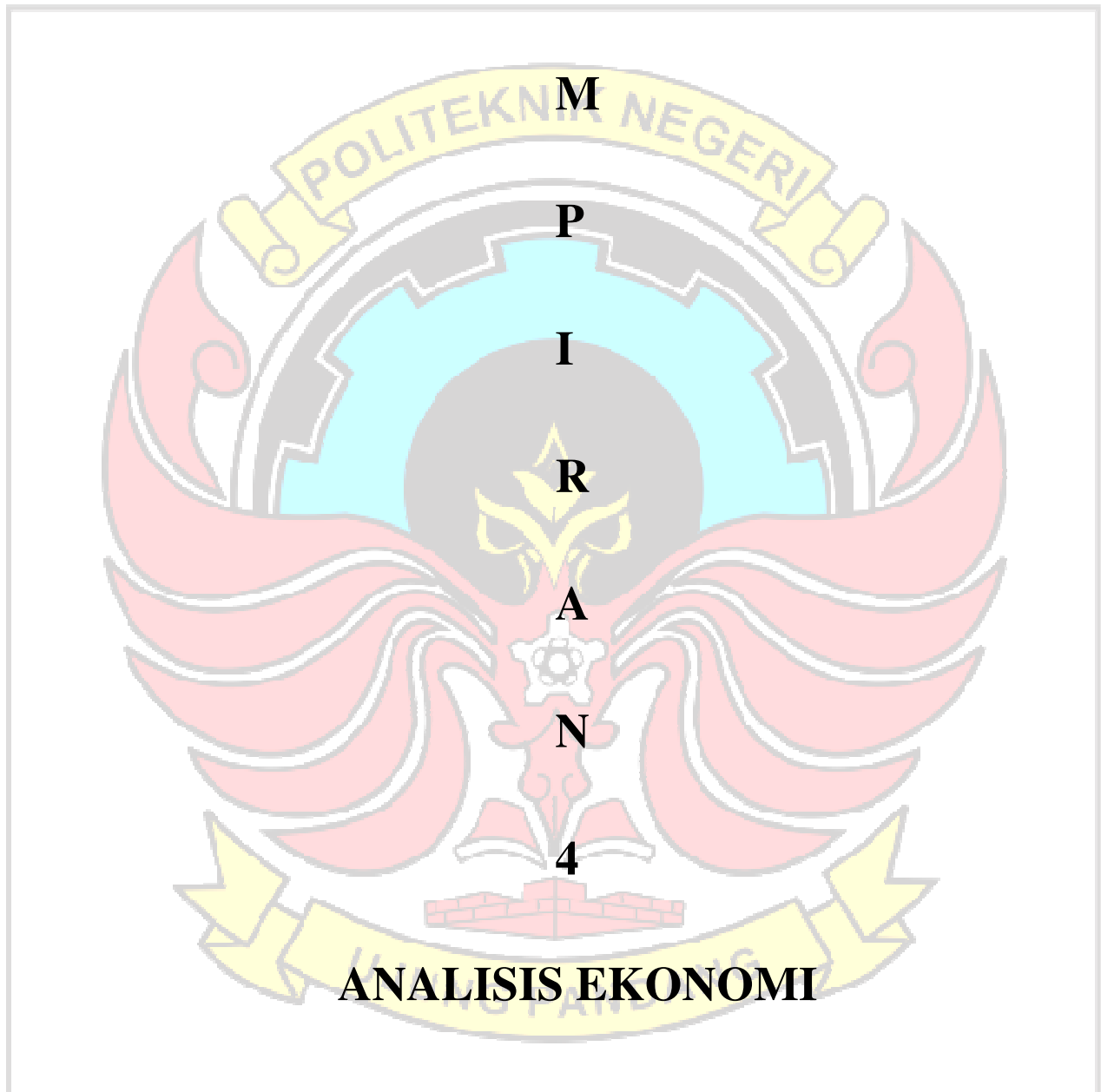
(RENCANA ANGGARAN BIAYA)

No.	Uraian Jenis Pekerjaan	Spesifikasi	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Material Utama					
	Panel Surya ICA390-72MF	390 Wp	3	unit	Rp2.873.385	Rp8.620.155
	Inverter ON <i>GRID</i> Solis	1.800 Watt	1	unit	Rp7.900.000	Rp7.900.000
2	Perangkat Proteksi					
	MCB TOMZN	DC 20 A	1	buah	Rp96.500	Rp96.500
	MCB	AC 125 A	2		Rp401.800	Rp803.600
	SPD DC	1000 V	1		Rp250.000	Rp250.000
	Combiner BOX DC		1		Rp1.880.000	Rp1.880.000
	Combiner BOX AC	50 x 60	1		Rp710.000	Rp710.000
	Neutral Link		2		Rp414.000	Rp828.000
3	Pengkabelan					
	Kabel DC Supreme	NYN 2,5 mm	20	meter	Rp12.400	Rp248.000
	Kabel AC Mitsuba	NYN 35 mm	5	meter	Rp245.000	Rp1.225.000
	kabel Ground PV	4 mm	20	meter	Rp7.446	Rp148.920
	Kabel Ground AC	2 mm	5	meter	Rp7.000	Rp35.000
4	Jasa Instalasi				Rp2.000.000	Rp2.000.000

5	Pengiriman				Rp1.500.000	Rp1.500.000
6	Komponen Lainnya					
	Tiang bangunan Modul Surya	Hollow 50x50mm	9	batang	Rp218.600	Rp1.967.400
	Mounting Panel Surya	3 mm ukuran	36	buah	Rp15.500	Rp558.000
	Atap PLTS (Besi Bondeck)	tebal 0.75mm	5	buah	Rp152.800	Rp764.000
	Besi Penyangga Panel	Hollow 15x15mm	4	batang	Rp52.100	Rp208.400
	Pipa konduit	20 mm	14	batang	Rp14.000	Rp196.000
	Kabel Ties	30 cm	2	pack	Rp30.000	Rp60.000
	Isolasi Kabel		12	buah	Rp8.000	Rp96.000
	Klem		2	pack	Rp21.000	Rp42.000
	TOTAL					Rp30.136.975

L

A



PERHITUNGAN NPV

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Faktor Diskonto	Nilai Sekarang
0	Rp30.136.975,00					
1		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,917	Rp3.560.319,288
2		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,842	Rp3.266.347,971
3		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,772	Rp2.996.649,514
4		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,708	Rp2.749.219,738
5		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,650	Rp2.522.219,943
6		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,596	Rp2.313.963,251
7		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,547	Rp2.122.902,065
8		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,502	Rp1.947.616,573
9		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,460	Rp1.786.804,196
10		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,422	Rp1.639.269,904
11		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,388	Rp1.503.917,343
12		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,356	Rp1.379.740,682
13		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,326	Rp1.265.817,139
14		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,299	Rp1.161.300,128
15		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,275	Rp1.065.412,961
16		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,252	Rp977.443,084
17		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,231	Rp896.736,774
18		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,212	Rp822.694,288

19		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,194	Rp754.765,402
20		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,178	Rp692.445,323
21		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,164	Rp635.270,938
22		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,150	Rp582.817,375
23		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,138	Rp534.694,839
24		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,126	Rp490.545,724
25		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,116	Rp450.041,949
TOTAL						Rp38.118.956,392
NPV						Rp7.981.981,392
DISKONTO ANNUITIES						9,823

Perhitungan NPV :

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

$$NPV = 38.118.956,40 - 30.136.975$$

$$NPV = Rp 7.981.981,40$$

PERHITUNGAN IRR

TABEL ARUS KAS NPV _r				
TAHUN	BIAYA INVESTASI	ARUS KAS BERSIH	DF	NILAI SEKARANG
0	Rp41.832.520			
1		Rp5.267.862,18	0,926	Rp4.877.650,17
2		Rp5.267.862,18	0,857	Rp4.516.342,75
3		Rp5.267.862,18	0,794	Rp4.181.798,84
4		Rp5.267.862,18	0,735	Rp3.872.035,96
5		Rp5.267.862,18	0,681	Rp3.585.218,48
6		Rp5.267.862,18	0,630	Rp3.319.646,74
7		Rp5.267.862,18	0,583	Rp3.073.746,99
8		Rp5.267.862,18	0,540	Rp2.846.062,02
9		Rp5.267.862,18	0,500	Rp2.635.242,61
10		Rp5.267.862,18	0,463	Rp2.440.039,46
11		Rp5.267.862,18	0,429	Rp2.259.295,79
12		Rp5.267.862,18	0,397	Rp2.091.940,55
13		Rp5.267.862,18	0,368	Rp1.936.981,99
14		Rp5.267.862,18	0,340	Rp1.793.501,84
15		Rp5.267.862,18	0,315	Rp1.660.649,86
16		Rp5.267.862,18	0,292	Rp1.537.638,75
17		Rp5.267.862,18	0,270	Rp1.423.739,59
18		Rp5.267.862,18	0,250	Rp1.318.277,40
19		Rp5.267.862,18	0,232	Rp1.220.627,22
20		Rp5.267.862,18	0,215	Rp1.130.210,39
21		Rp5.267.862,18	0,199	Rp1.046.491,10
22		Rp5.267.862,18	0,184	Rp968.973,24
23		Rp5.267.862,18	0,170	Rp897.197,44
24		Rp5.267.862,18	0,158	Rp830.738,37
25		Rp5.267.862,18	0,146	Rp769.202,20
TOTAL				Rp56.233.249,76
NPV _r				Rp14.400.729,76
DISKONTO ANNUITIES				10,675

TABEL ARUS KAS NPVt				
TAHUN	BIAYA INVESTASI	ARUS KAS BERSIH	DF	NILAI SEKARANG
0	Rp30.136.975,00			
1		Rp3.880.748,02	0,909	Rp3.527.952,75
2		Rp3.880.748,02	0,826	Rp3.207.229,77
3		Rp3.880.748,02	0,751	Rp2.915.663,43
4		Rp3.880.748,02	0,683	Rp2.650.603,11
5		Rp3.880.748,02	0,621	Rp2.409.639,20
6		Rp3.880.748,02	0,564	Rp2.190.581,09
7		Rp3.880.748,02	0,513	Rp1.991.437,35
8		Rp3.880.748,02	0,467	Rp1.810.397,59
9		Rp3.880.748,02	0,424	Rp1.645.815,99
10		Rp3.880.748,02	0,386	Rp1.496.196,36
11		Rp3.880.748,02	0,350	Rp1.360.178,51
12		Rp3.880.748,02	0,319	Rp1.236.525,91
13		Rp3.880.748,02	0,290	Rp1.124.114,47
14		Rp3.880.748,02	0,263	Rp1.021.922,24
15		Rp3.880.748,02	0,239	Rp929.020,22
16		Rp3.880.748,02	0,218	Rp844.563,84
17		Rp3.880.748,02	0,198	Rp767.785,31
18		Rp3.880.748,02	0,180	Rp697.986,64
19		Rp3.880.748,02	0,164	Rp634.533,31
20		Rp3.880.748,02	0,149	Rp576.848,47
21		Rp3.880.748,02	0,135	Rp524.407,70
22		Rp3.880.748,02	0,123	Rp476.734,27
23		Rp3.880.748,02	0,112	Rp433.394,79
24		Rp3.880.748,02	0,102	Rp393.995,26
25		Rp3.880.748,02	0,092	Rp358.177,51
TOTAL				Rp35.225.705,08
NPVt				Rp5.088.730,08
DISKONTO ANNUITIES				9,077

L

A

M

P

I

R

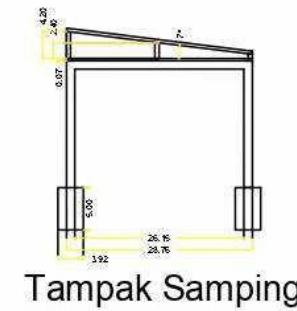
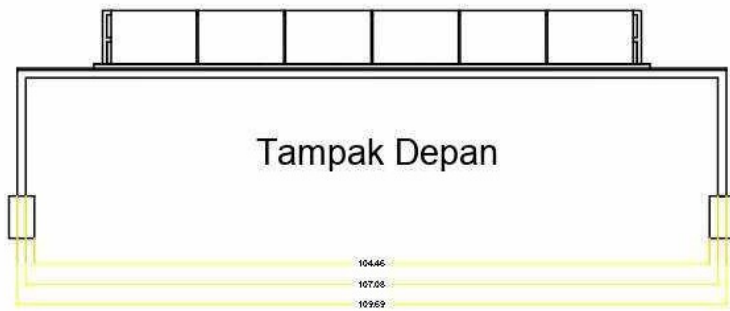
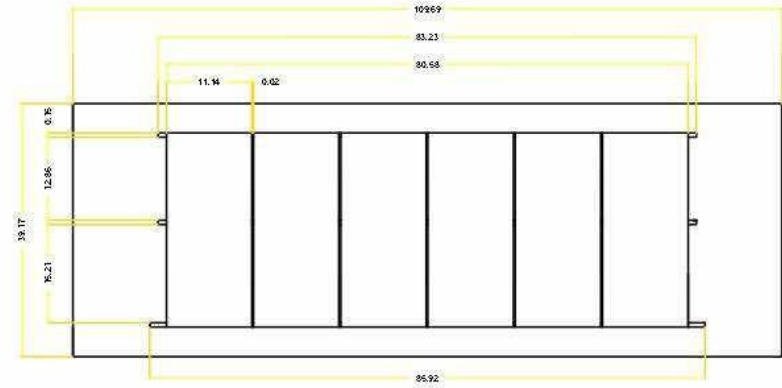
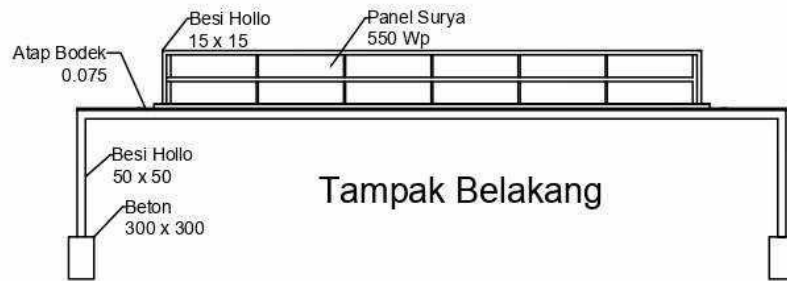
A

N

5



LAYOUT KERANGKA PANEL



	Skala :	Digambar :	Keterangan :		
	Satuan :	Kelas :			
	Tanggal :	Diperiksa :			
Politeknik Negeri Ujung Pandang		Lay Out Bangunan Panel Surya		No.	A4

