

“ANALISIS PERENCANAAN SISTEM PLTS DENGAN BEBAN  
POMPA UNTUK PLTMH PT. TOMBOLO ENERGY”



SKRIPSI

Dibuat untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan Pendidikan pada Jurusan  
Teknik Mesin Program Studi D-4 Teknik Pembangkit Energi di Politeknik Negeri  
Ujung Pandang

Oleh :

Azizah Salsabila Amir (44219006)  
Muh. Fahmi Alim Mustakim (44219014)

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

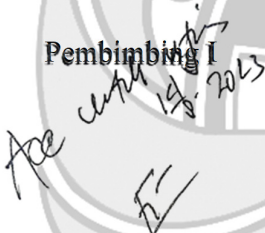
## HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi dengan judul ”Analisis Perencanaan Sistem PLTS dengan Beban Pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy” oleh Azizah Salsabila Amir NIM 44219006 dan Muh. Fahmi Alim Mustakim NIM 44219014 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, 14 Agustus 2023

Pembimbing I

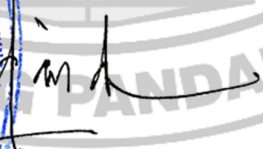
Pembimbing II

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

  
Prof. Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D.  
NIP. 19631111 199003 1 002

Mengetahui

Koordinator Program Studi

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

## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, tanggal 14 September 2023, Tim Penguji Ujian Skripsi telah menerima dengan baik hasil Skripsi oleh mahasiswa: Azizah Salsabila Amir NIM 44219006 dan Muh. Fahmi Alim Mustakim NIM 44219014 dengan judul “**Analisis Perencanaan Sistem PLTS dengan Beban Pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy**”.

Makassar, 14 September 2023

Tim Penguji Ujian Skripsi:

1. Ir. Herman Nauwir, M.T. Ketua 
2. Ir. Chandra Bhuana, M.T. Sekretaris 
3. Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D. Anggota 
4. Dr. Jumadi Tangko, M.Pd. Anggota 
5. Prof, Dr. Ir. Firman, M.T. Pembimbing I 
6. Prof, Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. Pembimbing II 

## **KATA PENGANTAR**

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT. Atas limpahan rahmat, ridha dan karunia-Nya, penulisan dan penyusunan skripsi yang berjudul “Analisis Perencanaan Sistem PLTS dengan Beban Pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy” dapat terselesaikan sebagaimana mestinya. Shalawat serta salam tidak lupa dihaturkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Selama penulisan skripsi ini, banyak hal yang penulis alami baik suka maupun duka. Maka pada kesempatan kali ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak atas bimbingan, perhatian dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis, antara lain:

1. Allah SWT yang telah memberikan kekuatan serta kesehatan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orangtua serta keluarga penulis yang telah memberikan dukungan dan do'anya.
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 Bhuana, M.T. selaku Koordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi.

6. Bapak Prof. Dr. Ir. Firman M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Prof. Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing II yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
7. Bapak Tri Susilo, S.ST., M.T. selaku Wali Kelas 4A D-4 Teknik Pembangkit Energi.
8. Segenap dosen Jurusan Teknik Mesin pada umumnya dan Program Studi Teknik Pembangkit Energi pada khususnya yang selama kurun waktu empat tahun dengan ikhlas dan penuh kerelaan hati telah mendidik dan mengajar kami, serta para staf dan teknisi Program Studi Teknik Pembangkit Energi.
9. Taslim, Elsa, Annisa, Akbar dan Rizqi selaku rekan penulis yang senantiasa memberikan kritik yang membangun kepada penulis, membantu dalam pengambilan data dan sumbangsi pemikiran.
10. Seluruh teman-teman D4 Teknik Pembangkit Energi Angkatan 2019 yang telah memberikan dukungan kepada penulis.

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

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh.

Makassar, 25 April 2023

Penulis

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Pertimbangan Bentuk Atap dalam Pemasangan Panel Surya .....                | 24 |
| Tabel 4. 1 Data Iradiasi Matahari di Tombolo Pao tanggal 25 mei 2023 (NASA)43         |    |
| Tabel 4. 2 Data Iradiasi Matahari per Bulan di Tombolo Pao ( <i>RetScreen</i> ) ..... | 44 |
| Tabel 4. 3 Spesifikasi Motor Pompa.....   | 45 |
| Tabel 4. 4 Kebutuhan Energi Listrik Motor Pompa.....                                  | 45 |
| Tabel 4. 5 Spesifikasi Panel Surya.....   | 47 |
| Tabel 4. 7 Spesifikasi Baterai .....  | 50 |
| Tabel 4. 8 Spesifikasi <i>Inverter</i> .....  | 52 |
| Tabel 4. 9 Rekapitulasi Spesifikasi Komponen PLTS dengan beban Pompa.....             | 53 |
| Tabel 4. 10 Hasil Simulasi <i>PV Syst</i> Sistem PLTS.....                            | 61 |
| Tabel 4. 11 Biaya Peralatan dan Pemasangan PLTS .....                                 | 68 |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2. 1 a. Bendungan, b. <i>Penstock</i> .....                       | 6  |
| Gambar 2. 2 Prinsip Kerja Panel Surya .....                              | 8  |
| Gambar 2. 3 Panel Surya <i>Monocrystalline</i> .....                     | 11 |
| Gambar 2. 4 Panel Surya <i>Polycrystalline</i> .....                     | 12 |
| Gambar 2. 5 <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM).....                     | 13 |
| Gambar 2. 6 <i>Maximum Power Point Tracking</i> (MPPT) .....             | 13 |
| Gambar 2. 7 <i>Starting Battery</i> .....                                | 15 |
| Gambar 2. 8 <i>Deep Cycle Battery</i> .....                              | 15 |
| Gambar 2. 9 <i>Li-ion Battery</i> .....                                  | 16 |
| Gambar 2. 10 <i>Nickel Cadmium Battery</i> .....                         | 17 |
| Gambar 2. 11 Konfigurasi Panel Surya dengan <i>String Inverter</i> ..... | 18 |
| Gambar 2. 12 Konfigurasi Panel Surya dengan <i>Micro Inverter</i> .....  | 19 |
| Gambar 2. 13 Pompa.....  | 20 |
| Gambar 2. 14 Struktur Rangkaian Panel Surya .....                        | 21 |
| Gambar 2. 15 Pondasi Rangkaian Panel Surya yang disarankan.....          | 22 |
| Gambar 2. 16 Penggunaan Tiang Galvanis pada Rangkaian Panel Surya.....   | 23 |
| Gambar 2. 17 Bentuk Atap Prisma.....                                     | 26 |
| Gambar 3. 1 Lokasi PLTMH PT. Tombolo Energy.....                         | 32 |
| Gambar 3. 2 <i>Power House</i> Tampak dari Atas.....                     | 32 |
| Gambar 3. 3 Lahan Kosong Depan <i>Tailrace</i> .....                     | 33 |
| Gambar 3. 4 Desain Rangka Panel PLTS <i>On Ground</i> .....              | 36 |
| Gambar 3. 5 Desain Rangka Panel PLTS Atap.....                           | 37 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3. 6 Diagram Alir Penelitian .....                          | 38 |
| Gambar 3. 7 Diagram Alir Analisis Data.....                        | 39 |
| Gambar 4. 1 <i>Power House</i> dan Lahan disekitarnya.....         | 40 |
| Gambar 4. 2 Atap <i>Power House</i> Penempatan Modul Surya.....    | 41 |
| Gambar 4. 3 Atap <i>Power House</i> Tampak samping.....            | 42 |
| Gambar 4. 4 Skema Konfigurasi Panel Surya.....                     | 49 |
| Gambar 4. 6 Skema Konfigurasi Baterai .....                        | 52 |
| Gambar 4. 7 <i>Flowchart</i> Suplai Energi .....                   | 54 |
| Gambar 4. 8 Grafik <i>Performance Ratio</i> .....                  | 62 |
| Gambar 4. 9 Grafik <i>Normalized Energi</i> .....                  | 63 |
| Gambar 4. 10 <i>Losses Diagram</i> PLTS .....                      | 64 |
| Gambar 4. 11 Desain 3D PLTS <i>On Ground</i> .....                 | 65 |
| Gambar 4. 12 Desain 3D PLTS Atap.....                              | 66 |
| Gambar 4. 13 Peletakan Komponen di dalam <i>Control Room</i> ..... | 66 |
| Gambar 4. 14 3D Pemasangan Panel Surya pada Lahan Kosong.....      | 67 |
| Gambar 4. 15 2D Pemasangan Panel Surya pada Lahan Kosong.....      | 67 |



## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| HALAMAN PENGESAHAN.....                            | ii   |
| HALAMAN PENERIMAAN .....                           | iii  |
| KATA PENGANTAR .....                               | iv   |
| DAFTAR TABEL.....                                  | vi   |
| DAFTAR GAMBAR .....                                | vii  |
| DAFTAR ISI.....                                    | ix   |
| DAFTAR SIMBOL.....                                 | xii  |
| DAFTAR LAMPIRAN.....                               | xiii |
| SURAT PERNYATAAN.....                              | xiv  |
| RINGKASAN .....                                    | xvi  |
| BAB I PENDAHULUAN.....                             | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                           | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                          | 3    |
| 1.3 Ruang Lingkup Kegiatan.....                    | 3    |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....                         | 4    |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                        | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                       | 5    |
| 2.1 PLTMH PT. Tombolo Energy.....                  | 5    |
| 2.2 Energi Surya .....                             | 6    |
| 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....          | 7    |
| 2.4 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya ..... | 7    |
| 2.4.1 Panel Surya ( <i>Photovoltaic</i> ) .....    | 7    |
| 2.4.2 <i>Solar Charge Controller</i> .....         | 12   |
| 2.4.3 Baterai/Aki .....                            | 14   |

|  |   |    |
|--|---|----|
| 2.4.4                                    | <i>Inverter</i> .....   | 18 |
| 2.4.5                                    | Beban (Pompa).....  | 20 |
| 2.5                                      | Standar Pemasangan Panel Surya.....                                     | 21 |
| 2.5.1                                    | Pemasangan PLTS <i>On Ground</i> .....                                  | 21 |
| 2.5.2                                    | Pemasangan PLTS Atap.....   | 24 |
| 2.6                                      | Analisis Ekonomi .....  | 27 |
| 2.6.1                                    | Biaya Siklus Hidup ( <i>Life Cycle Cost</i> ).....                      | 27 |
| 2.6.2                                    | Biaya Energi ( <i>Cost of Energy</i> ).....                             | 29 |
| 2.6.3                                    | Kelayakan Investasi .....   | 30 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....       |   | 32 |
| 3.1                                      | Tempat dan Waktu Penelitian .....                                       | 32 |
| 3.2                                      | Alat .....  | 33 |
| 3.3                                      | Teknik Pengumpulan Data .....   | 33 |
| 3.4                                      | Teknik Pengolahan Data .....  | 34 |
| 3.5                                      | Desain Awal .....   | 35 |
| 3.5.1                                    | Desain Rangka Panel Surya .....   | 35 |
| 3.5.2                                    | Desain Kelistrikan.....   | 37 |
| 3.6                                      | Diagram Alir.....   | 38 |
| BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN..... |   | 40 |
| 4.1                                      | Luas Lahan Potensi Tempat Pemasangan Panel Surya .....                  | 40 |
| 4.1.1                                    | Luas Lahan Kosong disekitar <i>Power House</i> .....                    | 40 |
| 4.1.2                                    | Luas Atap <i>Power House</i> .....                                      | 41 |
| 4.3.2                                    | Menentukan Sistem PLTS .....  | 46 |
| 4.3.3                                    | Pemilihan dan Penentuan kebutuhan panel surya .....                     | 47 |
| 4.3.4                                    | Menghitung Energi <i>Output</i> Panel Surya .....                       | 49 |
| 4.3.5                                    | Pemilihan dan Perhitungan Baterai .....                                 | 50 |
| 4.3.6                                    | Pemilihan <i>Inverter</i> .....   | 52 |
| 4.4                                      | Pengujian Sistem PLTS dengan Simulasi pada <i>Software PVSyst</i> ..... | 55 |
| 4.5                                      | Hasil Pengujian <i>PVSyst</i> .....                                     | 61 |
| 4.6                                      | Desain PLTS.....  | 65 |

|                     |                           |    |
|---------------------|---------------------------|----|
| 4.7                 | Analisis Ekonomi .....    | 68 |
| 4.7.1               | Biaya Siklus Hidup .....  | 68 |
| 4.7.2               | Biaya Energi.....         | 71 |
| 4.7.3               | Kas Masuk.....            | 72 |
| 4.7.4               | Kelayakan Investasi ..... | 73 |
| BAB V PENUTUP.....  |                           | 77 |
| 5.1                 | Kesimpulan.....           | 77 |
| 5.2                 | Saran.....                | 78 |
| DAFTAR PUSTAKA..... |                           | 79 |
| LAMPIRAN.....       |                           | 81 |



## DAFTAR SIMBOL

| SIMBOL                 | SATUAN         | KETERANGAN                             |
|------------------------|----------------|--|
| $\alpha$               | ( $^{\circ}$ ) | ketinggian maksimum matahari           |
| $\delta$               | ( $^{\circ}$ ) | sudut dari deklinasi matahari          |
| lat                    | ( $^{\circ}$ ) | garis lintang lokasi                   |
| $\beta$                | ( $^{\circ}$ ) | kemiringan panel surya                 |
| $P_{\text{wattpeak}}$  | (Wp)           | Daya yang dibangkitkan                 |
| $P_{\text{max}}$       | Watt           | Daya <i>output</i> maksimal panel      |
| $E_{\text{out}}$       | Wh             | Energi <i>output</i> panel             |
| PSH                    | h              | <i>Peak Sun Hour</i>                   |
| <i>Energi yield</i>    | kWh/tahun      | Energi <i>output</i> panel surya/tahun |
| $I_{\text{tot}}$ beban | (Ah)           | Total arus beban                       |
| <i>DoD</i>             | %              | <i>Dept of Discharge</i>               |
| C                      | $R_p$          | Biaya Investasi                        |
| M                      | $R_p$ /tahun   | Biaya pemeliharaan dan operasional     |
| LCC                    | $R_p$          | Biaya Siklus hidup                     |
| MPW                    | $R_p$          | Biaya nilai sekarang                   |
| A                      | $R_p$          | Biaya Tahunan                          |
| i                      | %              | Tingkat diskonto                       |
| n                      | tahun          | Umur proyek                            |
| COE                    | $R_p$ /kWh     | Biaya Energi                           |
| $NCF_t$                | $R_p$          | <i>Net Cash Flow</i>                   |
| A kWh                  | kWh/tahun      | Energi yang dibangkitkan tahunan       |
| CRF                    | -              | Faktor pemulihan modal                 |
| NPV                    | $R_p$          | <i>Net Present Value</i>               |
| PI                     | -              | <i>Profitability Index</i>             |
| IRR                    | %              | <i>Internal Rate of Return</i>         |

## DAFTAR LAMPIRAN

|  |     |
|--|-----|
| Lampiran 1 Tabel Pengukuran Langsung Radiasi Matahari di PLTMH PT.<br>Tombolo Energy.....  | 82  |
| Lampiran 2 Gambar Teknik.....  | 83  |
| Lampiran 3 Tabel Data Radiasi matahari NASA bulan Juni 2022 – Mei 2023<br>(RetScreen)..... | 84  |
| Lampiran 4 Diagram Skema PLTS.....   | 108 |
| Lampiran 5 Katalog Pompa <i>Purityfire</i> .....   | 109 |
| Lampiran 6 Katalog Panel Surya.....  | 110 |
| Lampiran 7 Katalog <i>Inverter Sun grow 350 kW</i> .....                                   | 111 |
| Lampiran 8 Tabel Harga Peralatan.....  | 112 |
| Lampiran 9 Tabel Perhitungan NCF dan PVNCF.....  | 113 |
| Lampiran 10 <i>Link Google Drive</i> Video desain 3D PLTS.....                             | 117 |
| Lampiran 11 Dokumentasi Pengambilan Data.....  | 118 |

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Azizah Salsabila Amir  
NIM : 442 19 006  
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi  
Tempat / Tgl. Lahir : Pare-pare, 2 Februari 2001  
Alamat : Jl.Pajjaiyang Lr.6 Blok B No.7, Daya

Dengan ini menyatakan :

- A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul :  
Analisis Perencanaan Sistem PLTS dengan Beban Pompa  
untuk PLTMH PT. Tombolo Energy  
Adalah benar disusun / dibuat oleh saya sendiri dan jika dikemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat/mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.
- B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggung jawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Makassar,

Hormat Saya,



(Azizah Salsabila Amir)

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Muh. Fahmi Alim Mustakim  
NIM : 442 19 014  
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi  
Tempat / Tgl. Lahir : Makassar, 2 April 2001  
Alamat : BTN Griya Maros Indah Tamarampu Blok D18 No.9

Dengan ini menyatakan :

C. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul :

Analisis Perencanaan Sistem PLTS dengan Beban Pompa  
untuk PLTMH PT. Tombolo Energy

Adalah benar disusun / dibuat oleh saya sendiri dan jika dikemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat/mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

D. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggung jawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Makassar,

Hormat Saya,



(Muh. Fahmi Alim Mustakim)

# ANALISIS PERENCANAAN SISTEM PLTS DENGAN BEBAN POMPA UNTUK PLTMH PT. TOMBOLO ENERGY

## RINGKASAN

Penelitian ini dilatarbelakangi adanya penurunan debit air pemutar turbin saat musim kemarau yaitu sekitar bulan Juli–Oktober di PT. Tombolo Energy. Debit air tidak dapat tercukupi untuk mengoperasikan unit 1 yang mana dapat menghasilkan energi listrik sebesar 2,5 MW pada bulan Juli, Agustus, dan Oktober, sedangkan debit air untuk unit 2 tidak tercukupi pada bulan September, sehingga hal tersebut dianggap kerugian, maka dari itu digunakanlah teknologi *pumped storage* untuk pemenuhan debit aliran PLTMH dengan PLTS sebagai catu daya pompa.

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui perencanaan sistem PLTS, menentukan desain sistem PLTS, menentukan besar biaya dari sistem PLTS tersebut. Data diperoleh dengan pengukuran langsung dan juga menggunakan *software RetScreen* dan *PVSyst* sebagai pengambilan data sekunder untuk analisis.

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa PLTS *on grid* dengan beban pompa memiliki *performace ratio* sebesar 83,4% sehingga sistem dinyatakan efisien. Rugi-rugi yang terdapat pada hasil simulasi ini yaitu *PV array losses* sebesar 0,81 kWh/kWp/hari dan *system losses* sebesar 0,08 kWh/kWp/hari. Proyek ini dikatakan layak investasi dari segi ekonomi karena pada suku bunga 9,11%, NPV yang diperoleh adalah positif lebih besar dari nol yaitu sebesar Rp 16.288.792.546, *Profitability Index* lebih besar dari 1 yaitu 1,57 dan *Internal Rate of Return* lebih besar dari nilai suku bunga yakni 14%.





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik sangat penting untuk semua bentuk aktivitas manusia. Bisa digunakan untuk penerangan, fasilitas publik, kebutuhan rumah tangga, kebutuhan industri, dan juga membantu perekonomian bangsa. Karena kebutuhan energi listrik yang terus meningkat, diperlukan energi listrik yang terus menerus dapat digunakan. Pasokan besar energi terbarukan yang keberadaannya tersedia melimpah di alam menjadikannya sumber energi alternatif yang layak. Meski sering digunakan, energi ini tidak akan habis. Banyak sumber energi yang digunakan setiap hari, termasuk air, angin, matahari, dan panas matahari, adalah energi yang dapat diperbarui. Energi ini dapat diubah menjadi beberapa jenis energi.

Pemanfaatan matahari merupakan sumber energi yang bebas dan merupakan *Green Energy* yang paling melimpah di alam sejalan dengan pedoman dan himbauan pemerintah akan penggunaan energi terbarukan dalam mendukung ketahanan dan kemandirian energi. Potensi energi surya di Indonesia sangat besar yaitu sekitar  $4.8 \text{ kWh/m}^2$  atau setara dengan 112.000 GWp (Hariyanti dkk. 2019). Letak astronomis Indonesia berada di antara  $6^\circ\text{LU}$ - $11^\circ\text{LS}$  dan  $95^\circ\text{BT}$ - $141^\circ\text{BT}$ , berdasarkan letak astronomisnya Indonesia merupakan salah satu negara yang dilalui oleh garis katulistiwa dan merupakan negara yang beriklim tropis sehingga sinar matahari selalu menyinari sepanjang tahun (Syafriadi, 2017). Pulau Sulawesi Selatan berada pada  $0^\circ 12' - 8^\circ \text{LS}$  dan  $116^\circ 48' - 122^\circ 36' \text{BT}$  dengan potensi energi surya sekitar 7.588 MWp.

Berdasarkan hal tersebut maka Sulawesi Selatan sangat berpotensi untuk dijadikan lokasi pembangunan pembangkit listrik tenaga surya.

Pembangkit listrik tenaga surya memanfaatkan energi matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik dan memiliki beberapa keunggulan dibandingkan pembangkit listrik lainnya. Keunggulan dari energi matahari yaitu salah satu energi alternatif terbarukan, tersedia dimana-mana (mudah didapatkan), diperoleh secara gratis, bebas polusi udara, bebas limbah, dan lain sebagainya (Widayana, 2012).

PT. Tombolo Energy merupakan salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang berada di Desa Tombolo Pao, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. PLTMH ini memiliki dua unit pembangkit dengan total dayaangkitan mencapai 3 MW. Pada saat kemarau yaitu sekitar bulan Juli–Oktober, debit air tidak dapat tercukupi untuk mengoperasikan PLTMH. Debit air untuk memutar turbin unit 1 pada bulan Juli, Agustus dan Oktober tidak mencukupi, sedangkan debit air untuk memutar turbin unit 2 tidak mencukupi pada bulan September. Unit 1 PLTMH PT. Tombolo Energy dapat membangkitkan daya listrik sebesar 0,5 MW dan unit 2 dapat membangkitkan 2,5 MW sehingga hal tersebut dianggap kerugian. Disisi lain, terdapat potensi air yang bisa dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan debit namun harus dipompa terlebih dahulu, maka dari itu digunakanlah teknologi *pumped storage* bertujuan pemenuhan debit pemutar turbin dengan PLTS sebagai catu daya pompa.

Berdasarkan permasalahan tersebut, “Analisis Perencanaan Sistem PLTS berbeban Pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy” kiranya dapat menjadi

solusi agar debit air di PLTMH Tombolo Energy pada musim kemarau dapat terpenuhi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah yang diperoleh sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis perencanaan sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy?
2. Bagaimana desain sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy?
3. Berapa besar biaya sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy?

## 1.3 Ruang Lingkup Kegiatan

Dari permasalahan yang harus diselesaikan di atas, maka perlu adanya batasan masalah agar dalam melakukan analisis nantinya tidak melebar dan lebih memudahkan. Batasan-batasan masalah tersebut yaitu:

1. Perencanaan sistem PLTS dengan beban pompa mencakup pemilihan panel surya, *inverter* dan baterai untuk PLTMH PT. Tombolo Energy.
2. Perencanaan desain sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy.
3. Analisis biaya sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui perencanaan sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy.
2. Menentukan desain sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy.
3. Menentukan besar biaya dari sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Dapat memberikan referensi mengenai perencanaan sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy.
2. Dapat memberikan desain dalam bentuk 2D dan 3D dari sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy.
3. Dapat memberikan informasi mengenai besar biaya dalam perencanaan suatu sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 PLTMH PT. Tombolo Energy

PLTMH PT. Tombolo Energy didirikan pada tanggal 26 Maret 2008 sebagai perusahaan yang mengkhususkan diri dalam pengembangan usaha energi listrik di wilayah Sulawesi Selatan dan Kabupaten Gowa khususnya. Perusahaan ini merupakan anak usaha PT. BUMI KARSA yang tergabung dalam HAJI KALLA GROUP, yang didirikan untuk mengambil bagian dalam pengembangan listrik di wilayah Sulawesi Selatan, khususnya untuk pengembangan listrik tenaga air berskala *minihydro*.

PT. Tombolo Energy dalam pelaksanaan pembangunan dan masa operasi akan menerapkan sistem Manajemen Mutu ISO – 9001 dan Manajemen Lingkungan ISO – 14001. PT. Tombolo Energi memahami bahwa bidang jasa pengembangan energi khususnya energi listrik merupakan salah satu pekerjaan dengan tingkat resiko kecelakaan kerja yang sangat tinggi, maka pada setiap proyek senantiasa dilakukan implementasi Sistem Manajemen K3 sebaiknya dengan diikuti pengawasan penerapannya secara terus menerus di lapangan (Bumi Karsa, 2023).



Gambar 2. 1 a. Bendungan, b. *Penstock*  
(Sumber gambar: Profil Perusahaan)

## 2.2 Energi Surya

Energi surya adalah energi yang diperoleh dengan mengubah energi panas matahari menjadi bentuk sumber daya lain melalui beberapa peralatan. Energi surya merupakan sumber pembangkit listrik selain air, uap, angin, biogas, batu bara dan minyak. Dibandingkan dengan sumber energi lain, energi ini disebut energi hijau karena tidak memancarkan polutan apapun ke atmosfer baik selama produksi maupun konsumsi. Energi surya saat ini menjadi salah satu energi yang sedang giat dikembangkan oleh pemerintah Indonesia mengingat Indonesia merupakan negara tropis dengan potensi energi surya yang sangat besar.

## 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik. PLTS sering disebut sebagai *solar panel*, *solar PV*, atau *solar power*

Pembangkit listrik tenaga surya dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik kecil maupun besar sebagai sistem *on-grid*, *stand-alone*, atau *hybrid* (dikombinasikan dengan sumber listrik lain seperti PLTS-PLTMH) terpusat (satu generator per rumah) atau terdesentralisasi (listrik didistribusikan melalui jaringan kabel). PLTS adalah sistem pembangkitan yang cukup mudah, terjangkau, ramah lingkungan, dan terbarukan (Sibarani, 2020).

## 2.4 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

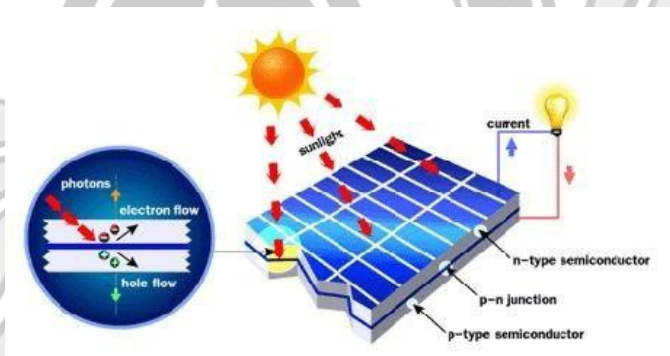
### 2.4.1 Panel Surya (*Photovoltaic*)

Panel surya berfungsi sebagai media untuk mengumpulkan sel foton dari matahari, yang kemudian diubah menjadi energi listrik (Santosa dkk, 2014). Penting untuk melindungi panel surya dari kelembaban dan kerusakan mekanis karena dapat mengurangi efisiensi panel dan mempersingkat masa pakainya. Panel surya biasanya dapat mencapai umur 20 tahun atau lebih tanpa mengalami penurunan efisiensi yang signifikan. Panel surya sangat nyaman dalam hal perawatan karena tidak memiliki bagian yang bergerak. Harus diperhatikan bahwa penting untuk menjaga panel surya dari bayangan atau hal apa pun yang dapat menghalangi sinar matahari.

Perlindungan *overheating* sangat penting karena panel surya mengubah kurang dari 20% tenaga surya konvensional menjadi listrik dan sisanya terbuang sebagai panas. Tanpa perlindungan yang tepat, insiden panas berlebih dapat secara signifikan mengurangi keefektifan panel surya (Samosir, 2016).

#### 2.4.1.1 Prinsip Kerja Panel Surya

Sinar matahari dikonversi menjadi listrik dengan panel surya yang menggunakan material semikonduktor. Gambar dibawah ini mengilustrasikan prinsip kerja panel surya.



Gambar 2. 2 Prinsip Kerja Panel Surya  
(Sumber gambar: sanspower.com)

Panel surya pada dasarnya menggunakan prinsip dasar yaitu efek fotovoltaiik yaitu mengonversi langsung energi matahari menjadi energi listrik, meskipun listrik yang dihasilkan masih berupa listrik DC (Rettob dkk, 2019).

Secara khusus, fosfor didoping di lapisan silikon atas untuk menghasilkan lebih banyak elektron sehingga lapisan bermuatan negatif. Sementara itu, lapisan bawah didoping dengan boron



untuk menghasilkan lebih sedikit elektron atau muatan positif. Hal ini dapat meningkatkan medan listrik antara lapisan silikon.

Inti panel surya (semikonduktor) terdiri dari 2 yaitu semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n dan gabungan dari semikonduktor ini disebut p-n *junction* (Bagher et al, 2015). Ketika semikonduktor tipe-n dan semikonduktor tipe-p bersentuhan, elektron ekstra dalam semikonduktor tipe-n pindah ke semikonduktor tipe-p, dan muatan positif (*hole*) terbentuk di daerah semikonduktor tipe-n. Semikonduktor tipe-p menerima sejumlah elektron dari semikonduktor tipe-n dan menjadi muatan negatif. Dalam situasi ini, medan magnet akan dihasilkan oleh sinar matahari yang menyinari semikonduktor, kemudian area p-n *junction* akan mendorong elektron dari daerah yang bermuatan negatif ke daerah bermuatan positif (*hole*). Fenomena ini akan menghasilkan energi listrik (Dahlan, 2019).

Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan tentang panel surya dalam perencanaan suatu pembangkit listrik tenaga surya berbeban pompa adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kemiringan panel surya (Muarif dkk, 2022):

$$\alpha = 90^\circ + \text{lat} - \delta \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

$\alpha$  = ketinggian maksimum matahari (°)

$\delta$  = sudut dari deklinasi matahari (23,45°)

lat = garis lintang lokasi (°)

$\beta$  = kemiringan panel surya (°)

2. Menghitung total beban listrik harian (Muarif dkk, 2022):

$$\text{Total Energi beban} = \text{Daya} \times \text{Lama Pemakaian (Wh/hari)} \quad (2.3)$$

3. Menghitung kebutuhan panel:

$$P_{\text{wattpeak}} = \frac{\text{Total energi beban} + (\text{losses } 15\% \times \text{Total energi beban})}{\text{PSH}} \quad (2.4)$$

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{P_{\text{wattpeak}}}{W_{\text{panel}}} \quad (2.5)$$

Dimana:

$P_{\text{wattpeak}}$  = Daya yang dibangkitkan (Wp)

PSH = *Peak Sun Hour* (h)

$W_{\text{panel}}$  = Daya maksimum panel surya (Wp)

4. Menghitung energi *output* panel surya (Wiriastika dkk, 2022):

- $P_{\text{max}} = \text{jumlah panel} \times W_{\text{panel}} \quad (2.6)$

- $E_{\text{out}} = P_{\text{max}} \times \text{PSH} \quad (2.7)$

- $\text{Energy Yield} = E_{\text{out}} \times 365 \quad (2.8)$

Dimana:

$P_{\text{max}}$  = Daya *output* maksimal panel (W)

$E_{\text{out}}$  = Energi *output* panel (kWh)

PSH = *Peak Sun Hour* (h)

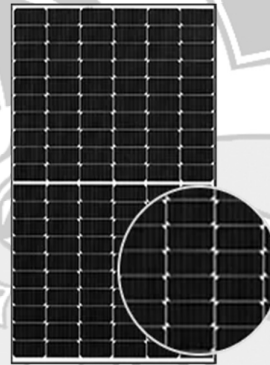
*Energy Yield* = Energi *output* panel surya/ tahun (kWh/tahun)

#### 2.4.1.2 Jenis-jenis Panel Surya

Jenis-jenis sel surya digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya dibagi dalam dua jenis, yaitu:

##### 1. *Monocrystalline*

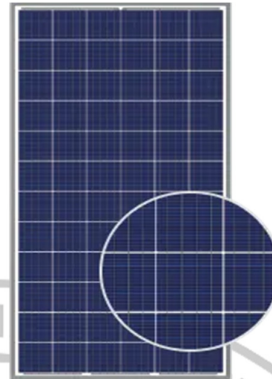
Terbuat dari silikon irisan tipis , kelemahan panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi dengan baik di area dengan sedikit sinar matahari (teduh), dan cuaca mendung akan mengurangi efisiensinya secara signifikan (Purwoto dkk, 2018)



Gambar 2. 3 Panel Surya *Monocrystalline*  
(Sumber gambar: [news.energysage.com](http://news.energysage.com))

##### 2. *Polycrystalline*

Terdiri dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur kemudian dibentuk persegi panjang. Panel ini memiliki kelebihan dari segi susunannya yang lebih rapi dan lebih rapat. Karena kemurnian silikon yang rendah, panel ini juga dapat menghasilkan listrik saat kondisi cuaca berawan (Siregar dkk, 2022).



Gambar 2. 4 Panel Surya *Polycrystalline*  
(Sumber gambar: news.energysage.com)

#### 2.4.2 *Solar Charge Controller*

*Solar Charge Controller* digunakan untuk mengontrol berapa banyak arus DC yang ditambahkan ke baterai dan dilepas untuk memberi daya pada beban.

Adapun fungsi utama dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:

1. Mengontrol arus listrik yang masuk ke baterai untuk menghindari pengisian daya yang berlebihan, yang dengan cepat merusak baterai.
2. Menghindari pengisian daya yang berlebihan. Jika baterai lemah atau voltase terlalu rendah, SCC akan menghentikan aliran ke beban.
3. Menghentikan arus balik ketika energi matahari tidak cukup. Saat mendung, gelap, atau malam hari, baterai tidak dapat diisi ulang, sehingga listrik dapat mengalir dari baterai ke panel surya.

#### 2.4.2.1 Jenis-jenis *Solar Charge Controller*

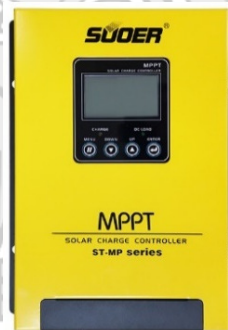
##### 1. *Pulse Width Modulation (PWM)*



Gambar 2. 5 *Pulse Width Modulation (PWM)*  
(Sumber gambar: aliexpress.com)

Pengontrol PWM lebih ekonomis daripada MPPT. Saat baterai kosong, PWM mengisi daya lebih cepat namun, saat baterai terisi penuh, arus pengisian daya terus menurun (Naim, 2020). PWM cocok untuk pemasangan PLTS skala kecil.

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



Gambar 2. 6 *Maximum Power Point Tracking (MPPT.)*  
(Sumber gambar: aliexpress.com)

*Maximum Power Point Tracking* bekerja dengan memaksimalkan daya yang dihasilkan oleh panel surya dan memastikan bahwa baterai menerima voltase efektif setinggi mungkin.

### 2.4.3 Baterai/Aki

Tugas baterai adalah menyimpan arus DC yang dihasilkan *solar cell* agar bisa digunakan sebagai sumber cadangan listrik di malam hari atau saat cuaca buruk. *Ampere hour* (Ah), yang didefinisikan sebagai arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai dalam satu jam, adalah satuan kapasitas energi baterai yang tersimpan (Diantari dkk, 2017).

#### 1. Baterai primer

Baterai primer adalah baterai yang hanya dapat digunakan satu kali untuk menghasilkan energi listrik melalui reaksi kimia. Seluruh baterai perlu diganti setelah semua arus tegangan baterai telah dikirim untuk digunakan.

#### 2. Baterai sekunder

Baterai sekunder berfungsi mirip dengan baterai primer dalam hal bagaimana listrik dihasilkan, kecuali dapat diisi ulang. Oleh karena itu, jenis baterai sekunder inilah yang paling tepat digunakan pada PLTS.

### 2.4.3.1 Jenis-jenis Baterai untuk PLTS

Ada empat jenis baterai PLTS yang dapat digunakan untuk sistem tenaga surya yaitu:

#### a. *Lead Acid Battery*

Jenis baterai *lead acid* sendiri dapat dibagi menjadi dua yaitu:

##### 1. *Starting Battery*



Gambar 2. 7 *Starting Battery*  
(Sumber gambar: westmarine.com)

*Starting battery* adalah jenis baterai yang memiliki kemampuan untuk segera menghasilkan arus listrik yang kuat dengan cepat. Masih dimungkinkan untuk menggunakan baterai starter sistem PLTS, tetapi karena resistansinya rendah, tidak disarankan.

##### 2. *Deep Cycle Battery.*



Gambar 2. 8 *Deep Cycle Battery*  
(Sumber gambar: westmarine.com)

Baterai *deep cycle* mampu menghasilkan listrik secara berkelanjutan untuk jangka waktu yang lama. Karena baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) memerlukan sedikit atau tanpa perawatan, PLTS atap sering menggunakan baterai ini. Berdasarkan konstruksinya, baterai VRLA dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori: VRLA *Gel Cells* dan VRLA AGM (*Absorbed Glass Mat*).

b. *Lithium Ion Battery*



Gambar 2. 9 *Li-ion Battery*  
(sumber gambar: Alibaba.com)

Karena kemampuannya untuk menyimpan lebih banyak daya dalam volume yang lebih kecil, efisiensinya yang tinggi, dan kemampuan untuk melepaskan sebagian besar energi yang tersimpan dengan cepat, baterai *lithium ion* adalah pilihan yang tepat untuk instalasi PLTS di rumah. Baterai *lithium-ion* (Li-Ion) memiliki desain belitan tiga lapis.



c. *Nickel Cadmium Battery*



Gambar 2. 10 *Nickel Cadmium Battery*  
(sumber gambar: [direcindustry.com](http://direcindustry.com))

Baterai yang terbuat dari *nikel kadmium* (Ni-Cd) memiliki masa pakai baterai yang lama dan kepadatan energi yang tinggi. Selain itu, baterai ini memerlukan perawatan yang lebih sedikit dan tidak memerlukan sistem manajemen baterai yang canggih. Namun karena komponen *kadmium* sangat berbahaya, beberapa negara melarang penggunaannya.

2.4.3.2 *Dept of Discharge*

*Dept of discharge* (DoD) menetapkan batas kedalaman pelepasan (pengosongan) baterai. Prosedur pelepasan tidak dapat menguras baterai sepenuhnya. Pabrikan baterai selalu menilai baterai pada 80% DoD, yang berarti hanya 80% energi yang dilepaskan dan 20% disimpan sebagai cadangan.

Rumus di bawah ini dapat digunakan untuk menghitung kapasitas baterai yang digunakan:

$$I_{\text{total}} \text{beban} = \frac{\text{Daya beban}}{\text{Tegangan}} \times \text{lama kerja} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$\text{Battery Capacity} = I_{\text{total}} \text{beban} \times 1,2 \times \text{autonomy} \dots \dots \dots (2.10)$$

Untuk mencari jumlah baterai diperoleh dari kapasitas baterai dibagi dengan Ah baterai yang digunakan:

$$\text{Jumlah baterai} = \frac{\text{Battery Capacity}}{\text{Ah battery}} : \text{Dod} \dots \dots \dots (2.11)$$

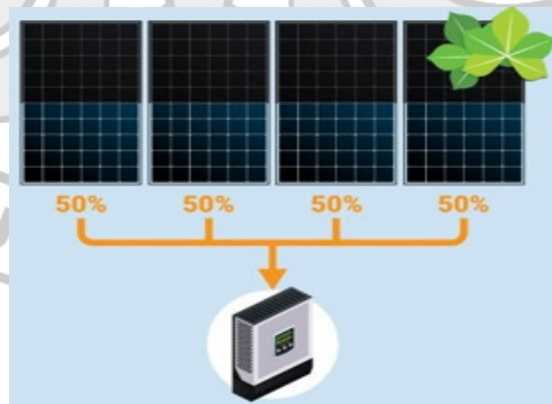
#### 2.4.4 Inverter

*Inverter* adalah jenis rangkaian khusus yang mengubah tegangan dari suplai DC ke beban AC atau sebaliknya. (Purwoto dkk, 2018).

Adapun beberapa jenis *inverter* yang digunakan untuk PLTS yaitu:

##### 1. *String Inverter*

*Inverter string* adalah komponen yang sering digunakan dalam pembangkit listrik tenaga surya atap karena harganya lebih murah, memiliki umur yang lebih panjang, memerlukan perawatan yang lebih sedikit, dan dapat dipasang tanpa memerlukan spesifikasi yang khusus. Hanya jaringan PLTS skala kecil/mikro yang dapat didukung oleh sistem *string inverter*.

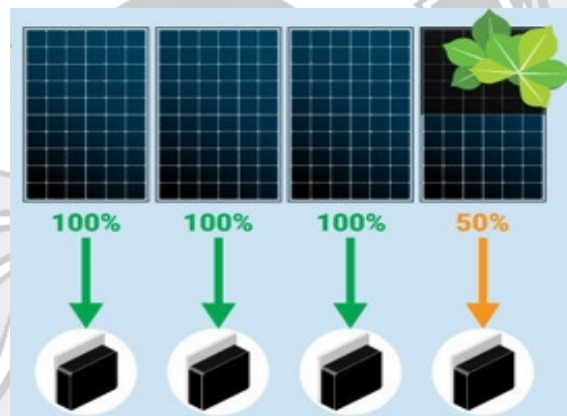


Gambar 2. 11 Konfigurasi Panel Surya dengan *String Inverter*  
(Sumber gambar: positiveenergysolar.com)

Kelemahan dari *inverter string* adalah ketika salah satu panel surya berhenti bekerja karena naungan, debu atau kotoran, atau kerusakan, jumlah energi yang dihasilkan oleh panel surya yang tersisa akan terpengaruh.

## 2. *Micro Inverter*

Efisiensi keluaran *micro inverter* ini menguntungkan dan dapat meningkatkan kinerja panel surya sehingga penerimaan sinar matahari tidak terpengaruh meskipun ada awan.



Gambar 2. 12 Konfigurasi Panel Surya dengan *Micro Inverter*  
(Sumber gambar: [positiveenergysolar.com](http://positiveenergysolar.com))

Panel surya lainnya terus berfungsi dengan baik dan menghasilkan lebih banyak listrik meskipun salah satunya berada di bawah bayangan. Kapasitas *inverter micro* yang terbatas dan biaya komponen yang lebih mahal daripada *inverter string* adalah kekurangannya. Selain itu, karena posisi *inverter* dan kedekatan panel surya, pemeliharaan menjadi lebih kompleks.

Berdasarkan bentuk gelombang keluaran yang dihasilkannya, *inverter* dapat dibagi menjadi tiga kelompok: *square wave*, *modified sine wave*, dan *pure sine wave* (Purwoto dkk, 2018).

#### 2.4.5 Beban (Pompa)

Pompa adalah alat mekanis yang mempercepat aliran cairan melalui sistem perpipaan dan memindahkannya dari dataran rendah ke dataran tinggi. Terdapat perbedaan tekanan antara permukaan fluida yang dihisap dengan ruang pompa pada sisi hisap pompa (*suction*) pada saat pompa bekerja karena fluida mengalami tekanan dan hisapan. Perbedaan tekanan ini disebabkan oleh elemen pompa yang menurunkan tekanan di dalam ruang pompa (Kusuma dkk, 2020).



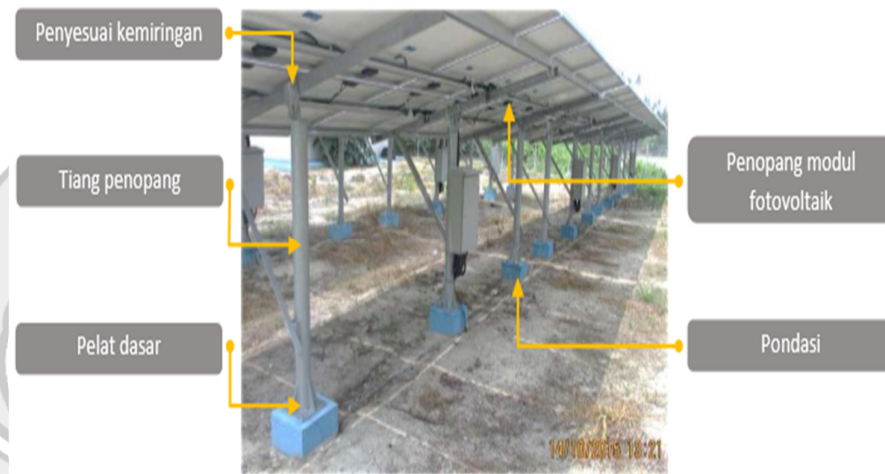
Gambar 2. 13 Pompa  
(Sumber gambar: Purityfire.com)

Ketika pompa air DC digunakan, arus listrik DC (searah) keluaran panel akan menggerakkan motor pompa utama. Untuk mengubah *output* panel menjadi arus AC untuk pompa air tipe AC, diperlukan *inverter*.

## 2.5 Standar Pemasangan Panel Surya

### 2.5.1 Pemasangan PLTS *On Ground*

Keandalan sekelompok modul surya sangat dipengaruhi oleh pemilihan struktur pendukung dan pondasi.



Gambar 2. 14 Struktur Rangkaian Panel Surya  
(Sumber gambar: buku "Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts")

#### 1. Pondasi

Berikut ciri-ciri pondasi rangkaian modul surya yang disarankan untuk digunakan pada jaringan PLTS *off-grid* (Ramadhani, 2018):

- Gunakan pondasi beton di area dengan tanah yang stabil dan padat, seperti tanah berbatu atau berkerikil.
- Penggunaan tiang pancang atau pondasi beton tertanam dapat meningkatkan stabilitas pondasi di daerah yang tanahnya tidak padat, seperti tanah rawa atau lahan pertanian.
- Menggunakan pondasi yang terbuat dari beton pracetak sebagai pilihan. Namun demikian, pengangkutan blok beton pracetak ke lokasi bisa menjadi masalah.

- Dimensi konstruksi pondasi minimal (panjang, lebar, dan tinggi) adalah 35 cm x 35 cm x 60 cm. Kedalaman pemasangan pondasi harus minimal 40 cm, atau dua pertiga dari tinggi keseluruhan, jika digunakan ketinggian 60 cm (ketinggian 20 cm masih terlihat).
- Baut ankur harus dimasukkan ke dalam pondasi dengan kedalaman  $\geq 30$  cm. Baut jangkar harus diberi jarak setidaknya 10 cm (empat inci) dari tepi dan sudut pondasi.
- Rangka baja 10 cm harus ditambahkan ke pondasi untuk memperkuat.



Gambar 2. 15 Pondasi Rangkaian Panel Surya yang Disarankan  
(Sumber gambar: buku "Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts")

## 2. Tiang Penopang



Gambar 2. 16 Penggunaan Tiang Galvanis pada Rangkaian Panel Surya

(Sumber gambar: buku “Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts”)

- Untuk penyangga panel surya, gunakan baja berbentuk "L" atau pipa baja. Ukuran pipa baja harus memiliki ketebalan minimal 3 mm dan diameter 100 mm (sekitar 4 inci). Jika digunakan baja berbentuk "L", tebalnya harus minimal 4 mm dan berukuran sama dengan atau lebih dari 100 mm x 100 mm.
- Rangka harus memiliki pelat dasar persegi dengan ukuran 200 mm x 200 mm, memiliki ketebalan minimal 8 mm, memiliki empat lubang di setiap sudut, dan dipasang ke pondasi dengan baut jangkar.
- Pastikan tidak ada celah antara pondasi dan tiang di bagian bawah.
- Semua baut dan rangka pendukung harus terbuat dari baja galvanis celup panas.
- Untuk mencegah debu tanah dan tanaman, ketinggian modul surya harus dijaga minimal 70 cm di atas tanah.

## 2.5.2 Pemasangan PLTS Atap

Sesuai dengan ketentuan Permen ESDM No.49/2018 mengenai lokasi pemasangan PLTS atap apakah area yang ada potensial/memadai untuk pemasangan maka dapat dilakukan melalui (Rachmi dkk, 2020):

### 1. Bentuk dan orientasi atap

Tabel 2. 1 Pertimbangan Bentuk Atap dalam Pemasangan Panel Surya

|   | Atap Datar   | Atap Prisma   |
|---|--|---|
| Kemudahan instalasi                           | Pemasangan lebih sederhana, terutama untuk atap beton karena daya tahannya.<br>Penambahan pondasi untuk rak PV pada atap datar non-beton juga cukup sederhana.   | Posisi atap yang miring membuat pemasangan lebih sulit.   |
| Pengaturan Orientasi (arah hadap) panel surya | Lebih sederhana karena kemampuan setiap bagian atap untuk menerima sinar matahari yang relatif seragam sepanjang arah matahari (tidak terhalang oleh bayangan atap itu sendiri).<br>Dengan menganalisis bayangan, orientasi pemasangan panel | Lokasi terbaik untuk instalasi PLTS atap adalah di atap yang menghadap utara dan selatan.<br>Panel surya, bagaimanapun dapat terhalang oleh bayangan atap sendiri di pagi atau sore hari jika atap diorientasikan ke timur/barat dengan |



|                 |  |   |
|-----------------|--|---|
|                 | surya dapat disesuaikan.   | tingkat kemiringan yang besar.  |
| Implikasi biaya | Biasanya, perbaikan struktur atap tidak akan dikenakan biaya tambahan. | Penambahan tiang penyangga panel yang relatif berat untuk menghindari bayangan atap pada periode tertentu (khususnya orientasi timur/barat), memerlukan biaya tambahan untuk perbaikan struktur atap. |

(Sumber tabel: buku “Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia”)

Untuk PLTS atap, penting untuk memperhatikan kekuatan struktur atap untuk menahan tekanan dari sejumlah modul surya serta beban dari material genteng yang digunakan.

## 2. *Shading analysis*

Efektivitas modul surya dalam menghasilkan daya dapat dipengaruhi oleh efek bayangan. Bayangan atap, bayangan vegetasi, bayangan bangunan atau gedung, dan bayangan panel surya adalah beberapa jenis bayangan yang berpotensi jatuh pada panel surya.

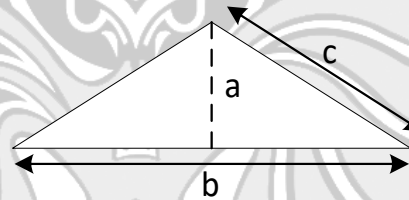
## 3. Melihat alternatif lain

Selain langkah diatas, terdapat beberapa alternatif berikut untuk penentuan lokasi panel surya:

- Pasang struktur pendukung panel surya yang lebih tinggi jika atap bangunan berbentuk prisma dan kemungkinan lokasinya menghadap ke barat dan timur untuk mencegah bayangan atap.
- Pilihan untuk menghilangkan penghalang yang mungkin ada di area tersebut dapat dipertimbangkan.
- Peletakan pada atap gedung-gedung publik (seperti sekolah, pasar, rumah sakit, puskesmas, dll) bisa menjadi alternatif jika gedung pemerintahan tidak memungkinkan.

Berikut ini adalah beberapa faktor penting yang harus diperhatikan saat menentukan luas atap tempat panel surya akan diletakkan:

1. Perhitungan luas atap bentuk prisma



Gambar 2. 17 Bentuk Atap Prisma

Rumus *Phytagoras*:

$$c = \sqrt{a^2 + b/2^2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana

a = Tinggi atap

b = Alas atap

c = Kemiringan atap

Luas atap berbentuk prisma dapat ditentukan dengan rumus berikut setelah sisi miringnya diketahui:

$$\text{Luas Atap} = P \times L \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana

P = Panjang atap

L = Lebar atap

## 2.6 Analisis Ekonomi

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

Total biaya sistem selama masa pakainya dikenal sebagai biaya siklus hidupnya (Kossi. 2018). Biaya siklus hidup (LCC) dihitung menggunakan biaya keseluruhan sistem PLTS komunal, yang mencakup investasi di awal, biaya pemeliharaan dan pengoperasian berkelanjutan, dan biaya penggantian baterai.

#### 1. Biaya Investasi PLTS

Pengeluaran untuk peralatan dan tenaga kerja termasuk dalam investasi awal untuk PLTS.

#### 2. Biaya pemeliharaan dan operasional (*Cost O&M*)

Dengan mempertimbangkan biaya pembersihan panel surya, pemeliharaan, dan pemeriksaan komponen peralatan, diperkirakan PLTS akan menelan biaya antara 1% hingga 2% dari total biaya investasi awal.

$$M = 1\% \times \text{biaya total investasi} \dots\dots\dots(2.14)$$

Biaya siklus hidup diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$LCC = C + M_{PW} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

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

C = Biaya investasi awal meliputi biaya di muka yang terkait dengan pembelian komponen PLTS, serta biaya pemasangan dan biaya lainnya.

MPW = Biaya nilai sekarang total pengeluaran pemeliharaan dan operasi selama n tahun atau selama proyek berlangsung, sebesar biaya nilai sekarang.

Persamaan berikut menghitung nilai sekarang dari pengeluaran tahunan yang akan dikeluarkan pada tingkat pengeluaran tertentu di masa mendatang (selama umur proyek):

$$M_{pw} = M \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

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

M = Biaya tahunan

i = Tingkat diskonto

n = Umur proyek

### 3. Faktor Diskonto

Faktor yang digunakan untuk mengevaluasi potensi pendapatan sehingga dapat dibandingkan dengan pengeluaran yang ada. Rumus untuk faktor diskonto:

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana

DF = Faktor Diskonto

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahunan (umur investasi)

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

Faktor pemulihan modal (CRF), biaya siklus hidup (LCC), dan kWh produksi PLTS tahunan digunakan untuk menghitung biaya energi PLTS (Kossi, 2018):

#### 1. Faktor Pemulihan Modal (*Capital Recovery Factor*)

Persamaan di bawah ini menghasilkan faktor pemulihan modal:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

CRF = Faktor pemulihan modal

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

Biaya energi PLTS diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana:

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

CRF = Faktor pemulihan modal

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

### 2.6.3 Kelayakan Investasi

Hasil perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI), dan *Internal Rate of Return* (IRR) digunakan untuk menilai kelayakan investasi PLTS (Kossi, 2018).

#### 1. *Net Present Value*

Menurut *Net Present Value* (NPV), semua arus kas bersih dinilai sekarang dengan menggunakan tingkat diskonto. Dengan menggunakan rumus berikut, *Net Present Value* (NPV) ditentukan:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1-i)^t} - C \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

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

C = Investasi awal

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

Kriteria berikut harus dipenuhi untuk memutuskan apakah investasi cukup realistis untuk disetujui atau ditolak:

- Jika nilai NPV yang didapatkan adalah positif (>0), maka investasi proyek tersebut dinilai layak.
- Jika nilai NPV yang didapatkan adalah negatif (<0), maka investasi proyek tersebut dinilai tidak layak.

#### 2. *Profitability Index* (PI)

*Profitability Index* membandingkan biaya investasi awal dengan total nilai kas bersih saat ini. *Benefit cost ratio* adalah nama lain untuk

metode ini. Rumus yang digunakan untuk menentukan teknik *Profitability Index* adalah:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{NCF(1-i)^{-t}}{C} \dots\dots\dots(2.21)$$

Kriteria berikut harus dipenuhi untuk memutuskan apakah investasi cukup realistis untuk disetujui atau ditolak:

- Apabila *Profitability Index* (PI) bernilai lebih besar dari satu (>1), maka investasi proyek tersebut dinilai layak.
- Apabila *Profitability Index* (PI) bernilai lebih kecil dari satu (<1), maka investasi proyek tersebut dinilai tidak layak.

### 3. *Internal Rate of Return* (IRR)

Suku bunga yang dikenal sebagai *internal rate of return* (IRR) menampilkan *net present value* (NPV) sama dengan total investasi bisnis. Persamaan berikut menampilkan rumus yang digunakan untuk menghitung *Internal Rate of Return* (IRR):

$$IRR = i1 + \frac{NPV1}{NPV1-NPV2} \times (i2 - i1) \dots\dots\dots(2.22)$$

Kriteria berikut harus dipenuhi untuk memutuskan apakah investasi cukup realistis untuk disetujui atau ditolak:

- Apabila *Internal Rate of Return* (IRR) bernilai lebih besar dari suku bunga (>i), maka investasi proyek tersebut dinilai layak.
- Apabila *Internal Rate of Return* (IRR) bernilai lebih kecil dari suku bunga (<i), maka investasi proyek tersebut dinilai tidak layak.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian



Gambar 3. 1 Lokasi PLTMH PT. Tombolo Energy  
(sumber gambar: Google Earth)

PLTMH Tombolo Energy, Desa Pao, Kec. Tombolo Pao, Kab. Gowa menjadi lokasi penelitian yang dilakukan dari bulan Februari 2023 hingga Juli 2023.



Gambar 3. 2 *Power House* Tampak dari Atas





Gambar 3. 3 Lahan Kosong Depan *Tailrace*

### 3.2 Alat

1. *Solar Power Meter*
2. Meteran
3. *Laser Measurement Meter*
4. Kompas
5. *Software AutoCad*
6. *Software SketchUp*
7. *Software PVsyst*
8. *Software RetScreen*

### 3.3 Teknik Pengumpulan Data

Berikut tahapan studi yang digunakan untuk menyusun Tugas Akhir Analisis Perencanaan Sistem PLTS Dengan Beban Pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy:

1. Melakukan pengambilan data radiasi matahari pada area PLTMH PT. Tombolo Energi dengan menggunakan alat *solar power meter*.
2. Melakukan pengambilan data orientasi bangunan *power house* dan area depan *power house* menggunakan meteran dan *laser measurement meter*

serta menentukan titik koordinat *power house* dengan menggunakan kompas.

3. Menyajikan data dalam bentuk tabel atau gambar.

### 3.4 Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan data yang digunakan dalam perencanaan sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy adalah sebagai berikut:

1. Menentukan jenis dan melakukan perhitungan untuk mengetahui jumlah dan susunan konfigurasi panel surya.
2. Menentukan jenis dan melakukan perhitungan untuk mengetahui jumlah dan konfigurasi baterai.
3. Menentukan *inverter*.
4. Penentuan lokasi panel meliputi ketersediaan lahan dan status kepemilikan lahan.
5. Berdasarkan pengolahan data didapatkan desain dari sistem perencanaan PLTS dengan beban pompa dalam bentuk gambar 2 dimensi dan 3 dimensi.
6. Menguji hasil pengolahan menggunakan *software PVsyst*.
7. Melakukan perhitungan analisis ekonomi dengan menghitung besar biaya investasi awal, biaya O&M dan biaya energi dan arus kas masuk.
8. Melakukan perhitungan kelayakan investasi dengan menghitung nilai NPV, PI dan IRR berdasarkan suku bunga yang digunakan.
9. Menarik kesimpulan dari analisis yang dilakukan.