L

A

M

P

I

R

A

N

6

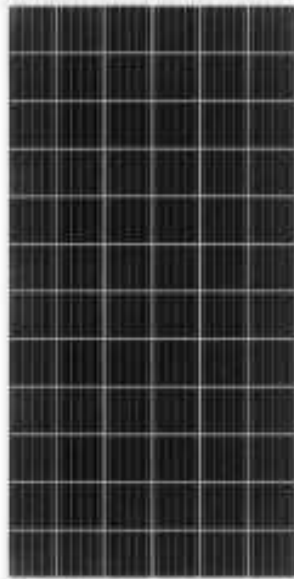




ICAsolar®

ICA390-72MF

Monocrystalline
390W



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

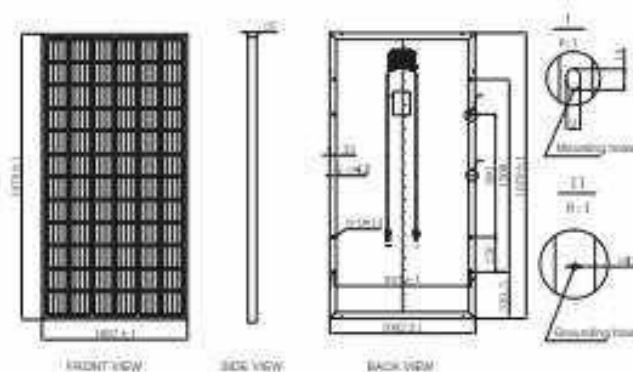
Max. Power (W)	390
Efficiency (%)	19.67
Max. Power Voltage, Vmp (V)	40.30
Max. Power Current, Imp (A)	9.68
Open Circuit Voltage, Voc (V)	49.20
Short Circuit Current, Isc (A)	10.14
Weight (kg)	23.00
Dimension of module (mm)	1979 x 1002 x 35
Pmax Temperature Coefficient (%/°C)	-0.40
Voc Temperature Coefficient (%/°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

(2°C, 1000W/m² AM1.5 and 20°C cell temperature)

Specifications subject to change without prior notice





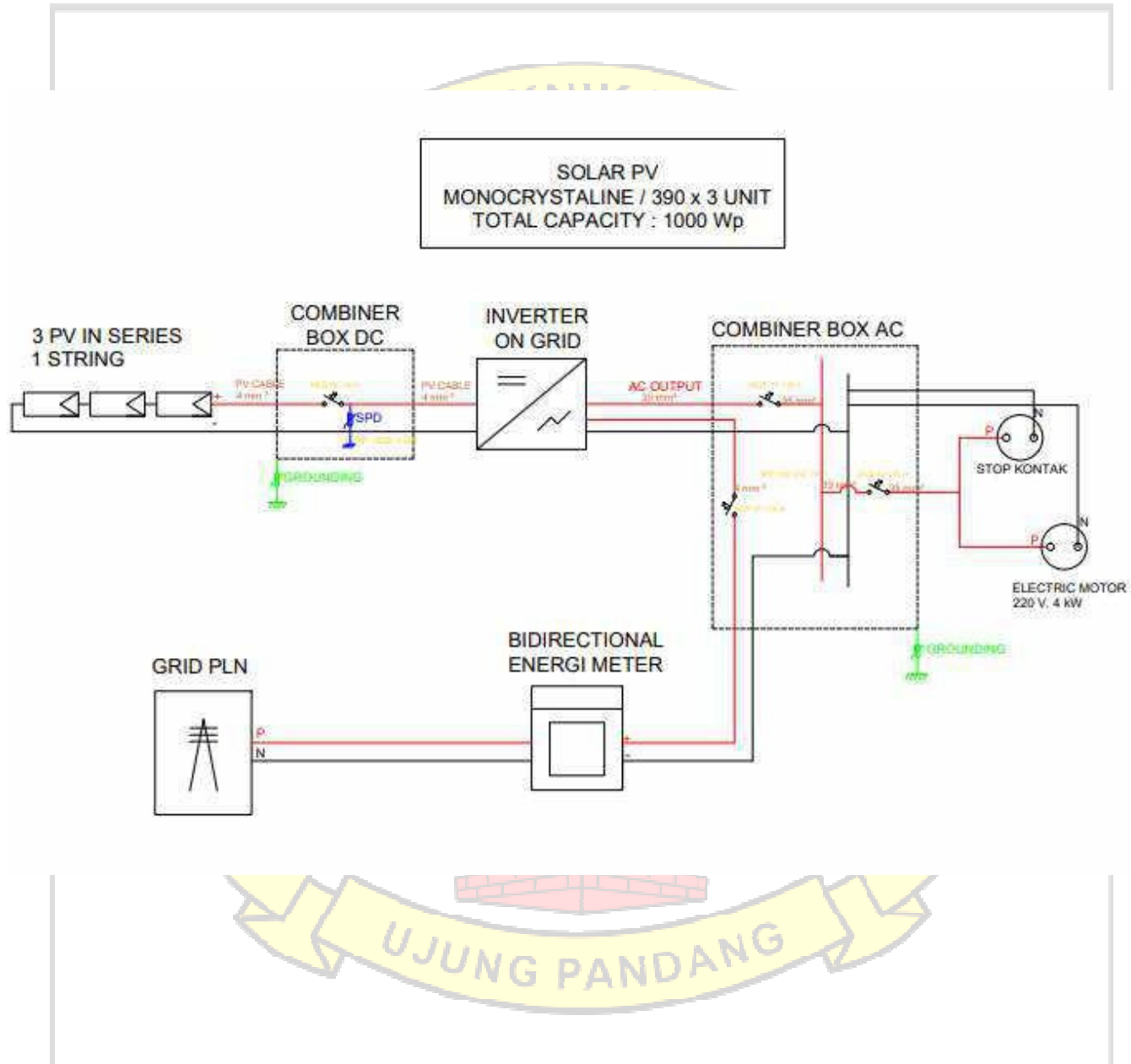
www.icasolar.com

01/19/2022

L



SINGLE LINE DIAGRAM



L

A

M

P

I

R

A

N

8



DOKUMENTASI KEGIATAN



Kunjungan ke PLTMH Tombolo Pao



Kunjungan Bersama dosen Pembimbing



Pengambilan data radiasi matahari di Headpond



Hasil pengukuran radiasi matahari menggunakan *Solar Power*



Mengukur luas bangunan *trash rack*



Mengukur luas bangunan *trash rack*



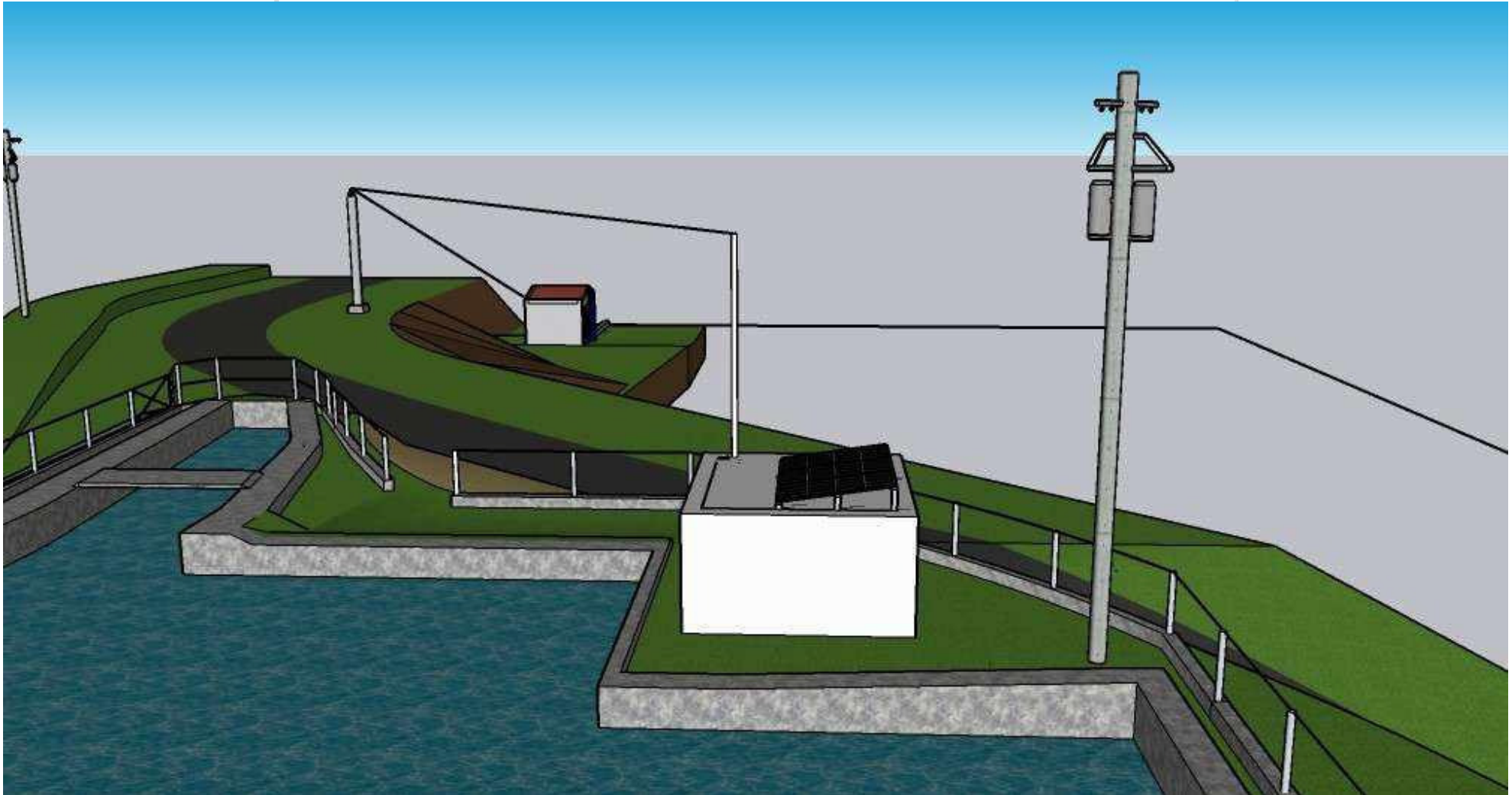
pengukuran kecepatan air pada water way (sebelum trash rack)



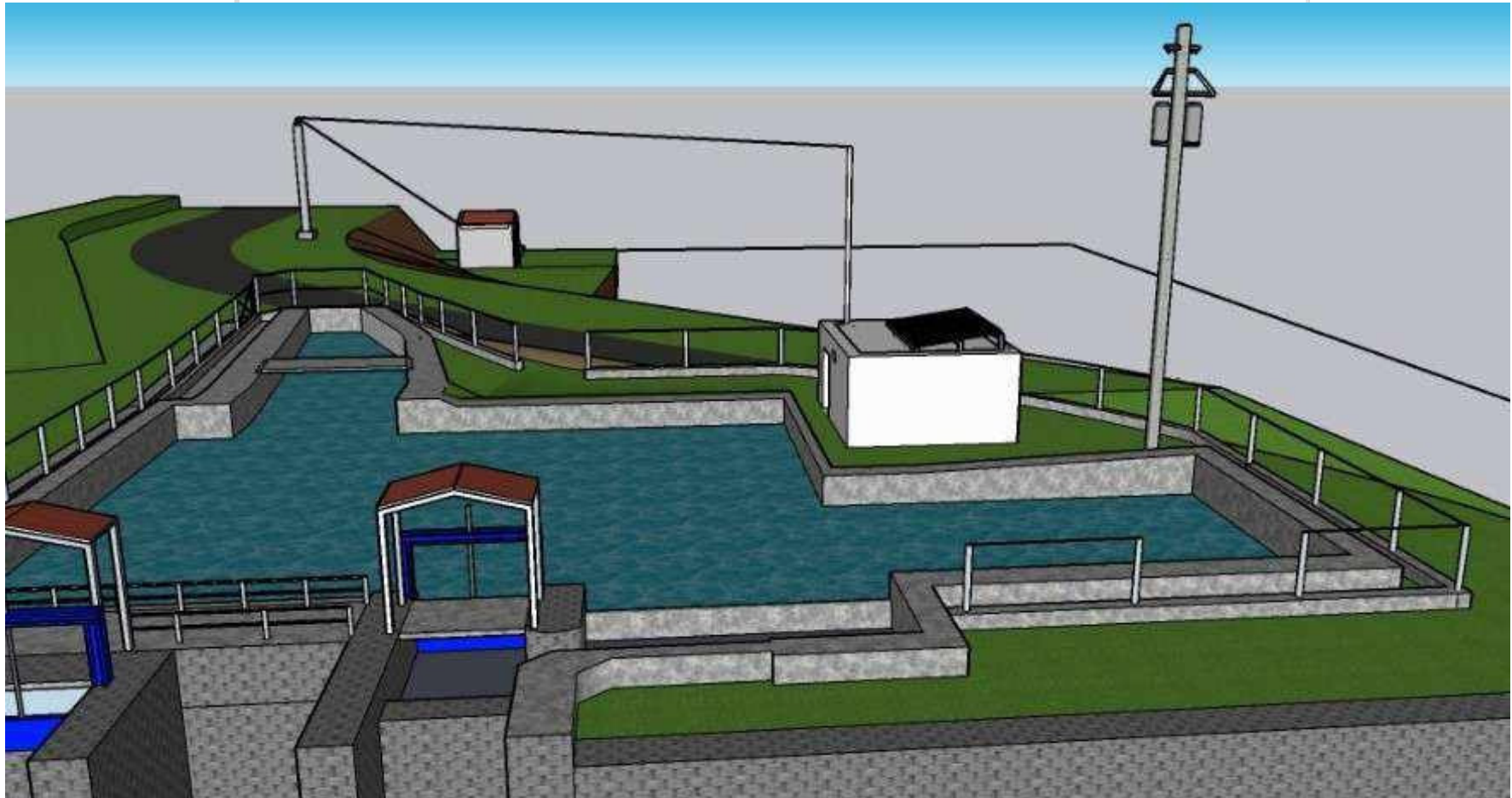
pengukuran kecepatan air pada water way (sebelum headpond)



Hasil pengukuran kecepatan air menggunakan *current meter*



ILUSTRASI KEADAAN PLTMH TOMBOLO PAO dan HASIL DESAIN PLTS



ILUSTRASI KEADAAN PLTMH TOMBOLO PAO dan HASIL DESAIN PLTS

UJUNG PANDANG



TECHNICAL REPORT CAPSTONE PROJECT

UJUNG PANDANG

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA UNTUK
BEBAN *TRASH RACK* DI PLTMH TOMBOLO PAO



TECHNICAL REPORT CAPSTONE

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

FAHRUDDIN 44222214

NUR RAHMAH FIRMAN 44222225

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

MAKASSAR

2023

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan *Capstone Project* dengan Judul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Beban Sistem *Trash Rack* di PLTMH Tombolo Pao” oleh Fahrudin 44222214 dan Nur Rahmah Firman 44222225 dinyatakan telah diterima dan disahkan.

Makassar, 04 September 2023

Ketua Kelompok,



Nur Rahmah Firman
44222225

Anggota Kelompok,



Fahrudin
44222214

Pembimbing I,



Dr. Ir. Firman, M.T.
NIP. 19641231 199103 1 028

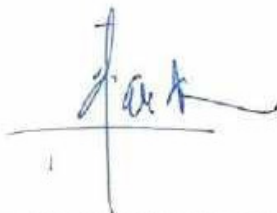
Pembimbing II,



Dr. Andi Subhan S., S.ST., M.T.
NIP. 19670530 199703 1 001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi,



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

Project Client,




Ir. Andi Nadiwan
Manager PT. Tombolo Energy

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
RINGKASAN EKSEKUTIF.....	iv
BAB I : PENDAHULUAN / PENGANTAR.....	1
BAB II :DESKRIPSI SITUASI AWAL.....	4
3.1 Observasi.....	7
3.2 Studi Literatur.....	7
3.3 Wawancara.....	10
3.4 Pengumpulan Data.....	11
3.5 Perancangan Sistem <i>Trash rack</i>	14
3.6 Perancangan Sistem PLTS (Skematik HOMER).....	16
3.7 Analisis Kelayakan Ekonomi.....	18
3.8 Manajemen Resiko.....	19
BAB IV : HASIL dan DISKUSI.....	20
4.1 Hasil Perhitungan Desain <i>Trash rack</i>	20
4.2 Hasil Perancangan Sistem PLTS.....	22
4.3 Analisis Kelayakan Ekonomi.....	23
4.4 Manajemen Resiko.....	28
BAB V : REKOMENDASI UNTUK KLIEN.....	30
5.3 Spesifikasi Komponen Utama.....	35
5.3.1 Panel Surya.....	35
5.3.2 Inverter.....	36

RINGKASAN EKSEKUTIF

PT. Tombolo Energi merupakan salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang berada di Desa Tombolo Pao, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.

Pada penelitian ini dilakukan evaluasi desain *trash rack* di *waterway* PLTMH

Tombolo Pao untuk pengoptimalan pengoperasian *trash rack* dan dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan matahari dilingkungan sekitar untuk memenuhi energi listrik selama pengoperasian *trash rack* di PLTMH Tombolo Pao.

Pada penelitian ini Teknik analisis data yang dilakukan adalah analisis data metode deskriptif dengan melakukan perhitungan numerik berdasarkan landasan teori dan simulasi *software* Homer Pro, sehingga menghasilkan data perbandingan antara perhitungan numerik dan hasil simulasi.

Hasil evaluasi *trash rack* diperoleh berat total sampah yang dapat diangkat oleh *trash rack* sebesar 1.216 kg dengan waktu angkat 27 sekon dan daya yang digunakan 1.219 Watt. Pengoperasian *trash rack* menggunakan motor listrik *wire rope hoist* dengan spesifikasi daya 4 kW dan beban angkat maksimal 750-1500 kg. Sehingga dirancang sistem PLTS dengan kebutuhan daya 4 kW perhari dengan hasil perhitungan daya puncak sebesar 1.000 Wp. Panel yang digunakan diperoleh dengan jumlah 3 unit 390 Wp dan 1 unit inverter 1.800 W yang terhubung hybrid dengan PLN. Pada perhitungan numerik, produksi energi dari PLTS selama satu tahun adalah sebesar 1.956,4 kWh, sedangkan simulasi HOMER produksi energi yang dihasilkan sebesar 1.878 kWh per tahun. Ditinjau dari sisi kelayakan ekonomi, dengan perhitungan metode *payback* periode. Nilai NPV dari proyek ini adalah senilai Rp 7.981.981,40 bernilai positif, IRR 11,64 % dan BCR 1,26 sehingga proyek ini layak untuk dilaksanakan. Untuk pengembalian modal dengan menghitung PBP dengan hasil 7,2 tahun.

BAB I : PENDAHULUAN / PENGANTAR

Saat ini penggunaan energi listrik di Indonesia semakin meningkat tiap tahunnya dimana semakin meningkatnya kebutuhan pasokan listrik, maka kemungkinan emisi energi karbon juga semakin meningkat. Hal ini dapat menyebabkan perubahan iklim yang semakin tidak stabil. Perubahan iklim akan membawa banyak dampak buruk seperti kebakaran hutan, kenaikan level air di permukaan laut, hujan asam dan bencana alam lainnya. Oleh karena itu, perubahan iklim harus dapat dikendalikan. Penggunaan energi listrik di Indonesia sendiri masih menggunakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Terlihat komposisi penggunaan energinya yaitu batubara 45%, gas alam 27%, minyak sebesar 13%, dan sumber energi lain sebesar 15% (Agung 2013). Jika digunakan terus menerus, maka ketersediaan energi tak terbarukan akan habis dan menjadi salah satu penyebab terjadinya krisis energi dunia.

Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), Indonesia memiliki target penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 31% atau setara dengan 167,7 GW total potensi EBT di tahun 2050. Namun, per Maret 2017 pembangkit listrik EBT baru mencapai 2% atau setara dengan 8,80 GW (IESR, 2017). Untuk memenuhi capaian target tersebut, sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 maka diperlukan pembangunan tambahan proyek pembangkit EBT sesuai dengan prospek peluang pengembangan EBT ke depan (*potential project*).

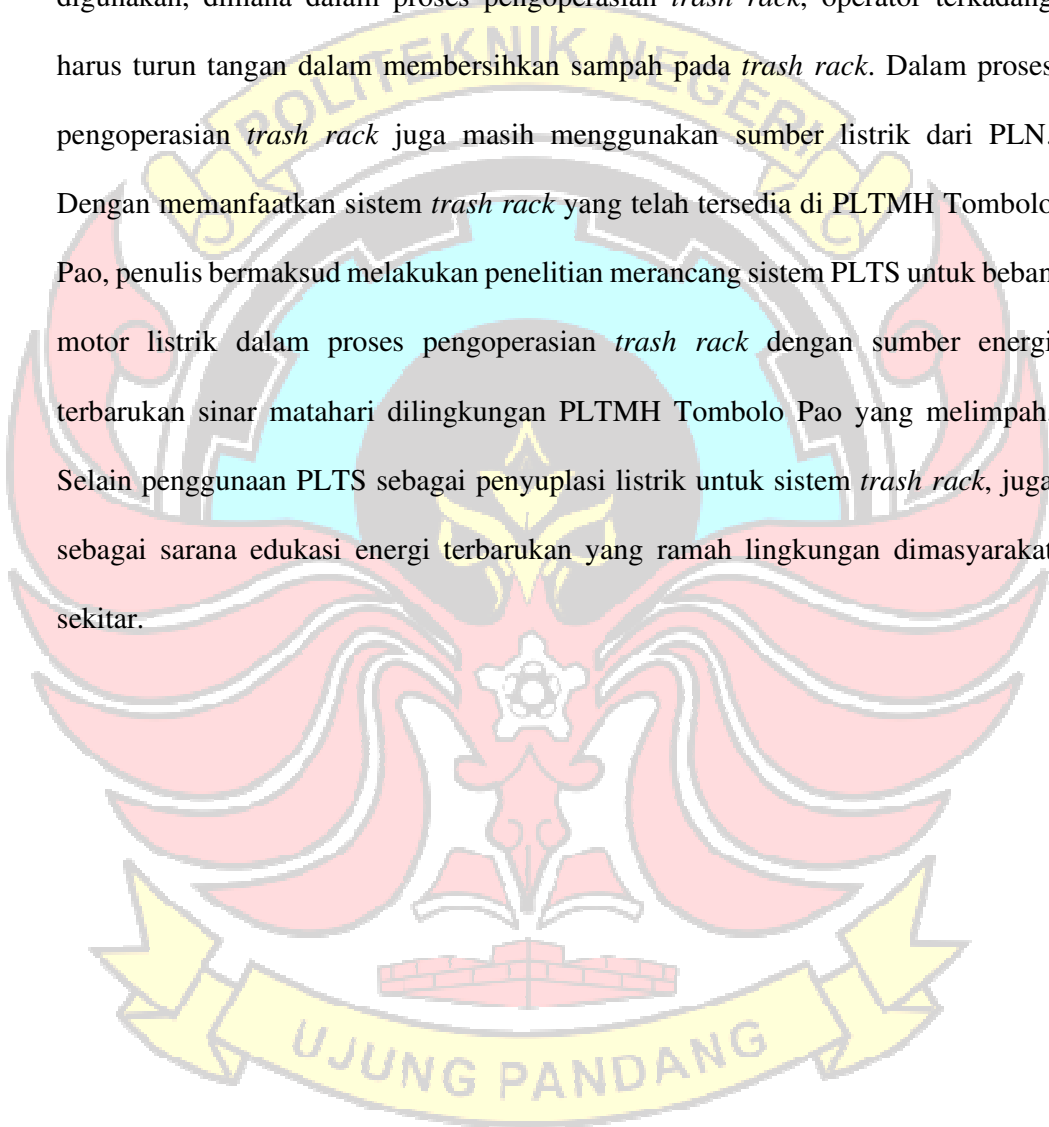
Salah satunya pembangunan pembangkit listrik EBT, dia

taranya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Data dari *International Renewable Energy Agency (IRENA)* menyebutkan bahwa energi surya di Indonesia memiliki potensi lebih dari 400 GW, angin dan air atau hidro memiliki potensi yang sama, yaitu sebesar 150 GW.

PT. Tombolo Energi merupakan salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang berada di Desa Tombolo Pao, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. PLTMH ini memiliki dua unit turbin yang mana dapat menghasilkan energi listrik sebesar 3 MW yang beroperasi pada tahun 2015 dengan pemanfaatan utama listrik untuk penerangan dan keperluan rumah tangga lainnya yang didistribusikan melalui jaringan PLN. Pembangkit Mikrohidro tersebut sudah 8 tahun beroperasi dan pada bagian *trash rack* belum pernah dilakukan perbaikan sehingga pada saat musim penghujan sampah-sampah yang melalui *trash rack* menumpuk dan sebagian tidak tersaring dengan baik yang menyebabkan aliran air terganggu menuju ke *headpone* dan *penstock*. Sedangkan pada musim kemarau debit air tidak dapat tercukupi untuk mengoperasikan 2 unit turbin, dan penyebab kurangnya debit air bisa saja berasal dari tumpukan sampah yang ada di *trash rack* sehingga hal tersebut dianggap kerugian. Pada dasarnya penggunaan *trash rack* pada PLTMH memengaruhi optimalisasi kerja sistem PLTMH. Tujuan dari *trash rack* adalah membatasi masuknya bahan dimensi yang cukup besar ada di air, yang dapat menyebabkan kurang optimalnya sistem pembangkit bekerja. Aliran air yang akan masuk ke pipa pesat (*Penstock*) sering terhalang oleh benda-benda asing yang tidak diharapkan.

Adanya hambatan tersebut mengakibatkan debit air yang masuk ke *Penstock* akan berkurang dalam jangka waktu tertentu (Mulyadi 2014).

Keadaan *Trash rack* di PLTMH Tombolo Pao saat ini kurang optimal digunakan, dimana dalam proses pengoperasian *trash rack*, operator terkadang harus turun tangan dalam membersihkan sampah pada *trash rack*. Dalam proses pengoperasian *trash rack* juga masih menggunakan sumber listrik dari PLN. Dengan memanfaatkan sistem *trash rack* yang telah tersedia di PLTMH Tombolo Pao, penulis bermaksud melakukan penelitian merancang sistem PLTS untuk beban motor listrik dalam proses pengoperasian *trash rack* dengan sumber energi terbarukan sinar matahari dilingkungan PLTMH Tombolo Pao yang melimpah. Selain penggunaan PLTS sebagai penyuplai listrik untuk sistem *trash rack*, juga sebagai sarana edukasi energi terbarukan yang ramah lingkungan dimasyarakat sekitar.



BAB II :DESKRIPSI SITUASI AWAL

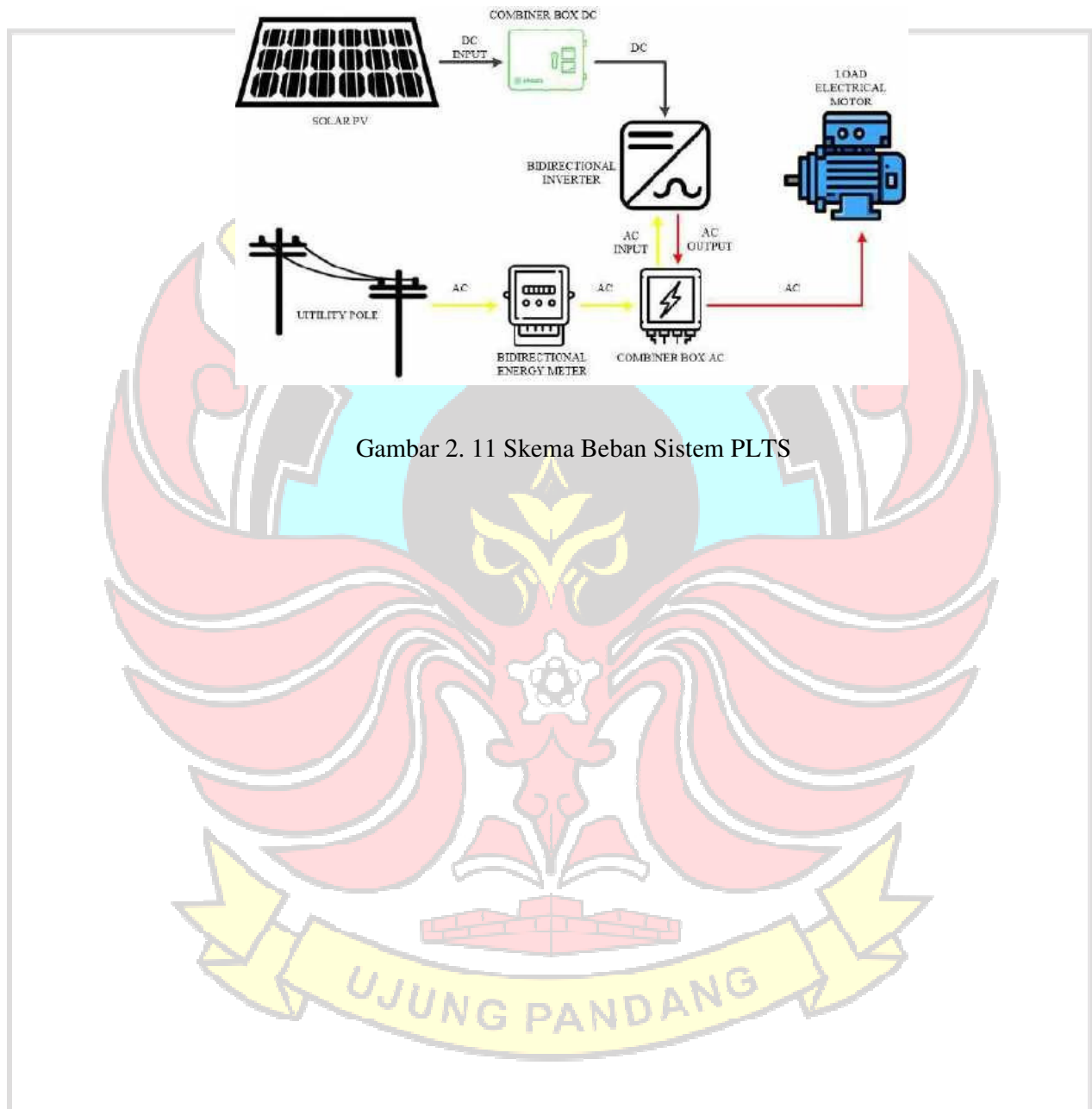
Trash rack merupakan bagian penting dari PLTMH yang berperan penting dalam menjaga debit air yang masuk dalam turbin. *Trash rack* adalah konstruksi yang dibuat untuk memindahkan benda-benda asing yang berada pada saringan sampah agar tidak terjadi penumpukan yang dapat mengakibatkan berkurangnya pasokan debit air yang dibutuhkan untuk memutar sudu-sudu turbin. Pada bagian diatas sistem *trash rack* akan digerakkan oleh motor yang akan dibangkitkan melalui energi dari *solar panel*.