### 3.5 Desain Awal

#### 3.5.1 Desain Rangka Panel Surya

Penentuan sudut kemiringan panel surya diperlukan untuk memahami konstruksi rangka panel surya. Ini memastikan bahwa panel surya di lokasi menerima sinar matahari sebanyak mungkin. Menurut *Google Maps*, PLTMH PT. Tombolo Energy terletak pada koordinat berikut: (-5.181738, 199.947942) atau 5°10'54.3"S 119°56'52.6"E. Dalam menghitung sudut kemiringan optimal modul surya ( $\beta$ ), harus ditentukan terlebih dahulu nilai ketinggian maksimum dari matahari ( $\alpha$ ) dengan menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\alpha &= 90^\circ + (5,18^\circ - 23,45^\circ) \\ &= 71,37^\circ\end{aligned}$$

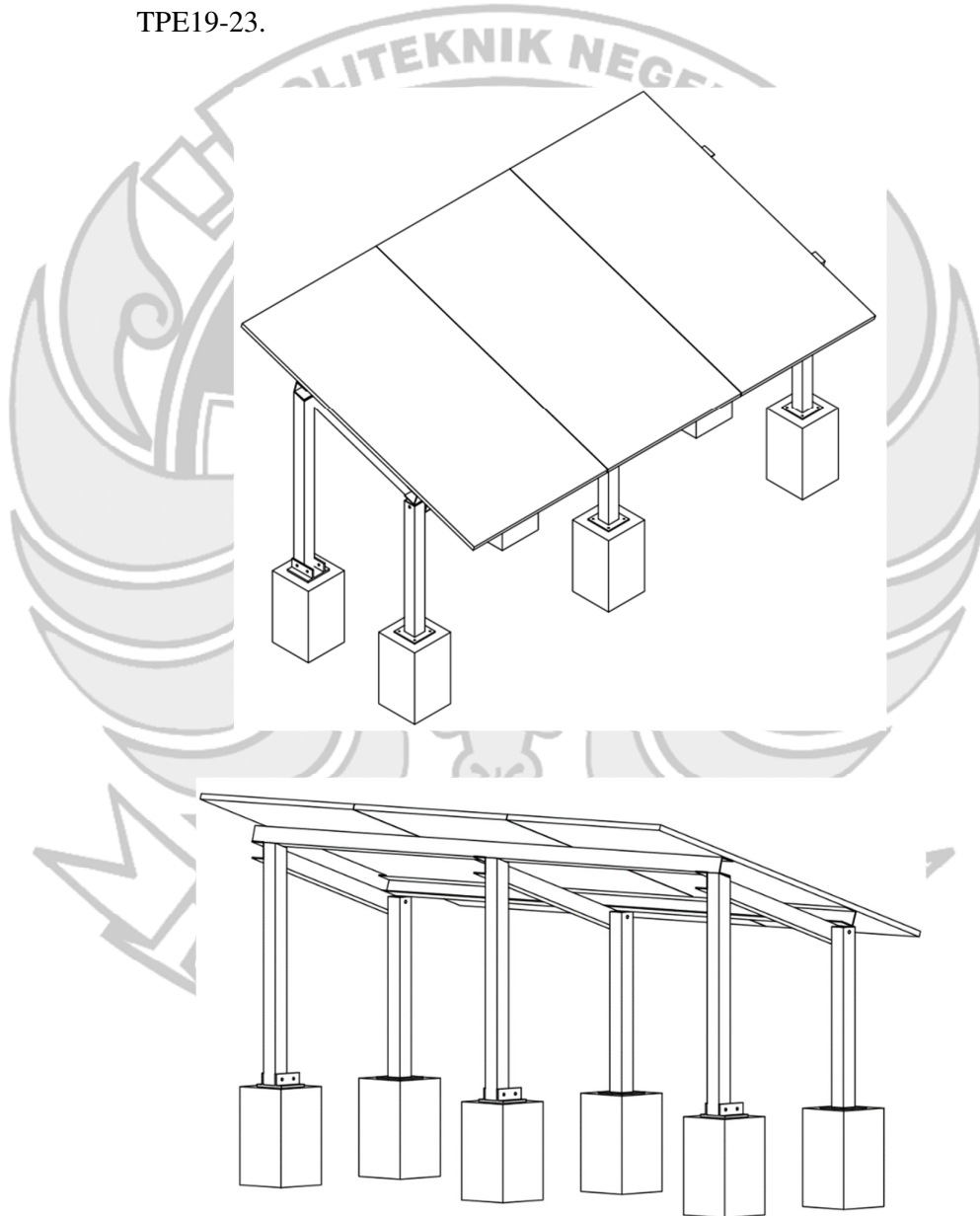
Setelah mengetahui nilai ( $\alpha$ ) maka dapat ditentukan nilai sudut optimal kemiringan modul surya ( $\beta$ ) dengan menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\beta &= 90^\circ - 71,37^\circ \\ &= 18,63^\circ\end{aligned}$$

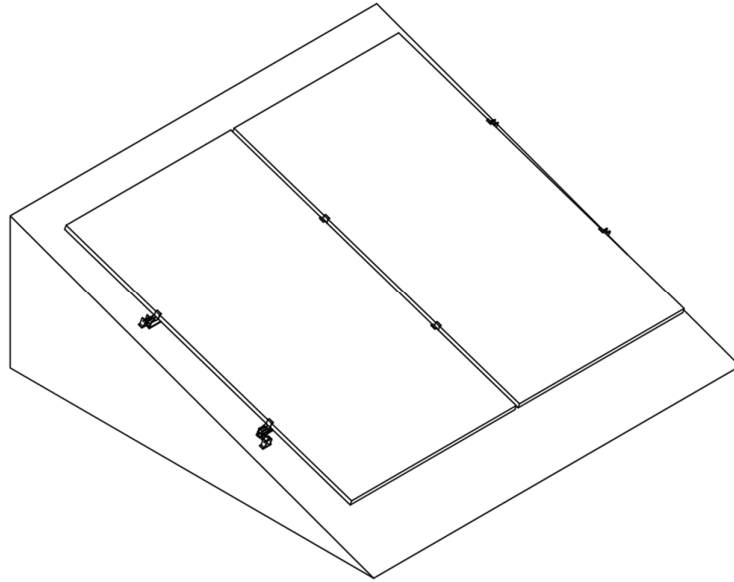
Jadi sudut kemiringan panel surya maksimum adalah sebesar 18,63°.

Berikut adalah desain awal dari rangka PLTS *on ground* pada PLTMH PT. Tombolo Energy. Gambar teknik dari rangka panel PLTS *on ground* dapat dilihat pada halaman lampiran 2 dengan nomor gambar teknik 001-006/014-TPE19-23, gambar teknik dari komponen besi *hollow* dengan nomor gambar teknik 002-006/014-TPE19-23, gambar

teknik dari komponen *base plate* dengan nomor 003-006/014-TPE19-23, gambar teknik dari besi UNP yang digunakan sebagai rangka dengan nomor gambar teknik 004-006/014-TPE19-23 dan gambar teknik dari rangka panel PLTS atap dengan nomor gambar teknik 005-006/014-TPE19-23.



Gambar 3. 4 Desain Rangka Panel PLTS *On Ground*



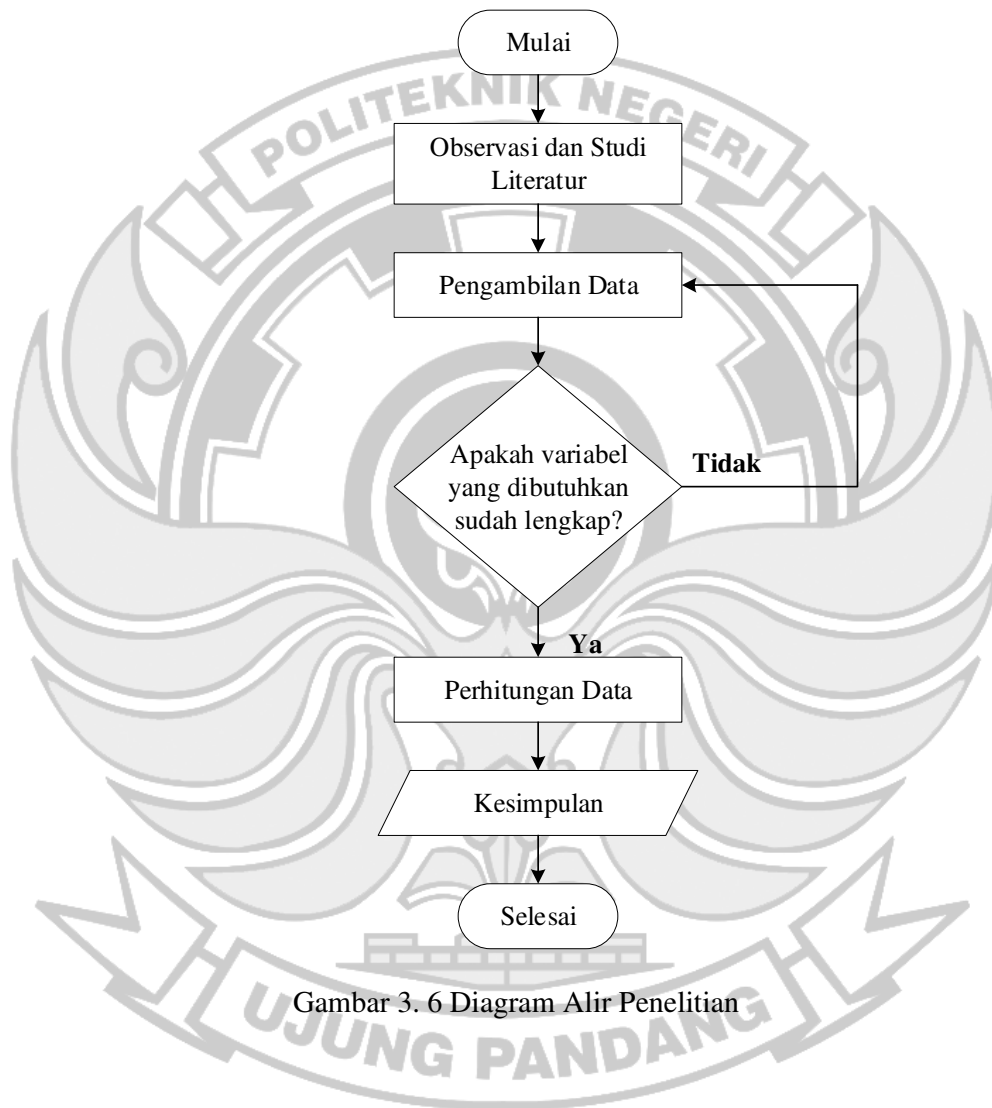
Gambar 3. 5 Desain Rangka Panel PLTS Atap

### 3.5.2 Desain Kelistrikan

Menghitung beban keseluruhan yang akan digunakan selama operasi merupakan langkah awal dalam desain kelistrikan. Analisis data menentukan berapa banyak panel surya dan berapa banyak kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk memasok kebutuhan energi untuk pompa. Panel surya yang akan digunakan berkapasitas 660 Wp sebanyak 2.660 unit, dan baterai yang akan digunakan berkapasitas 100 Ah sebanyak 155 unit. Gambar *Single Line Diagram* dari sistem kelistrikan PLTS dengan beban pompa dapat dilihat pada lampiran 2 dengan nomor gambar teknik 006-006/014-TPE19-23.

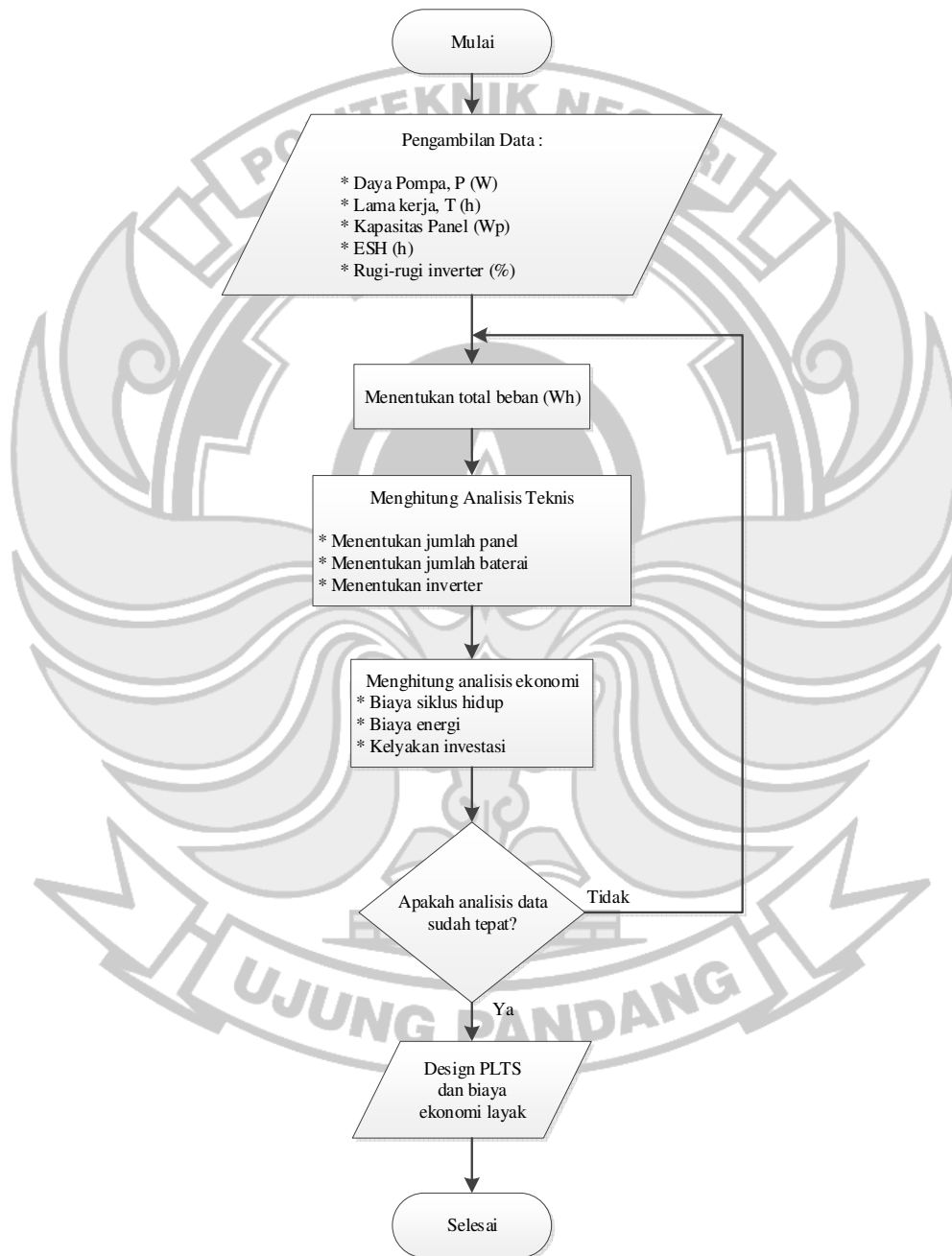
### 3.6 Diagram Alir

Adapun langkah-langkah penulisan skripsi ini dapat dilihat pada gambar diagram alir berikut:



Gambar 3. 6 Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah analisis data pada skripsi ini dapat dilihat pada gambar diagram alir berikut:

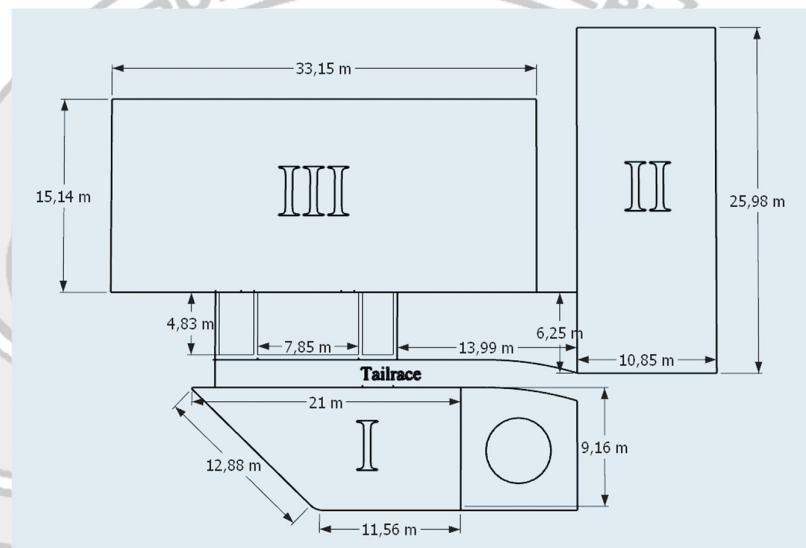


Gambar 3. 7 Diagram Alir Analisis Data

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Luas Lahan Potensi Tempat Pemasangan Panel Surya

Panel surya dipasang di sejumlah lokasi, antara lain lahan kosong di sekitar PH dan atap bangunan *power house*. Sangat penting untuk menghitung terlebih dahulu berapa luas lahan yang digunakan untuk pemasangan panel surya.



Gambar 4. 1 *Power House* dan Lahan disekitarnya

Ket:

- I : Lahan kosong depan *tailrace*
- II : Lahan kosong disamping *Power House* (dekat sungai)
- III : PH (*power house*)

#### 4.1.1 Luas Lahan Kosong disekitar *Power House*

Pada Gambar 4.1, angka I dan II menunjukkan area di sekitar *power house* yang dapat dimanfaatkan untuk memasang panel surya, untuk *control room* dari sistem PLTS membutuhkan lahan tambahan.



Adapun perhitungan luas lahan kosong yang berbentuk trapesium dan ditandai dengan nomor I adalah sebagai berikut:

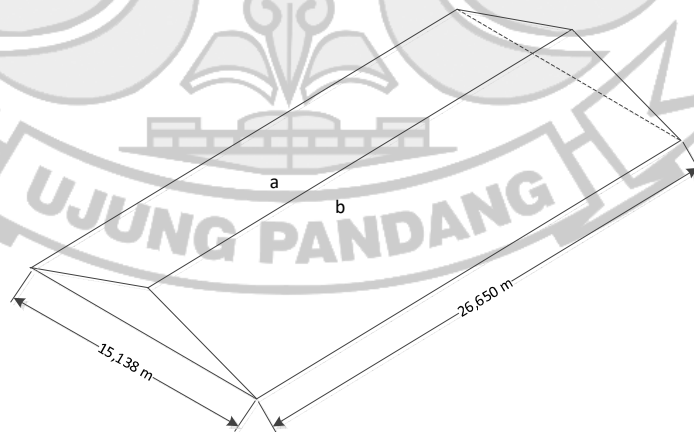
$$\begin{aligned}\text{Luas Lahan I} &= \frac{1}{2} (\text{jumlah sisi sejajar}) \times \text{tinggi} \\ &= \frac{1}{2} (21 \text{ m} + 11,56 \text{ m}) \times 9,16 \text{ m} \\ &= 149,12 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Perhitungan luas lahan kosong yang berbentuk persegi panjang dan ditandai dengan nomor II adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Luas Lahan II} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \\ &= 25,98 \times 10,85 \\ &= 281,883 \text{ m}^2\end{aligned}$$

#### 4.1.2 Luas Atap *Power House*

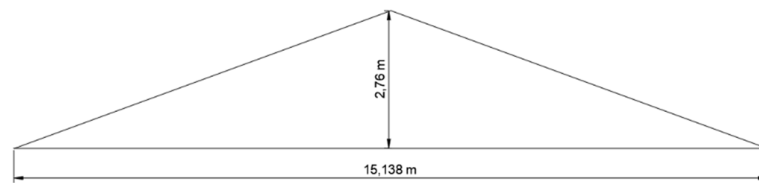
Jenis atap bangunan *power house* berbentuk prisma digunakan sebagai panduan dalam menentukan wilayah ideal untuk pemasangan modul surya.



Gambar 4. 2 Atap *Power House* Penempatan Modul Surya

Berdasarkan Gambar 4.2, dimensi pada sisi atap a dan b diketahui berukuran sama. Gambar teknik dari atap *power house* dapat dilihat pada halaman lampiran 2 dengan *drawing title* “Potongan A-A” dan “Tampak Samping Kanan Power House”

Pada gambar 4.3 menampilkan ukuran atap *power house* tampak samping. Untuk menghitung luas atap maka perlu diketahui panjang sisi miring atap terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan 2.12 sebagai berikut.



Gambar 4. 3 Atap *Power House* Tampak samping

$$\begin{aligned}
 c &= \sqrt{a^2 + \frac{b^2}{2}} \\
 &= \sqrt{(2,76)^2 + (15,138/2)^2} \\
 &= \sqrt{(2,76)^2 + (7,569)^2} \\
 &= \sqrt{64,907361} = 8,056 \text{ m (sisi miring (c) sebagai Lebar atap dalam mencari luas)}.
 \end{aligned}$$

Luas pada satu sisi bagian atap bangunan *power house* dapat dihitung dengan persamaan 2.13.

$$\text{Luas Atap} = 26,650 \text{ m} \times 8,056 \text{ m} = 214,7 \text{ m}^2$$

Karena kedua sisi atap a dan b digunakan untuk pemasangan panel, maka total luas atap yang dapat dimanfaatkan adalah  $429,4 \text{ m}^2$ .

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui luas lahan potensi tempat pemasangan panel surya adalah  $149,12 \text{ m}^2 + 281,883 \text{ m}^2 + 429,4 = 860,4 \text{ m}^2$ .

Namun, dalam pemasangan panel surya pada atap harus memperhatikan rangka atap dari *power house* terlebih dahulu, sehingga luas atap sebesar  $860,4 \text{ m}^2$  tidak sepenuhnya digunakan. Hal ini akan dijelaskan pada sub bab 4.6 mengenai desain PLTS.

#### 4.2 Radiasi Matahari

Rata-rata nilai radiasi matahari di PLTMH PT. Tombolo Energy per tanggal 25 Mei 2023 yang didapatkan melalui pengukuran langsung pada lokasi PLTMH adalah  $357 \text{ W/m}^2$ . Data lengkap radiasi matahari dengan pengukuran langsung di PLTMH PT.Tombolo Energy pada tanggal 25 Mei 2023 dapat dilihat pada lampiran 1.

Adapun data NASA mengenai iradiasi di Tombolo Pao pada tanggal 25 Mei 2023 yang bersumber dari *software RetScreen* adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Data Iradiasi Matahari di Tombolo Pao tanggal 25 mei 2023 (NASA)

| Iradiasi<br>(NASA)<br>kWh/m <sup>2</sup> /bulan | Radiasi<br>(Pengukuran Langsung)<br>W/m <sup>2</sup> | Temperatur<br>(NASA)<br>C° |
|---|--|----------------------------|
| 4,66  | 357  | 24,7                       |

Pada tabel 4.2, iradiasi matahari per bulan dalam setahun di Tombolo Pao adalah nilai rata-rata iradiasi matahari yang disediakan oleh NASA pada *software RetScreen*.

Tabel 4. 2 Data Iradiasi Matahari per Bulan di Tombolo Pao (*RetScreen*)

| Bulan<br>(2022-2023) | Iradiasi Matahari<br>(kWh/m <sup>2</sup> /bulan) | Radiasi Matahari<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>(C°) |
|----------------------|--|---|--------------------|
| Juni                 | 4,67   | 194,66                                  | 24,46              |
| Juli                 | 4,95   | 206,33                                  | 24,32              |
| Agustus              | 5,65   | 235,22                                  | 24,45              |
| September            | 5,85   | 244,09                                  | 25,42              |
| Oktober              | 5,35   | 222,80                                  | 25,94              |
| November             | 5,02   | 211,65                                  | 25,53              |
| Desember             | 4,09   | 170,35                                  | 25,03              |
| Januari              | 4,54   | 189,23                                  | 24,52              |
| Februari             | 3,80   | 157,57                                  | 24,28              |
| Maret                | 5,17   | 215,03                                  | 25,27              |
| April                | 5,13   | 214,47                                  | 25,33              |
| Mei                  | 5,11   | 213,06                                  | 25,15              |
| <b>Rata-rata</b>     | 4,94   | 206,21                                  | 24,98              |

Data iradiasi matahari per hari dalam tiap bulan mulai dari bulan Juni 2022 sampai dengan bulan Mei 2023 yang diakses melalui *software RetScreen* dapat dilihat pada halaman lampiran 3.

### 4.3 Analisis Teknik

#### 4.3.1 Menghitung Energi Total dari Beban Pompa

Berdasarkan survei lapangan, diketahui bahwa hasil pengukuran debit pada sungai adalah 0,298 m<sup>3</sup>/s, sedangkan besar debit yang harus dipompa untuk pemenuhan kebutuhan unit 1 adalah 0,25 m<sup>3</sup>/s sehingga ditentukan pompa yang digunakan adalah pompa *centrifugal end suction* merek *Purity* dengan model FSM4 150-315A/B dan beroperasi selama bulan kemarau yaitu Juli s.d. Oktober. Spesifikasi pompa secara detail dapat dilihat di katalog *purityfire* pada lampiran 5. Adapun spesifikasi motor dari pompa adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Spesifikasi Motor Pompa

| Model      | Power Max |     | Tegangan<br>(V) | Arus<br>(A) | Frekuensi<br>(Hz) | Speed<br>(rpm) |
|------------|-----------|-----|-----------------|-------------|-------------------|----------------|
|            | kW        | HP  |                 |             |                   |                |
| YE3-355L-2 | 315       | 430 | 380             | 549         | 50                | 2.900          |

(Sumber tabel: Katalog Purityfire)

Energi total dari beban pompa dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Total Energi beban} &= \text{Daya} \times \text{Lama Pemakaian} \\ &= 315.000 \text{ Watt} \times 24 \text{ jam} = 7.560.000 \text{ Wh/hari} \end{aligned}$$

Tabel 4. 4 Kebutuhan Energi Listrik Motor Pompa

| Lama Kerja<br>(h)   | Jumlah<br>(buah) | Daya Motor<br>(W) | Energi Total<br>(Wh) |
|---|------------------|-------------------|----------------------|
| 24  | 1                | 315.000           | 7.560.000            |
| Total kebutuhan listrik untuk pompa air sebesar 7.560.000 Wh/hari |                  |                   |                      |

Sehingga dapat diketahui bahwa total kebutuhan energi listrik untuk pompa adalah 7.560.000 Wh/hari dan daya dari beban yang berupa motor pompa adalah 315.000 Watt atau 315 kW.

#### 4.3.2 Menentukan Sistem PLTS

PLTMH PT Tombolo Energy dapat membangkitkan energi listrik sebesar 3 MW. Namun, debit air tidak mencukupi pada musim kemarau yaitu antara bulan Juli s.d. Oktober. Debit air untuk memutar turbin unit 1 pada bulan Juli, Agustus dan Oktober tidak mencukupi, sedangkan pada bulan September debit air tidak mencukupi untuk memutar turbin unit 2. Unit 1 PLTMH PT. Tombolo Energy dapat membangkitkan daya listrik sebesar 0,5 MW, dan unit 2 dapat membangkitkan 2,5 MW. PLTS yang akan digunakan sebagai catu daya *pumped storage* di PLTMH PT. Tombolo Energy di rencanakan untuk menyuplai pompa air terkoneksi dengan sistem kelistrikan yang terdapat pada PLTMH Tombolo. PLTS *on grid* tersebut dapat membangkitkan daya sebagai suplai motor pompa, dan memenuhi kebutuhan debit pemutar turbin. Sehingga hal ini dianggap keuntungan karena dengan daya bangkitan PLTS 315 kW, dapat memproduksi daya listrik dari PLTMH sebesar 0,5 MW pada bulan Juli, Agustus dan Oktober, bahkan sampai dengan 2,5 MW pada bulan September. Pada musim penghujan yaitu November – Juni, energi listrik dari PLTS dapat dijual ke grid. Adapun diagram skema PLTS dapat dilihat pada halaman lampiran 4.

#### 4.3.3 Pemilihan dan Penentuan kebutuhan panel surya

Jumlah energi surya yang dapat ditangkap dan diubah menjadi energi listrik di Indonesia biasanya bertahan sekitar 5 jam. Oleh karena itu, bagi jumlah kebutuhan daya dengan 5 untuk menghitung jumlah modul surya.

Panel surya yang dipergunakan adalah panel sesuai spesifikasi Tabel 4.5 yaitu panel surya *monocrystalline* 660Wp Merek Maysun Solar model MS-M966H dengan harga Rp 2.475.620 per panel dan sudah tersertifikasi.

Tabel 4. 5 Spesifikasi Panel Surya

|   |                    |
|---|--------------------|
| <i>Max. Power Output Pmax (Wp)</i>        | 660                |
| <i>Max. Power Voltage Vmp (V)</i>         | 38,29              |
| <i>Max. Power Current Imp (A)</i>         | 17,24              |
| <i>Open Circuit Voltage Voc (V)</i>       | 45,39              |
| <i>Short Circuit Current Isc (A)</i>      | 18,47              |
| <i>Module Efficiency (%)</i>              | 21,25              |
| <i>Temperature Coefficient of Isc (%)</i> | +0.040/°C          |
| <i>Number of Cells (pcs)</i>              | 132                |
| <i>Cell Temperature</i>                   | 25°C               |
| <i>Dimensions (L*W*H)</i>                 | 2384 x 1303 x 35mm |

(Sumber tabel: Katalog Maysun Solar)

Spesifikasi detail dari panel dapat dilihat pada lampiran 6. Panel surya ini memiliki spesifikasi  $P_{MPP}$  sebesar 660 Wp per panel. Karena setiap komponen sistem yang digunakan masih baru, maka kerugian keseluruhan PLTS dianggap 15% (Bien, Kasim & Wibowo, 2008:41

dalam bukunya Mark Hankins, 1991:68), kerugian ini termasuk kerugian terkait debu dan suhu untuk panel surya, *inverter*, dan kabel.