Sistem *trash rack* didesain dengan terlebih dahulu mengetahui jenis sampah dan bobot sampah yang akan melewati saluran pembawa. Dibutuhkan desain *trash rack* yang dapat bekerja tanpa mengganggu aliran air menuju *penstock* dan otomatis sehingga dapat memudahkan operator dalam mengatur sistem PLTMH.

Sebagai Langkah awal dalam Perencanaan PLTS dilingkungan PLTMH Tombolo Pao ini, berikut adalah batasan-batasan masalah pada penelitian ini :

4. Mendesain sistem PLTS dengan beban dari sistem *trash rack*
5. Evaluasi desain sistem *trash rack* di saluran *water way* PLTMH Tombolo Pao
6. Menghitung analisis kelayakan ekonomi pada sistem perencanaan PLTS dan desain sistem *trash rack*

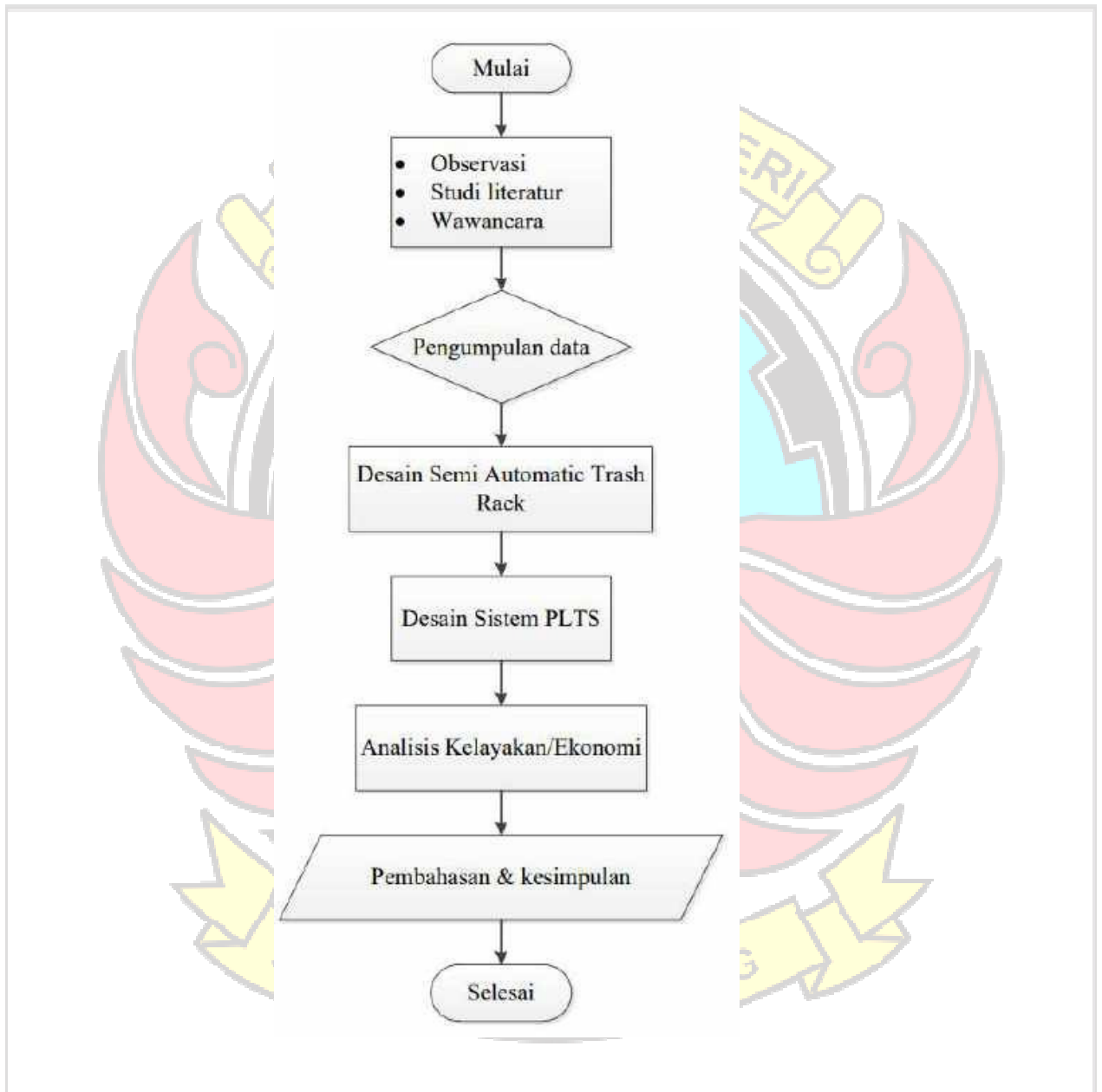
Setelah melakukan riset pada tahap observasi, berikut adalah ilustrasi proyek yang akan kami kerjakan:



Gambar 2. 11 Skema Beban Sistem PLTS

BAB III : METODOLOGI

Berikut adalah bagan yang menunjukkan proses penelitian ini akan dilakukan :



Gambar 3. 17 Bagan Proses Penelitian

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PLTMH Tombolo Pao, Kec. Tombolo Pao, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan pada bulan Maret 2023 sampai dengan Juli 2023.



PROJECT PLAN Perencanaan PLTS untuk Beban Sistem Automatic Trash Rack di PLTMH Tombolo Pao

Project Description	No	Nama Kegiatan	MARCH			APRIL			MAY			JUNE			JULY								
			WK01	WK02	WK03	WK04	WK05	WK06	WK07	WK08	WK09	WK10	WK11	WK12	WK13	WK14	WK15	WK16	WK17	WK18	WK19	WK20	WK21
Perencanaan PLTS ini bertujuan sebagai pembangkit energi automatic trash rack yang akan dirancang di PLTMH Tombolo Pao	1	Project Contract																					
		Deskripsi Project/Tujuan																					
		Investigasi Lokasi																					
		Studi Kelayakan																					
		Kunjungan Lokasi (Pengukuran & Pengumpulan data)																					
		Analisa Project Kontrak																					
Remarks dilakukan konsultasi dengan coach setiap minggunya	3	Desain Teknis																					
		Mendesain Trash Rack																					
		Mendesain Sistem PLTS																					
	Penyusunan Laporan																						
	4 Analisis Ekonomi & Keuangan																						
	5 Seminar Proposal/Project Kontrak																						
	6 Seminar Hasil																						

3.2 Observasi

Proses observasi dilakukan bertujuan untuk memastikan bahwa rancangan sistem yang diusulkan sesuai dengan batasan yang ditentukan serta mengetahui keadaan awal proyek yang akan disesuaikan dengan perancangan. Untuk mencapai hal tersebut, tahapan observasi diawali dengan mengumpulkan informasi dasar yang berkaitan dengan solusi akan kebutuhan sistem yang dirancang untuk menanggulangi permasalahan yang telah dirumuskan serta melakukan kunjungan di Lapangan.

3.3 Studi Literatur

Pada tahap studi literatur dilakukan pengumpulan data atau informasi-informasi yang relevan dengan penelitian-penelitian sebelumnya dengan

mereview berbagai sumber seperti jurnal penelitian, buku, artikel dan lain-lain.

Berikut adalah hasil *review* beberapa sumber informasi yang relevan dengan proyek yang akan kami desain :

Tabel 3. 4 Tabel Hasil Review Sumber Informasi

Penulis	Judul Penelitian	Hasil
Pratiwi, dkk (2022)	Perancangan PLTS Atap <i>On Grid</i> Kapasitas 163,8 kWp untuk Suplai Daya Industri Tekstil	PLTS yang dirancang akan digunakan untuk memberikan suplai daya pada proses produksi di salah satu industri tekstil dengan kapasitas 163,8 kWp. Komponen utama yang digunakan dalam perancangan adalah 360 unit modul surya 455 Wp dan 2 unit inverter 100 kW. Dengan menggunakan perhitungan manual, produksi energi dari PLTS selama satu tahun adalah sebesar 252,48 MWh, sedangkan dengan menggunakan simulasi PVSyst produksi energi yang dihasilkan adalah sebesar 248,8 MWh per tahun. Ditinjau dari sisi kelayakan ekonomi, proyek ini akan mencapai pengembalian modal pada tahun ke-8 dengan perhitungan metode <i>payback</i> periode. Nilai NPV dari proyek ini adalah senilai Rp2.145.996.310
Gifson, dkk (2020)	Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid di Ecopark Ancol	penelitian ini akan dibahas perancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid dengan membangkitkan 60 % dari kapasitas beban di area Learning Farm. Besar

		<p>daya yang dibangkitkan sebesar 68,17 kWp dengan menggunakan 100 modul sel surya. PLTS ini dirancang untuk mengurangi pemakaian listrik dari PLN di Ecopark Ancol. Lokasi ini dinilai memiliki potensi radiasi matahari yang cukup baik dan ketersediaan lahan yang luas. Hasil dari perancangan ini diharapkan menjadi acuan bagi pihak ecopark <i>learning farm</i> Ancol agar diperoleh kesesuaian antara kebutuhan energi, harga, dan kualitas yang baik.</p>
Wuragian, dkk (2021)	<p>Perancangan Solar Home Sistem Menggunakan HOMER</p>	<p>Pada daftar hasil optimisasi, HOMER mengurutkan nilai NPC yang terendah hingga tertinggi. Sistem dikatakan optimal, apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan. Sesuai dengan bagaimana cara HOMER bekerja, pada perancangan Solar Home Sistem yang terdiri dari panel surya 7,7 kWp, inverter 3 kW, baterai 12 V 84 Ah 30 buah, dan jaringan, Homer menghasilkan dua konfigurasi yang paling optimal dengan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing konfigurasi</p>
Danu, 2020	<p>Analisa Keekonomian Tarif</p>	<p>Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan harga penjualan listrik</p>

	Listrik untuk PLTS FTI UII 5 kWp dengan Metode <i>Life Cycle Cost</i> (LCC)	PLTS FTI UII dan menganalisa kelayakan ekonomi tarif penjualan listrik tersebut. Metode yang digunakan untuk menghitung tarif penjualan listrik adalah metode life cycle cost (LCC), metode LCC adalah metode yang menghitung seluruh investasi mulai dari biaya pemasangan, operasi, dan pemeliharaan dalam jangka waktu tertentu serta biaya penggantian komponen dalam saat ini. Lebih khusus lagi, termasuk biaya investasi awal, operasi, biaya pemeliharaan, biaya penggantian peralatan dimasa yang akan datang, keamanan, asuransi dan juga nilai jual kembali. Perhitungan tarif penjualan listrik pada penelitian ini menggunakan perhitungan levelized cost of energy (LCoE), yaitu nilai dari LCC dibagi dengan total energi yang dibangkitkan.
--	---	---

3.4 Wawancara

Tahap ini dilakukan untuk memperoleh informasi lebih mengenai keadaan rill di lokasi proyek, dengan mengumpulkan pertanyaan-pertanyaan yang membahas tentang kendala, kebutuhan serta keadaan rill dari proyek yang akan diteliti.

3.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai objek yang akan diteliti serta membantu dalam proses desain maupun analisis pada penelitian ini. Pengumpulan data dilakukan di lapangan dan dari Lembaga/laman resmi/*software* yang memiliki informasi untuk menunjang Desain Sistem PLTS ini.

Pada penelitian ini, proses pengumpulan data terbagi menjadi 2, yaitu pengumpulan data di lapangan dan pengumpulan data melalui sumber informasi resmi (NASA, Meteonom, Solat Atlas, dll). Berikut adalah uraian pengumpulan data pada penelitian ini :



3.5.1 Pengumpulan Data Lapangan

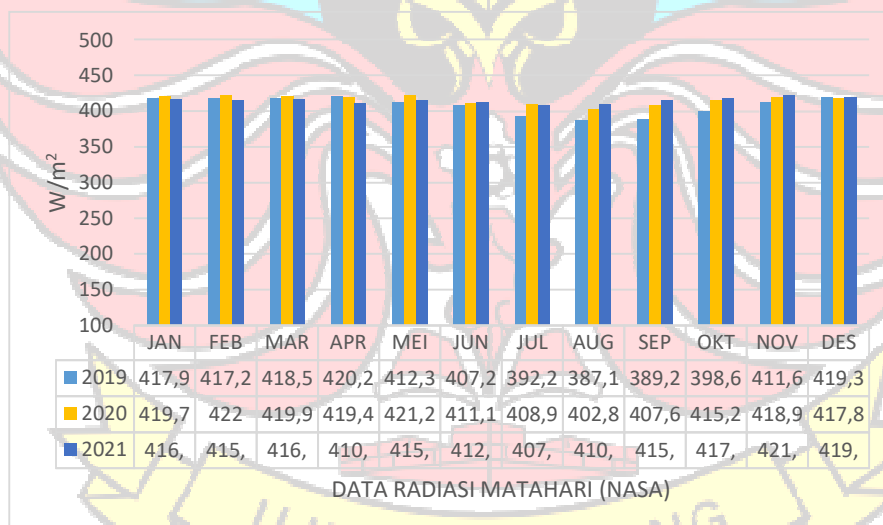
Pengumpulan data dilakukan sebanyak 3 kali bertempat di PLTMH Tombolo Pao. Hasil pengumpulan data di lapangan dapat dilihat pada lampiran.1.

3.5.2 Pengumpulan Data Website Resmi

a) Data Iklim

Radiasi matahari

Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariasi dan sangat bergantung dengan keadaan spektrum matahari ke bumi. Radiasi matahari akan berpengaruh terhadap daya yang dikeluarkan oleh panel. Data Radiasi Matahari diperoleh dari laman resmi NASA, berikut adalah grafik perbandingan radiasi matahari selama 3 tahun :



Gambar 3. 18 Data Radiasi Matahari Perbulan

Grafik diatas menunjukkan rata-rata nilai radiasi matahari didaerah PLTMH Tombolo Pao pada tahun 2019-2021 sebesar 412,6322 kW/m² pertahun dengan nilai radiasi matahari tertinggi adalah 421 kW/m² pertahun.