Sehingga berdasarkan spesifikasi tersebut maka jumlah panel surya yang diperlukan untuk PLTS yang akan dikembangkan dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan 2.4 berikut :

$$P_{\text{wattpeak}} = \frac{\text{Total energi beban} + (\text{losses } 15\% \times \text{Total energi beban})}{\text{PSH}}$$
$$= \frac{7.560.000 \text{ Wh} + (15\% \times 7.560.000 \text{ Wh})}{5 \text{ h}} = 1.738.800 \text{ W}$$

Panel surya yang digunakan adalah 660Wp, maka dengan menggunakan persamaan 2.5, kebutuhan modul surya adalah nilai kebutuhan *wattpeak* dibagi dengan nilai daya panel surya.

$$\text{Jumlah panel} = \frac{P_{\text{wattpeak}}}{W_{\text{panel}}}$$
$$= \frac{1.738.800 \text{ W}}{660 \text{ W}} = 2.634,5 \approx 2.635 \text{ buah}$$

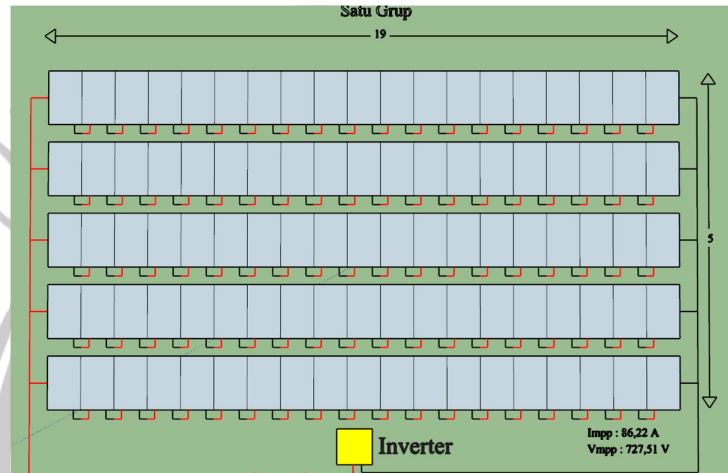
Penentuan *array* panel surya dilakukan dengan melihat spesifikasi tegangan dan arus *input inverter*. MPPT yang ada pada *inverter* memiliki *Max. voltage range* adalah 500 - 1500 sedangkan nilai arus *input* MPPT pada *inverter* adalah 100 A. Sehingga dapat diketahui panel surya yang berjumlah 2.635 buah, disusun kedalam 28 *array* dimana setiap *array* berisikan 5 *string* yang terhubung paralel dan setiap *string* berisi 19 buah panel seri. Sehingga, jumlah keseluruhan panel bertambah menjadi 2.660 buah. Daya yang dihasilkan setiap *array* dengan konfigurasi panel surya tersebut diperhitungkan sebagai berikut:



$$I_{MPP} = 5 \times 17,24 = 86,2 \text{ A}$$

$$V_{MPP} = 19 \times 38,29 = 727,51 \text{ V}$$

Adapun gambar konfigurasi rangkaian seri paralel panel dalam satu *array* adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 4 Skema Konfigurasi Panel Surya

#### 4.3.4 Menghitung Energi *Output* Panel Surya

Energi *output* dari panel surya dapat diketahui dengan menghitung total daya *output* maksimal dari panel surya terlebih dahulu yang dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6:

$$P_{max} = \text{jumlah panel} \times W_p \text{ panel}$$

$$= 2.660 \times 660$$

$$= 1.755.600 \text{ Wp}$$

$$= 1.755,6 \text{ kW}$$

Dengan diketahuinya total daya *output* dari panel surya ( $P_{max}$ ), maka energi *output* panel surya bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 2.7:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{out}} &= P_{\text{max}} \times \text{PSH} \\
 &= 1.755,6 \text{ kW} \times 5 \text{ h} \\
 &= 8.778 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Sehingga Energi *output* panel surya per tahun menurut persamaan

2.8 adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Energy Yield} &= E_{\text{out}} \times 365 \\
 &= 8.778 \text{ kWh} \times 365 \\
 &= 3.203.970 \text{ kWh/tahun}
 \end{aligned}$$

#### 4.3.5 Pemilihan dan Perhitungan Baterai

Baterai yang digunakan adalah *Lithium Ion* merek GTK 48V100Ah dengan harga Rp 10.421.847 per satuannya dan sudah tersertifikasi.

Adapun spesifikasi baterai adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Spesifikasi Baterai

| <i>Model</i>                            | LifePo4                      |
|---|------------------------------|
| <i>Nominal Voltage (V)</i>              | 48                           |
| <i>Nominal Capacity (Ah)</i>            | 100                          |
| <i>Maximum Charge Current (A)</i>       | 60                           |
| <i>Charging Voltage Range (V)</i>       | 56 – 58                      |
| <i>Cycle Life</i>                       | > 1200 (80% DOD)             |
| <i>Continious discharge Current (A)</i> | 80/100/150/200 can customize |
| <i>Size</i>                             | 526*235*217mm                |

(Sumber: <https://id.aliexpress.com/>)

Untuk menentukan total arus dari beban dengan persamaan 2.9 dan juga kapasitas baterai yang akan digunakan menggunakan persamaan 2.10 berikut:

$$I_{\text{total}} \text{beban} = \frac{\text{Daya beban}}{\text{Tegangan}} \times \text{lama kerja}$$

$$= \frac{315.000 \text{ Watt}}{380 \text{ V}} \times 19 \text{ h} = 15.750 \text{ Ah}$$

$$\text{Battery Capacity} = I_{\text{total}} \text{beban} \times 1,2 \times \text{autonomy}$$

$$= 15.750 \text{ Ah} \times 1,2 = 18.900 \text{ Ah}$$

Sehingga, untuk mengetahui jumlah baterai yang diperlukan akan digunakan persamaan 2.11.

$$\text{Jumlah Baterai} = \frac{\text{Battery Capacity}}{\text{Ah battery}} : \text{Dod}$$

$$= \frac{18.900 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah}} : 80\% = 151,5 \approx 152$$

Baterai disusun dengan konfigurasi 5 buah baterai diparalel dan setiap baris paralel berisi 31 buah baterai disusun seri. Sehingga total keseluruhan baterai menjadi 155 buah.

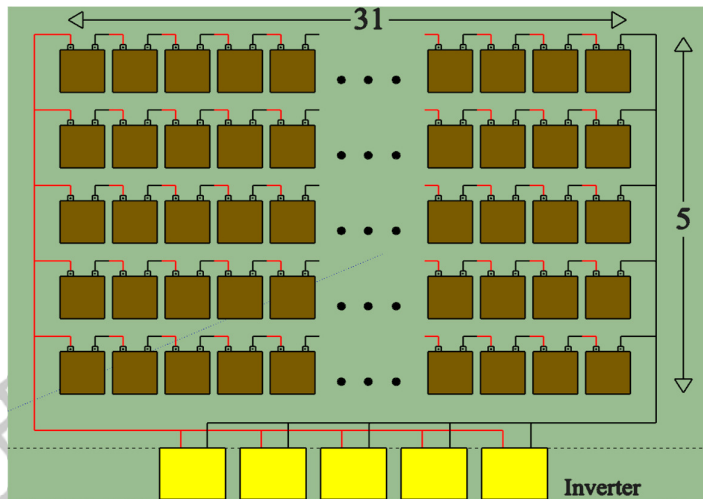
Energi yang dihasilkan dari konfigurasi baterai tersebut diperhitungkan sebagai berikut:

$$I_{\text{tot}} \text{ baterai} = 5 \times 100 \times 1 = 500 \text{ Ah}$$

$$V_{\text{tot}} \text{ baterai} = 31 \times 48 = 1.488 \text{ V}$$

$$E_{\text{tot}} \text{ baterai} = 500 \text{ Ah} \times 1.488 \text{ V} = 744.00 \approx 744 \text{ kWh}$$

Digunakan kabel dengan diameter 35 mm<sup>2</sup> untuk menghubungkan baterai secara seri. Kabel dengan diameter 2 x 240 mm<sup>2</sup> digunakan untuk menghubungkan baterai secara paralel.



Gambar 4. 5 Skema Konfigurasi Baterai

#### 4.3.6 Pemilihan *Inverter*

Digunakan *inverter on grid* merek *Sun grow SG350HX* 350 kW dengan harga Rp 107.380.000 per satuannya sebanyak 5 buah. Adapun detail dari spesifikasi *inverter* dapat dilihat pada lampiran 8.

Tabel 4. 7 Spesifikasi *Inverter*

| <i>Input Data (DC)</i>       |                 |
|------------------------------|-----------------|
| <i>Max. Input PV Voltage</i> | 1500 V          |
| <i>Rated Current</i>         | 480 A           |
| <i>MPPT Voltage Range</i>    | 500 - 1500 V    |
| <i>Output Data (AC)</i>      |                 |
| <i>Max. Ac Power</i>         | 350 kW          |
| <i>Rated Current</i>         | 254 A           |
| <i>Frequency</i>             | 50 Hz           |
| <i>Efficiency</i>            | > 98%           |
| <i>General Data</i>          |                 |
| <i>Dimensions (H/W/D)</i>    | 1136x870x361 mm |

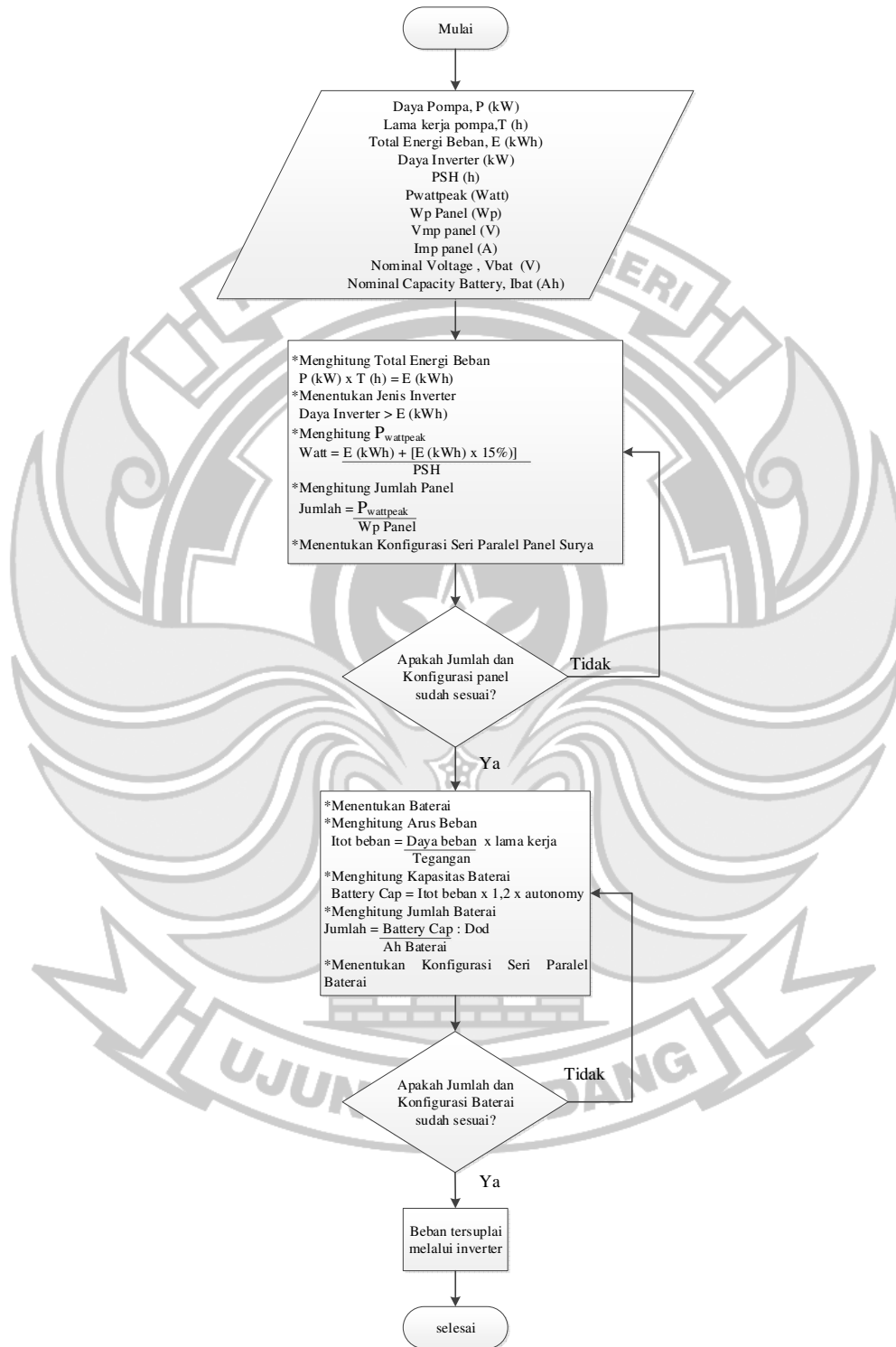
(Sumber tabel: Katalog SANDI)

Berdasarkan perhitungan analisis teknis tersebut maka, rekapitulasi spesifikasi dan kapasitas komponen PLTS *on grid* dengan beban pompa di tunjukkan pada tabel 4.9:

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Spesifikasi Komponen PLTS dengan beban Pompa

| No | Nama Komponen                     | Spesifikasi                                | Jumlah |
|----|-----------------------------------|--|--------|
| 1. | Panel Surya (Maysun Solar 660 Wp) | <i>P<sub>max</sub></i> : 660 Wp            | 2660   |
|    |                                   | <i>V<sub>mp</sub></i> : 38,29 V            |        |
|    |                                   | <i>I<sub>mp</sub></i> : 17,24 A            |        |
|    |                                   | <i>V<sub>oc</sub></i> : 18,47 V            |        |
|    |                                   | <i>I<sub>sc</sub></i> : 18,47 A            |        |
| 2. | Baterai                           | <i>Efficiency</i> : 21,25%                 | 155    |
|    |                                   | <i>Type</i> : Lithium Ion                  |        |
|    |                                   | <i>Capacity</i> : 100 Ah                   |        |
|    |                                   | <i>Voltage</i> : 48 V                      |        |
|    |                                   | <i>Life Cycle</i> : 1200 cycles at 80% DOD |        |
| 3. | Inverter                          | <i>Temperature</i> : -20 °C to 60 °C       | 5      |
|    |                                   | <i>Rated Power</i> : 350 kW                |        |
|    |                                   | <i>Rated Voltage</i> : 380 Vac 50 Hz       |        |
|    |                                   | <i>Rated Current</i> : 254 A               |        |
| 4. | Pompa                             | <i>Efficiency</i> : > 98%                  | 1      |
|    |                                   | <i>Power Max</i> : 315 kW                  |        |
|    |                                   | <i>Voltage</i> : 380 V                     |        |
|    |                                   | <i>Current</i> : 549 A                     |        |
|    |                                   | <i>Frequency</i> : 50 Hz                   |        |
|    |                                   | <i>Speed</i> : 2.900 rpm                   |        |

Adapun *flowchart* suplai energi dapat dilihat pada gambar berikut:

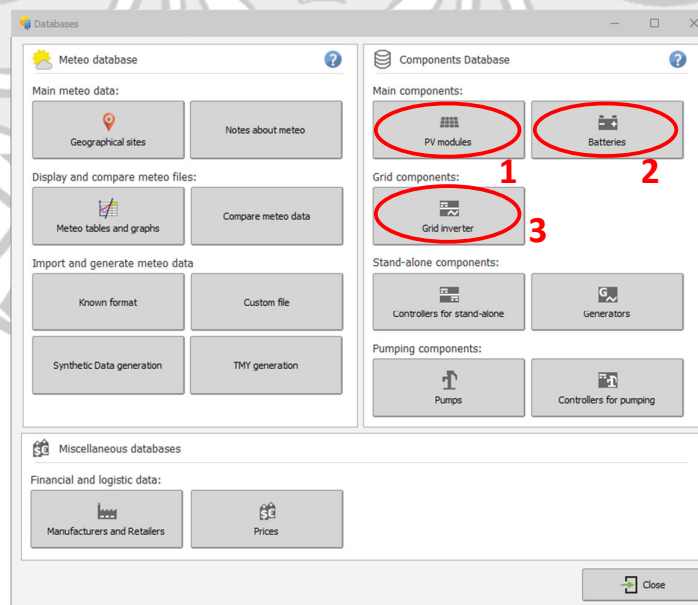
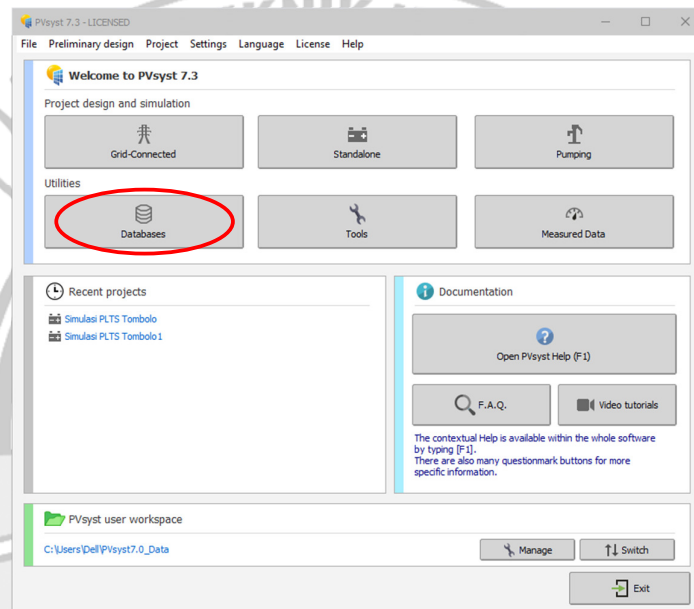


Gambar 4. 6 Flowchart Suplai Energi

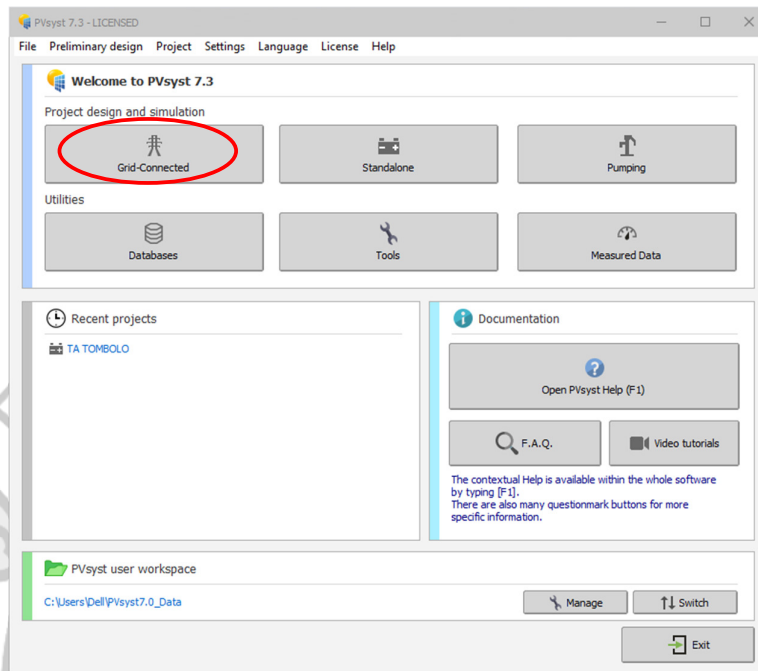
#### 4.4 Pengujian Sistem PLTS dengan Simulasi pada *Software PVsyst*

Digunakan *software Pvsyst 7.3* untuk melakukan simulasi, dengan langkah-langkah pembuatan program simulasi ialah sebagai berikut:

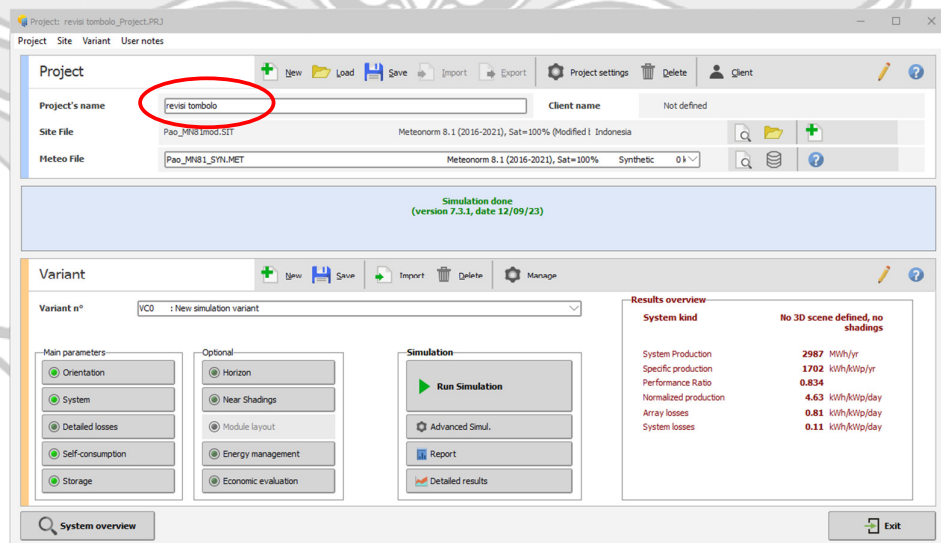
1. Membuka program *PVsyst*, lalu isi *database* menggunakan komponen yang telah ditentukan sebelumnya.



## 2. Pilih sistem *grid connected* dari *project design*.

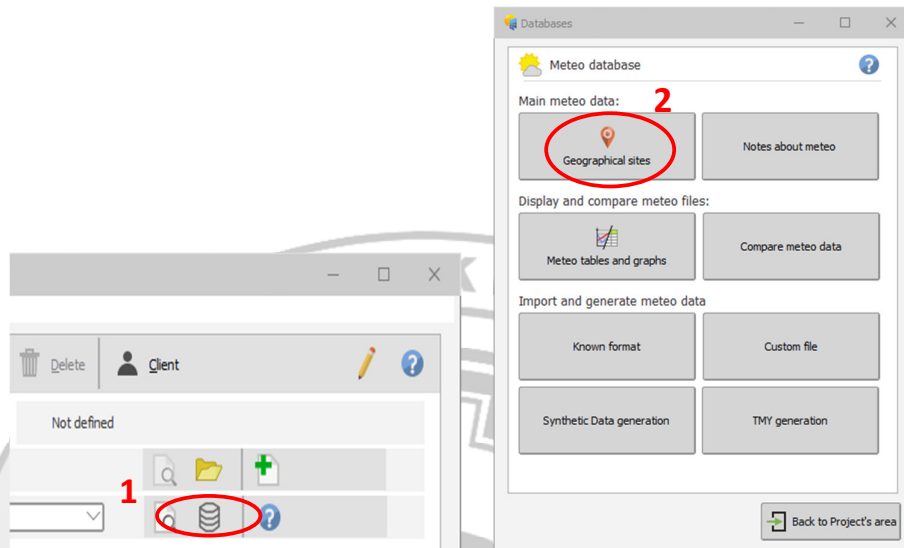


## 3. Membuat nama *project*

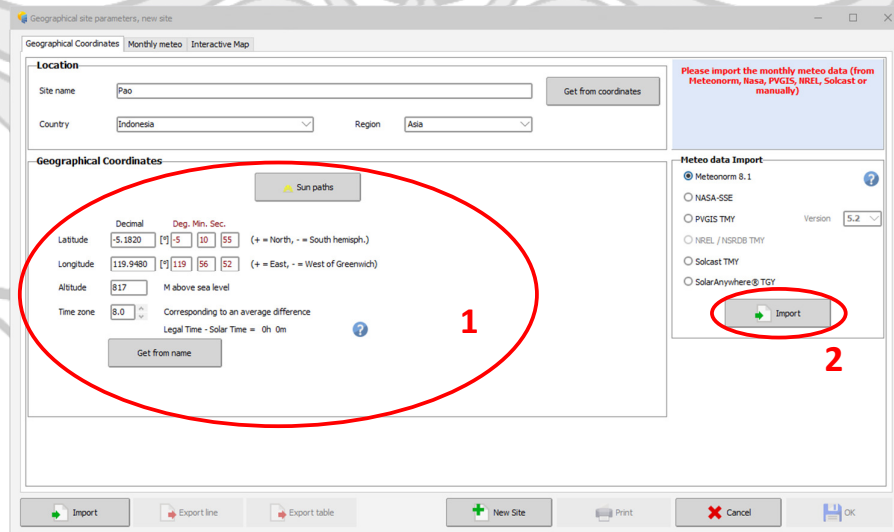




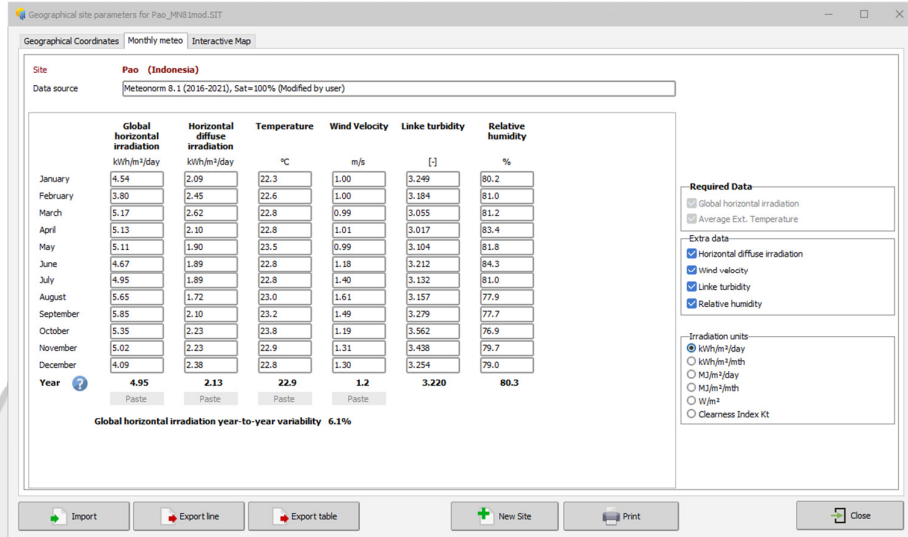
4. Klik menu *meteo* dan *database* lalu pilih *geographical sites*.



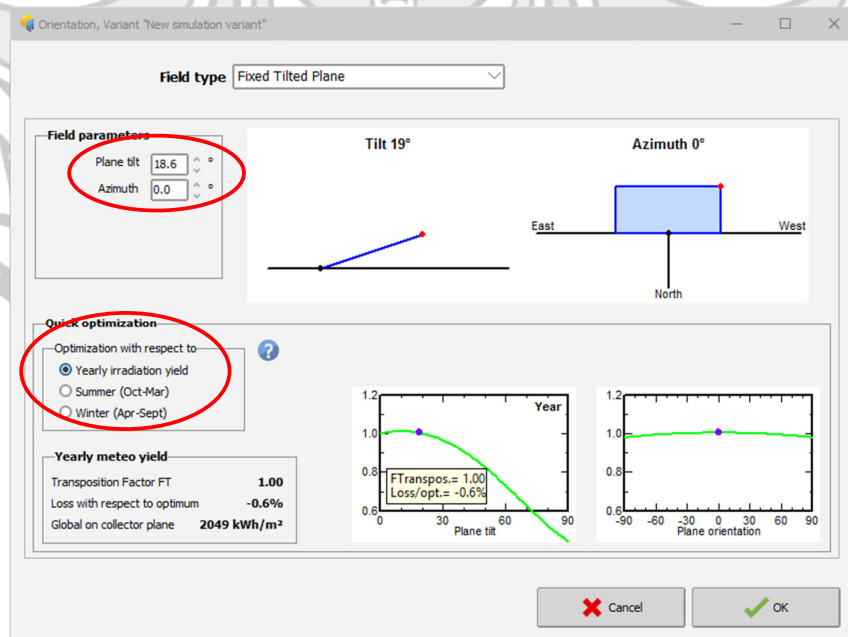
5. Menentukan parameter *Site*. *Input* letak koordinat dari lokasi yang akan di simulasikan dengan menggunakan fitur *geographical coordinates*, lalu klik *import* agar data lokasi koordinat yang kita tandai masuk ke program *PVSystem*.



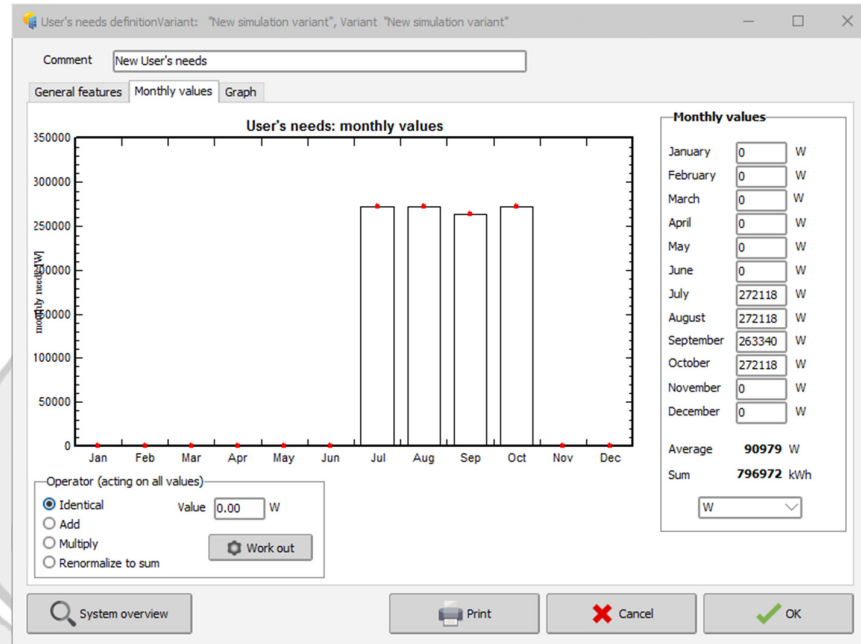
6. Masukkan data radiasi sesuai dengan data NASA yang tertera pada tabel 4.2.



7. Tentukan orientasi panel sesuai dengan tempat pemasangan dan perhitungan kemiringan panel. Azimuth 0,0 menandakan bahwa panel dipasang menghadap ke utara, jika ingin memasang panel menghadap ke selatan maka atur azimuth sebesar 180,0. Langkah berikutnya pilih “Yearly irradiation yield” pada bagian quick optimization lalu klik OK.



- Klik *self consumption* lalu masukkan daya dari beban dari PLTS yang akan disimulasikan. Atur *Monthly Values* sesuai dengan bulan pompa bekerja.

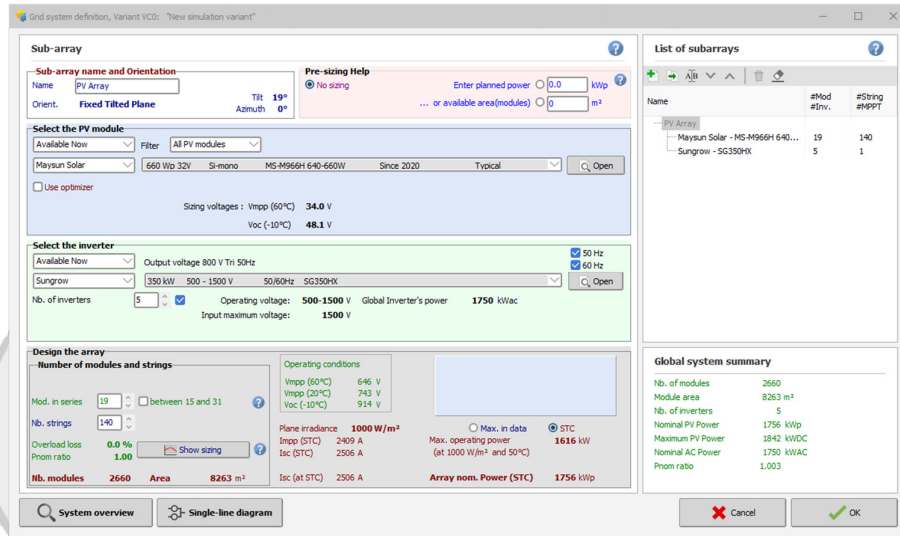


- Klik *storage* masukkan komponen baterai, jumlah dan konfigurasinya sesuai dengan perhitungan.

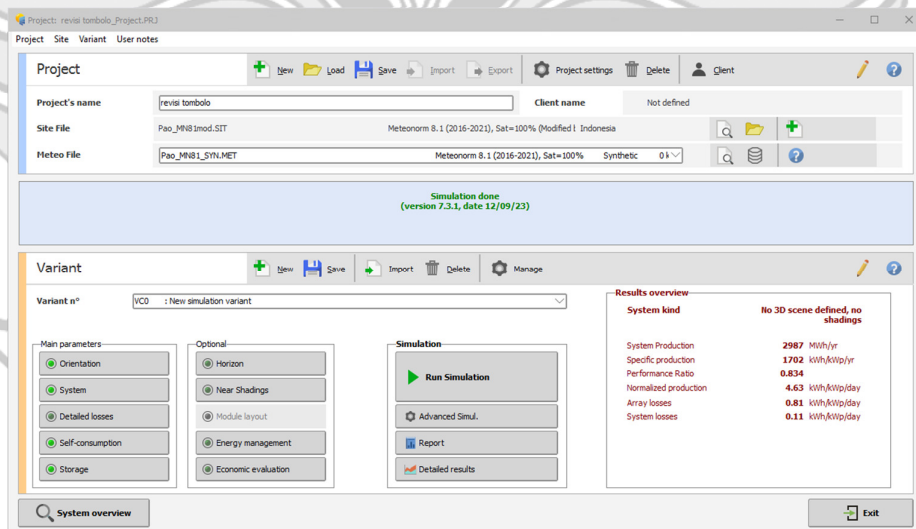
The screenshot shows the 'Grid system with storage management' window. It displays the 'Storage pack' configuration for 'Self-consumption'. The 'Specify the battery set' section shows a configuration for 38 modules in series and 4 modules in parallel, resulting in 152 modules and 48640 elements. The battery pack voltage is 1824 V and the global capacity is 400 Ah. The 'System information' section provides key performance indicators for the battery pack.

| Parameter                                    | Value     |
|--|-----------|
| PV array P <sub>nom</sub>                    | 1756 kWp  |
| PV array daily production (summer clear day) | 9.86 MWh  |
| Maximum user's power                         | 281 kW    |
| Average daily user's needs                   | 2.15 MWh  |
| Charging Time during full sun conditions     | 0.3 hours |
| Discharging under average load               | 6.5 hours |
| Discharging under maximum load               | 2.1 hours |

10. Klik *system* lalu pilih semua komponen yang sudah di *input* tadi dari *database*. Komponen meliputi panel surya dan *inverter*. Masukkan konfigurasi panel dan jumlah *inverter* sesuai dengan perhitungan.



11. Setelah memasukan semua data sesuai dengan kondisi PLTS, maka tahap terakhir, yaitu menjalankan simulasi dengan cara klik "*run simulation*".



#### 4.5 Hasil Pengujian PVSystem

Berdasarkan hasil pembangkitan daya perhitungan manual dengan simulasi PVSystem menunjukkan hasil daya output panel surya dengan simulasi PVSystem lebih rendah dibandingkan dengan perhitungan secara manual

Tabel 4. 9 Hasil Simulasi PV System PLTS

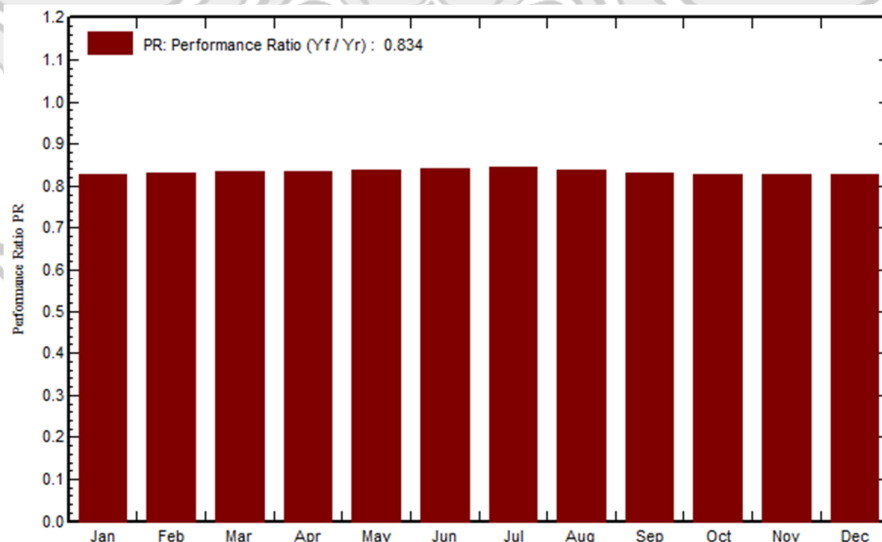
|           | GlobHor<br>kWh/m <sup>2</sup> | DiffHor<br>kWh/m <sup>2</sup> | T_Amb<br>°C | GlobInc<br>kWh/m <sup>2</sup> | GlobEff<br>kWh/m <sup>2</sup> | EArray<br>kWh | E_User<br>kWh | E_Solar<br>kWh | E_Grid<br>kWh | EFrGrid<br>kWh |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| January   | 171.9                         | 64.74                         | 22.27       | 147.9                         | 142.9                         | 220789        | 0             | 0              | 215232        | 0              |
| February  | 136.4                         | 68.74                         | 22.61       | 126.2                         | 122.6                         | 189034        | 0             | 0              | 184272        | 0              |
| March     | 158.6                         | 81.31                         | 22.75       | 154.7                         | 151.0                         | 232343        | 0             | 0              | 226933        | 0              |
| April     | 163.4                         | 62.98                         | 22.84       | 169.5                         | 166.4                         | 254009        | 0             | 0              | 248336        | 0              |
| May       | 157.5                         | 58.90                         | 23.46       | 173.9                         | 171.1                         | 261107        | 0             | 0              | 255306        | 0              |
| June      | 146.7                         | 56.64                         | 22.75       | 166.6                         | 164.1                         | 251952        | 0             | 0              | 246587        | 0              |
| July      | 171.5                         | 58.66                         | 22.81       | 193.5                         | 190.7                         | 292278        | 202456        | 102470         | 183479        | 99986          |
| August    | 197.0                         | 53.28                         | 23.02       | 212.8                         | 209.9                         | 319952        | 202456        | 103261         | 209361        | 99195          |
| September | 191.5                         | 63.11                         | 23.18       | 193.3                         | 189.6                         | 289387        | 189605        | 98341          | 184171        | 91264          |
| October   | 203.8                         | 69.18                         | 23.79       | 190.4                         | 185.6                         | 283577        | 202456        | 104335         | 172474        | 98121          |
| November  | 179.4                         | 66.95                         | 22.92       | 157.6                         | 152.5                         | 234834        | 0             | 0              | 229102        | 0              |
| December  | 163.6                         | 73.78                         | 22.75       | 140.1                         | 135.2                         | 209009        | 0             | 0              | 203847        | 0              |
| Year      | 2041.4                        | 778.26                        | 22.93       | 2026.5                        | 1981.6                        | 3038272       | 796972        | 408406         | 2559100       | 388566         |

Pada Tabel 4.10 terdapat variabel hasil simulasi energi *output array*, energi suplai beban, energi dari matahari, energi yang diinjeksikan ke grid, energi dari grid. Variabel tersebut dianalisa untuk menentukan kualitas dan keandalan sistem PLTS yang dirancang.

Energi *output array* merupakan energi listrik yang tersedia hasil keluaran panel surya dengan besarnya total energi konversi hasil simulasi dalam satu tahun sebesar 3.038.272 kWh, sedangkan pada perhitungan manual besar total energi dalam satu tahun adalah sebesar 3.203.970 kWh. Hal ini disebabkan karena energi bangkitan per hari dalam setiap bulan diasumsikan sama yaitu sebesar 8.778 kWh pada perhitungan manual, sedangkan energi bangkitan tiap bulannya pada simulasi Pvsyst berbeda-beda dipengaruhi oleh besar nilai radiasi perbulan yang dimasukkan ke dalam simulasi sistem.

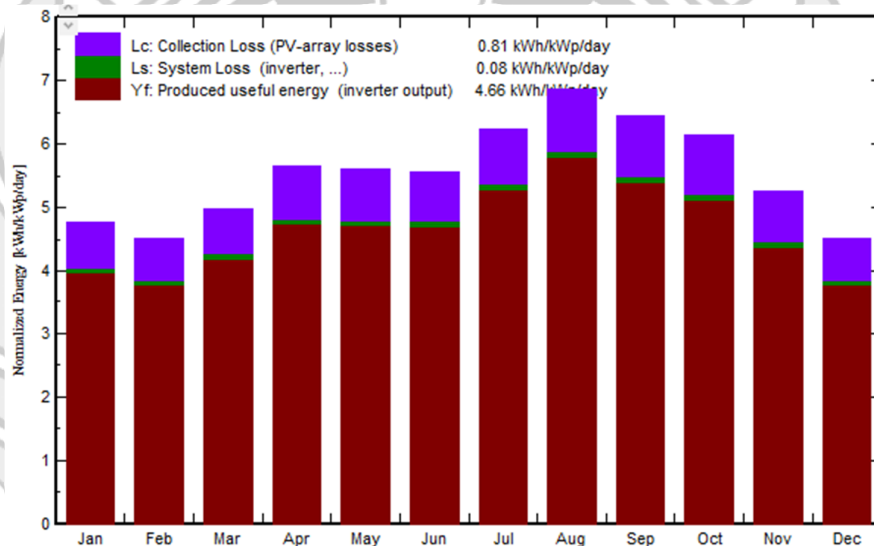
Energi suplai beban merupakan energi siap salur untuk kebutuhan beban. Besarnya energi suplai hasil simulasi untuk kebutuhan beban pompa pada musim kemarau yaitu bulan Juli – Oktober adalah 796.972 kWh. Energi yang didapatkan dari matahari pada bulan Juli – Oktober sebesar 408.406 kWh, sehingga perlu energi listrik dari grid sebesar 388.566 kWh agar energi suplai untuk beban tercukupi. Namun, energi listrik dari PLTS dapat diinjeksikan ke grid dalam 1 tahun sebesar 2.559.100 kWh sehingga hal tersebut menjadi keuntungan untuk PLTS itu sendiri. Sistem PLTS yang disimulasikan menggunakan *software PVSyst* digunakan untuk mengetahui diagram keandalan sistem yang dirancang.

Simulasi dilakukan berdasarkan parameter komponen PLTS. Berdasarkan parameter simulasi tersebut, pada gambar 4.8 merupakan grafik *performance ratio* sebesar 83,4% sebagai berikut:



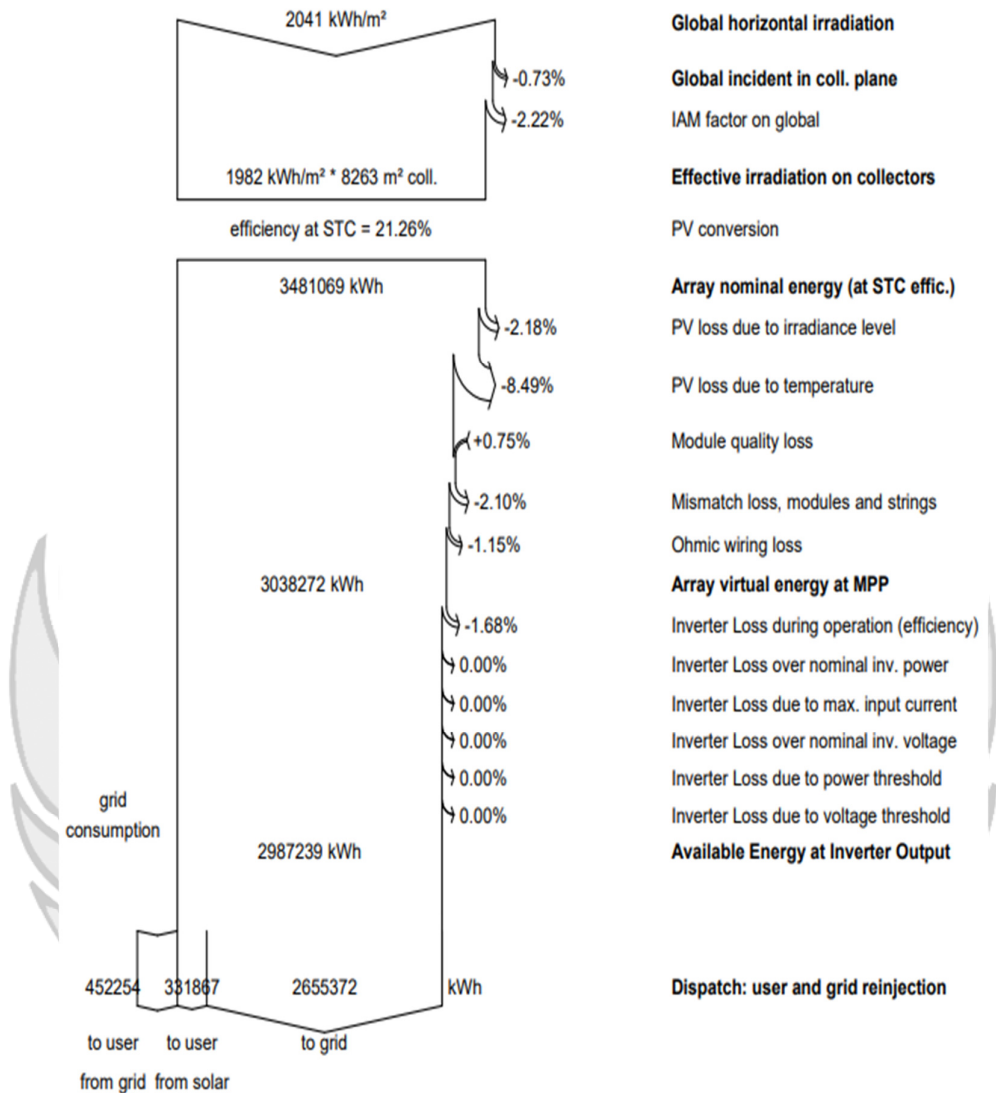
Gambar 4. 7 Grafik *Performance Ratio*

Rasio unjuk kerja merupakan tingkat performa dan kualitas suatu sistem PLTS yang dapat ditinjau dari energi yang dihasilkan dalam setahun. *Performance ratio* yang baik biasanya berkisar antara 70-80%, meskipun angka ini dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti lokasi geografis, kondisi cuaca, ukuran dan kualitas sistem PLTS yang digunakan. Semakin tinggi performa ratio, semakin efisien dan produktif sistem PLTS tersebut.



Gambar 4. 8 Grafik *Normalized Energi*

Dapat dilihat pada gambar 4.9 bahwasanya rugi-rugi yang terdapat pada hasil simulasi ini yaitu *PV array losses* dan *system losses* yang terjadi di *inverter*. *PV array losses* di dapat sebesar 0,81 kWh/kWp/hari dan *system losses* sebesar 0,08 kWh/kWp/hari. Setelah ada rugi-rugi maka energi yang dapat disuplai sebesar 4,66 kWh/kWp/hari. Adapun detail dari rugi-rugi sistem dapat dilihat pada gambar 4.10

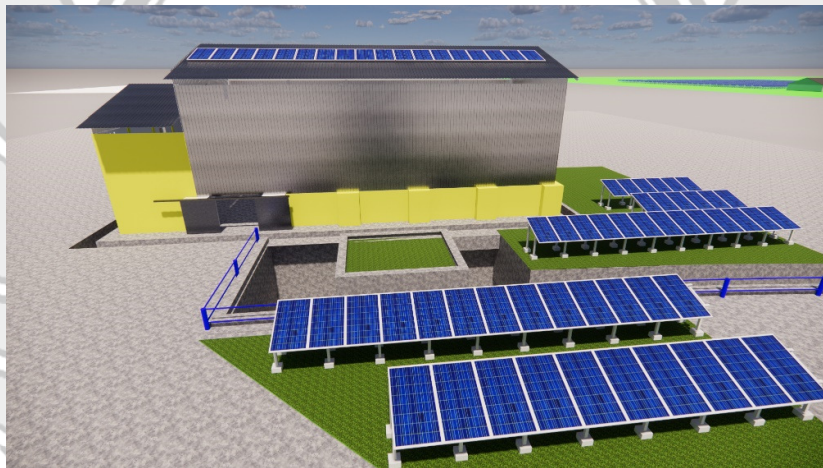


Gambar 4. 9 Losses Diagram PLTS



#### 4.6 Desain PLTS

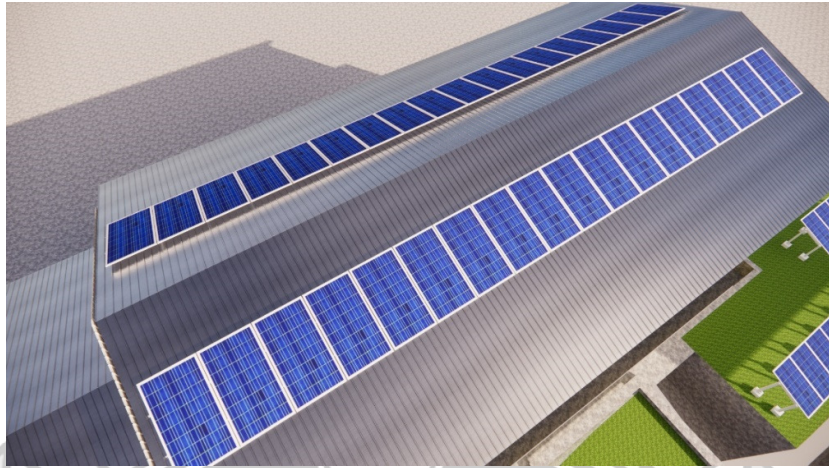
Dari hasil analisis teknis dengan penentuan dan jumlah komponen serta konfigurasinya, maka kita bisa menampilkan *final design*. Pada sub bab ini ditampilkan hasil desain PLTS dalam bentuk 3D. Desain 3D memperlihatkan posisi pemasangan panel secara *on ground* dan juga pemasangan pada atap *power house*, memperlihatkan jumlah panel yang dapat dipasang pada area PLTMH PT. Tombolo Energy beserta peletakan komponen-komponen PLTS di dalam *control room*.



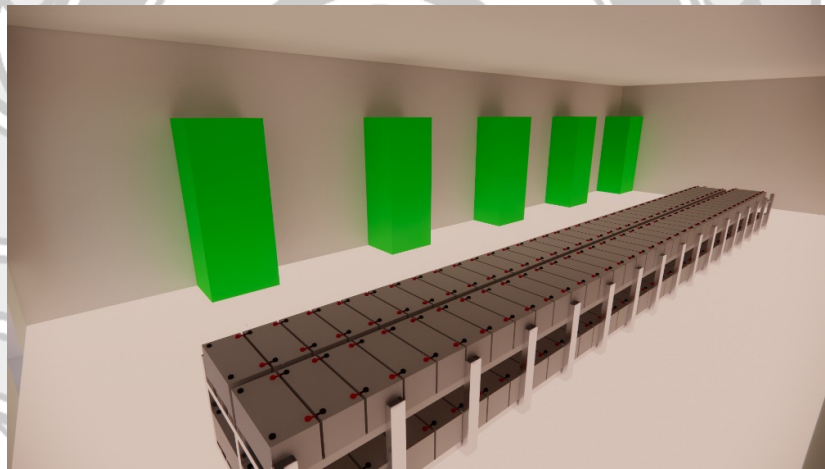
Gambar 4. 10 Desain 3D PLTS *On Ground*

Diketahui pemasangan panel surya *on ground* dilakukan dengan memperhatikan adanya bayangan jatuh dari *power house* seperti yang tertera pada gambar 4.11. Sehingga, pemanfaatan lahan samping *power house* hanya sekitar 185 m<sup>2</sup> dari total lahan kosong pada area PLTMH sebesar 431 m<sup>2</sup>.

Dari gambar 4.12, peletakan panel surya di atap *power house* dilakukan dengan memperhatikan bentuk dan susunan rangka dari atap, maka luasan atap yang dapat dimanfaatkan adalah 111,4 m<sup>2</sup> dari total luas atap 429,4 m<sup>2</sup>.



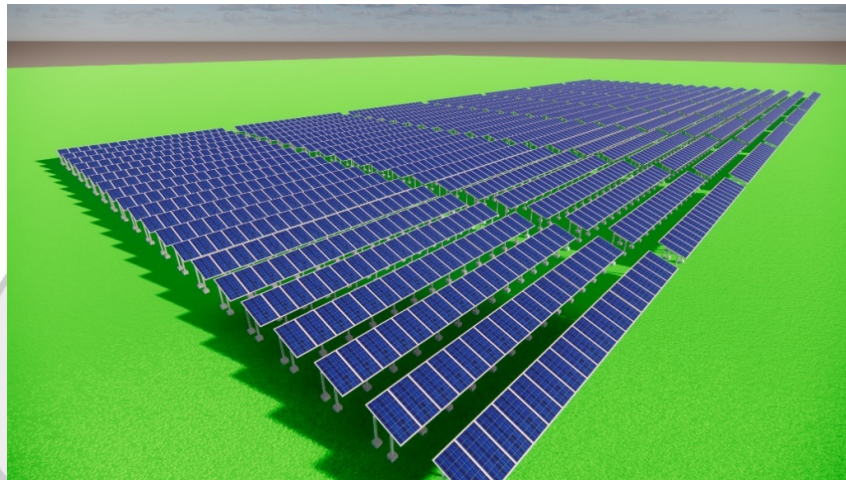
Gambar 4. 11 Desain 3D PLTS Atap



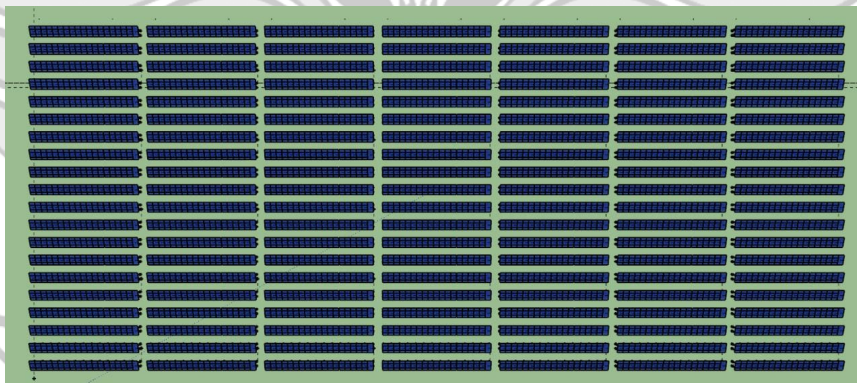
Gambar 4. 12 Peletakan Komponen di dalam *Control Room*

Ketersediaan lahan di PLTMH PT. Tombolo Energy sebesar  $860,4 \text{ m}^2$ , namun pada bagian atap *power house* hanya dapat digunakan  $111,4 \text{ m}^2$  dan pada bagian *on ground* hanya dapat digunakan  $185 \text{ m}^2$ , maka total pemanfaatan lahan di PLTMH PT. Tombolo Energy adalah  $296,4 \text{ m}^2$ . Luas lahan di PLTMH PT. Tombolo Energi tersebut hanya mampu menampung 84 buah panel surya dari jumlah total panel yang telah dirancang yaitu 2660 buah. Sehingga,

dibutuhkan lahan kosong untuk pemasangan panel surya sebesar 8.263 m<sup>2</sup> menurut rekomendasi dari simulasi menggunakan *PVSystem*. Adapun desain dari pemasangan seluruh panel surya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 13 3D Pemasangan Panel Surya pada Lahan Kosong



Gambar 4. 14 2D Pemasangan Panel Surya pada Lahan Kosong

Video dari desain 3D PLTS dapat diakses melalui *link google drive* yang tertera pada lampiran 11.

## 4.7 Analisis Ekonomi

### 4.7.1 Biaya Siklus Hidup

#### 1. Menghitung biaya investasi awal

Informasi tentang alat yang dibutuhkan dan biayanya untuk membangun PLTS sesuai dengan desain yang dibuat diberikan dalam tabel 4.11 biaya investasi awal. Data harga-harga di bawah ini didapatkan dengan mencari langsung pemasok yang menjual barang-barang tersebut di internet.

Tabel 4. 10 Biaya Peralatan dan Pemasangan PLTS

| No.   | Peralatan                        | Jumlah (Unit) | Harga per unit (Rp) | Total Harga (Rp)          |
|-------|----------------------------------|---------------|---------------------|---------------------------|
| 1     | Panel surya 660 Wp               | 2660          | 2.475.620           | 6.585.149.200             |
| 2     | Baterai x 2                      | 155           | 10.421.847          | 3.230.772.570             |
| 3     | Inverter                         | 5             | 107.380.000         | 536.900.000               |
| 4     | Pompa air                        | 1             | 118.078.500         | 118.078.500               |
| 5     | Rangka, tiang penyangga, pondasi | -             | 13.622.247.367      | 13.622.247.367            |
| 6     | Kabel, soket dan aksesoris kabel | -             | 242.130.000         | 213.714.000               |
| 7     | Biaya pemasangan                 | -             | 1 kW= 2.500.000     | 1.755,6 kW= 4.389.000.000 |
| Total |                                  |               |                     | 28.698.361.637            |

Dari tabel 4.11 diatas dapat dilihat biaya yang dibutuhkan untuk PLTS ini adalah Rp 28.698.361.637, yang terdiri dari biaya investasi peralatan. Untuk setiap pemasangan 1 kW, ditentukan biaya pemasangan dan biaya tenaga kerja menurut ET Tedeon di Glodok, Jakarta Pusat, dikenakan biaya sebesar Rp. 2.500.000. Sehingga untuk PLTS dengan daya bangkitan 1.755,6 kW ini, akan dikenakan biaya  $1.755,6 \text{ kW} \times \text{Rp } 2.500.000/\text{kW} = \text{Rp } 4.389.000.000$

## 2. Menghitung Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya pembersihan panel surya, biaya pemeliharaan, dan biaya inspeksi peralatan komponen diperhitungkan dalam biaya pemeliharaan dan operasional PLTS tahunan dengan tarif 1% hingga 2% dari seluruh biaya investasi awal (Kossi, 2018). Mengingat Indonesia hanya memiliki dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau, persentase biaya pemeliharaan dan operasional PLTS per tahun ditetapkan sebesar 1% dari total investasi awal. Sehingga biaya pembersihan dan pemeliharaan panel surya lebih rendah daripada di negara-negara dengan empat musim per tahun. Selain itu, tingkat gaji tenaga kerja di Indonesia yang lebih rendah dari tingkat gaji karyawan di negara-negara industri juga diperhitungkan dalam penghitungan persentase ini.

Adapun biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS dapat dihitung menggunakan persamaan 2.14 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
M &= 1\% \times \text{Total Biaya Investasi} \\
&= 1\% \times \text{Rp } 28.698.361.637 \\
&= \text{Rp } 286.983.616,- \text{ per tahun}
\end{aligned}$$

Biaya pemeliharaan pompa adalah Rp 7.345.833, per tahun.

Sehingga total biaya pemeliharaan adalah Rp 294.329.449/tahun.