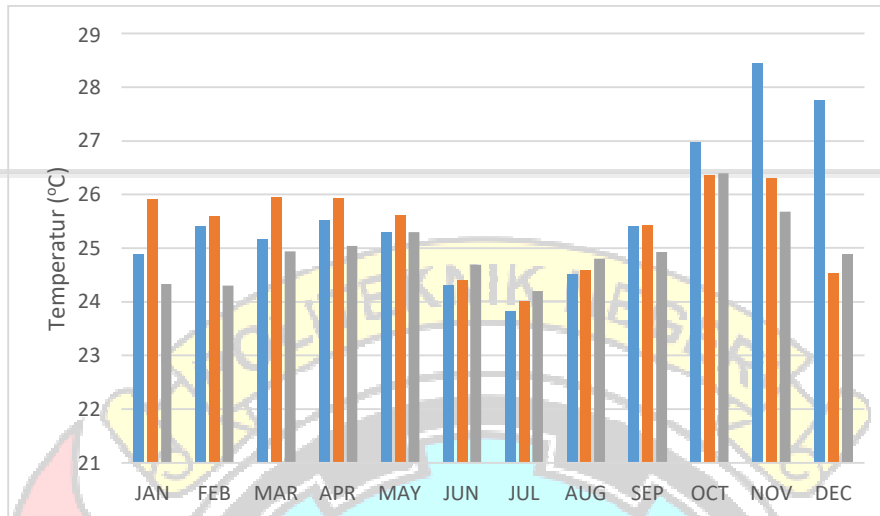
Tabel 3. 5

Parameter	Tahun	IAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOV	DES
GHI (kWh/m) /day	2019	4,33	5,46	4,93	5,23	6,1	5,02	5,65	6,46	6,89	7,04	6,61	5,65
	2020	4,92	4,33	5,44	5,37	4,84	4,99	5,27	6,21	6,42	6,29	5,73	4,21
	2021	4,14	4,42	5,23	5,24	5,22	5,13	4,95	4,92	5,75	5,13	5,23	4,21
MIN	4,14												
MAX	7,04												
Rata-rata	5,36												

Nilai irradiasi matahari menggunakan *Global Horizontal Irradiation* yang didapatkan dari laman NASA. Nilai GHI rata-rata pada tahun 2019-2021 adalah sebesar 5,36 kWh/m² per hari sebagaimana ditunjukkan pada Tabel diatas.

Data Temperature

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimal jika suhu panel tetap normal pada suhu 25 °C. Kenaikan suhu lebih tinggi dari suhu normal pada panel surya akan melemahkan tegangan *open circuit* (*Voc*) yang dihasilkan. Setiap kenaikan suhu surya 1 °C (dari 25 °C) akan mengakibatkan berkurangnya daya yang dihasilkan sekitar 0,5% (Schaeer: 1990) ; (Gifson, Siregar, & Pambudi, Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ON GRID di Ecopark Ancol, 2020). Untuk melakukan analisis sistem PLTS, diperoleh data temperature lingkungan dari Laman resmi NASA. Berikut adalah grafik temperature yang terjadi selama 3 tahun didaerah PLTMH Tombolo Pao :



Gambar 3. 19 Grafik Data Temperatur

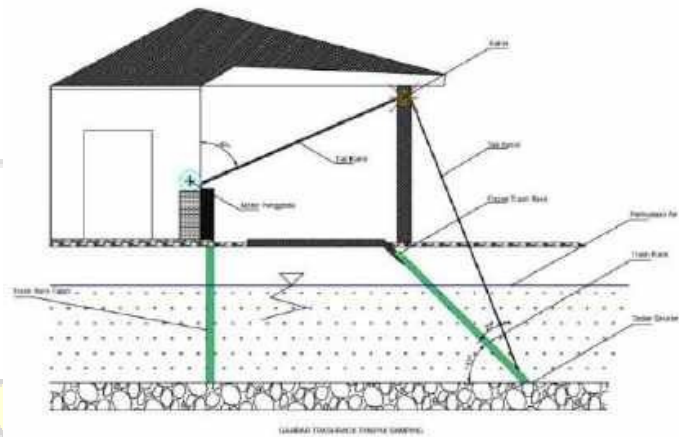
Grafik diatas menunjukkan temperature tertinggi rata-rata terjadi pada bulan oktober dengan suhu terbesar adalah 28,43°C dan suhu terendah 23,83°C terjadi pada bulan Juli sehingga diperoleh rata-rata temperature lingkungan PLTMH Tombolo Pao pada tahun 2019-2021 sebesar 25,32°C.

3.6 Perancangan Sistem *Trash rack*

Berikut adalah Keadaan *Trash rack* di PLTMH Tombolo Pao saat ini:



Gambar 3. 20 Keadaan *Trash rack* PLTMH Tombolo Pao



Gambar 3. 21 Ilustrasi *Trash rack* Tampak Samping

Perancangan *trashrack* dimulai dari tahap persiapan, observasi, perancangan sistem dan komponen, dan analisis hasil sampai pembuatan laporan hasil. Kegiatan penelitian dan observasi dilaksanakan di PLTMH Tombolo Pao. Tahapan persiapan meliputi studi pustaka dan observasi pada *trash rack* PLTMH Tombolo Pao, selanjutnya perancangan sistem meliputi perancangan rangka dan sistem penggerak yang menggunakan motor listrik. Konstruksi rangka utama menggunakan besi plat dengan tebal 5 mm dan lebar 40 mm. Sistem penggerak bertujuan sebagai penggerak naik turun *trash rack*. Perancangan sistem kontrol berfungsi sebagai pengatur sistem penggerak dalam artian ON/OFF dan putaran arah motor.

Berikut adalah proses tahap perancangan *trash rack* pada penelitian ini:

- 7) Mengukur dimensi dari *trash rack* pada saluran water way
- 8) Menghitung gaya hidrostatis *trash rack*
- 9) Menghitung gaya total *trash rack*
- 10) Menghitung total beban *trash rack*

11) Menghitung beban angkat motor dengan beban trashrack

12) Menghitung kehilangan energi (*loses*) pada *trash rack*

3.7 Perancangan Sistem PLTS (Skematik HOMER)

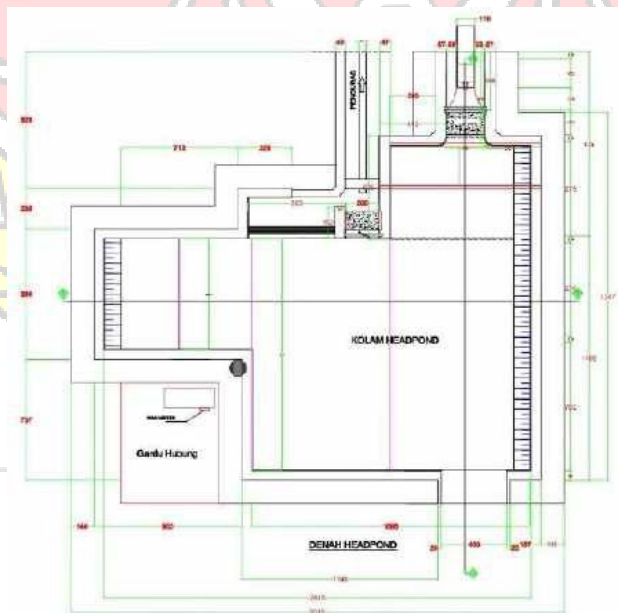
Lokasi : Desa Pao, Kelurahan Tamaona, Kecamatan Tombolo Pao,
Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia.

Koordinat : 5°10'55.1"S 119°56'52.7"E



Gambar 3. 22 Lokasi PLTMH Tombolo Pao

Berikut adalah denah bangunan tempat perencanaan PV akan di pasang :



Gambar 3. 23 Denah *Headpond*

Berdasarkan informasi yang telah diperoleh melalui tahap observasi dan beberapa aspek yang perlu diperhatikan, maka peneliti menentukan mekanisme sistem perencanaan sistem yang akan dikembangkan sebagai solusi dari permasalahan yang diakan diselesaikan yaitu merencanakan sistem pembangkit ON GRID PLTS dengan kontribusi sumber pembangkit energi terbarukan lebih besar sehingga nantinya memperoleh biaya yang lebih rendah dan memberikan keuntungan dalam implementasi perancangan ini. Berikut adalah mekanisme sistem lengkapnya :

1. Sistem yang dirancang menggunakan komponen utama dan pendukung didalam perencanaan ini dengan tujuan untuk menekan biaya investasi awal yaitu Panel Surya 3900 Wp sebanyak 3 buah dan inverter dengan kapasitas 1800 W.
2. Sistem kelistrikan yang dihasilkan menggunakan sistem distribusi 1 Phase (220V).
3. Sistem kelistrikan PLTS yang dapat beroperasi selama 1 jam (asumsi pengoperasian *Trash rack* dalam satu hari)
4. Sumber pembangkit energi terbarukan dapat berkontribusi lebih besar dibandingkan sumber pembangkit konvensional.
5. Menghasilkan rancangan manajemen risiko guna menekan risiko yang bisa saja terjadi yang dapat merusak atau menghambat sistem yang akan dan telah di implementasikan.

3.8 Analisis Kelayakan Ekonomi

Pada penelitian ini metode Analisa ekonomi menggunakan sebuah metode yaitu metode *life cycle cost* (LCC) dimana metode LCC ini sebagai dasar yang digunakan untuk menghitung dan mengetahui seluruh biaya investasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Metode LCC sendiri menghitung seluruh biaya pembangunan PLTS mulai dari biaya investasi awal, operasi, biaya pemeliharaan, biaya penggantian peralatan dimasa yang akan datang, keamanan, asuransi dan juga nilai jual kembali. Metode ini digunakan karena telah banyak diaplikasikan untuk perhitungan biaya pada berbagai bidang seperti, dapat dipergunakan dalam menghitung efisiensi pemakaian energi pada sebuah gedung, menghitung total biaya dan analisa energi pada rumah yang menggunakan sistem kombinasi energi surya (Danu 2020). Setelah menggunakan metode LCC. Selanjutnya dalam menghitung dan menentukan tarif dasar listrik atau harga tarif jual listrik PLTS yaitu dengan menggunakan metode *cost of energi* (CoE). Dalam perhitungan CoE ini menggunakan data pembangkitan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS selama satu tahun. Pada penelitian ini menggunakan tiga parameter analisa ekonomi yaitu parameter *net present value* (NPV), parameter *internal rate of return* (IRR), parameter *benefit cost ratio* (BCR) dan *Pay Back Period* (PBP). Parameter - parameter diatas digunakan untuk mengetahui layak atau tidak layaknya pembangunan pembangkit listrik tenaga surya di area PLTMH Tombolo Pao dari segi ekonomi.

3.9 Manajemen Resiko

Dalam perencanaan PLTS ini, perlu diketahui berbagai risiko yang mungkin timbul selama siklus hidup proyek, termasuk risiko teknis, lingkungan, operasional, keuangan, dan peraturan untuk meminimalisir kerugian yang akan terjadi pada proyek. Penilaian risiko juga dapat melibatkan analisis kualitatif dan kuantitatif untuk mengestimasi potensi kerugian finansial, jadwal proyek, atau dampak lingkungan yang mungkin terjadi. Setelah penilaian risiko, langkah selanjutnya adalah merancang dan menerapkan strategi mitigasi yang sesuai. Strategi ini bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya risiko atau mengurangi dampaknya jika risiko terjadi.



BAB IV : HASIL dan DISKUSI

4.1 Hasil Perhitungan Desain *Trash rack*

Berdasarkan desain *trash rack* di PLTMH Tombolo Pao dengan sistem pengoperasian menggunakan motor listrik *wire rope hoist* sebagai beban untuk dibangkitkan oleh PLTS, berikut adalah hasil perhitungan desain *trash rack* tersebut :

Tabel 4. 7 hasil Perhitungan Desain *Trash rack* PLTMH Tombolo Pao

Parameter	Nilai
Gaya Hidrostatisk pada <i>Trash rack</i>:	
- Tekanan fluida pada pintu	26.746 N
- Resultan Gaya pada Pintu	1,18 m
- Gaya untuk Membuka Pintu	8.333 N
- Total gaya pada <i>trash rack</i>	11.915 N
- Usaha angkat <i>trash rack</i>	32.885,4 Nm
Beban Total pada <i>Trash rack</i>	1.216 kg (spesifikasi motor 750-1.500kg)
Daya Angkat pada Motor	1,219 kW
Kehilangan energi (<i>Losses</i>)	6,4 mm

Berikut adalah detail rancangan *trash rack* di PLTMH Tombolo Pao :



Gambar 4. 18 Desain *Trash rack* PLTMH Tombolo Pao

Hasil perhitungan desain *trash rack* di PLTMH Tombolo Pao yaitu meliputi rangka utama, pembuatan rangka utama disesuaikan dengan ukuran *waterway* pada PLTMH Tombolo Pao. Bahan yang digunakan adalah besi plat dengan tebal 5 mm dan lebar 40 mm, penyambungan rangka dilakukan menggunakan las listrik sehingga berbentuk persegi panjang dengan ukuran 1,9 x 2,67 m, dan mempunyai kisi-kisi dengan jarak 50 mm didekat dinding *waterway*, dan 80 mm jarak kisi-kisi disamping kisi-kisi 50 mm, disusun secara vertikal.

Pengoperasian *trash rack* pada PLTMH Tombolo Pao menggunakan motor listrik *wire rope hoist*, dimana pada motor ini dilengkapi dengan *remote control* untuk menaikkan dan menurunkan *trash rack*. *Wire rope hoist* ini terdiri atas motor listrik tertutup yang memutar drum beralur.



Gambar 4. 19 Motor Listrik *Wire Rope Hoist*

4.2 Hasil Perancangan Sistem PLTS

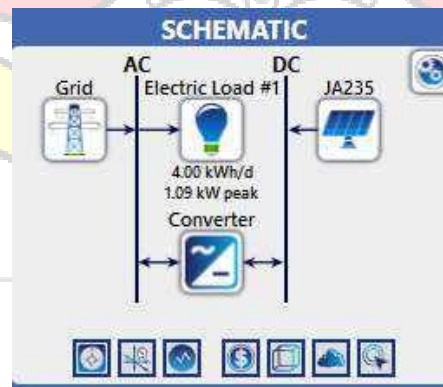
4.2.1 Hasil perhitungan manual

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Sistem PLTS

Parameter	Hasil Pehitungan
- Data Energi yang dibangkitkan	4000/hari/1 jam
- PV_{area}	5,27 m ²
- $P_{wattpeak}$	1 kWp
- Jumlah Panel Surya	3 buah
- $Losses$ PLTS (P_i)	1 kW
- Energi yang dihasilkan (P_{out})	5,36 kWh/hari
- Kapasitas Inverter	1.800 Watt

4.2.2 Simulasi HOMER

Berdasarkan parameter-parameter yang telah diinput pada simulasi HOMER pada subbab sebelumnya, berikut adalah skematik diagram hasil simulasi sistem GRID dengan jaringan PLN.



Gambar 4. 20 Skematik Simulasi HOMER



Gambar 4.22 Hasil Simulasi HOMER Pro Kelistrikan

g) *Renewable Penetration*

Penetrasi energi terbarukan “*Renewable penetration*” adalah parameter yang digunakan untuk mengetahui kinerja dari energi terbarukan dalam satu tahun berdasarkan energi yang diproduksi. Gambar dibawah adalah hasil dari *renewable penetrasi* dari simulasi HOMER. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa *renewable penetration* yang dihasilkan berdasarkan pembangkit energi terbarukan adalah sebesar 71%, sedangkan untuk *renewable fraction* sebesar 100%.

Tabel 4.9 Hasil Simulasi *Renewable Penetration*

Energy-based metrics	Value	Units
Total renewable production divided by load	73,6	%
Total renewable production divided by generation	71	%
One minus total nonrenewable production divided by load	100	%

h) Sistem PV

PV memproduksi energi 1.878 kWh/tahun atau 5,14 kWh/hari dimana peran PV pada sistem PLTS ini sangat besar sehingga pemanfaatan energi terbarukan pada sistem ini cukup tinggi. Pada gambar dibawah dapat dilihat nilai *Capacity Factor* PV mencapai 21,4 % dengan jam operasi 4.380/tahun atau 12 jam/hari.