Perkiraan umur PLTS adalah 25 tahun. Jaminan (garansi) yang diberikan oleh produsen panel surya digunakan dalam penentuan umur proyek. Besarnya tingkat diskonto ( $i$ ) yang dipergunakan untuk menghitung nilai sekarang pada penelitian ini adalah sebesar 9,11%. Penentuan tingkat diskonto ini mengacu kepada tingkat suku bunga kredit Bank Pemerintah Daerah – Investasi per bulan Juni 2023. Besar nilai sekarang (*present value*) untuk biaya pemeliharaan dan operasional (MPW) PLTS dengan beban pompa selama umur proyek 25 tahun dengan tingkat diskonto 9,11% menggunakan persamaan 2.16 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
M_{pw} &= M \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\
&= \text{Rp } 294.329.449 \left[ \frac{(1+0,0911)^{25} - 1}{0,0911(1+0,0911)^{25}} \right] \\
&= \text{Rp } 2.865.495.628
\end{aligned}$$

Biaya siklus hidup (LCC) untuk PLTS ini selama umur proyek 25 tahun dihitung menggunakan persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
LCC &= C + M_{pw} \\
&= \text{Rp } 28.698.361.637 + \text{Rp } 2.865.495.628 \\
&= \text{Rp } 31.563.857.266
\end{aligned}$$

#### 4.7.2 Biaya Energi

Menentukan faktor pemulihan modal untuk mengubah semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi daftar biaya tahunan menggunakan persamaan 2.18 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} CRF &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\ &= \frac{0,0911(1+0,0911)^{25}}{(1+0,0911)^{25} - 1} \\ &= 0,103 \end{aligned}$$

Estimasi kebutuhan energi listrik untuk pompa sebesar 8.778 kWh per hari, sehingga konsumsi energi PLTS tahunan dengan beban pompa untuk PT. Tombolo Energy adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A \text{ kWh} &= \text{kWh harian} \times 365 \\ &= 8.778 \text{ kWh} \times 365 \\ &= 3.203.970 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Namun, berdasarkan Simulasi *PVSyst* energi listrik dari PLTS yang dapat diinjeksikan ke *grid* dalam 1 tahun sebesar 2.559.100 kWh. Sehingga, besar biaya energi (COE) untuk PLTS dengan beban pompa dihitung menggunakan persamaan 2.19 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} COE &= \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \\ &= \frac{Rp 31.495.238.361 \times 0,103}{2.559.100 \text{ kWh}} \\ &= Rp 1.266,88/\text{kWh} \end{aligned}$$

#### 4.7.3 Kas Masuk

Analisa perhitungan kas masuk dilakukan berdasarkan ketentuan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 112 Tahun 2022 tentang percepatan pengembangan energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik. Disebutkan bahwa harga pembelian tenaga listrik dari PLTS Fotovoltaik (belum termasuk fasilitas baterai atau fasilitas penyimpanan energi listrik lainnya) pada wilayah Sulawesi, ditetapkan sebagai berikut:

\* Kapasitas s.d. 1 MW, harga patokan tertinggi (cent USD/kWh) adalah  $11,47 \times F$

\* Besaran angka faktor lokasi (F) untuk wilayah Sulawesi adalah 1,10 dan untuk wilayah pulau kecil pada Sulawesi adalah sebesar 1,15.

Kapasitas PLTS dengan beban pompa pada PT Tombolo Energy adalah 315 kW sehingga harga jual listrik PLTS adalah sebagai berikut:

- Harga jual =  $(11,47 \times F)$   
 $= (11,47 \times 1,10)$   
 $= 12,617 \text{ cent USD/kWh}$   
 $= 0,12617 \text{ USD/kWh} \approx \text{Rp } 1.920,94/\text{kWh}$

Total daya yang dihasilkan setahun sesuai simulasi *PVSyst* adalah 2.559.100 kWh, maka pendapatan yang dihasilkan setahun dari PLTS adalah:

$$\text{Rp } 1.920,94/\text{kWh} \times 2.559.100 \text{ kWh} = \text{Rp } 4.915.877.554,- \text{ per tahun}$$



#### 4.7.4 Kelayakan Investasi

Kelayakan investasi PLTS dengan beban pompa yang akan dikembangkan di PLTMH PT. Tombolo Energy ditentukan berdasarkan hasil perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Internal Rate of Return* (IRR). Perhitungan NPV, PI 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 (NCF) dihasilkan dengan mengurangi arus kas masuk dengan arus kas keluar. Sedangkan untuk nilai sekarang arus kas bersih (PVNCF) dihasilkan dengan mengalikan arus kas bersih dengan tingkat diskonto, dan kemudian menjumlahkan PVNCF tahun 1 dengan tahun 2, tahun 2 dan tahun 3, sampai dengan n tahun (selama umur proyek). Adapun tabel hasil perhitungan arus kas bersih, faktor diskonto dengan tingkat diskonto (i) sebesar 9,11% dan (i) sebesar 10% dapat dilihat pada lampiran 10.

Pada lampiran 10 memberikan tabel hasil perhitungan menunjukkan hasil arus kas bersih, faktor diskonto dengan tingkat diskonto (i) sebesar 9,11% dan nilai sekarang arus kas bersih. Arus kas masuk tahunan PLTS dengan beban pompa yang akan dikembangkan di PLTMH PT. Tombolo Energy dihasilkan dengan mengalikan kWh produksi tahunan PLTS dengan biaya energi. Dengan kWh produksi tahunan PLTS yang dapat diinjeksikan ke *grid* sebesar 2.559.100 kWh dan harga jual sebesar Rp 1.920,94/kWh maka besar arus kas masuk

tahunan adalah Rp 4.915.877.554. Untuk arus kas keluar tahunan PLTS diperhitungkan sebesar Rp 294.329.449 yang ditentukan berdasarkan biaya pemeliharaan dan operasional tahunan PLTS dan pompa.

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

Perhitungan *Net Present Value* (NPV) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.20 sebagai berikut:

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

- Perhitungan NPV dengan  $i = 9,11\%$

Perhitungan detail mengenai NCF setiap faktor diskonto dapat dilihat pada lampiran 10. Perhitungan NCF dan PVNCF dengan  $i = 9,11\%$  menunjukkan bahwa total nilai sekarang arus kas bersih yang merupakan hasil perkalian antara arus kas bersih dengan faktor diskonto adalah sebesar Rp 44.987.154.182.

Sehingga dengan biaya investasi awal (*Initial Investment*) sebesar Rp 28.698.361.637 maka besar nilai NPV adalah :

$$\begin{aligned} NPV &= \text{Rp } 44.987.154.182 - 28.698.361.637 \\ &= \text{Rp } 16.288.792.546 \text{ (positif)} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan NPV yang bernilai positif (Rp 16.288.792.546 > 0), menunjukkan bahwa investasi PLTS dengan beban pompa yang akan dikembangkan di PLTMH PT. Tombolo Energy layak untuk dilaksanakan.

- Perhitungan NPV dengan  $i = 10\%$

Perhitungan detail mengenai NCF setiap faktor diskonto dapat dilihat pada lampiran 10, Tabel Perhitungan NCF dan PVNCF dengan  $i = 10\%$  menunjukkan bahwa total nilai sekarang arus kas bersih yang merupakan hasil perkalian antara arus kas bersih dengan faktor diskonto adalah sebesar Rp 41.949.977.092.

Sehingga dengan biaya investasi awal (*Initial Investment*) sebesar Rp 28.698.361.637 maka besar nilai NPV adalah :

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{Rp } 41.949.977.092 - \text{Rp } 28.698.361.637 \\ &= \text{Rp } 13.251.615.455 \text{ (positif)} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan NPV yang bernilai positif (Rp 13.251.651.455 > 0), menunjukkan bahwa investasi PLTS dengan beban pompa yang akan dikembangkan di PLTMH PT. Tombolo Energy layak untuk dilaksanakan.

## 2. Profitability Index (PI)

Teknik *Profitability Index* diperhitungkan dengan persamaan (2.21) sebagai berikut :

$$\text{PI} = \sum_{t=1}^n \frac{\text{NCF}(1-i)^{-t}}{c}$$

Dengan total nilai sekarang arus kas bersih dengan faktor diskonto 9,11% adalah sebesar Rp 44.987.154.182 dan biaya investasi awal (*Initial Investment*) sebesar Rp 28.698.361.637 maka besar nilai PI adalah :

$$\text{PI} = \frac{\text{Rp } 44.987.154.182}{\text{Rp } 28.698.361.637} = 1,57$$

Hasil perhitungan PI yang bernilai ( $1,57 > 1$ ), menunjukkan bahwa investasi PLTS dengan beban pompa yang akan dikembangkan di PLTMH PT. Tombolo Energy layak untuk dilaksanakan.

### 3. *Internal Rate of Return (IRR)*

Persamaan 2.22 adalah rumus yang digunakan untuk menghitung *Internal Rate of Return (IRR)*:

$$\begin{aligned} IRR &= i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (i_2 - i_1) \\ &= 9,11\% + \frac{Rp\ 16.288.792.546}{Rp\ 16.288.792.546 - Rp\ 13.251.651.455} \times (10\% - 9,11\%) \\ &= 14\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan IRR yang bernilai ( $14\% > 9,11\%$ ), menunjukkan bahwa investasi PLTS dengan beban pompa yang akan dikembangkan di PLTMH PT. Tombolo Energy layak untuk dilaksanakan.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

1. Perencanaan sistem PLTS untuk PLTMH PT. Tombolo Energy dengan beban pompa sebesar 315 kW dan bekerja selama 24 jam, dirancang dengan sistem *on grid* dan *battery banks* sebagai cadangan. Sistem ini membutuhkan panel surya 660 Wp sebanyak 2660 buah, baterai berjumlah 155 buah 5 buah *inverter* 350 kW. Hasil simulasi dari proyek ini menunjukkan *performance ratio* dari sistem sebesar 83,4% sehingga dinyatakan efisien karena *performance ratio* yang baik berkisar antara 70%-80%.
2. Desain dari sistem PLTS dengan beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy, dibuat dalam *drawing* 2D yang menampilkan gambar teknik dari desain rangka panel *onground* dan rangka PLTS atap serta material yang digunakan. Gambar desain akhir dalam bentuk 3D menampilkan pemasangan komponen PLTS pada PLTMH PT. Tombolo Energy yang menggunakan Maysun Solar panel surya 660 Wp, baterai Lithium-ion GTK 100 Ah, dan *Inverter sun grow* 350 kW dengan total luas kebutuhan lahan untuk pemasangan panel surya sebesar 8.263 m<sup>2</sup>.
3. Besar biaya investasi awal yang meliputi harga komponen dari sistem PLTS beban pompa untuk PLTMH PT. Tombolo Energy ini adalah Rp 28.698.361.637 dan dinilai layak karena nilai IRR yang didapatkan lebih besar (> 9,11%) dari suku bunga yaitu 14%, NPV dengan suku bunga 9,11%

bernilai positif yaitu Rp 16.288.792.546. Nilai PI yang didapatkan lebih besar ( $> 1$ ) yaitu 1,57.

## 5.2 Saran

1. Pompa beroperasi hanya pada bulan Juli – Oktober, sehingga energi listrik dari PLTS diluar dari 4 bulan pemakaian pompa, dapat dijual ke PLN agar memberikan keuntungan yang lebih besar.



## DAFTAR PUSTAKA

- Asriandi, Oge Masdar. 2018. Desain Sistem PLTS Untuk Pompa Air Menara Iqra Kampus UNISMUH Makassar. Skripsi. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Bagher, Askari Mohammad et al. 2015. Types Of Solar Cells And Application. *American Journal Of OPT.ics And Photonics*, (Online), (<https://www.sciencepublishinggroup.com>), diakses 30 Desember 2022.
- Dahlan, Masbin. 2019. Pembuatan Kaca Induktif dari Tin (II) Chloride dengan metode Sprai untuk Aplikasi Dye Sensitized Solar Cell. Tesis. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Diantari, Retno Aita. 2017. Studi Penyimpanan Energi pada Baterai PLTS. *Jurnal Ilmiah Energi & Kelistrikan Vol. 9 No. 2 Sekolah Tinggi Teknik PLN*. (Online), (<https://jurnal.itpln.ac.id/energi/article/view/48/26>), diakses 7 Februari 2023.
- Hariyanti, Rinna dkk. 2019. Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT-PLN. *Jurnal Ilmiah: Energi dan Kelistrikan Sekolah Tinggi Teknik PLN*, (Online), (<https://doi.org/10.33322/energi.v11i1.394>), diakses 23 Januari 2023.
- Kusuma, Kadek Bayu dkk. 2020. Perancangan Sistem Pompa Air DC dengan PLTS 20 kWp Tiyar Tengah Sebagai Suplai Daya Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Masyarakat Banjar Bukit Lambuh. *Jurnal SPEKTRUM Vol. 7, No.2 Universitas Udayana*, (Online), (<https://untad.ac.id>), diakses 3 Januari 2023.
- Kossi, Vember Restu. 2018. Perencanaan PLTS Terpusat (OFF-GRID) di dusun Tikalong Kabupaten Menpawah. Skripsi. Pontianak: Universitas Tanjungpura.
- Muarif, Andi Pangeran dkk. 2022. Rancang Bangun PLTS Untuk Instalasi Pompa Air di Pesantren Hidayatullah Tompobulu Kab.Maros. Tugas Akhir. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Naim, Muhammad. 2020. Rancang Sistem Kelistrikan PLTS Off Grid 1000 Watt Di Desa Loeha Kecamatan Towuti. *Jurnal Vertex Elektro Vol. 12, No.1 UNISMUH*, (Online), (<https://doi.org/10.26618/jte.v12i1.4013>), diakses 30 Desember 2022.
- Purwoto, Bambang Hari dkk. 2018. Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif. Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

- Rachmi, Asclepias dkk. 2020. *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia*. Sumatera Utara
- Ramadhani, ing. Bagus. 2018. *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*. Jakarta: GIZ
- Retto, Abraham Laurens dan Richard S Waremra. 2019. Pompa Air Bertenaga Energi Matahari (Solar Cell) Untuk Pengairan Sawah. *Journal Of Science Education Musamus University*. (Online) (<http://ejournal.unmus.ac.id/index.php/science>), diakses 30 Desember 2022.
- Samosir, Christian Parulian. 2016. Rancang Bangun Sistem Pengisian Daya Pada Aki Menggunakan Solar Cell Sebagai Sumber Energi PLC di Lab Mekatronika Polstri. Skripsi. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Santosa, Ari Wibawa Budi dan Imam Pujo Mulyanto. 2014. Pemanfaatan Tenaga Angin Dan Surya Sebagai Alat Pembangkit Listrik Pada Bagan Perahu. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan Universitas Diponegoro*. (Online) (<https://doi.org/10.14710/kpl.v11i3.7670>), diakses 1 Januari 2023.
- Sibarani, Angryani Novidawati. 2020. Studi Analisis Perubahan Putaran Motor Induksi Satu Fasa Akibat Output PLTS Aplikasi Kipas Angin. Skripsi. Medan: Universitas HKBP Nommensen.
- Siregar, Julfadli Syaputra dkk. 2022. Analisa Kualitas Daya Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Off Grid pada Gedung Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning. *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri Universitas Lancang Kuning*. (Online) (<https://doi.org/10.31849/sainetin.v6i2.9624>), diakses 1 Januari 2023.
- Syafriadi. 2017. Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Terhadap Konsep Pembagian Wilayah Waktu Dan Letak Geografis Indonesia Dengan Menggunakan Media Bergambar. *Jurnal Ilmu Pendidikan Sosial, Sains, dan Humaniora Vol. 3, No.3 UIN Suska*. (Online) (<http://dx.doi.org/10.24014/suara%20guru.v3i3.4088>), diakses 30 Desember 2022.
- Widayana, Gede. 2012. Pemanfaatan Energi Surya. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin, FTK, UNDIKSHA Vol. 9, No. 1 Universitas Pendidikan Ganesha*. (Online) (<https://doi.org/10.23887/jpt.k-undiksha.v9i1.2876>), diakses 30 Desember 2022.
- Wiriastika, I Putu Dedi dkk. 2022. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Tempat Olah Sampah Setempat Werdi Guna Desa Gunaksa Kabupaten Klungkung. *Jurnal Spektrum Vol. 9, No.1 Universitas Udayana*. (Online) (<https://unud.ac.id>), diakses 2 Februari 2023.





**LAMPIRAN**

Lampiran 1 Tabel Pengukuran Langsung Radiasi Matahari di PLTMH PT. Tombolo Energy

| Jam                       | Titik 1<br>W/m <sup>2</sup> | Titik 2<br>W/m <sup>2</sup> | Titik 3<br>W/m <sup>2</sup> |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 10:30                     | 384,0                       | 393,5                       | 351,6                       |
| 10:40                     | 402,8                       | 306,9                       | 361,0                       |
| 10:50                     | 201,0                       | 150,1                       | 160,1                       |
| 11:00                     | 210,0                       | 208,4                       | 215,2                       |
| 11:10                     | 226,3                       | 237,6                       | 312,4                       |
| 11:20                     | 505,8                       | 514,0                       | 471,7                       |
| 11:30                     | 536,7                       | 505,5                       | 364,2                       |
| 11:40                     | 501,5                       | 644,6                       | 380,5                       |
| 11:50                     | 333,3                       | 225,9                       | 211,4                       |
| 12:00                     | 265,6                       | 232,3                       | 470,6                       |
| 12:10                     | 864,1                       | 680,4                       | 650,7                       |
| 12:20                     | 541,4                       | 580,6                       | 333,0                       |
| 12:30                     | 301,9                       | 216,9                       | 180,1                       |
| 12:40                     | 190,7                       | 175,6                       | 220,1                       |
| 12:50                     | 250,9                       | 264,9                       | 365,4                       |
| 13:00                     | 329,6                       | 337,5                       | 367,0                       |
| Rata-rata                 | 377,9                       | 354,7                       | 338,4                       |
| <b>Rata-rata gabungan</b> |                             |                             | <b>357,0</b>                |

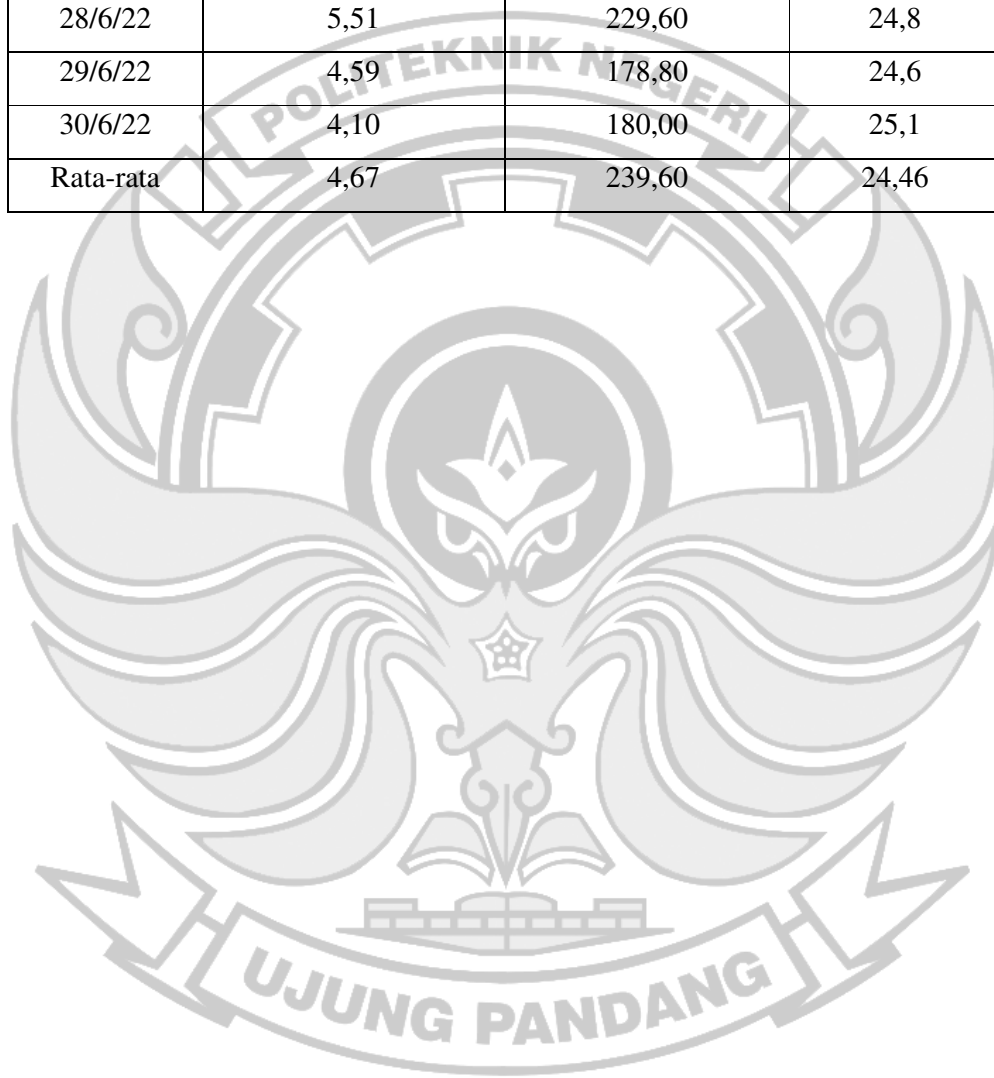
Lampiran 2 Gambar Teknik



Lampiran 3 Tabel Data Radiasi matahari NASA bulan Juni 2022 – Mei 2023  
(RetScreen)

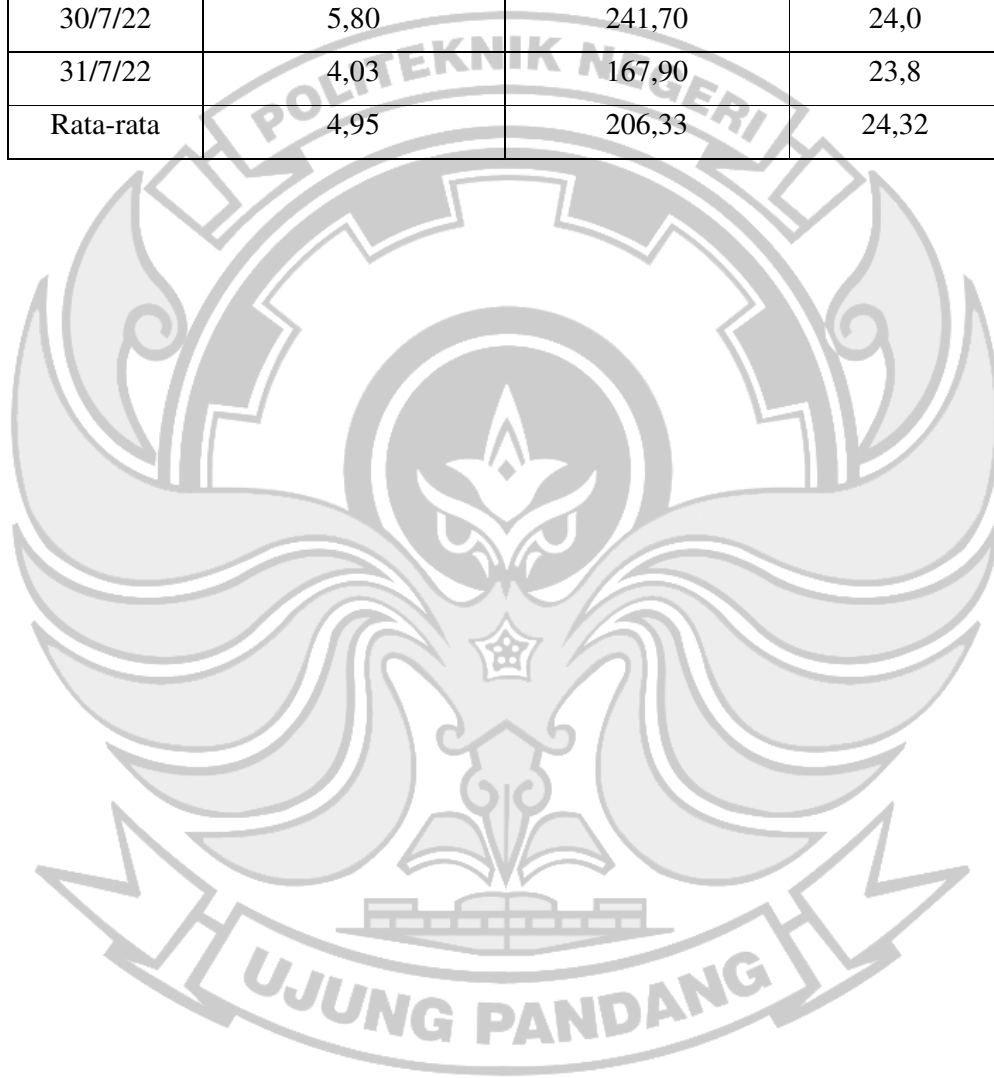
| Bulan<br>Juni<br>(2022) | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|-------------------------|---|---|----------------------------|
| 1/6/22                  | 5,75  | 239,60  | 25,5                       |
| 2/6/22                  | 6,04  | 251,70  | 24,9                       |
| 3/6/22                  | 4,82  | 200,80  | 25,2                       |
| 4/6/22                  | 3,93  | 163,80  | 24,6                       |
| 5/6/22                  | 5,13  | 213,80  | 24,9                       |
| 6/6/22                  | 5,39  | 224,60  | 25,2                       |
| 7/6/22                  | 4,08  | 170,00  | 24,4                       |
| 8/6/22                  | 5,82  | 242,50  | 24,6                       |
| 9/6/22                  | 4,66  | 194,20  | 24,7                       |
| 10/6/22                 | 5,27  | 219,60  | 24,7                       |
| 11/6/22                 | 5,26  | 219,20  | 24,3                       |
| 12/6/22                 | 4,53  | 188,80  | 24,6                       |
| 13/6/22                 | 3,16  | 131,70  | 24,1                       |
| 14/6/22                 | 4,85  | 202,10  | 24,4                       |
| 15/6/22                 | 3,18  | 132,50  | 23,5                       |
| 16/6/22                 | 4,94  | 205,80  | 23,9                       |
| 17/6/22                 | 4,89  | 203,80  | 24,1                       |
| 18/6/22                 | 2,05  | 85,40   | 23,8                       |
| 19/6/22                 | 4,32  | 180,00  | 24,1                       |
| 20/6/22                 | 5,64  | 235,00  | 24                         |
| 21/6/22                 | 5,04  | 210,00  | 23,7                       |
| 22/6/22                 | 4,52  | 188,30  | 24,1                       |
| 23/6/22                 | 4,05  | 168,80  | 24,6                       |
| 24/6/22                 | 3,75  | 156,30  | 23,7                       |
| 25/6/22                 | 5,15  | 214,60  | 24,3                       |

| Bulan          | <i>RetScreen</i>                  | Konversi Radiasi                      | Temperatur   |
|----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| Juni<br>(2022) | NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | <i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | NASA<br>(°C) |
| 26/6/22        | 5,21                              | 217,10                                | 25,1         |
| 27/6/22        | 4,59                              | 191,30                                | 24,4         |
| 28/6/22        | 5,51                              | 229,60                                | 24,8         |
| 29/6/22        | 4,59                              | 178,80                                | 24,6         |
| 30/6/22        | 4,10                              | 180,00                                | 25,1         |
| Rata-rata      | 4,67                              | 239,60                                | 24,46        |



| Bulan<br>Juli<br>(2022) | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|-------------------------|---|---|----------------------------|
| 1/7/22                  | 4,26  | 177,50  | 24,9                       |
| 2/7/22                  | 5,82  | 242,50  | 24,8                       |
| 3/7/22                  | 3,70  | 154,20  | 24,6                       |
| 4/7/22                  | 5,37  | 223,80  | 25,0                       |
| 5/7/22                  | 5,62  | 234,20  | 25,2                       |
| 6/7/22                  | 5,33  | 222,10  | 24,3                       |
| 7/7/22                  | 5,17  | 215,40  | 24,2                       |
| 8/7/22                  | 3,42  | 142,50  | 24,3                       |
| 9/7/22                  | 3,46  | 144,20  | 23,8                       |
| 10/7/22                 | 4,08  | 170,00  | 24,4                       |
| 11/7/22                 | 5,20  | 216,70  | 24,1                       |
| 12/7/22                 | 5,14  | 214,20  | 24,4                       |
| 13/7/22                 | 4,78  | 199,20  | 24,4                       |
| 14/7/22                 | 3,55  | 147,90  | 24,2                       |
| 15/7/22                 | 4,90  | 204,20  | 23,9                       |
| 16/7/22                 | 5,11  | 212,90  | 24,5                       |
| 17/7/22                 | 5,64  | 235,00  | 24,1                       |
| 18/7/22                 | 4,63  | 192,90  | 24,0                       |
| 19/7/22                 | 4,52  | 188,30  | 23,8                       |
| 20/7/22                 | 4,90  | 204,20  | 24,4                       |
| 21/7/22                 | 3,81  | 158,80  | 25,0                       |
| 22/7/22                 | 5,29  | 220,40  | 25,0                       |
| 23/7/22                 | 5,93  | 247,10  | 24,3                       |
| 24/7/22                 | 6,09  | 253,80  | 23,6                       |
| 25/7/22                 | 6,03  | 251,30  | 23,8                       |
| 26/7/22                 | 4,04  | 168,30  | 24,8                       |
| 27/7/22                 | 5,74  | 239,20  | 24,5                       |

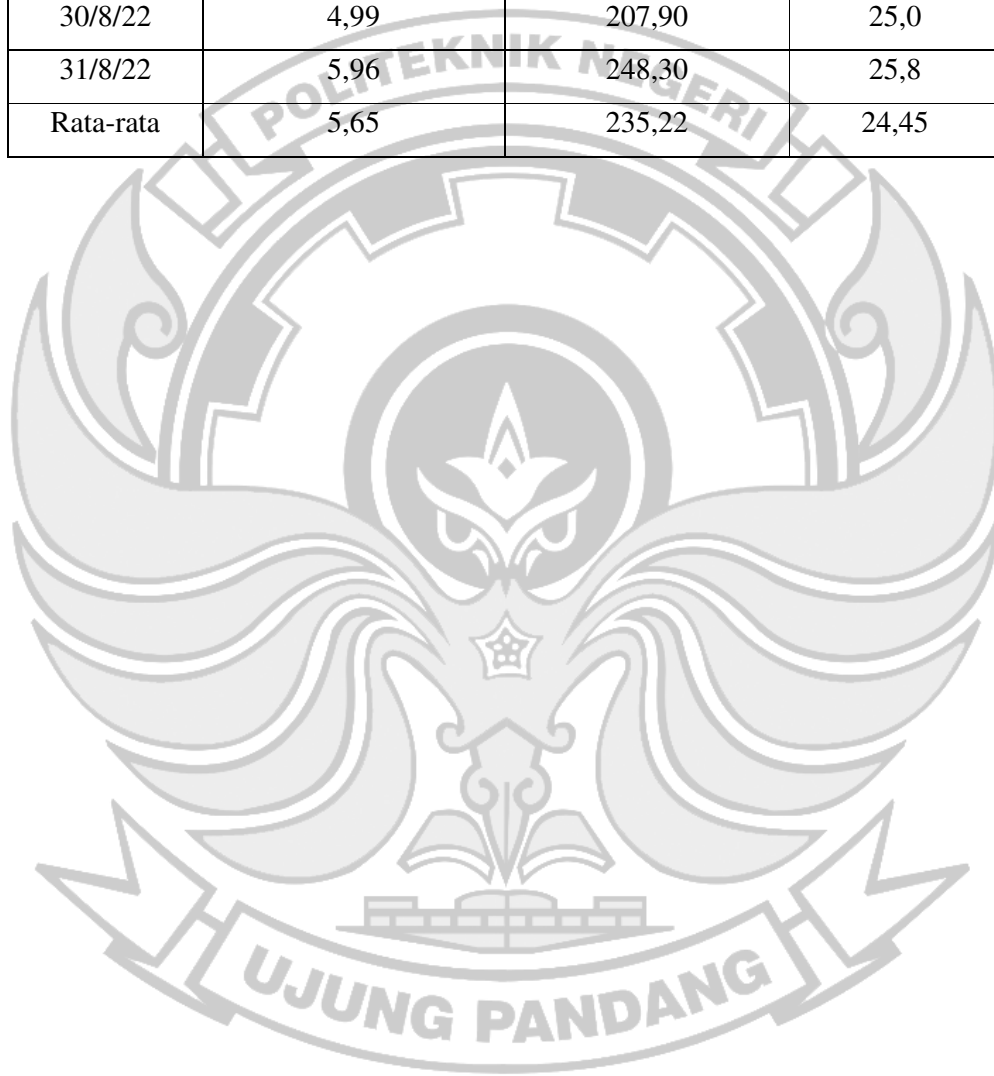
| Bulan          | <i>RetScreen</i>                  | Konversi Radiasi                      | Temperatur   |
|----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| Juli<br>(2022) | NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | <i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | NASA<br>(°C) |
| 28/7/22        | 6,12                              | 255,00                                | 24,0         |
| 29/7/22        | 6,02                              | 250,80                                | 23,8         |
| 30/7/22        | 5,80                              | 241,70                                | 24,0         |
| 31/7/22        | 4,03                              | 167,90                                | 23,8         |
| Rata-rata      | 4,95                              | 206,33                                | 24,32        |



| Bulan             | <i>RetScreen</i>                  | Konversi Radiasi                      | Temperatur   |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| Agustus<br>(2022) | NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | <i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | NASA<br>(°C) |
| 1/8/22            | 5,06                              | 210,80                                | 24,6         |
| 2/8/22            | 4,58                              | 190,80                                | 24,5         |
| 3/8/22            | 6,29                              | 262,10                                | 24,6         |
| 4/8/22            | 6,28                              | 261,70                                | 24,4         |
| 5/8/22            | 6,50                              | 270,80                                | 24,1         |
| 6/8/22            | 5,62                              | 234,20                                | 23,8         |
| 7/8/22            | 4,92                              | 205,00                                | 24,3         |
| 8/8/22            | 4,91                              | 204,60                                | 24,5         |
| 9/8/22            | 5,30                              | 220,80                                | 24,0         |
| 10/8/22           | 5,16                              | 215,00                                | 24,4         |
| 11/8/22           | 4,38                              | 182,50                                | 25,0         |
| 12/8/22           | 4,57                              | 190,40                                | 25,1         |
| 13/8/22           | 4,68                              | 195,00                                | 24,5         |
| 14/8/22           | 6,06                              | 252,50                                | 24,2         |
| 15/8/22           | 6,44                              | 268,30                                | 24,3         |
| 16/8/22           | 6,46                              | 269,20                                | 23,6         |
| 17/8/22           | 5,77                              | 240,40                                | 24,1         |
| 18/8/22           | 5,59                              | 232,90                                | 24,7         |
| 19/8/22           | 6,33                              | 263,80                                | 24,7         |
| 20/8/22           | 6,68                              | 278,30                                | 23,9         |
| 21/8/22           | 6,07                              | 252,90                                | 24,1         |
| 22/8/22           | 6,27                              | 261,30                                | 24,3         |
| 23/8/22           | 6,58                              | 274,20                                | 24,0         |
| 24/8/22           | 4,84                              | 201,70                                | 23,9         |
| 25/8/22           | 4,39                              | 182,90                                | 24,2         |
| 26/8/22           | 6,31                              | 262,90                                | 24,5         |
| 27/8/22           | 5,26                              | 219,20                                | 24,6         |



| Bulan             | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|-------------------|---|---|----------------------------|
| Agustus<br>(2022) |   |   |                            |
| 28/8/22           | 6,66  | 277,50  | 24,8                       |
| 29/8/22           | 6,09  | 253,80  | 25,4                       |
| 30/8/22           | 4,99  | 207,90  | 25,0                       |
| 31/8/22           | 5,96  | 248,30  | 25,8                       |
| Rata-rata         | 5,65  | 235,22  | 24,45                      |



| Bulan<br>September<br>(2022) | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|------------------------------|---|---|----------------------------|
| 1/9/22                       | 6,71  | 279,60  | 25,1                       |
| 2/9/22                       | 5,84  | 243,30  | 25,3                       |
| 3/9/22                       | 4,82  | 200,80  | 25,6                       |
| 4/9/22                       | 5,93  | 247,10  | 24,9                       |
| 5/9/22                       | 5,79  | 241,30  | 25,4                       |
| 6/9/22                       | 5,78  | 240,80  | 24,8                       |
| 7/9/22                       | 4,39  | 182,90  | 24,9                       |
| 8/9/22                       | 5,71  | 237,90  | 25,4                       |
| 9/9/22                       | 6,06  | 252,20  | 25,5                       |
| 10/9/22                      | 6,74  | 280,80  | 25,7                       |
| 11/9/22                      | 6,86  | 285,80  | 25,1                       |
| 12/9/22                      | 6,98  | 298,00  | 25,4                       |
| 13/9/22                      | 6,47  | 269,60  | 25,4                       |
| 14/9/22                      | 6,32  | 263,30  | 24,2                       |
| 15/9/22                      | 4,56  | 190,00  | 24,4                       |
| 16/9/22                      | 6,27  | 261,30  | 25,6                       |
| 17/9/22                      | 5,58  | 232,50  | 25,3                       |
| 18/9/22                      | 6,14  | 255,80  | 25,6                       |
| 19/9/22                      | 5,46  | 227,50  | 24,9                       |
| 20/9/22                      | 3,76  | 156,70  | 25,4                       |
| 21/9/22                      | 6,10  | 254,20  | 25,5                       |
| 22/9/22                      | 3,57  | 148,80  | 24,9                       |
| 23/9/22                      | 6,74  | 280,80  | 25,6                       |
| 24/9/22                      | 7,04  | 293,30  | 25,7                       |
| 25/9/22                      | 6,67  | 277,90  | 25,8                       |
| 26/9/22                      | 5,56  | 231,70  | 26,1                       |
| 27/9/22                      | 6,96  | 290,00  | 26,0                       |

| Bulan<br>September<br>(2022) | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|------------------------------|---|---|----------------------------|
| 28/9/22                      | 6,16  | 256,70  | 26,1                       |
| 29/9/22                      | 5,53  | 230,40  | 26,2                       |
| 30/9/22                      | 5,08  | 211,70  | 26,8                       |
| Rata-rata                    | 5,85  | 244,09  | 25,42                      |



| Bulan<br>Oktober<br>(2022) | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|----------------------------|---|---|----------------------------|
| 1/10/22                    | 6,32  | 263,30  | 26,6                       |
| 2/10/22                    | 6,03  | 251,30  | 25,7                       |
| 3/10/22                    | 5,37  | 223,80  | 25,3                       |
| 4/10/22                    | 6,28  | 261,70  | 26,2                       |
| 5/10/22                    | 4,96  | 206,70  | 25,2                       |
| 6/10/22                    | 3,89  | 162,10  | 25,9                       |
| 7/10/22                    | 6,46  | 269,20  | 25,8                       |
| 8/10/22                    | 6,08  | 253,30  | 25,8                       |
| 9/10/22                    | 5,56  | 231,70  | 25,0                       |
| 10/10/22                   | 5,75  | 239,60  | 26,6                       |
| 11/10/22                   | 4,89  | 203,80  | 25,9                       |
| 12/10/22                   | 4,98  | 207,50  | 25,8                       |
| 13/10/22                   | 5,33  | 222,10  | 26,4                       |
| 14/10/22                   | 5,04  | 210,00  | 25,9                       |
| 15/10/22                   | 6,14  | 255,80  | 25,9                       |
| 16/10/22                   | 4,07  | 169,60  | 24,8                       |
| 17/10/22                   | 4,43  | 184,60  | 25,3                       |
| 18/10/22                   | 4,42  | 184,20  | 24,8                       |
| 19/10/22                   | 4,94  | 205,80  | 25,9                       |
| 20/10/22                   | 6,01  | 250,40  | 26,3                       |
| 21/10/22                   | 5,34  | 222,50  | 26,3                       |
| 22/10/22                   | 5,93  | 247,10  | 27,3                       |
| 23/10/22                   | 6,43  | 267,90  | 27,2                       |
| 24/10/22                   | 6,03  | 251,30  | 26,8                       |
| 25/10/22                   | 6,00  | 250,00  | 27,0                       |
| 26/10/22                   | 5,09  | 212,10  | 26,6                       |
| 27/10/22                   | 3,60  | 150,00  | 25,1                       |

| Bulan             | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|-------------------|---|---|----------------------------|
| Oktober<br>(2022) |   |   |                            |
| 28/10/22          | 3,62  | 150,80  | 25,6                       |
| 29/10/22          | 5,43  | 226,20  | 26,2                       |
| 30/10/22          | 5,86  | 244,20  | 25,6                       |
| 31/10/22          | 5,48  | 228,30  | 25,2                       |
| Rata-rata         | 5,35  | 222,80  | 25,94                      |



| Bulan    | <i>RetScreen</i>          | Konversi Radiasi    | Temperatur |
|----------|---------------------------|---------------------|------------|
| November | NASA                      | <i>Pv Syst</i>      | NASA       |
| (2022)   | (kWh/m <sup>2</sup> /day) | (W/m <sup>2</sup> ) | (°C)       |
| 1/11/22  | 5,52                      | 230,00              | 26,8       |
| 2/11/22  | 5,32                      | 221,70              | 25,9       |
| 3/11/22  | 6,40                      | 266,70              | 26,1       |
| 4/11/22  | 5,27                      | 219,60              | 26,2       |
| 5/11/22  | 4,78                      | 199,20              | 25,5       |
| 6/11/22  | 5,96                      | 248,30              | 25,9       |
| 7/11/22  | 3,18                      | 132,50              | 25,3       |
| 8/11/22  | 4,37                      | 182,10              | 25,5       |
| 9/11/22  | 4,20                      | 175,00              | 26,1       |
| 10/11/22 | 5,71                      | 237,90              | 26,0       |
| 11/11/22 | 5,93                      | 247,10              | 26,0       |
| 12/11/22 | 5,20                      | 216,70              | 26,4       |
| 13/11/22 | 5,52                      | 230,00              | 26,4       |
| 14/11/22 | 5,90                      | 245,80              | 26,0       |
| 15/11/22 | 5,08                      | 211,70              | 25,1       |
| 16/11/22 | 5,47                      | 227,90              | 25,1       |
| 17/11/22 | 5,87                      | 244,60              | 25,3       |
| 18/11/22 | 2,55                      | 106,20              | 23,8       |
| 19/11/22 | 4,48                      | 186,70              | 24,3       |
| 20/11/22 | 3,78                      | 157,50              | 24,5       |
| 21/11/22 | 5,78                      | 240,80              | 26,1       |
| 22/11/22 | 5,74                      | 239,20              | 25,6       |
| 23/11/22 | 4,13                      | 172,10              | 26,3       |
| 24/11/22 | 5,06                      | 210,80              | 25,0       |
| 25/11/22 | 5,38                      | 224,20              | 25,8       |
| 26/11/22 | 5,81                      | 242,10              | 25,1       |
| 27/11/22 | 3,20                      | 233,30              | 24,8       |

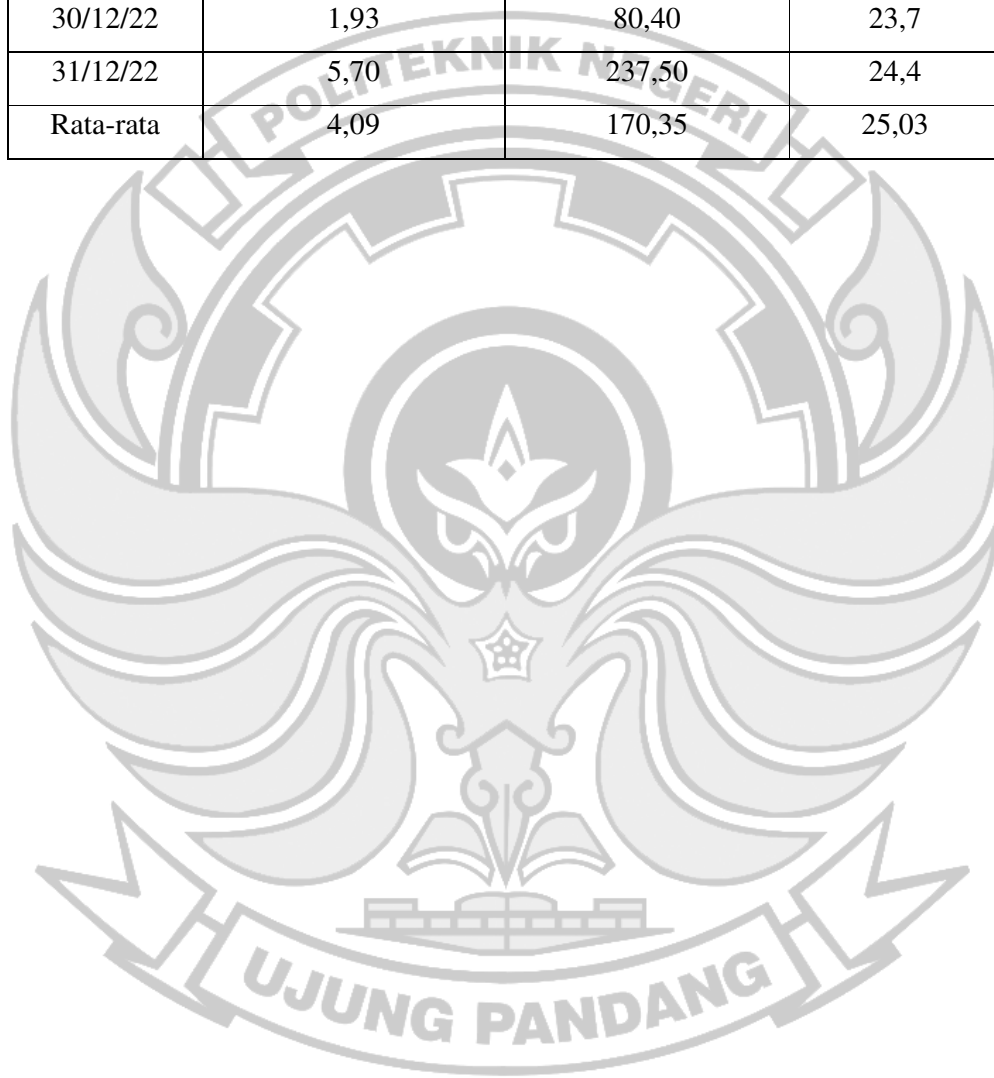
| Bulan              | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|--------------------|---|---|----------------------------|
| November<br>(2022) |   |   |                            |
| 28/11/22           | 5,83  | 212,90  | 25,7                       |
| 29/11/22           | 5,43  | 226,20  | 25,1                       |
| 30/11/22           | 3,86  | 160,80  | 24,1                       |
| Rata-rata          | 5,02  | 211,65  | 25,53                      |



| Bulan<br>Desember<br>(2022) | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|-----------------------------|---|---|----------------------------|
| 1/12/22                     | 4,13  | 172,10  | 24,2                       |
| 2/12/22                     | 4,63  | 192,90  | 25,1                       |
| 3/12/22                     | 5,13  | 213,80  | 25,7                       |
| 4/12/22                     | 5,42  | 225,80  | 25,3                       |
| 5/12/22                     | 5,71  | 237,90  | 25,7                       |
| 6/12/22                     | 6,24  | 260,00  | 26,7                       |
| 7/12/22                     | 7,05  | 293,80  | 26,2                       |
| 8/12/22                     | 6,07  | 252,90  | 26,5                       |
| 9/12/22                     | 5,69  | 237,10  | 26,0                       |
| 10/12/22                    | 6,36  | 265,00  | 26,0                       |
| 11/12/22                    | 5,69  | 237,10  | 26,7                       |
| 12/12/22                    | 4,71  | 196,20  | 27,0                       |
| 13/12/22                    | 4,22  | 175,80  | 25,9                       |
| 14/12/22                    | 3,48  | 145,00  | 25,3                       |
| 15/12/22                    | 3,44  | 143,30  | 24,8                       |
| 16/12/22                    | 2,68  | 111,70  | 24,0                       |
| 17/12/22                    | 1,86  | 77,50   | 24,2                       |
| 18/12/22                    | 3,05  | 127,10  | 24,1                       |
| 19/12/22                    | 5,22  | 217,50  | 24,8                       |
| 20/12/22                    | 5,22  | 217,50  | 25,3                       |
| 21/12/22                    | 6,62  | 275,80  | 25,6                       |
| 22/12/22                    | 4,40  | 183,30  | 25,4                       |
| 23/12/22                    | 0,95  | 39,60   | 24,6                       |
| 24/12/22                    | 0,60  | 25,00   | 23,8                       |
| 25/12/22                    | 2,59  | 107,90  | 23,9                       |
| 26/12/22                    | 3,77  | 157,10  | 23,9                       |
| 27/12/22                    | 1,36  | 56,70   | 23,9                       |

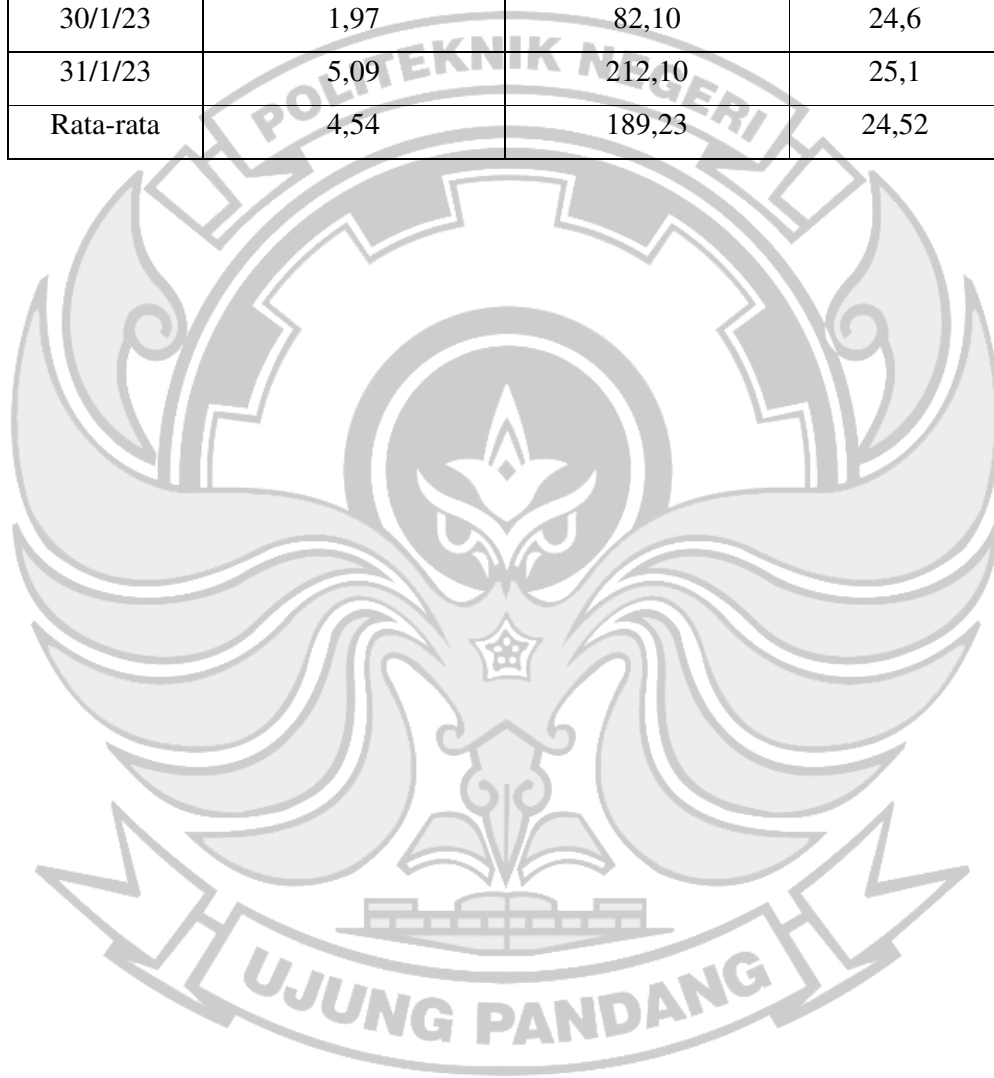


| Bulan<br>Desember<br>(2022) | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|-----------------------------|---|---|----------------------------|
| 28/12/22                    | 1,63  | 67,90   | 23,2                       |
| 29/12/22                    | 1,19  | 49,60   | 24,1                       |
| 30/12/22                    | 1,93  | 80,40   | 23,7                       |
| 31/12/22                    | 5,70  | 237,50  | 24,4                       |
| Rata-rata                   | 4,09  | 170,35  | 25,03                      |



| Bulan             | <i>RetScreen</i>                  | Konversi Radiasi                      | Temperatur   |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| Januari<br>(2023) | NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | <i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | NASA<br>(°C) |
| 1/1/23            | 6,08                              | 253,30                                | 24,1         |
| 2/1/23            | 4,79                              | 199,60                                | 24,3         |
| 3/1/23            | 2,43                              | 101,30                                | 24,3         |
| 4/1/23            | 2,34                              | 97,50                                 | 24,3         |
| 5/1/23            | 1,96                              | 81,70                                 | 24,0         |
| 6/1/23            | 3,72                              | 155,00                                | 24,1         |
| 7/1/23            | 4,25                              | 177,10                                | 24,5         |
| 8/1/23            | 5,93                              | 247,10                                | 24,9         |
| 9/1/23            | 2,35                              | 97,90                                 | 23,9         |
| 10/1/23           | 3,35                              | 139,20                                | 24,4         |
| 11/1/23           | 6,05                              | 252,10                                | 24,3         |
| 12/1/23           | 6,17                              | 257,10                                | 24,8         |
| 13/1/23           | 6,56                              | 273,30                                | 24,6         |
| 14/1/23           | 5,79                              | 241,30                                | 24,6         |
| 15/1/23           | 6,03                              | 251,30                                | 24,6         |
| 16/1/23           | 5,72                              | 238,30                                | 24,9         |
| 17/1/23           | 6,59                              | 274,60                                | 25,1         |
| 18/1/23           | 4,06                              | 169,20                                | 24,3         |
| 19/1/23           | 4,33                              | 180,40                                | 23,2         |
| 20/1/23           | 4,30                              | 179,20                                | 24,8         |
| 21/1/23           | 4,56                              | 190,00                                | 24,9         |
| 22/1/23           | 5,81                              | 242,10                                | 25,4         |
| 23/1/23           | 4,00                              | 166,70                                | 24,6         |
| 24/1/23           | 4,69                              | 195,40                                | 24,9         |
| 25/1/23           | 5,98                              | 249,20                                | 24,9         |
| 26/1/23           | 4,26                              | 177,50                                | 24,6         |
| 27/1/23           | 4,30                              | 179,20                                | 24,4         |

| Bulan             | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|-------------------|---|---|----------------------------|
| Januari<br>(2023) |   |   |                            |
| 28/1/23           | 4,21  | 175,40  | 24,3                       |
| 29/1/23           | 3,12  | 130,00  | 24,5                       |
| 30/1/23           | 1,97  | 82,10   | 24,6                       |
| 31/1/23           | 5,09  | 212,10  | 25,1                       |
| Rata-rata         | 4,54  | 189,23  | 24,52                      |



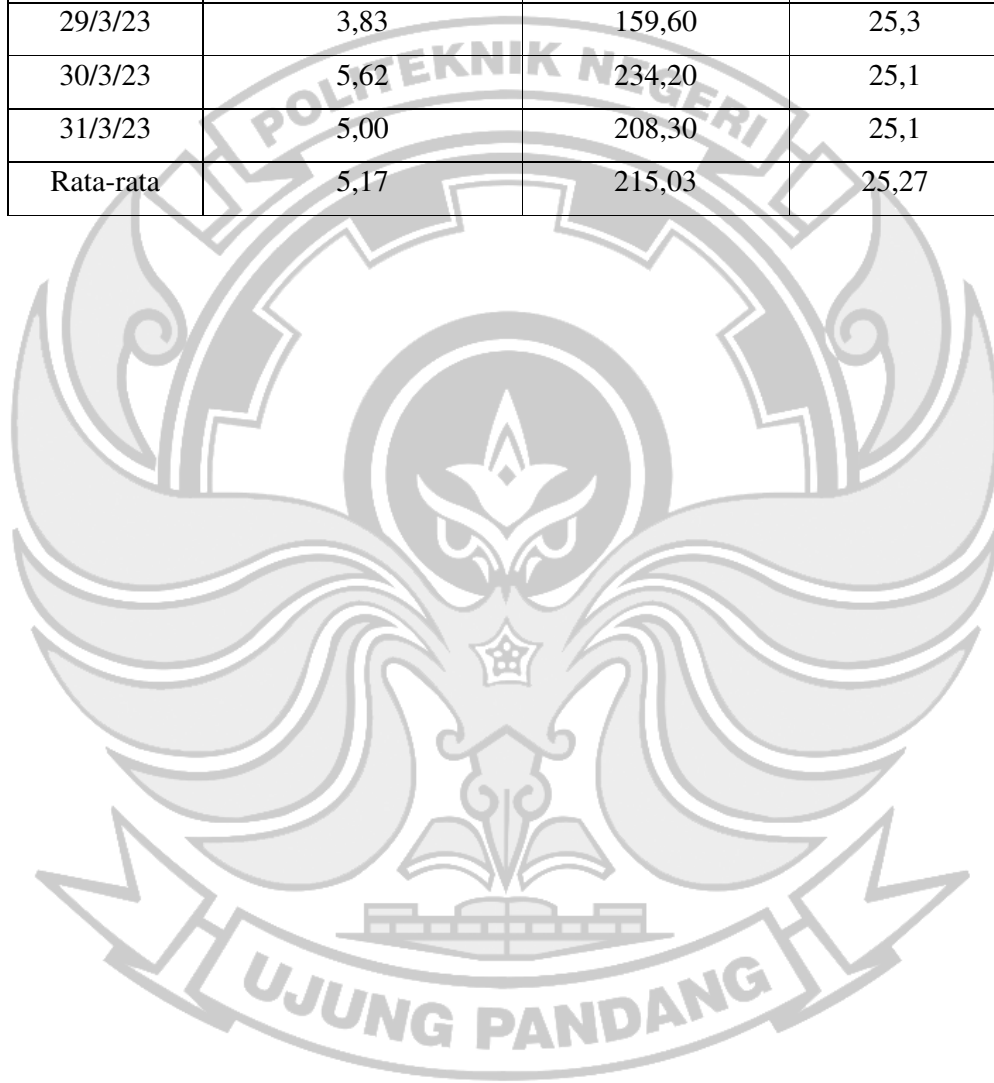
| Bulan              | <i>RetScreen</i>                  | Konversi Radiasi                      | Temperatur   |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| Februari<br>(2023) | NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | <i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | NASA<br>(°C) |
| 1/2/23             | 3,39                              | 141,30                                | 24,6         |
| 2/2/23             | 3,62                              | 150,80                                | 23,9         |
| 3/2/23             | 3,91                              | 162,90                                | 23,4         |
| 4/2/23             | 5,16                              | 215,00                                | 24,4         |
| 5/2/23             | 5,76                              | 240,00                                | 24,6         |
| 6/2/23             | 3,17                              | 132,10                                | 24,3         |
| 7/2/23             | 5,76                              | 240,00                                | 24,9         |
| 8/2/23             | 3,55                              | 147,90                                | 24,8         |
| 9/2/23             | 2,35                              | 79,90                                 | 23,8         |
| 10/2/23            | 1,57                              | 65,40                                 | 23,5         |
| 11/2/23            | 4,18                              | 174,20                                | 24,6         |
| 12/2/23            | 1,88                              | 78,30                                 | 24,0         |
| 13/2/23            | 0,48                              | 20,00                                 | 23,8         |
| 14/2/23            | 3,61                              | 150,40                                | 24,0         |
| 15/2/23            | 2,39                              | 99,60                                 | 24,0         |
| 16/2/23            | 1,45                              | 60,40                                 | 24,1         |
| 17/2/23            | 3,49                              | 145,40                                | 24,1         |
| 18/2/23            | 2,90                              | 120,80                                | 24,5         |
| 19/2/23            | 5,56                              | 231,70                                | 24,4         |
| 20/2/23            | 5,45                              | 227,10                                | 24,4         |
| 21/2/23            | 5,42                              | 225,80                                | 24,6         |
| 22/2/23            | 5,38                              | 224,20                                | 24,4         |
| 23/2/23            | 4,39                              | 182,90                                | 24,4         |
| 24/2/23            | 5,70                              | 237,50                                | 25,1         |
| 25/2/23            | 4,8                               | 200,00                                | 24,4         |
| 26/2/23            | 1,88                              | 78,30                                 | 24,0         |
| 27/2/23            | 3,72                              | 155,00                                | 24,7         |