Tabel 4.10 Hasil Simulasi PV

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	1.00	kW
Mean Output	0.214	kW
Mean Output	5.14	kWh/d
Capacity Factor	21.4	%
Total Production	1.878	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	1.03	kW
PV Penetration	129	%
Hours of Operation	4.380	hrs/yr
Levelized Cost	214	Rp/kWh

4.3 Analisis Kelayakan Ekonomi

Perhitungan ekonomi digunakan untuk melihat aspek ekonomi dari instalasi surya atap yang akan dipasang. Perhitungan ini mempertimbangkan jumlah uang yang harus dikeluarkan, berupa biaya investasi awal dan perkiraan biaya pemeliharaan (O/M) selama usia teknis (*lifetime*). Sistem *lifetime* dapat mencapai 25 – 30 tahun (Suhendar 2022). Adapun rincian biaya investasi awal dari perancangan sistem PLTS ini, yaitu :

No.	Uraian Jenis Pekerjaan	Spesifikasi	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Material Utama					
	Panel Surya ICA390-72MF	390 Wp	3	unit	Rp2.873.385	Rp8.620.155
	Inverter ON GRID Solis	1.800 Watt	1	unit	Rp7.900.000	Rp7.900.000
2	Perangkat Proteksi					
	MCB TOMZN	DC 20 A	1	buah	Rp96.500	Rp96.500

	MCB	AC 125 A	3	buah	Rp401.800	Rp1.205.400
	SPD DC	1000 V	1	buah	Rp250.000	Rp250.000
	Combiner BOX DC		1	unit	Rp1.880.000	Rp1.880.000
	Combiner BOX AC	50 x 60	1	unit	Rp710.000	Rp710.000
	Neutral Link		2	buah	Rp414.000	Rp828.000
3	Pengkabelan					
	Kabel DC Supreme	NYY 2,5 mm	20	meter	Rp12.400	Rp248.000
	Kabel AC Mitsuba	NYY 35 mm	5	meter	Rp245.000	Rp1.225.000
	kabel Ground PV	4 mm	20	meter	Rp7.446	Rp148.920
	Kabel Ground AC	2 mm	5	meter	Rp7.000	Rp35.000
4	Jasa Instalasi				Rp2.000.000	Rp2.000.000
5	Pengiriman				Rp1.500.000	Rp1.500.000
6	Komponen Lainnya					
	Tiang bangunan Modul Surya	Hollow 50x50mm	9	batang	Rp218.600	Rp1.967.400
	Mounting Panel Surya	3 mm ukuran	36	buah	Rp15.500	Rp558.000
	Atap PLTS (Besi Bondeck)	tebal 0.75mm	5	buah	Rp152.800	Rp764.000
	Besi Penyangga Panel	Hollow 15x15mm	4	batang	Rp52.100	Rp208.400
	Pipa konduit	20 mm	14	batang	Rp14.000	Rp196.000
	Kabel Ties	30 cm	2	pack	Rp30.000	Rp60.000
	Isolasi Kabel		12	buah	Rp8.000	Rp96.000
	Klem		2	pack	Rp21.000	Rp42.000
TOTAL						Rp30.538.775

Berikut adalah hasil perhitungan aspek ekonomi :

Parameter	Hasil Perhitungan
Investasi Awal	Rp 30.538.775
Biaya O & M	Rp. 301.370
COE (<i>Cost of Energy</i>)	Rp 2.137,66 / kWh

Kelayakan investasi PLTS yang akan dikembangkan di area PLTMH Tombolo Pao ditentukan berdasarkan Analisa hasil perhitungan parameter NPV, BCR, IRR dan PBP. Berikut adalah hasil perhitungan yang diperoleh :

Parameter	Hasil Perhitungan
NPV (<i>Net Present Value</i>)	Rp. 7.981.981,40
IRR (<i>Internal Rate of return</i>)	11,64%
BCR (<i>Benefit cost ratio</i>)	1,26
<i>Pay Back Period</i> (PBP)	7,2 tahun

Perhitungan NPV dengan hasil bernilai positif Rp. 7.981.981,40 atau >0 dimana nilai positif proyek ini dapat dilaksanakan. Selanjutnya menggunakan parameter IRR dengan hasil $11,64\% > 9\%$ (nilai diskonto faktor) dimana hasil tersebut berarti proyek ini dapat dilaksanakan, dan perhitungan BCR bernilai 1,26 atau >1 yang menunjukkan bahwa proyek ini dapat dilaksanakan. Adapun untuk pengembalian modal berdasarkan perhitungan PBP adalah 7,2 tahun.

4.4 Manajemen Resiko

Berikut adalah manajemen resiko yang perlu diperhatikan pada perancangan sistem PLTS ini :

Tabel 4. 11 Manajemen Resiko

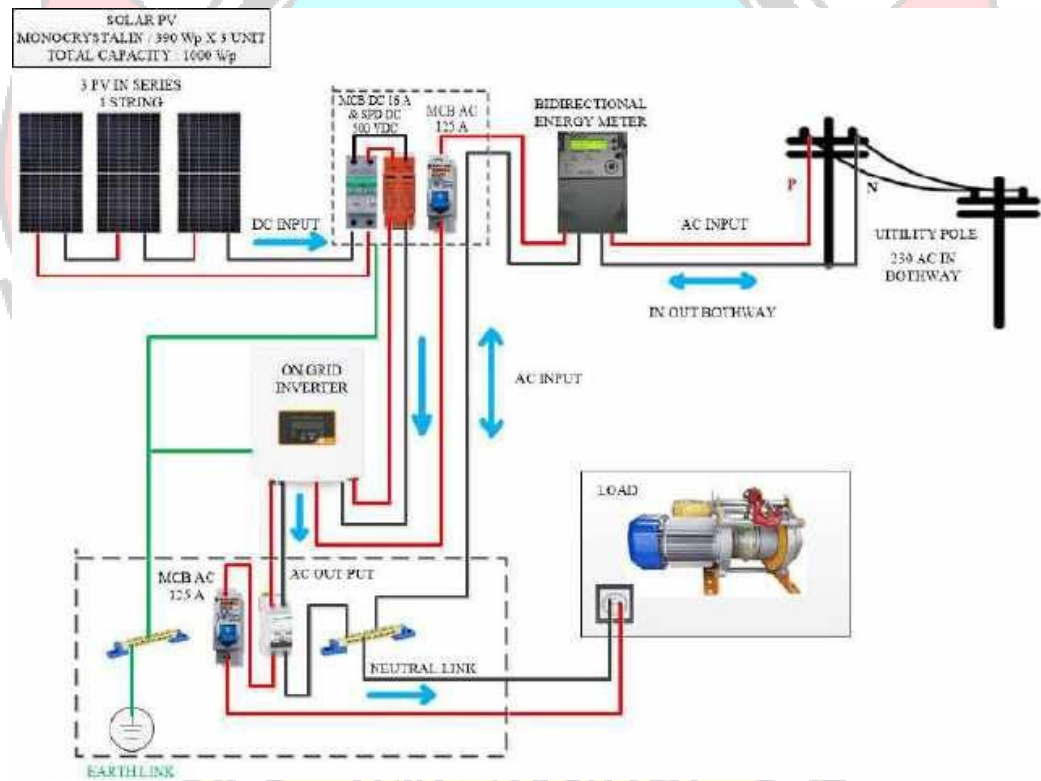
NO.	Deskripsi Risiko	Tingkat Risiko	Dampak	Tindakan Pengendalian
Risiko Keuangan :				
1	Performa dan Keandalan Teknologi	Sedang	Berkurangnya pembangkitan energi dan pengembalian investasi yang lebih rendah	Pemilihan material yang berkualitas baik dan merek yang terpercaya
2	Ketidakpastian Peraturan dan Kebijakan	Sedang	Menimbulkan ketidakpastian dan berdampak pada kelayakan finansial proyek tenaga surya	Mempunyai tim manajemen proyek yang berpengalaman dan terampil
3	Risiko Pembiayaan dan Investasi	Tinggi	Kesulitan mendapatkan pembiayaan proyek dapat berdampak pada kelayakan finansial proyek surya.	Menyusun rencana pembiayaan yang matang dan memadai
4	Volatilitas Harga Pasar	Sedang	Mempengaruhi profitabilitas dan stabilitas pendapatan proyek tenaga surya	Menyusun kontrak PPA yang baik dengan PT PLN (Persero) atau badan penyedia layanan listrik
5	Risiko Bisnis dan Operasional	Sedang	Menyebabkan inefisiensi proyek, peningkatan biaya, dan potensi kerugian pendapatan.	Menyusun kontrak PPA yang baik dengan PT PLN (Persero) atau badan penyedia layanan listrik

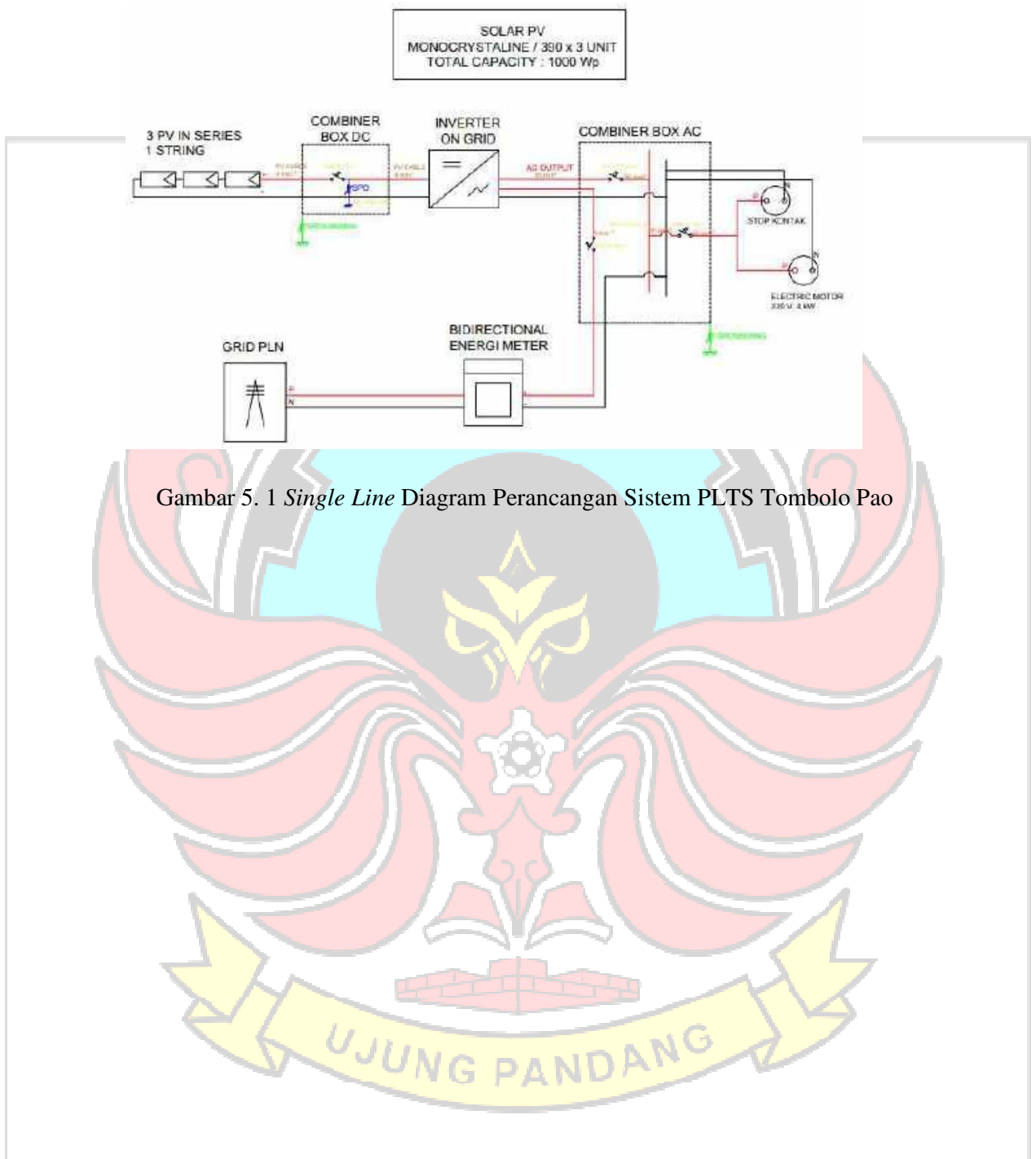
Risiko Fisik :				
1	Risiko Terkait Cuaca	Sedang	Mengakibatkan gangguan dalam pembangkitan energi, peningkatan biaya perawatan, dan potensi klaim asuransi	Memperhatikan kondisi cuaca
2	Bencana Alam dan Perubahan Iklim	Sedang	Memengaruhi kinerja sistem, dan mengganggu produksi energi, yang berpotensi menyebabkan kerugian finansial yang signifikan	Memperhatikan kondisi cuaca
3	Keamanan dan Pencurian	Sedang	Mengakibatkan kerugian finansial langsung dan waktu henti yang harus diperbaiki, yang berdampak pada profitabilitas proyek.	Mengecek secara rutin PLTS
4	Tantangan Integrasi Jaringan Listrik	Sedang	Mempengaruhi operasi proyek tenaga surya yang efisien dan memengaruhi keandalan pasokan energi	Menyusun kontrak PPA yang baik dengan PT PLN (Persero) atau badan penyedia layanan listrik
5	Risiko Tanah dan Lingkungan	Sedang	Menimbulkan tantangan dan berpotensi menghambat kemajuan proyek, yang berdampak pada implikasi keuangan dan jadwal	Melakukan analisis kondisi tanah, metode pembangunan, dan penggunaan kontraktor yang berpengalaman

BAB V : REKOMENDASI UNTUK KLIEN

5.1 Desain Sistem PLTS

Desain sistem PLTS untuk beban *trash rack* di PLTMH Tombolo Pao terdiri dari 3 buah panel surya yang dihubungkan secara seri dan satu string, terhubung dengan inverter *bidirectional* berkapasitas 1,8 kW serta *hybrid* dengan kWh EXIM PLTMH Tombolo Pao. Berikut adalah diagram *single line* perancangan sistem PLTS ini :





Gambar 5. 1 *Single Line* Diagram Perancangan Sistem PLTS Tombolo Pao

5.2 Desain Layout 3D

Panel surya diletakkan diatas *headpone* dengan pertimbangan daerah tersebut terhindar dari gangguan *shading* dan dekat dengan bangunan sistem *control*.

Menghadap arah datangnya matahari. Berikut adalah rekomendasi tata letak komponen sistem PLTS yang telah didesain berdasarkan tata letak di lokasi :



Gambar 5. 2 Ilustrasi Penempatan Panel Surya di *headpone* PLTMH Tombolo Pao

Berikut adalah detail peletakan komponen-komponen PLTS lainnya:

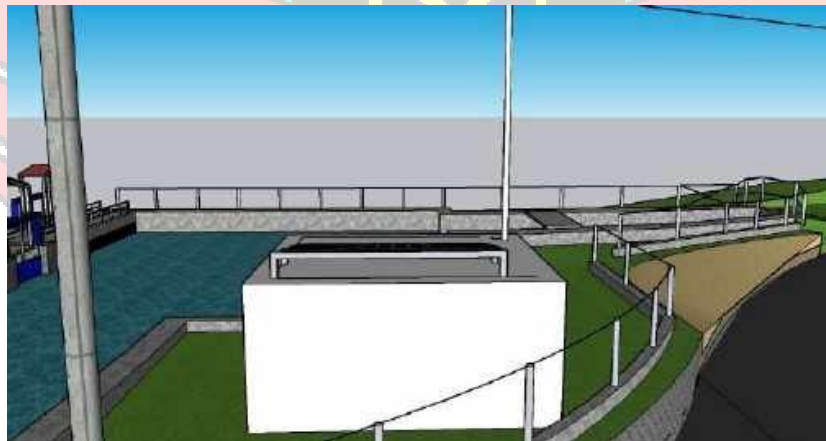


Gambar 5. 3 Panel Surya Tampak Depan

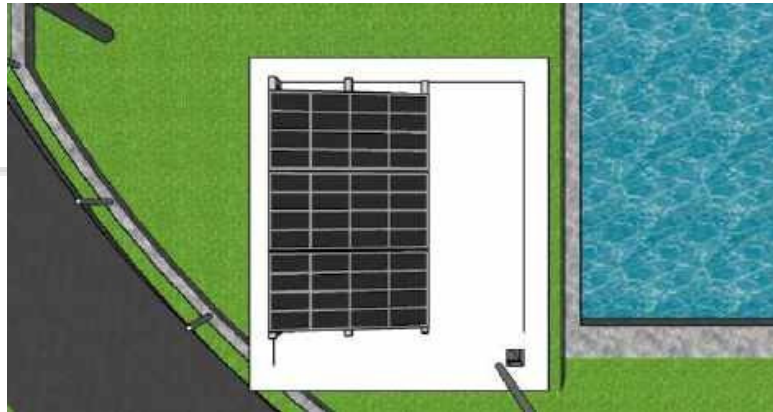


Gambar 5. 4 Panel Surya Tampak Samping

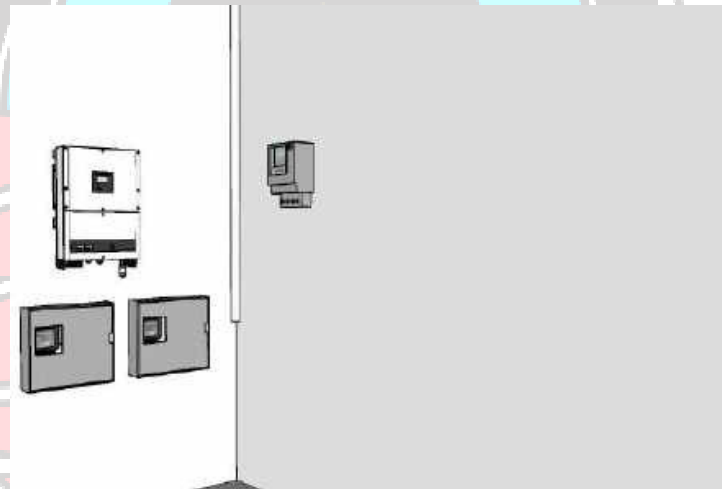
Panel surya dipasang dengan kemiringan 7° berdasarkan data dari Solargis dan dengan pertimbangan arah matahari serta dengan kemiringan tersebut panel surya dapat membersihkan dari debu ketika hujan turun dan air tidak menggenang.



Gambar 5. 5 Panel Surya tampak belakang



Gambar 5. 6 Panel Surya tampak atas
Panel surya dipasang dengan jarak antar panel adalah 3 cm. Detail kerangka bangunan Panel surya dapat dilihat di Lampiran.

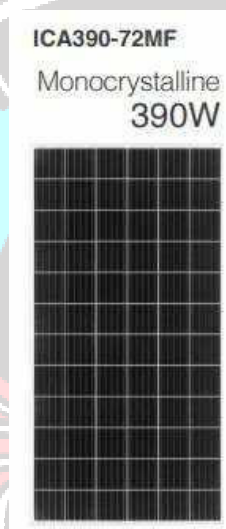


Gambar 5. 7 Peletakan Komponen dalam ruang kontrol

5.3 Spesifikasi Komponen Utama

Komponen utama pada perancangan PLTS ini terdiri dari Panel Surya dan Inverter dimana pemilihan komponen ini berdasarkan profil beban listrik dan hasil perhitungan yang cocok untuk sistem PLTS ini. Berikut adalah spesifikasi komponen utama dari perancangan PLTS ini :

5.3.1 Panel Surya



Gambar 5. 8 Panel Surya JA Solar

Jenis panel surya yang digunakan adalah monocrystalline merk JA Solar yang merupakan salah satu merk yang direkomendasikan. Berikut adalah spesifikasi dari panel surya tersebut :

<i>Module Type</i>	ICA390-72MF
<i>Rated Max.Power (Pmax)</i>	390W
<i>Current at Pmax (Imp)</i>	9,68 A
<i>Voltage at Pmax (Vmp)</i>	40,30 V
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	10,14 A
<i>Open Circuit Voltage (Voc)</i>	49.20 V
<i>Dimension (mm)</i>	1979*1002*35
<i>Efficiency</i>	19,67 %
<i>Max.System Voltage</i>	1000V
<i>Temperature Range</i>	25°C

5.3.2 Inverter



Gambar 5. 9 Inverter ICA Solar

Inverter yang digunakan pada perancangan ini adalah inverter jenis ON Grid dengan kapasitas 1.800 W. Inverter ON GRID berfungsi untuk merubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran Berikut adalah spesifikasi Inverter yang digunakan pada perancangan PLTS ini :

Type Inverter	Solis-mini-1500-4G
<i>Merk</i>	SOLIS
<i>Max AC Output Power</i>	1.800 Watt
<i>Start-up Voltage</i>	60 V
<i>MPPT Voltage Range</i>	50-500 V
<i>Max Input Current (Idc)</i>	11 A
<i>Max. Short Circuit Current</i>	17,2 A
<i>Efficiency</i>	97,2%

L



**HASIL PENGUKURAN DI
LAPANGAN**

HASIL PENGUKURAN RADIASI MATAHARI

DATA HARI 1

Hari/Tanggal : Sabtu/ 13 Mei 2023

Tempat : Power House PT. Tombolo Energi

JAM	Radiasi Matahari (W/m ²)
11.05	1095
11.15	1027
11.25	1101
11.35	1044
11.43	1035
11.52	1001
12.06	1097
12.13	1150
12.23	1100
12.34	1080
13.07	1061
13.32	1070
rata-rata	1071,75

DATA HARI 2

Hari/Tanggal : Kamis, 25 Mei 2023

Tempat : Headphone PLTMH PT. Tombolo Energi

Jam	Radiasi Matahari (W/m ²)
10.30	384,0
10.40	402,8
10.50	201
11.00	210
11.10	226,3
11.20	505,8
11.30	536,7
11.40	501,5
11.50	333,3
12.00	265,6
12.10	864,1
12.20	541,4
12.30	301,9
12.40	190,7
12.50	250,9
13.00	329,6
rata-rata	377,85

DATA PENGUKURAN SUHU

Hari/Tanggal : Kamis, 25 Mei 2023

Tempat : Laboratorium Pembangkit Energi PNUP

WAKTU	PANEL 1 (50 WP)			PANEL 2 (50 Wp)			V _{udara}	I _{matahari} (W/m ²)
	T _{atas}	T _{bawah}	T _{lingkungan}	T _{atas}	T _{bawah}	T _{lingkungan}		
09.00	49,8	57,5	30,1	45,9	53,7	30,1		853
10.00	51,2	58,2	36,3	50,1	56,5	36,3		996
11.00	54,1	62,9	38,9	54,5	62,7	38,9		1070
12.00	56,7	64,3	36,1	55	63,2	36,1		
13.00	53,7	61,1	36,1	52,7	59,1	36,1		
14.00	51,3	57,4	36	49,2	55,3	36		
15.00	43,3	48,9	34,9	43,4	49,7	34,9		
rata-rata	51,44	58,61	35,49	50,11	57,17	35,49		



L



ANALISIS EKONOMI

PERHITUNGAN NPV

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	Faktor Diskonto	Nilai Sekarang
0	Rp30.136.975,00					
1		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,917	Rp3.560.319,288
2		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,842	Rp3.266.347,971
3		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,772	Rp2.996.649,514
4		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,708	Rp2.749.219,738
5		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,650	Rp2.522.219,943
6		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,596	Rp2.313.963,251
7		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,547	Rp2.122.902,065
8		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,502	Rp1.947.616,573
9		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,460	Rp1.786.804,196
10		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,422	Rp1.639.269,904
11		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,388	Rp1.503.917,343
12		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,356	Rp1.379.740,682
13		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,326	Rp1.265.817,139
14		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,299	Rp1.161.300,128
15		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,275	Rp1.065.412,961
16		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,252	Rp977.443,084
17		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,231	Rp896.736,774
18		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,212	Rp822.694,288

19		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,194	Rp754.765,402
20		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,178	Rp692.445,323
21		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,164	Rp635.270,938
22		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,150	Rp582.817,375
23		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,138	Rp534.694,839
24		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,126	Rp490.545,724
25		Rp4.182.118,02	Rp301.370,00	Rp3.880.748,02	0,116	Rp450.041,949
TOTAL						Rp38.118.956,392
NPV						Rp7.981.981,392
DISKONTO ANNUITIES						9,823

Perhitungan NPV :

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

$$NPV = 38.118.956,40 - 30.136.975$$

$$NPV = Rp 7.981.981,40$$

PERHITUNGAN IRR

TABEL ARUS KAS NPV _r				
TAHUN	BIAYA INVESTASI	ARUS KAS BERSIH	DF	NILAI SEKARANG
0	Rp41.832.520			
1		Rp5.267.862,18	0,926	Rp4.877.650,17
2		Rp5.267.862,18	0,857	Rp4.516.342,75
3		Rp5.267.862,18	0,794	Rp4.181.798,84
4		Rp5.267.862,18	0,735	Rp3.872.035,96
5		Rp5.267.862,18	0,681	Rp3.585.218,48
6		Rp5.267.862,18	0,630	Rp3.319.646,74
7		Rp5.267.862,18	0,583	Rp3.073.746,99
8		Rp5.267.862,18	0,540	Rp2.846.062,02
9		Rp5.267.862,18	0,500	Rp2.635.242,61
10		Rp5.267.862,18	0,463	Rp2.440.039,46
11		Rp5.267.862,18	0,429	Rp2.259.295,79
12		Rp5.267.862,18	0,397	Rp2.091.940,55
13		Rp5.267.862,18	0,368	Rp1.936.981,99
14		Rp5.267.862,18	0,340	Rp1.793.501,84
15		Rp5.267.862,18	0,315	Rp1.660.649,86
16		Rp5.267.862,18	0,292	Rp1.537.638,75
17		Rp5.267.862,18	0,270	Rp1.423.739,59
18		Rp5.267.862,18	0,250	Rp1.318.277,40
19		Rp5.267.862,18	0,232	Rp1.220.627,22
20		Rp5.267.862,18	0,215	Rp1.130.210,39
21		Rp5.267.862,18	0,199	Rp1.046.491,10
22		Rp5.267.862,18	0,184	Rp968.973,24
23		Rp5.267.862,18	0,170	Rp897.197,44
24		Rp5.267.862,18	0,158	Rp830.738,37
25		Rp5.267.862,18	0,146	Rp769.202,20
TOTAL				Rp56.233.249,76
NPV _r				Rp14.400.729,76
DISKONTO ANNUITIES				10,675

TABEL ARUS KAS NPVt				
TAHUN	BIAYA INVESTASI	ARUS KAS BERSIH	DF	NILAI SEKARANG
0	Rp30.136.975,00			
1		Rp3.880.748,02	0,909	Rp3.527.952,75
2		Rp3.880.748,02	0,826	Rp3.207.229,77
3		Rp3.880.748,02	0,751	Rp2.915.663,43
4		Rp3.880.748,02	0,683	Rp2.650.603,11
5		Rp3.880.748,02	0,621	Rp2.409.639,20
6		Rp3.880.748,02	0,564	Rp2.190.581,09
7		Rp3.880.748,02	0,513	Rp1.991.437,35
8		Rp3.880.748,02	0,467	Rp1.810.397,59
9		Rp3.880.748,02	0,424	Rp1.645.815,99
10		Rp3.880.748,02	0,386	Rp1.496.196,36
11		Rp3.880.748,02	0,350	Rp1.360.178,51
12		Rp3.880.748,02	0,319	Rp1.236.525,91
13		Rp3.880.748,02	0,290	Rp1.124.114,47
14		Rp3.880.748,02	0,263	Rp1.021.922,24
15		Rp3.880.748,02	0,239	Rp929.020,22
16		Rp3.880.748,02	0,218	Rp844.563,84
17		Rp3.880.748,02	0,198	Rp767.785,31
18		Rp3.880.748,02	0,180	Rp697.986,64
19		Rp3.880.748,02	0,164	Rp634.533,31
20		Rp3.880.748,02	0,149	Rp576.848,47
21		Rp3.880.748,02	0,135	Rp524.407,70
22		Rp3.880.748,02	0,123	Rp476.734,27
23		Rp3.880.748,02	0,112	Rp433.394,79
24		Rp3.880.748,02	0,102	Rp393.995,26
25		Rp3.880.748,02	0,092	Rp358.177,51
TOTAL				Rp35.225.705,08
NPVt				Rp5.088.730,08
DISKONTO ANNUITIES				9,077

L

A

M

P

I

R

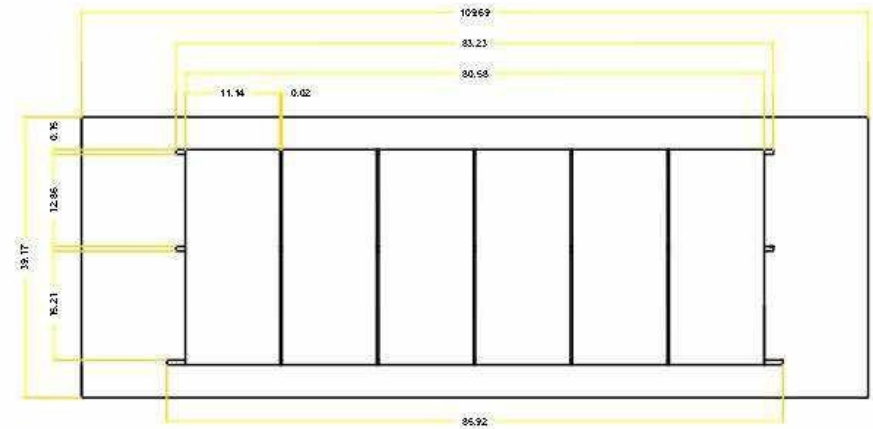
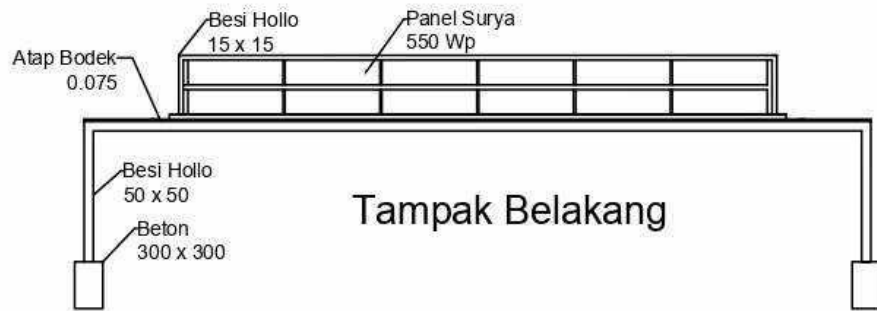
A