| Bulan              | <i>RetScreen</i>                  | Konversi Radiasi                      | Temperatur   |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| Februari<br>(2023) | NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | <i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | NASA<br>(°C) |
| 28/2/23            | 5,40                              | 225,00                                | 24,2         |
| Rata-rata          | 3,80                              | 157,57                                | 24,28        |



| Bulan           | <i>RetScreen</i>                  | Konversi Radiasi                      | Temperatur   |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| Maret<br>(2023) | NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | <i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | NASA<br>(°C) |
| 1/3/23          | 1,96                              | 81,70                                 | 23,4         |
| 2/3/23          | 4,89                              | 203,80                                | 24,0         |
| 3/3/23          | 4,54                              | 189,20                                | 23,6         |
| 4/3/23          | 5,21                              | 217,10                                | 24,0         |
| 5/3/23          | 5,30                              | 220,80                                | 24,2         |
| 6/3/23          | 1,38                              | 57,50                                 | 23,7         |
| 7/3/23          | 4,65                              | 193,80                                | 24,7         |
| 8/3/23          | 5,81                              | 242,10                                | 25,5         |
| 9/3/23          | 6,66                              | 277,50                                | 26,2         |
| 10/3/23         | 6,72                              | 280,00                                | 26,1         |
| 11/3/23         | 6,39                              | 266,30                                | 26,3         |
| 12/3/23         | 6,64                              | 276,70                                | 26,2         |
| 13/3/23         | 5,77                              | 240,40                                | 24,7         |
| 14/3/23         | 4,97                              | 199,60                                | 25,0         |
| 15/3/23         | 6,18                              | 257,50                                | 25,7         |
| 16/3/23         | 5,89                              | 245,50                                | 25,8         |
| 17/3/23         | 5,87                              | 244,60                                | 26,4         |
| 18/3/23         | 5,73                              | 238,80                                | 25,4         |
| 19/3/23         | 6,73                              | 280,40                                | 26,1         |
| 20/3/23         | 5,24                              | 218,30                                | 26,0         |
| 21/3/23         | 5,74                              | 239,20                                | 25,8         |
| 22/3/23         | 5,13                              | 213,80                                | 26,1         |
| 23/3/23         | 5,86                              | 244,20                                | 26,7         |
| 24/3/23         | 3,56                              | 148,30                                | 26,0         |
| 25/3/23         | 4,91                              | 201,60                                | 25,9         |
| 26/3/23         | 5,09                              | 212,10                                | 24,8         |
| 27/3/23         | 5,71                              | 237,90                                | 24,9         |

| Bulan<br>Maret<br>(2023) | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|--------------------------|---|---|----------------------------|
| 28/3/23                  | 3,24  | 135,00  | 24,6                       |
| 29/3/23                  | 3,83  | 159,60  | 25,3                       |
| 30/3/23                  | 5,62  | 234,20  | 25,1                       |
| 31/3/23                  | 5,00  | 208,30  | 25,1                       |
| Rata-rata                | 5,17  | 215,03  | 25,27                      |



| Bulan           | <i>RetScreen</i>                  | Konversi Radiasi                      | Temperatur   |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| April<br>(2023) | NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | <i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | NASA<br>(°C) |
| 1/4/23          | 4,41                              | 183,80                                | 24,5         |
| 2/4/23          | 4,69                              | 195,50                                | 24,9         |
| 3/4/23          | 5,69                              | 237,10                                | 24,8         |
| 4/4/23          | 4,11                              | 171,30                                | 23,6         |
| 5/4/23          | 4,78                              | 199,20                                | 24,4         |
| 6/4/23          | 5,24                              | 218,30                                | 25,3         |
| 7/4/23          | 4,43                              | 184,60                                | 24,3         |
| 8/4/23          | 4,54                              | 189,20                                | 23,5         |
| 9/4/23          | 4,06                              | 169,20                                | 24,4         |
| 10/4/23         | 4,23                              | 176,30                                | 24,2         |
| 11/4/23         | 5,02                              | 209,20                                | 24,9         |
| 12/4/23         | 5,82                              | 242,50                                | 25,2         |
| 13/4/23         | 5,42                              | 225,80                                | 25,7         |
| 14/4/23         | 3,22                              | 134,20                                | 25,9         |
| 15/4/23         | 5,53                              | 230,40                                | 26,0         |
| 16/4/23         | 3,52                              | 146,70                                | 26,7         |
| 17/4/23         | 5,37                              | 223,80                                | 26,5         |
| 18/4/23         | 6,33                              | 263,80                                | 26,1         |
| 19/4/23         | 6,15                              | 256,30                                | 26,1         |
| 20/4/23         | 6,02                              | 250,80                                | 26,0         |
| 21/4/23         | 6,24                              | 260,00                                | 25,4         |
| 22/4/23         | 6,06                              | 252,50                                | 25,1         |
| 23/4/23         | 6,15                              | 263,80                                | 25,4         |
| 24/4/23         | 6,50                              | 270,80                                | 25,7         |
| 25/4/23         | 5,19                              | 216,30                                | 26,8         |
| 26/4/23         | 5,34                              | 231,70                                | 26,5         |
| 27/4/23         | 3,82                              | 159,20                                | 25,7         |



| Bulan           | <i>RetScreen</i>                  | Konversi Radiasi                      | Temperatur   |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| April<br>(2023) | NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | <i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | NASA<br>(°C) |
| 28/4/23         | 5,51                              | 229,60                                | 25,6         |
| 29/4/23         | 4,67                              | 194,60                                | 25,5         |
| 30/4/23         | 5,94                              | 247,50                                | 25,3         |
| Rata-rata       | 5,13                              | 214,47                                | 25,33        |

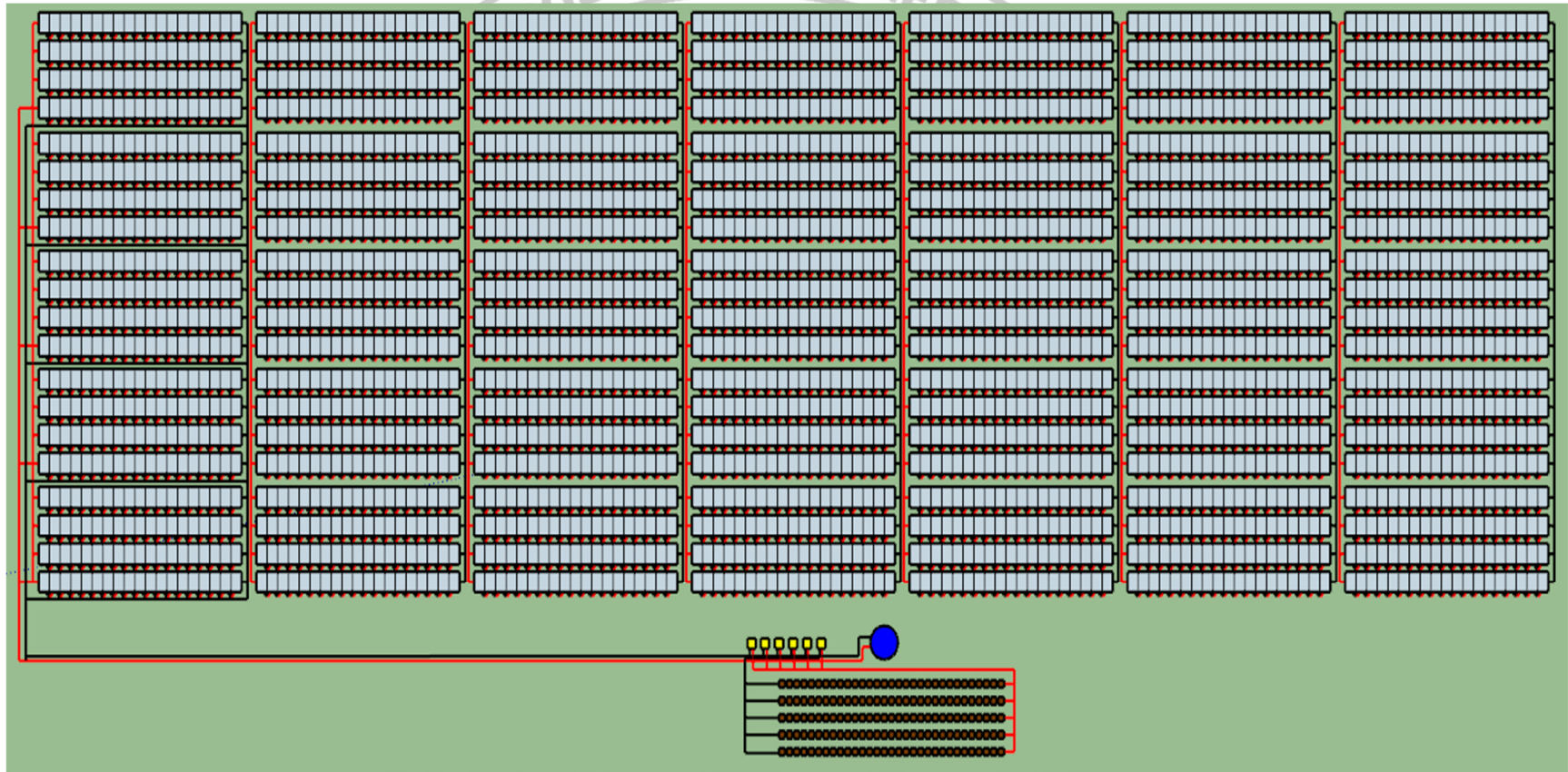


| Bulan<br>Mei<br>(2023) | <i>RetScreen</i><br>NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | Konversi Radiasi<br><i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur<br>NASA<br>(°C) |
|------------------------|---|---|----------------------------|
| 1/5/23                 | 5,53  | 230,40  | 25,7                       |
| 2/5/23                 | 5,19  | 216,30  | 25,6                       |
| 3/5/23                 | 6,17  | 257,10  | 25,7                       |
| 4/5/23                 | 1,76  | 73,30   | 25,4                       |
| 5/5/23                 | 5,61  | 233,80  | 25,2                       |
| 6/5/23                 | 5,99  | 249,60  | 25,7                       |
| 7/5/23                 | 5,64  | 235,00  | 25,6                       |
| 8/5/23                 | 3,44  | 143,30  | 25,8                       |
| 9/5/23                 | 3,43  | 142,90  | 25,1                       |
| 10/5/23                | 4,62  | 192,50  | 25,8                       |
| 11/5/23                | 5,67  | 236,30  | 25,5                       |
| 12/5/23                | 5,96  | 248,30  | 25,5                       |
| 13/5/23                | 5,95  | 247,90  | 25,3                       |
| 14/5/23                | 5,48  | 228,30  | 25,1                       |
| 15/5/23                | 5,53  | 230,40  | 25,1                       |
| 16/5/23                | 4,80  | 200,00  | 24,9                       |
| 17/5/23                | 4,89  | 203,80  | 25,3                       |
| 18/5/23                | 5,76  | 240,00  | 25,3                       |
| 19/5/23                | 6,01  | 250,40  | 24,9                       |
| 20/5/23                | 5,23  | 217,90  | 24,8                       |
| 21/5/23                | 5,63  | 234,60  | 24,8                       |
| 22/5/23                | 5,06  | 210,80  | 24,6                       |
| 23/5/23                | 4,84  | 201,70  | 24,7                       |
| 24/5/23                | 4,61  | 192,10  | 25,3                       |
| 25/5/23                | 4,66  | 194,20  | 24,7                       |
| 26/5/23                | 4,79  | 199,60  | 24,7                       |
| 27/5/23                | 5,38  | 224,20  | 24,6                       |

| Bulan         | <i>RetScreen</i>                  | Konversi Radiasi                      | Temperatur   |
|---------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| Mei<br>(2023) | NASA<br>(kWh/m <sup>2</sup> /day) | <i>Pv Syst</i><br>(W/m <sup>2</sup> ) | NASA<br>(°C) |
| 28/5/23       | 5,73                              | 238,80                                | 24,6         |
| 29/5/23       | 5,57                              | 232,10                                | 24,6         |
| 30/5/23       | 5,41                              | 225,40                                | 24,6         |
| 31/5/23       | 4,17                              | 173,80                                | 25,0         |
| Rata-rata     | 5,11                              | 213,06                                | 25,15        |

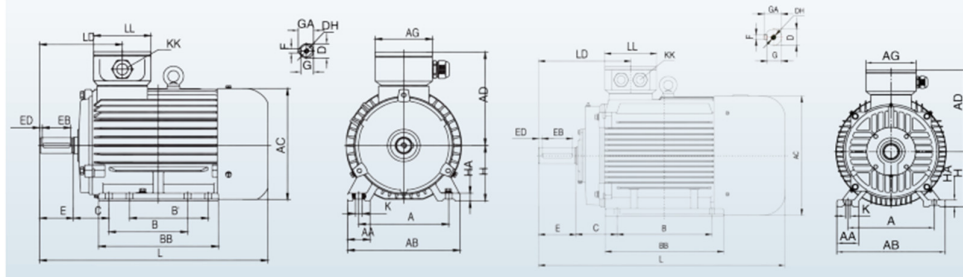


Lampiran 4 Diagram Skema PLTS



## Lampiran 5 Katalog Pompa Purityfire

### DIMENSIONS/DIMENSIONES/DIMENSIONS



### TECHNICAL SHEET/HOJA TÉCNICA/FICHE TECHNIQUE

50 Hz n=2900 1/min

| MODEL<br>MODELO<br>MODÈLE | Power<br>Potencia<br>Puissance |     | RPM<br>1/min | $\eta$<br>% | $\eta$<br>75% | $\eta$<br>50% | $\cos \Phi$ | A    |      |      | Nm    | Ts/Tn | Tmax/Tn | Is/In | dB(A) | Kgs  |
|---------------------------|--------------------------------|-----|--------------|-------------|---------------|---------------|-------------|------|------|------|-------|-------|---------|-------|-------|------|
|                           | kw                             | hp  |              |             |               |               |             | 380V | 400V | 415V |       |       |         |       |       |      |
|                           | YE3-280M-2                     | 90  |              |             |               |               |             | 125  | 2975 | 95   |       |       |         |       |       |      |
| YE3-315S-2                | 110                            | 150 | 2978         | 95.2        | 95.2          | 93.3          | 0.9         | 195  | 185  | 179  | 352.8 | 1.8   | 2.3     | 7.1   | 94    | 897  |
| YE3-315M-2                | 132                            | 180 | 2978         | 95.4        | 95.4          | 93.5          | 0.9         | 234  | 222  | 214  | 423.3 | 1.8   | 2.3     | 7.1   | 95    | 1029 |
| YE3-315L1-2               | 160                            | 220 | 2980         | 95.6        | 95.6          | 93.7          | 0.91        | 279  | 265  | 256  | 512.8 | 1.8   | 2.3     | 7.2   | 95    | 1067 |
| YE3-315L2-2               | 200                            | 270 | 2980         | 95.8        | 95.8          | 93.9          | 0.91        | 349  | 331  | 319  | 640.9 | 1.8   | 2.2     | 7.2   | 95    | 1194 |
| YE3-355M-2                | 250                            | 340 | 2982         | 95.8        | 95.8          | 93.9          | 0.91        | 436  | 414  | 399  | 800.6 | 1.6   | 2.2     | 7.2   | 103   | 1685 |
| YE3-355L-2                | 315                            | 430 | 2982         | 95.8        | 95.8          | 93.9          | 0.91        | 549  | 522  | 503  | 1009  | 1.6   | 2.2     | 7.2   | 103   | 1734 |



Lampiran 6 Katalog Panel Surya

**MS-M966H**

**640-660W**

MONO 12BB HALF-CUT MODULE

**ELECTRICAL PARAMETERS @ STC**

|                               |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Max. Power Output Pmax (W)    | 640   | 645   | 650   | 655   | 660   |
| Power Tolerance               | 0~+3% | 0~+3% | 0~+3% | 0~+3% | 0~+3% |
| Max. Power Voltage Vmp (V)    | 37.50 | 37.70 | 37.91 | 38.11 | 38.29 |
| Max. Power Current Imp (A)    | 17.07 | 17.11 | 17.15 | 17.19 | 17.24 |
| Open Circuit Voltage Voc (V)  | 44.60 | 44.80 | 45.00 | 45.21 | 45.39 |
| Short Circuit Current Isc (A) | 18.31 | 18.35 | 18.38 | 18.44 | 18.47 |
| Module Efficiency (%)         | 20.61 | 20.77 | 20.93 | 21.09 | 21.25 |

\*STC (Standard Test Condition): Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> , Cell Temperature 25°C, Air Mass 1.5

\*Measurement Tolerance (±3.0%)

**ELECTRICAL PARAMETERS @ NOCT**

|                               |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Max. Power Output Pmax (W)    | 475   | 479   | 483   | 487   | 491   |
| Max. Power Voltage Vmp (V)    | 34.35 | 34.51 | 34.67 | 34.83 | 35.01 |
| Max. Power Current Imp (A)    | 13.84 | 13.89 | 13.94 | 13.99 | 14.02 |
| Open Circuit Voltage Voc (V)  | 41.45 | 41.64 | 41.83 | 42.02 | 42.19 |
| Short Circuit Current Isc (A) | 14.77 | 14.81 | 14.85 | 14.89 | 14.92 |

\*NOCT(Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m<sup>2</sup> , Ambient Temperature 20 °C , Wind Speed 1m/s

**MECHANICAL PARAMETERS**

|                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| Cell Type            | Mono 210x105mm             |
| Number of Cells      | 132pcs(6x22)               |
| Dimensions ( L*W*H ) | 2384x1303x35mm             |
| Weight               | 34.4kg                     |
| Frame                | Anodised Aluminum          |
| Junction Box         | IP68, 3 bypass diodes      |
| Cable, Length        | 4.0mm <sup>2</sup> , 300mm |



Lampiran 7 Katalog *Inverter Sun grow* 350 kW

| Parameters  | SG333HX                                | SG350HX   |
|---|--|---|
| <b>Input (DC)</b>                                       |  |   |
| Max. PV input voltage                                   | 1500 V                                 |   |
| Min. PV input voltage / Start-up input voltage          | 500 V / 550 V                          |   |
| Nominal PV input voltage                                | 1080 V                                 |   |
| MPP voltage range                                       | 500 V – 1500 V                         |   |
| No. of independent MPP inputs                           | 12 (optional: 16)                      | 12 (optional: 16)                                   |
| Max. PV input current                                   | 12 * 40 A (Optional: 16 * 30 A)        | 12 * 40 A (Optional: 16 * 30 A)                     |
| Max. DC short-circuit current per MPPT                  | 60 A                                   |   |
| <b>Output (AC)</b>                                      |  |   |
| AC output power   | 333 kVA @ 35 °C / 320 kVA @40 °C       | 352 kVA @ 30 °C / 320 kVA @ 40 °C / 295 kVA @ 50 °C |
| Max. AC output current                                  | 240.5 A                                | 254 A   |
| Nominal AC voltage                                      | 3 / PE, 800 V                          |   |
| AC voltage range  | 640 – 920V                             |   |
| Nominal grid frequency / Grid frequency range           | 50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz |   |
| THD   | < 3 % (at nominal power)               |   |
| DC current injection                                    | < 0.5 % I <sub>n</sub>                 |   |
| Power factor at nominal power / Adjustable power factor | > 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging     |   |
| Feed-in phases / Connection phases                      | 3 / 3                                  |   |
| <b>Efficiency</b>                                       |  |   |
| Max. efficiency / European efficiency                   | 99.02 % / 98.8 % / –                   | 99.02 % / 98.8 %                                    |
| <b>General Data</b>                                     |  |   |
| Dimensions (W*H*D)                                      | 1136 * 870 * 361 mm                    | 1136*870*361 mm                                     |
| Weight*   | ≤ 116 kg                               |   |
| Isolation method  | Transformerless                        |   |
| Degree of protection                                    | IP66                                   | IP66  |

Lampiran 8 Tabel Harga Peralatan

| No    | Material  | Jumlah    | Pembulatan | Satuan         | Harga          | Satuan jual    | Total             |
|-------|---|-----------|------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 1     | Panel Surya Maysun Solar 660Wp                  | 2660      | 2660       | buah           | Rp 2.475.620   | buah           | Rp 6.585.149.200  |
| 3     | Baterai Lithium-ion GTK                         | 151,5     | 155        | buah           | Rp 10.421.847  | buah           | Rp 3.230.772.570  |
| 4     | Inverter Sungrow 350 kW                         | 1         | 1          | buah           | Rp 107.380.000 | buah           | Rp 536.900.000    |
| 5     | Pompa FSM4 150-315A/B purityfire                | 1         | 1          | buah           | Rp 118.078.500 | buah           | Rp 118.078.500    |
| 6     | Pondasi beton k225                              | 2,058     | 2,058      | m <sup>3</sup> | Rp 900.000     | m <sup>3</sup> | Rp 1.852.200      |
| 7     | Base plate 8mm                                  | 28        | 28         | buah           | Rp 52.000      | buah           | Rp 1.456.000      |
| 8     | Besi UNP (rangka panel)                         | 9447,20   | 9448       | m              | Rp 6.670.000   | (6m/ batang)   | Rp 10.503.026.667 |
| 9     | Hollow q235 ukuran 100x100 (tiang)              | 5056,8    | 5057       | m              | Rp 3.675.000   | (6m/ batang)   | Rp 3.097.412.500  |
| 10    | Baut  | 18480     | 18500      | buah           | Rp 1.000       | buah           | Rp 18.500.000     |
| 11    | Kabel 25 mm <sup>2</sup> (panel paralel)        | 20        | 20         | m              | Rp 56.000      | m              | Rp 1.120.000      |
| 12    | Kabel 25 mm <sup>2</sup> (SCC Seri)             | 18        | 18         | m              | Rp 56.000      | m              | Rp 1.008.000      |
| 13    | Kabel 185 mm <sup>2</sup> (SCC paralel)         | 20        | 20         | m              | Rp 556.000     | m              | Rp 11.120.000     |
| 14    | Kabel 35 mm <sup>2</sup> (baterai seri)         | 90        | 90         | m              | Rp 71.000      | m              | Rp 6.390.000      |
| 15    | Kabel 2 x 240 mm <sup>2</sup> (baterai paralel) | 8         | 8          | m              | Rp 1.797.000   | m              | Rp 14.376.000     |
| 16    | Kabel 2 x 240 mm <sup>2</sup> (inv to pompa)    | 100       | 100        | m              | Rp 1.797.000   | m              | Rp 179.700.000    |
| 17    | Biaya Pemasangan                                | 1.755,600 | 1756,600   | kw             | Rp 2.500.000   | per kWh        | Rp 4.391.500.000  |
| Total |   |           |            |                |                |                | Rp 28.698.361.637 |



Lampiran 9 Tabel Perhitungan NCF dan PVNCF

Tabel Perhitungan NCF dan PVNCF dengan  $i = 9,11\%$

| Tahun                               | Faktor diskonto | kas masuk           | kas keluar     | NCF                 | PVNCF                | Kumulatif PVNCF       |
|-------------------------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| biaya investasi = Rp 28.698.361.637 |                 |                     |                |                     |                      |                       |
| 1                                   | 0,917           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 4.228.945.350,228 | Rp 4.228.945.350,228  |
| 2                                   | 0,840           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 3.882.025.343,497 | Rp 8.110.970.693,725  |
| 3                                   | 0,770           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 3.557.900.598,934 | Rp 11.668.871.292,659 |
| 4                                   | 0,706           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 3.260.838.235,665 | Rp 14.929.709.528,324 |
| 5                                   | 0,647           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 2.988.578.714,751 | Rp 17.918.288.243,075 |
| 6                                   | 0,593           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 2.739.051.154,570 | Rp 20.657.339.397,645 |
| 7                                   | 0,543           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 2.510.357.579,113 | Rp 23.167.696.976,758 |
| 8                                   | 0,498           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 2.300.758.481,452 | Rp 25.468.455.458,211 |
| 9                                   | 0,456           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 2.108.659.592,569 | Rp 27.577.115.050,780 |
| 10                                  | 0,418           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.932.599.754,898 | Rp 29.509.714.805,678 |
| 11                                  | 0,383           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.771.239.808,357 | Rp 31.280.954.614,035 |
| 12                                  | 0,351           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.623.352.404,323 | Rp 32.904.307.018,358 |
| 13                                  | 0,322           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.487.812.670,079 | Rp 34.392.119.688,437 |
| 14                                  | 0,295           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.363.589.652,716 | Rp 35.755.709.341,154 |

|    |       |                     |                |                     |                      |                       |
|----|-------|---------------------|----------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| 15 | 0,270 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.249.738.477,423 | Rp 37.005.447.818,577 |
| 16 | 0,248 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.145.393.160,501 | Rp 38.150.840.979,078 |
| 17 | 0,227 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.049.760.022,456 | Rp 39.200.601.001,534 |
| 18 | 0,208 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 962.111.651,046   | Rp 40.162.712.652,579 |
| 19 | 0,191 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 881.781.368,386   | Rp 41.044.494.020,965 |
| 20 | 0,175 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 808.158.160,009   | Rp 41.852.652.180,974 |
| 21 | 0,160 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 740.682.027,320   | Rp 42.593.334.208,294 |
| 22 | 0,147 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 678.839.728,091   | Rp 43.272.173.936,384 |
| 23 | 0,135 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 622.160.872,597   | Rp 43.894.334.808,982 |
| 24 | 0,123 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 570.214.345,704   | Rp 44.464.549.154,685 |
| 25 | 0,113 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 522.605.027,682   | Rp 44.987.154.182,367 |

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

Tabel Perhitungan NCF dan PVNCF dengan  $i = 10\%$

| Tahun                               | Faktor diskonto | kas masuk           | kas keluar     | NCF                 | PVNCF                | Kumulatif PVNCF       |
|-------------------------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| biaya investasi = Rp 28.698.361.637 |                 |                     |                |                     |                      |                       |
| 1                                   | 0,943           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 4.201.407.367,848 | Rp 4.201.407.367,848  |
| 2                                   | 0,890           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 3.819.461.243,499 | Rp 8.020.868.611,347  |
| 3                                   | 0,840           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 3.472.237.494,090 | Rp 11.493.106.105,437 |
| 4                                   | 0,792           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 3.156.579.540,082 | Rp 14.649.685.645,518 |
| 5                                   | 0,747           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 2.869.617.763,710 | Rp 17.519.303.409,229 |
| 6                                   | 0,705           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 2.608.743.421,555 | Rp 20.128.046.830,784 |
| 7                                   | 0,665           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 2.371.584.928,686 | Rp 22.499.631.759,470 |
| 8                                   | 0,627           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 2.155.986.298,806 | Rp 24.655.618.058,276 |
| 9                                   | 0,592           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.959.987.544,369 | Rp 26.615.605.602,645 |
| 10                                  | 0,558           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.781.806.858,517 | Rp 28.397.412.461,162 |
| 11                                  | 0,527           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.619.824.416,834 | Rp 30.017.236.877,996 |
| 12                                  | 0,497           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.472.567.651,667 | Rp 31.489.804.529,663 |
| 13                                  | 0,469           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.338.697.865,152 | Rp 32.828.502.394,815 |
| 14                                  | 0,442           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.216.998.059,229 | Rp 34.045.500.454,044 |
| 15                                  | 0,417           | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.106.361.872,026 | Rp 35.151.862.326,070 |

|    |       |                     |                |                     |                      |                       |
|----|-------|---------------------|----------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| 16 | 0,394 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 1.005.783.520,024 | Rp 36.157.645.846,094 |
| 17 | 0,371 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 914.348.654,567   | Rp 37.071.994.500,661 |
| 18 | 0,350 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 831.226.049,607   | Rp 37.903.220.550,268 |
| 19 | 0,331 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 755.660.045,097   | Rp 38.658.880.595,365 |
| 20 | 0,312 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 686.963.677,361   | Rp 39.345.844.272,725 |
| 21 | 0,294 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 624.512.433,964   | Rp 39.970.356.706,690 |
| 22 | 0,278 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 567.738.576,331   | Rp 40.538.095.283,021 |
| 23 | 0,262 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 516.125.978,483   | Rp 41.054.221.261,504 |
| 24 | 0,247 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 469.205.434,984   | Rp 41.523.426.696,488 |
| 25 | 0,233 | Rp 6.154.634.131,80 | Rp 294.329.449 | Rp 4.621.548.104,63 | Rp 426.550.395,440   | Rp 41.949.977.091,929 |

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

Lampiran 10 *Link Google Drive* Video desain 3D PLTS

- Video dari desain 3D PLTS yang total seluruh panel surya disusun pada suatu lahan kosong dapat diakses melalui QR Code atau *link google drive* berikut:



[https://drive.google.com/file/d/11Bcruloe9mng6YBXX9Cx8ldkKtNM-ES\\_/view](https://drive.google.com/file/d/11Bcruloe9mng6YBXX9Cx8ldkKtNM-ES_/view)

- Video dari desain 3D PLTS menampilkan posisi komponen di dalam *control room* dapat diakses melalui QR Code atau *link google drive* berikut:



<https://drive.google.com/file/d/10ZB1IsrM62WRz6qezcTXYgeoOJgAu7od/view>

- Video dari desain 3D PLTS yang menampilkan susunan panel terpasang pada lokasi PLTMH PT. Tombolo Energy dapat diakses melalui QR Code atau *link google drive* berikut:



<https://drive.google.com/file/d/1JvuTyPzRmhBxcY8rVFIVG3mR0IE1ZRs/view>

Lampiran 11 Dokumentasi Pengambilan Data