N

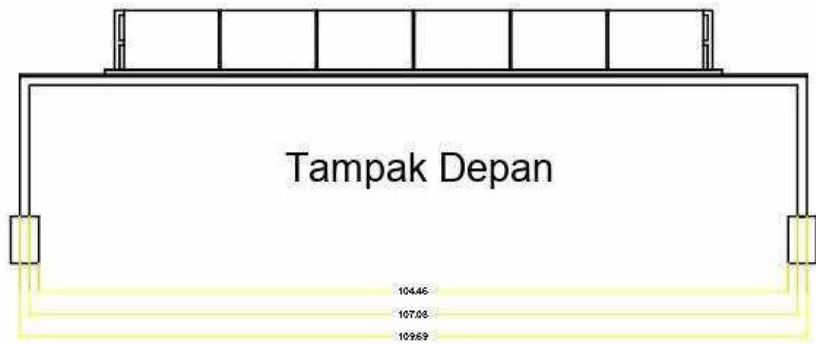
3



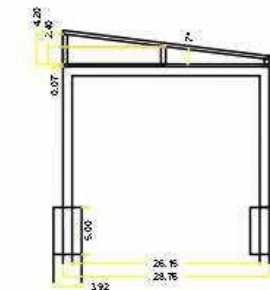
LAYOUT KERANGKA PANEL





Tampak Atas



Tampak Depan



Tampak Samping

 	Skala :	Digambar :	Keterangan :		
	Satuan :	Kelas :			
	Tanggal :	Diperiksa :			
Politeknik Negeri Ujung Pandang		Lay Out Bangunan Panel Surya		No.	A4

L

A

M

P

I

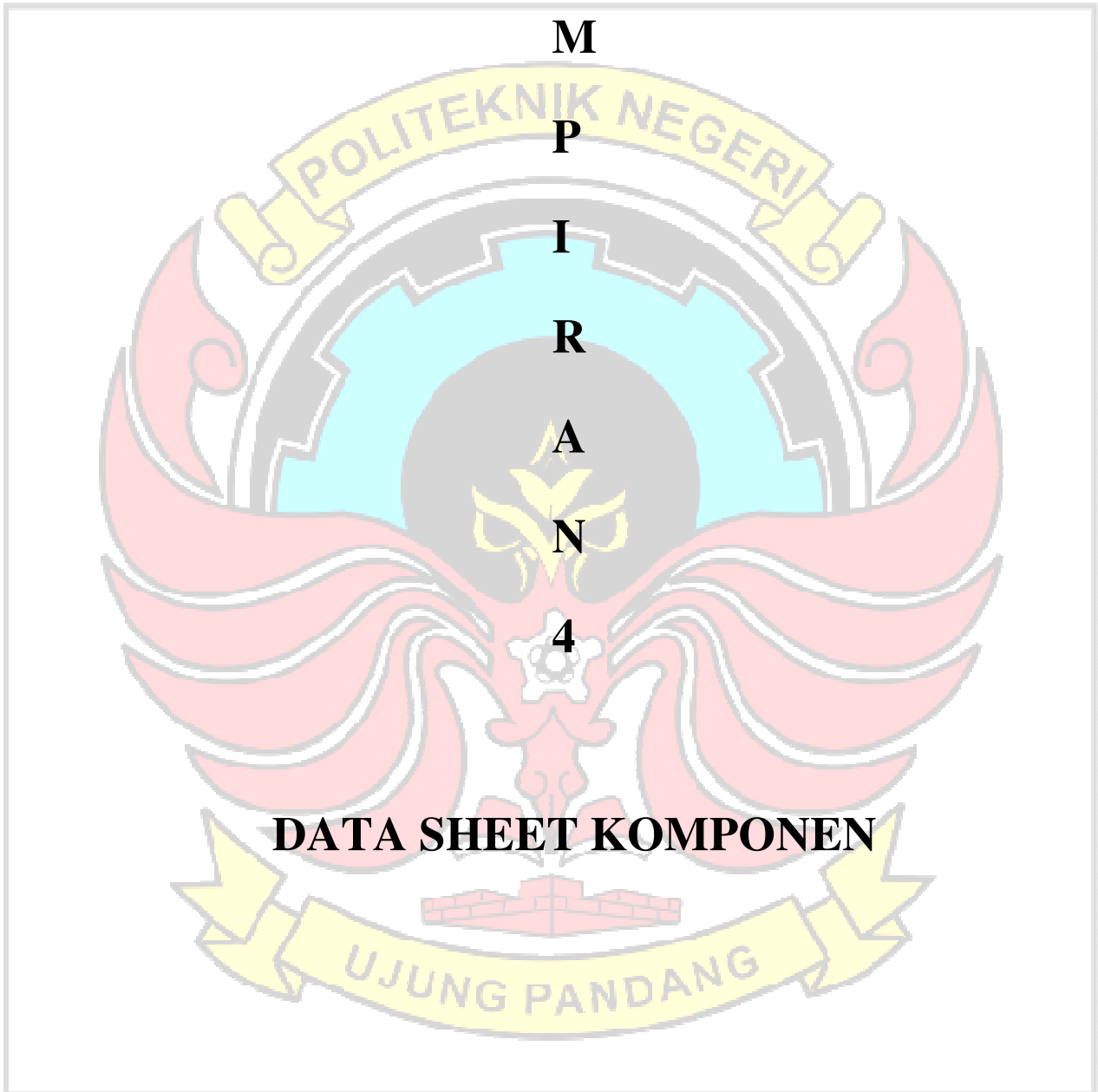
R

A

N

4

DATA SHEET KOMPONEN

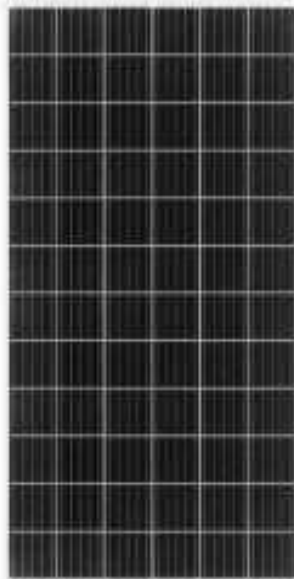




ICAsolar®

ICA390-72MF

Monocrystalline 390W



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

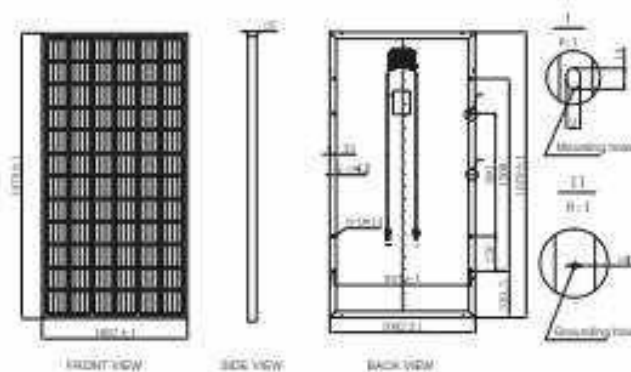
Max. Power (W)	390
Efficiency (%)	19.67
Max. Power Voltage, Vmp (V)	40.30
Max. Power Current, Imp (A)	9.68
Open Circuit Voltage, Voc (V)	49.20
Short Circuit Current, Isc (A)	10.14
Weight (kg)	23.00
Dimension of module (mm)	1979 x 1002 x 35
Pmax Temperature Coefficient (%/°C)	-0.40
Voc Temperature Coefficient (%/°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




 (IEC 61215, 61730)



www.icasolar.com

01/17/19/00000000

Datasheet

Model name	100W (100C)	150W (150C)	200W (200C)	250W (250C)	300W (300C)	350W (350C)	400W (400C)
Input							
Recommended max. PV power	0.9kW	1.3kW	1.8kW	2.3kW	3kW	3.5kW	4kW
Max. input voltage	150V						
Rated voltage	200V			230V			
Start-up voltage	60V			90V			
MPPT voltage range	50-500V			80-500V			
Max. input current				11A		15A	
Max. short circuit current				17.2A		20A	
MPPT number/max. input string number				1/1		1/1	
Output							
Rated output power	0.7kW	1kW	1.3kW	2kW	2.5kW	3kW	3.6kW
Max. apparent output power	0.8kVA	1.1kVA	1.7kVA	2.3kVA	2.8kVA	3.7kVA	4.6kVA
Max. output power	0.8kW	1.1kW	1.7kW	2.3kW	2.8kW	3.7kW	4.6kW
Rated grid voltage	1.6/1.7kV, 22kV/23kV						
Rated grid frequency	50/60Hz						
Rated grid output current	1.2A/0.9A	1.5A/1.3A	2.3A/2.0A	3.1A/2.7A	3.8A/3.3A	4.7A/4.1A	5.6A
Max. output current	4.4A	5.2A	8.1A	10.1A	13.1A	15.7A	19A
Power Factor	+0.99/0.8 leading, -0.8 lagging						
THDi	<3%						
Efficiency							
Max. efficiency				97.2%		97.9%	
EU efficiency				96.0%		96.8%	
Protection							
DC reverse polarity protection	Yes						
Short circuit protection	Yes						
Output over current protection	Yes						
Surge protection	Yes						
Grid monitoring	Yes						
Anti-islanding protection	Yes						
Temperature protection	Yes						
Integrated DC switch	Optional						
General Data							
Dimensions (W*H*D)				110*170*160mm			
Weight	7.4kg			7.7kg			
Topology	Transformerless						
Self consumption	<1W (night)						
Operating ambient temperature range	-25 ~ +60°C						
Relative humidity	5~100%						
Ingress protection	IP65						
Cooling concept	Natural convection						
Max. operation altitude	4000m						
Grid connection standard	VDE-AR-N 4125, VDE V 0124, VDE V 0126-1-1, VDE V 0126-1-2, VDE V 0126-1-3, VDE V 0126-1-4, VDE V 0126-1-5, VDE V 0126-1-6, VDE V 0126-1-7, VDE V 0126-1-8, VDE V 0126-1-9, VDE V 0126-1-10, VDE V 0126-1-11, VDE V 0126-1-12, VDE V 0126-1-13, VDE V 0126-1-14, VDE V 0126-1-15, VDE V 0126-1-16, VDE V 0126-1-17, VDE V 0126-1-18, VDE V 0126-1-19, VDE V 0126-1-20, VDE V 0126-1-21, VDE V 0126-1-22, VDE V 0126-1-23, VDE V 0126-1-24, VDE V 0126-1-25, VDE V 0126-1-26, VDE V 0126-1-27, VDE V 0126-1-28, VDE V 0126-1-29, VDE V 0126-1-30, VDE V 0126-1-31, VDE V 0126-1-32, VDE V 0126-1-33, VDE V 0126-1-34, VDE V 0126-1-35, VDE V 0126-1-36, VDE V 0126-1-37, VDE V 0126-1-38, VDE V 0126-1-39, VDE V 0126-1-40, VDE V 0126-1-41, VDE V 0126-1-42, VDE V 0126-1-43, VDE V 0126-1-44, VDE V 0126-1-45, VDE V 0126-1-46, VDE V 0126-1-47, VDE V 0126-1-48, VDE V 0126-1-49, VDE V 0126-1-50, VDE V 0126-1-51, VDE V 0126-1-52, VDE V 0126-1-53, VDE V 0126-1-54, VDE V 0126-1-55, VDE V 0126-1-56, VDE V 0126-1-57, VDE V 0126-1-58, VDE V 0126-1-59, VDE V 0126-1-60, VDE V 0126-1-61, VDE V 0126-1-62, VDE V 0126-1-63, VDE V 0126-1-64, VDE V 0126-1-65, VDE V 0126-1-66, VDE V 0126-1-67, VDE V 0126-1-68, VDE V 0126-1-69, VDE V 0126-1-70, VDE V 0126-1-71, VDE V 0126-1-72, VDE V 0126-1-73, VDE V 0126-1-74, VDE V 0126-1-75, VDE V 0126-1-76, VDE V 0126-1-77, VDE V 0126-1-78, VDE V 0126-1-79, VDE V 0126-1-80, VDE V 0126-1-81, VDE V 0126-1-82, VDE V 0126-1-83, VDE V 0126-1-84, VDE V 0126-1-85, VDE V 0126-1-86, VDE V 0126-1-87, VDE V 0126-1-88, VDE V 0126-1-89, VDE V 0126-1-90, VDE V 0126-1-91, VDE V 0126-1-92, VDE V 0126-1-93, VDE V 0126-1-94, VDE V 0126-1-95, VDE V 0126-1-96, VDE V 0126-1-97, VDE V 0126-1-98, VDE V 0126-1-99, VDE V 0126-1-100						
Safety/EMC standard	IEC 61290-1, IEC 61290-2, IEC 61290-3, IEC 61290-4, IEC 61290-5, IEC 61290-6, IEC 61290-7, IEC 61290-8, IEC 61290-9, IEC 61290-10, IEC 61290-11, IEC 61290-12, IEC 61290-13, IEC 61290-14, IEC 61290-15, IEC 61290-16, IEC 61290-17, IEC 61290-18, IEC 61290-19, IEC 61290-20, IEC 61290-21, IEC 61290-22, IEC 61290-23, IEC 61290-24, IEC 61290-25, IEC 61290-26, IEC 61290-27, IEC 61290-28, IEC 61290-29, IEC 61290-30, IEC 61290-31, IEC 61290-32, IEC 61290-33, IEC 61290-34, IEC 61290-35, IEC 61290-36, IEC 61290-37, IEC 61290-38, IEC 61290-39, IEC 61290-40, IEC 61290-41, IEC 61290-42, IEC 61290-43, IEC 61290-44, IEC 61290-45, IEC 61290-46, IEC 61290-47, IEC 61290-48, IEC 61290-49, IEC 61290-50, IEC 61290-51, IEC 61290-52, IEC 61290-53, IEC 61290-54, IEC 61290-55, IEC 61290-56, IEC 61290-57, IEC 61290-58, IEC 61290-59, IEC 61290-60, IEC 61290-61, IEC 61290-62, IEC 61290-63, IEC 61290-64, IEC 61290-65, IEC 61290-66, IEC 61290-67, IEC 61290-68, IEC 61290-69, IEC 61290-70, IEC 61290-71, IEC 61290-72, IEC 61290-73, IEC 61290-74, IEC 61290-75, IEC 61290-76, IEC 61290-77, IEC 61290-78, IEC 61290-79, IEC 61290-80, IEC 61290-81, IEC 61290-82, IEC 61290-83, IEC 61290-84, IEC 61290-85, IEC 61290-86, IEC 61290-87, IEC 61290-88, IEC 61290-89, IEC 61290-90, IEC 61290-91, IEC 61290-92, IEC 61290-93, IEC 61290-94, IEC 61290-95, IEC 61290-96, IEC 61290-97, IEC 61290-98, IEC 61290-99, IEC 61290-100						
Features							
DC connection	MC4 connector						
AC connection	Quick connection plug						
Display	LCD						
Communication	RS485, Optional: 3G, GPRS						